

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté des Sciences de l'Ingénierat
Département de Génie des Procédés

Année 2019

Filière : Génie des Procédés

Option : Génie Chimique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de **Master**

Diagnostic des Eaux Résiduaires Industrielles
« FERTIAL.ANNABA » : Quantification des Co-fractions
Valorisables et Analyse en Composantes Principales.

Présenté par :

Boutaba Rahma

Necib Rania

DIRECTEUR DE MEMOIRE : Dr. Abidi Abdenabi, M.C.A, Université Badji Mokhtar- Annaba

Devant le jury :

Président :	Toubal Abd El Aziz	Pr.	Université Badji Mokhtar-Annaba
Examineur :	Larbi Lynda	M.A.A	Université Badji Mokhtar-Annaba
Examineur :	Farah Nadir	Pr.	Université Badji Mokhtar-Annaba


Remerciement

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Mr Abidi Abdenabi** maître de conférence (A) à l'université de Badji Mokhtar Annaba et **Mr Farah Nadir** professeur à l'université de Badji Mokhtar Annaba, on les remercie pour la qualité de leur encadrement exceptionnels, pour leur patience, leur rigueur et leur disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*Nos remerciement s'adresse à **Mr Boustifa Nacer Eddine** chef de service au laboratoire central du complexe Fertil pour son aide pratique et son soutien moral et ses encouragements.*

*Nous sommes conscientes de l'honneur que nous a fait **Mr Toubal Abdelaziz** professeur à l'université de Badji Mokhtar Annaba en étant président du jury et **Mlle Larbi Lynda** maître assistante (A) à l'université de Badji Mokhtar Annaba d'avoir accepté d'examiner ce travail, on vous remercie chaleureusement pour l'intérêt que vous avez porté à notre travail et nous vous exprimons notre profonde gratitude.*



Nos remerciement s'adresse également à tout nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles

*Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenu de près ou de loin principalement à tous l'effectif de laboratoire centrale du complexe **Fertial**.*

Résumé

Dans cette étude on donne un inventaire analytique détaillé et une évaluation massive des espèces chimiques qui compose les eaux résiduaires industrielles rejetées dans le milieu naturel avec une quantification des co-fractions valorisables, d'autre part, un traitement statistique avancé est effectué à travers une distribution spatiale des groupes de paramètres mise en évidence par l'ACP. Les résultats obtenus présentent des concentrations qui dépassent les normes nationales de rejet. L'analyse en composante principal nous a fourni des idées et des orientations générales sur la variation et le groupement des différents paramètres afin de faire une modélisation des groupes.

Mots Clés :

Analyse physico-chimique des ERI, Co- fractions valorisables, ACP.

Abstract

In this study, we give a detailed analytical inventory and a mass evaluation of the chemical species that make up industrial waste water discharged into the natural environment with a quantification of the recoverable co-fractions, on the other hand, an advanced statistical treatment is carried out through a spatial distribution of the groups of parameters highlighted by the PCA. The results obtained show concentrations that exceed the national standards of rejection. The main component analysis provided us with ideas and general orientations on the variation and grouping of the different parameters in order to make a group modeling.

Keywords:

Physiochemical analysis of Ind.Wastewater, recoverable co-fractions, PCA.

ملخص

في هذه الدراسة، نقدم جردًا تحليليًا مفصلاً وتقييمًا جماعيًا للأنواع الكيميائية التي تشكل مياه الصرف الصناعية التي يتم رميها في البيئة الطبيعية مع تقدير كمي للكسور القابلة للاسترداد، من ناحية أخرى، يتم إجراء معالجة إحصائية متقدمة من خلال التوزيع المكاني لمجموعات المعلمات التي أبرزها تحليل العناصر الرئيسية. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها تركيزات تتجاوز المعايير الوطنية للصرف. زدنا تحليل المكون الرئيسي بالأفكار والتوجهات العامة حول الاختلاف وتجميع المعلمات المختلفة من أجل عمل نمذجة جماعية.

الكلمات المفتاحية:

التحليل الفيزيائي الكيميائي لمياه الصرف الصناعي، تحليل العناصر الرئيسية، الكسور القابلة للاسترداد.

Liste des abréviations

ERI : Eaux Résiduaires Industrielles.

MES : Matières En Suspension.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

DBO : Demande Biochimique en Oxygène.

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène après 5 jours.

MEST : Matières En Suspension Total.

ACP : Analyse en Composant Principale.

SAS : Statical Analysis System.

ISO : Organisation nationale de normalisation.

ISO-5667-10 : Norme internationale de la qualité des eaux résiduaires.

NKT : L'azote Kjeldahl Total.

MO.O : Matière Organique Oxydable.

MO.B : Matière Organique Biodégradable.

Liste des figures

Figure.II-1 : Représentation des individus	36
Figure.II-2 : Représentation des variables	36
Figure.II-3 : Représentation des individus	37
Figure.II-4 : Cercle des corrélations	37
Figure. II-5 : Origine du nuage de individus	38
Figure. II-6 : Températures : éboulis des valeurs propres	40
Figure.III-1 : Situation géographique de FERTIAL	44
Figure.III-2 : le point de prélèvement de la zone nord	46
Figure.III-3 : le point de prélèvement de la zone sud	47
Figure.III-4 : Carte de localisation des points de rejets et des stations de prélèvements	48
Figure.III-5 : préleveur automatique (Endress Hauser ASP)	50
Figure.III-6 : Filtration des MES	51
Figure.III-7 : Le dosage d'Azote total par un distillateur d'Azote Kjeldahl (BÜCHI Distillation Unit K-350)	52
Figure.III-8 : Distillation de l'ion d'ammonium par un distillateur d'Azote Kjeldahl (BÜCHI Distillation Unit K-350)	53
Figure.III-9 : la réaction de Dewarda avec la solution de l'Azote Kjeldahl	54
Figure.III-10 : spectrophotomètre HACH DR 2800	55
Figure.III-11 : des fioles de l'appareil de VELP scientifica à reflux dans lesquelles on met notre échantillon	56
Figure.III-12 : VELP scientifica Inolab BSB/BO	57
Figure.III-13 : Oxi-Top Inolab BSB/BOD/DBO	58
Figure IV-1 : l'évolution du PH dans les rejets (zone nord)	64
Figure IV-2 : l'évolution du PH dans les rejets (zone sud)	65
Figure IV-3 : L'évolution de la température dans les rejets (zone nord)	66
Figure IV-4 : L'évolution de la température dans les rejets (zone sud).....	67
Figure IV-5 : l'évolution de la matière en suspension dans les rejets (zone sud).....	68

Figure IV-6 : l'évolution de NH_4^+ dans les rejets (zone nord)	69
Figure IV-7 : l'évolution de NH_4^+ dans les rejets (zone sud)	70
Figure IV-8 : l'évolution de l'azote Kjeldahl dans les rejets (zone nord)	71
Figure IV-9 : l'évolution de l'azote Kjeldahl dans les rejets (zone sud)	72
Figure IV-10 : l'évolution du phosphore dans les rejets (zone sud)	73
Figure IV-11 : l'évolution de la DBO5 dans les rejets (zone nord).....	74
Figure IV-12 : l'évolution de la DBO5 dans les rejets (zone sud)	75
Figure IV-13 : l'évolution de la DCO dans les rejets (zone nord)	76
Figure IV-14 : l'évolution de la DCO dans les rejets (zone sud)	77
Figure.V-1 : Evaluation de la masse de la matière en suspension (zone sud 2018-2019)	84
Figure.V-2 : Evaluation de la masse de l'azote total durant la période 2018-2019 (zone nord)	85
Figure.V-3 : Evaluation de la masse mensuelle de l'azote total durant la période 2018-2019 (zone sud).....	86
Figure. V-4 : Evaluation de la masse valorisable mensuelle du phosphore durant la période 2018-2019 (zone sud).....	87
Figure. V-5 : Evaluation de la masse de la matière organique oxydable durant la période 2018-2019 (zone nord)	89
Figure. V-6 : Evaluation de la masse de la matière organique oxydable durant la période 2018-2019 (zone sud)	90
Figure. V-7 : Evaluation de la masse de la matière organique biodégradable durant la période 2018-2019 (zone nord)	91
Figure. V-8 : Evaluation de la masse de la matière organique biodégradable durant la période 2018-2019 (zone sud)	92
Figure.V-9 : Evaluation de la masse annuelle (2018-2019 zone sud)	93
Figure.V-10 : le point de rejet en aval de la zone sud	94
Figure.V-11 : Evaluation de la masse annuelle (2018-2019 zone nord)	94
Figure. V-12 : Le point de rejet en aval de la zone nord	95
Figure.V-13 : Evaluation globale de la masse annuelle (2018-2019)	96
Figure.VI-1 : représentation graphique de corrélation d données de la zone nord	100

Figure.VI-2 : représentation graphique d'ACP à 3 composantes principales d la zone nord en 3D.....	102
Figure.VI-3 : représentation graphique de groupement KMeans des données de la zone nord.....	103
Figure.VI-4 : représentation graphique de corrélation des données de la zone sud	105
Figure.VI-5 : représentation graphique d'ACP à 3 composantes principales de la zone nord en 3D.....	107
Figure.VI-6 : représentation graphique de groupement KMeans des données de la zone sud	108

Liste des tableaux

Tableau I-1 : principales utilisations industrielles de l'eau et sources d'eau possibles	5
Tableau I-2 : Caractéristiques des rejets en eaux superficielles	13
Tableau I-3 : valeurs limites de rejet dans les eaux superficielles	14
Tableau I-4 : rejet en zone sensible	15
Tableau I-5 : Valeurs limites de rejet dans les eaux superficielles pour la micropollution minérale et organique	16
Tableau III-1 : Techniques d'échantillonnage et d'analyse des paramètres d'évaluation du degré de pollution des rejets liquides (Fertial-Annaba)	45
Tableau III-2 Méthodes d'analyses utilisées dans la caractérisation de la pollution des rejets liquides	49
Tableau IV-1 : Résultats d'analyse des rejets de la zone nord (2018/2019)	61
Tableau IV-2 : Résultats d'analyse des rejets de la zone sud (2018/2019)	62
Tableau IV-3 : l'évolution du PH dans les rejets (zone nord)	63
Tableau IV-4 : l'évolution du PH dans les rejets (zone sud)	64
Tableau IV-5 : L'évolution de la température dans les rejets (zone nord)	65
Tableau IV-6 : L'évolution de la température dans les rejets (zone sud).....	66
Tableau IV-7 : l'évolution de la matière en suspension dans les rejets (zone sud).....	67
Tableau IV-8 : l'évolution de NH_4^+ dans les rejets (zone nord)	68
Tableau IV-9 : l'évolution de NH_4^+ dans les rejets (zone sud)	69
Tableau IV-10 : l'évolution de l'azote Kjeldahl dans les rejets (zone nord)	70
Tableau IV-11 : l'évolution de l'azote Kjeldahl dans les rejets (zone nord)	71
Tableau IV-12 : l'évolution du phosphore dans les rejets (zone sud)	72
Tableau IV-13 : l'évolution de la DBO5 dans les rejets (zone nord)	74
Tableau IV-14 : l'évolution de la DBO5 dans les rejets (zone sud)	75
Tableau IV-15 : l'évolution de la DCO dans les rejets (zone nord)	76
Tableau IV-16 : l'évolution de la DCO dans les rejets (zone sud)	77
Tableau IV-17 : Le rapport de la biodégradabilité	78

Tableau IV-18 : Synthèse de calcul statistique des résultats de l'analyse physico-chimiques des eau résiduaires industrielles (FERTIAL-Annaba)	81
Tableau.V-1 : Evaluation de la masse des MES durant la période 2018-2019 (zone sud)	83
Tableau V-2 : Evaluation de la charge polluante mensuelle de l'azote total durant la période 2018-2019 (zone nord)	85
Tableau V-3 : Evaluation de la masse mensuelle de l'azote total durant la période 2018-2019 (zone sud)	86
Tableau V-4 : Evaluation de la masse valorisable mensuelle du phosphore durant la période 2018-2019 (zone sud).....	87
Tableau V-5 : Evaluation de la masse de la matière organique oxydable durant la période 2018-2019 (zone nord)	88
Tableau V-6 : Evaluation de la masse de la matière organique oxydable durant la période 2018-2019 (zone sud)	89
Tableau V-7 : Evaluation de la masse de la matière organique biodégradable 2018-2019 (zone nord).....	91
Tableau V-8 : Evaluation de la masse de la matière organique biodégradable durant la période 2018-2019 (zone sud)	92
Tableau.V-9 : Evaluation de la masse annuelle (2018-2019)	93
Tableau.V-10 : Evaluation globale de la masse annuelle (2018-2019)	96
Tableau VI-1 : corrélation entre les paramètres de la zone nord des données (2008 - 2019)	99
Tableau VI-2 : la variance des paramètres de la zone nord des données (2008 - 2019)	100
Tableau VI-3 : la variance-covariance des paramètres de la zone nord des données (2008 - 2019)	101
Tableau VI-4 : corrélation entre les paramètres de la zone sud des données (2008 - 2019).....	104
Tableau VI-5 : la covariance des paramètres de la zone sud des données (2008 - 2019)	105
Tableau VI-6 : la variance-covariance des paramètres de la zone sud des données (2008 - 2019)	106

Sommaire

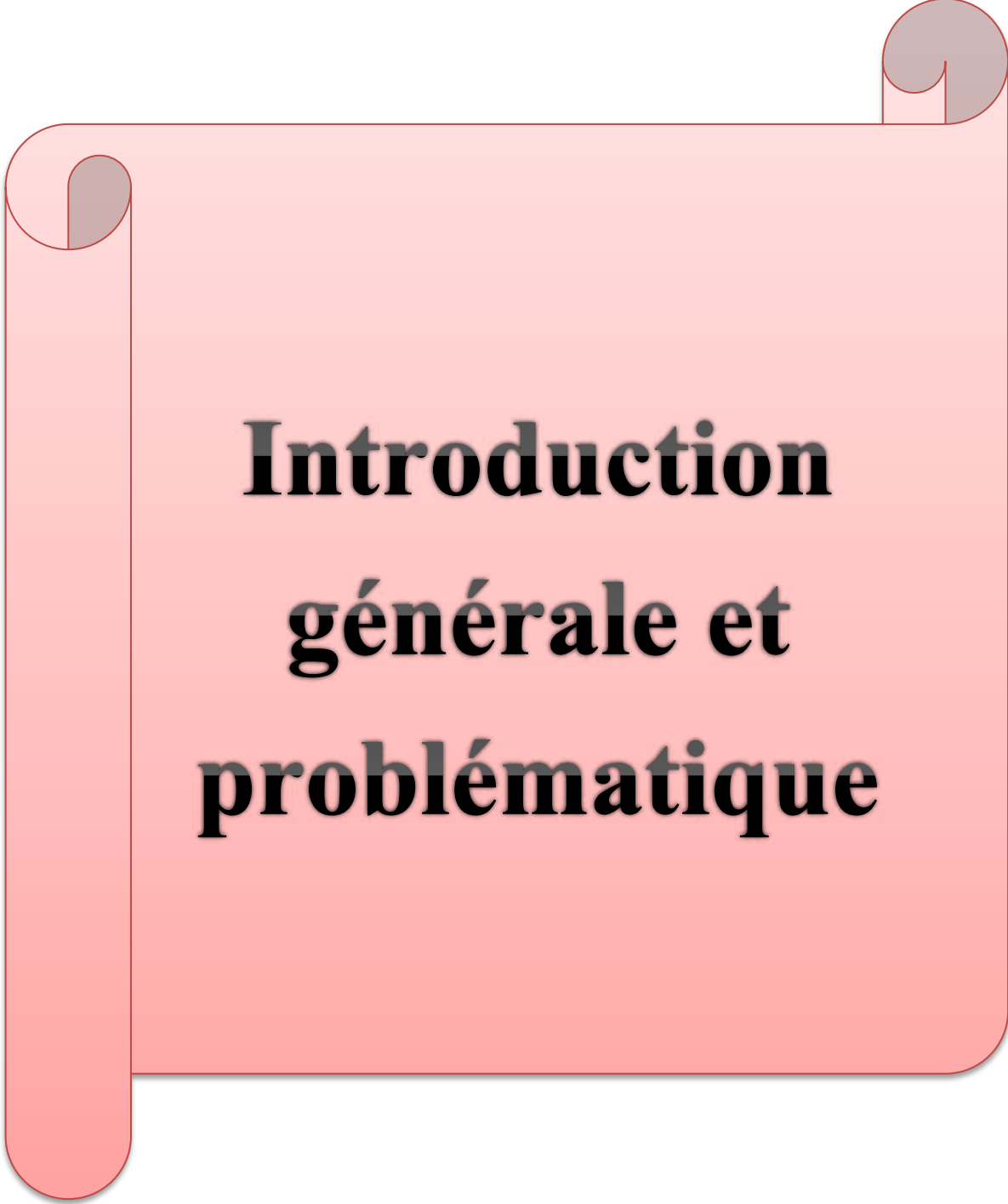
Résumé	I
Listes des abréviations	II
Listes des figures	III
Listes des tableaux	VI
Introduction générale	1
Chapitre I : Etat des connaissances sur les eaux résiduaires industrielles (ERI)	3
Introduction	3
I-1-L'origine des eaux usées industrielles	3
I-2-Classification des eaux résiduaires industrielles	4
I-3-Utilisations industrielles de l'eau	5
I-4-Caractéristiques des eaux usées	6
I-4-1-Paramètres physique	6
I-4-2-Paramètres organoleptiques	6
I-4-3-Paramètres chimiques	7
I-5-Les effluents industrielles	10
I-5-1-Les effluents industriels, c'est quoi ?	10
I-5-2-Pourquoi on porte une attention particulière aux effluents salins ?	11
I-5-3-Quel est l'impact des effluents salins quand ils sont rejetés tels quels dans les cours d'eau ?.....	11
I-5-4- Contexte réglementaire des effluents industriels	11
I-5-5-Conditions de rejet des effluents industriels	12
I-5-6-Nature des effluents	17
I-5-7-Origine des effluents	17
I-5-8-Characterisation générale des effluents	19
I-5-9-Nature des pollutions	19
I-6-Traitement des eaux résiduaires industrielles	20

I-6-1-Les méthodes classiques de traitements	20
I-6-2- Différentes filières ou chaînes de traitement	24
I-6-2-1-Principales filières de traitement des eaux résiduaires	21
I-6-2-2-Traitement de dégrossissage ou prétraitement	21
I-6-2-3-Traitement primaire	22
I-6-2-4-Traitement secondaire	22
I-6-2-5-Traitement tertiaire ou de finition	22
I-6-3-Filières de traitement des boues d'épuration	23
I-6-4-Principales opérations unitaires mises en œuvre	23
I-6-4-1-Traitements physiques	23
I-6-4-1-1-Traitements courants	23
I-6-4-2-Traitements chimiques	24
I-6-4-3-Traitements biologiques	25
I-6-4-3-1-Traitements biologiques aérobies	26
I-6-4-3-2-Traitements biologiques anaérobies	26
I-6-4-3-3-Traitements par voie biologique de l'azote et du phosphore	26
Conclusion	28
Chapitre II : les principes de la modélisation statistique par l'ACP.....	29
Introduction	29
II-1-Définition et domaines d'application de la statistique	29
II-1-2-La statistique descriptive	31
II-1-2-1- Généralités	31
II-1-2-2-Terminologie	31
II-2-L'analyse en composants principales ACP	32
II-2-1-Définition	32
II-2-2-Principe et objectif	33
II-2-2-1-Objectifs	34

II-2-3-Les étapes de l'ACP	34
II-2-4-Tableau de données	35
II-2-4-1-Représentation des individus	36
II-2-4-2-Représentation des variables	37
II-2-5-Choix d'une distance	37
II-2-6-Choix de l'origine	38
II-2-7-Choix de dimension	39
II-2-7-1-Part d'inertie	39
II-2-7-2-Règle de Kaiser	39
II-2-7-3-Éboulis	40
II-2-8-Interprétation d'une ACP	40
II-2-8-1-Choix du nombre d'axes à retenir	41
II-2-8-2-Construction des nuages de points projetés	41
II-2-8-3-Interprétation des axes	41
Conclusion	43
Chapitre III : Zone d'étude et méthodologie	44
Introduction	44
III-1-Site d'étude	44
III-2-Méthodologie d'étude	45
III-2-1-Echantillonnage des rejets	45
III-3-Techniques d'échantillonnage des rejets liquides	45
III-3-1-Définition du point de contrôle	45
III-3-2- Le prélèvement	45
III-3-3-Cadence de prélèvement	47
III-3-4-Conditions générales de l'échantillonnage	48
III-3-5-Mesure in situ	50
III-4-Les méthodes analytiques utilisées	51

III-4-1-Les analyses physico-chimique des rejets	51
III-4-1-1-Les matières en suspension	51
III-4-1-2-Les composés azotés (ammonium et azote Kjeldahl)	51
III-4-1-3-Le dosage de phosphore : dosage de phosphore par le molybdate d'ammonium, Norme ISO 6870-1998	54
III-4-1-4-La demande chimique en oxygène (DCO)	55
III-4-1-5-La demande biologique en oxygène (DBO5)	58
Conclusion	59
Chapitre IV : Exploration des séries chronologiques d'analyses de la qualité des ERI.....	60
Introduction	60
IV-1- Résultats et discussions	60
IV-1-1-Paramètres physico-chimiques	63
IV-1-1-1-PH	63
IV-1-1-2- Température	65
IV-1-1-3-Matières en suspension	67
IV-1-2- Paramètres azotés et phosphatés	68
IV-1-2-1- L'ion ammonium NH_4^+	68
IV-1-2-2- L'azote Kjeldahl	70
IV-1-2-3- Phosphore	72
IV-1-3- Paramètres de pollution organiques	73
IV-2- Evaluation de la pollution organique des eaux résiduaires industrielles	78
IV-3-Calcul statistique des résultats de l'analyse physico-chimiques	79
IV-3-1-pH	79
IV-3-2-Température	79
IV-3-3-Matières en suspension (MES)	79
IV-3-4-Demande chimique et biochimique en oxygène	80
IV-3-5-Ammonium NH_4^+	80

IV-3-6-Azote Kjeldahl	80
IV-3-7-Phosphore total	80
Conclusion	82
Chapitre V : Evaluation massique des espèces chimiques rejetées et quantification des co-fractions valorisables	83
Introduction	83
V-1-Evaluation de la charge valorisable des rejets liquides	83
V-1-1-La masse des MES	83
V-1-2-La masse d'azote total	84
V-1-3-La masse valorisable du phosphore	87
V-1-4-La masse de la matière organique oxydable (MO.O)	88
V-1-4-La masse de la matière organique biodégradable (MO.B)	90
V-2-Evaluation de la charge annuelle des ERI	93
V-3-Evaluation globale de la masse annuelle jetée dans la mer	95
Conclusion	97
Chapitre VI : Distribution spatiale des groupes de paramètres mise en évidence par l'ACP	98
Introduction	98
VI-1-Traitement statistique des données par Python	98
VI-1-1-Traitement statistique de la zone nord	99
VI-1-1-Traitement statistique de la zone sud	104
Conclusion	109
Conclusion Générale	110
Références bibliographiques	112
Annexe I, Annexe II, Annexe III	



**Introduction
générale et
problématique**

Introduction générale

Introduction générale :

Un approvisionnement adéquat en eau de bonne qualité est essentiel au développement continu de n'importe quelle société. Les données les plus récentes sur l'utilisation brute de l'eau indiquent que le prélèvement total d'eau croît de façon régulière. Les incertitudes que soulève l'avenir des ressources en eau accentuent ce défi en raison d'épisodes climatiques extrêmes et des changements du climat, d'une concurrence accrue pour l'accès à des ressources limitées en eau à l'échelle mondiale et d'une demande croissante pour ce qui est d'un meilleur contrôle de la pollution des eaux usées à l'appui d'une meilleure utilisation des eaux réceptrices.

Ces dernières années, la qualité des eaux dans le monde a connu une grande détérioration à cause des rejets industriels non contrôlés et non traités adéquatement et aussi l'utilisation intensive des engrais chimiques et pesticides en agriculture.

Ces effluents s'agissent du déversement direct ou indirect dans le milieu naturel aquatique de substances dont l'action, soit détruit le poisson, soit nuit à sa nutrition, à sa reproduction ou à sa valeur alimentaire. Il peut être considéré comme un délit. Ces derniers sont donc susceptibles d'en modifier la qualité de l'eau par une modification chimique et la rende impropre aux usages souhaités, les industriels occupent une place prépondérante. C'est en effet en tenant compte de leurs activités que des mesures de préservation de la ressource peuvent être prises. Inversement il est impératif pour l'industriel qui rejette des produits de respecter des normes sous peine de ne pouvoir exercer son activité. De nombreux travaux se sont aussi rapportés sur l'étude des différents effets des rejets industriels et urbains sur l'évolution de la qualité des eaux de surface et la pollution des écosystèmes aquatiques continentaux.

Au niveau de l'Est de l'Algérie, les activités industrielles sont en expansion et leurs déchets sont rejetés directement dans la mer sans traitement convenable, le complexe FERTIAL d'Annaba fait toujours partie de ces industries ou leurs rejets constituent un grand danger pour l'environnement, les modifications plus ou moins marquées sur les communautés vivantes, les polluants qu'ils transportent se retrouvent concentrés sur le littoral. Ces actions affectent directement la qualité de l'eau et provoquent des témoins de la qualité des eaux et peut servir ainsi comme indicateurs biologiques de la pollution.

L'objectif de cette étude est l'évaluation de la masse des espèces chimiques des eaux résiduaires et de quantifier les co-fractions valorisables de la zone industrielle FERTIAL d'Annaba et l'analyse des paramètres de cette pollution par des modèles statistiques.

Ce mémoire comporte deux parties principales :

I-Une partie bibliographie qui est composé de deux chapitres :

- Le premier chapitre explique spécifiquement les eaux résiduaires industrielles, leurs origines et caractéristiques...


Introduction générale

- Le deuxième chapitre de ce mémoire explicite les bases théoriques de la méthode statistique choisi dans notre étude.

II- Une partie expérimentale qui est composé de quatre chapitres :

- Le troisième chapitre présente d'une manière générale la zone d'étude et le dispositif expérimental tels que le matériel et les méthodes d'analyse utilisées.
- Le quatrième chapitre examine le rejet de l'année 2018/2019 par une étude statistique des paramètres physico-chimique des eaux résiduaires industrielles ;
- Le cinquième chapitre est une évaluation massive des espèces chimiques rejetées et quantification des co-fractions valorisables de l'année précédente ;
- Le sixième chapitre est une distribution spatiale des groupes de paramètres mise en évidence par un logiciel adéquat à base de l'ACP.

Enfin, nous terminons notre étude par une conclusion générale ou sont récapitulés les principaux résultats obtenus.



**Etude
bibliographique**

Chapitre I :
Etat des
connaissances sur
les eaux
résiduaires
industrielles
(ERI)

Chapitre I

Introduction :

L'industrie recouvre une gamme d'utilisations extrêmement variables, tant en quantité qu'en qualité. Par ailleurs, les exigences croissantes en matière de protection des ressources et de l'environnement (normes de rejet, taxes...) se conjuguent pour imposer aux industriels une gestion toujours plus rigoureuse de leur eau qui implique de plus en plus souvent des utilisations en cascade et/ou des systèmes de recyclage, soit internes à un atelier, soit au niveau de tout un site industriel. Ceci explique les très grandes variations des prélèvements d'eau notés d'un site à l'autre. [1]

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales. Ces eaux ont une grande variété et peuvent être toxiques pour la vie aquatique, ou pour l'homme.

Les eaux résiduaires sont celles qui ont été utilisées dans des circuits de réfrigération, qui ont servi à nettoyer ou laver des appareils, des machines, des installations, des matières premières ou des produits d'une usine, elles peuvent contenir des substances chimiques utilisées au cours des fabrications. [2]

Au niveau national, la part relative des différents secteurs est évaluée à 50% pour l'agriculture, 35% les rejets urbains et 15% pour l'industrie. Ces proportions varient selon les types de pollutions, la part d'origine industrielle étant par exemple plus élevée pour certains polluants toxiques. [3]

I-1-L'origine des eaux usées industrielles : [4]

Les déchets et les effluents industriels définissent largement la qualité et le taux de pollution de ces eaux usées. Les établissements industriels utilisent une quantité importante d'eau qui tout en restant nécessaire à leur bonne marche, n'est réellement consommée qu'en très faible partie le reste est rejeté. On peut néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils déversent :

- Pollution due aux matières en suspension minérales (Lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés....) ;
- Pollution due aux matières en solution minérales (usine de décapage, galvanisation...)
- Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier...)
- Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, porcherie, produits pharmaceutiques.....) ;
- Pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs des industries nucléaires....).

Les eaux résiduaires d'origine industrielle ont généralement une composition plus spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Indépendamment de la charge de la pollution organique ou minérale, de leur caractère putrescible ou non, elles peuvent

Chapitre I

présenter des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés. (RODIER, 2005).

I-2-Classification des eaux résiduaires industrielles : [5]

Pour l'application du règlement sur les ouvrages municipaux d'assainissement des eaux usées, on considère comme « apport industriel » les débits des effluents suivants :

- Eaux de procédés industriels provenant des secteurs industriels suivants :
 - Prospection ou mise en valeur des ressources, telles les ressources. minières, forestières, pétrolières ou gazières.
 - Industrie manufacturière ou de fabrication.
 - Industrie de transformation, y compris la transformation alimentaire.
 - Transport aérien ou maritime, y compris les opérations de nettoyage des conteneurs.
- Lixiviats des sites d'enfouissement.
- Effluent d'un site de traitement des boues ou de matières résiduelles.
- Rejets d'hôpitaux et de laboratoires, excluant les postes de soins infirmiers.

Les eaux usées industrielles peuvent comporter les flux suivants (chevalier, 1996) :

- Eaux usées sanitaires.
- Eaux de lavage des équipements.
- Eaux de refroidissement par contact.
- Eaux de purge de chaudières.
- Vidanges de réacteurs ou de tours.
- Vidanges de réservoirs ou de conduites.
- Drains de planchers.
- Eaux de lixiviation (digues ou amas extérieurs).

Comme nous l'avons vu, les rejets de ce type proviennent non seulement des établissements industriels, mais aussi des établissements commerciaux et institutionnels. Les termes « eaux usées industrielles » et « eaux usées non domestiques » seront utilisés comme synonymes. Alors, les eaux usées provenant de toute la classe des industries, des commerces et des institutions.

Chapitre I

I-3-Utilisations industrielles de l'eau : [1]

Tableau I-1 : principales utilisations industrielles de l'eau et sources d'eau possibles.

Utilisation		Sources d'eau acceptable (souvent après un traitement adéquat)
Eau de fabrications nobles	<ul style="list-style-type: none"> -Boissons gazeuses -Agroalimentaire -Papiers blancs -Textiles -Teintureries -Chimie 	<ul style="list-style-type: none"> Eau potable Eau de forage Eaux de surface peu polluées Eau dessalée Effluents après traitement poussée
Eau déminéralisée voire Ultrapure	<ul style="list-style-type: none"> -Pharmacie -Chaudières MP et HP -Préparation de bains divers -Rinçages en galvanoplastie -Eau ultrapure 	<ul style="list-style-type: none"> Eau de forage Eau de surface Eau dessalée Effluents après traitement poussé
Eau de refroidissement en circuit semi-ouvert	<ul style="list-style-type: none"> -Réfrigération atmosphérique 	<ul style="list-style-type: none"> Eau de surface pauvre en Cl⁻ Effluents après traitement tertiaire
Eau de refroidissement en circuit ouvert	<ul style="list-style-type: none"> -Condenseurs et échangeurs 	<ul style="list-style-type: none"> Eau de surface Eau de mer Effluents après traitement primaire au physico-chimique
Eau de lavage de gaz ou produits de transport	<ul style="list-style-type: none"> -Lavage gaz métallurgique et incinération -Lavage charbon 	<ul style="list-style-type: none"> Eau de surface tamisée et prédécantée Effluents prétraités

Chapitre I

I-4-Caractéristiques des eaux usées : [4] [6] [7]

Dans ce sous chapitre nous passerons en revue les principaux paramètres physico-chimiques analysés au cours de la partie expérimentale ainsi que les paramètres bactériologiques les plus rencontrés dans les eaux usées. [4]

I-4-1-Paramètres physique :

- **La température :**

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, ...etc. (RODIER et AL, 2005). [4]

La température agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau. [6]

- **Les matières en suspension (MES) :**

Selon REJSEK (2002), la pollution particulaire est due à la présence de particules de grande taille supérieure à 10 µm, en suspension dans l'eau, et que l'on peut assimiler aux matières en suspension (MES). En fait, les matières en suspension ne sont des particules solides véritablement en suspension que dans des conditions moyennes d'écoulement des effluents correspondant à une vitesse minimale de 0,5 m/s. En fonction de la taille des particules, on distingue les matières grossières ou décantables (diamètre supérieur à 100 µm) et les matières en suspension. On peut également prendre en compte une partie des matières colloïdales, de dimension inférieure, qui constituent la limite entre la phase solide et la phase dissoute (entre 1 et 10⁻² µm). [4]

I-4-2-Paramètres organoleptiques :

- **La turbidité :**

Selon REJSEK (2002), la turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. Les unités utilisées pour exprimer la turbidité proviennent de la normalisation ASTM (American Society for Testing Material) qui considère que les trois unités suivantes sont comparables :

Unité JTU (Jackson Turbidity Unit) = unité FTU (Formazine Turbidity Unit) = unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit). [4]

La turbidité caractérise le degré de non transparence de l'eau, elle traduit la présence des MES. [6]

- **La couleur :**

Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes sont peu observées alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont absorbées très rapidement (REJESK, 2002).

Chapitre I

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. (RODIER et Al, 2005). [4]

La couleur des ERI est en général grise, signe de présence de matières organiques dissoutes, de MES, du fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde colloïdale, du fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes. [6]

I-4-2-Paramètres chimiques :

- **Le potentiel hydrogène :**

Sa valeur caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique. La valeur du pH altère la croissance des microorganismes existant dans l'eau (leur gamme de croissance est comprise entre 5 et 9). [6]

- **La conductivité :**

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. (REJSEK, 2002). La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm^2 .

L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m). [4]

$$1 \text{ S/m} = 10^4 \mu\text{S/cm} = 10^3 \text{ mS/m. (RODIER, 2005)(1)}$$

La mesure de la conductivité de l'eau sous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium, ...). Elle est plus importante lorsque la température de l'eau augmente. La conductivité électrique d'une eau usée dépend essentiellement de la qualité de l'eau potable utilisée et du régime alimentaire de la population et des activités industrielles. [7]

- **L'oxygène dissous :**

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques.

La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu.

La concentration en oxygène dissous est exprimée en $\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ (REJSEK, 2002). [4]

- **La demande chimique en oxygène (DCO) :**

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quelque soit leur origines organique ou minérale.

Chapitre I

La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de l'oxydation. (RODIER, 2005).

La DCO est la concentration, exprimée en mg.L^{-1} , d'oxygène équivalente à la quantité de dichromates consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies par la norme. (REJSEK, 2002). [4]

- **La demande biochimique en oxygène (DBO) :**

Pratiquement, la demande biochimique en oxygène devrait permettre d'apprécier la charge du milieu considéré en substances putrescibles, son pouvoir auto-épuration et d'en déduire la charge maximale acceptable, principalement au niveau des traitements primaires des stations d'épuration. (RODIER, 2005).

Selon REJSEK (2002), la demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO_5) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies présents dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques. [4]

- **L'azote :**

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniaque, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total. (RODIER, 2005). [4]

Un certain nombre de termes doivent être précisés :

- Azote global

L'azote total comprend l'ensemble des formes azotées, aussi bien minérales qu'organiques (exprimée en mg N/l).

L'azote organique se transforme en azote ammoniacal avec ou sans oxygène dissous. En station ou dans les réseaux d'assainissement : l'ammonification la transformation de l'azote ammoniacal en nitrite puis en nitrate s'effectue en présence d'oxygène sous l'action de bactéries nitrifiantes (autotrophe), cette transformation est appelée la nitrification.

- Azote KJELDAHL

L'azote KJELDAHL correspond à celui qui se trouve sous la forme de composés azotés organiques et d'ammonium. Il ne comprend donc pas des composés oxydés de l'azote tels les nitrates et nitrites, ni certaines autres formes, oximes, hydrazine, hétérocycles.

L'expression « azote KJELDAHL » trouve son origine dans le nom de celui qui a mis au point la méthode universelle utilisée pour doser les fractions azotées concernées.

- Azote minérale

L'azote minérale est constitué par l'ammoniaque, les nitrites, les nitrates.

Chapitre I

- Azote organique

L'azote organique est essentiellement formé par des protéines, des polypeptides, de l'urée, des acides aminés.

- Azote ammoniacal

L'azote ammoniacal représente l'azote sous la forme NH_4^+ . [4]

- **Les nitrates :**

Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg /L dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines. La nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence et l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates. La teneur en nitrates est en augmentation ces dernières années, de l'ordre de 0,5 à 1 mg/l/an, voire 2 mg/l/an dans certaines régions. Cette augmentation a plusieurs origines :

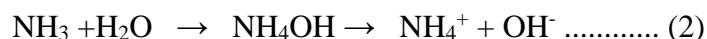
- Agricoles : agriculture intensive avec utilisation massive d'engrais azoté ainsi que rejets d'effluents d'élevage. Cette source représente les 2/3 de l'apport en nitrates dans le milieu naturel
- Urbaine : rejet des eaux épurées des stations d'épuration où l'élimination de l'azote n'est pas totale et qui peuvent rejeter des nitrates ou des ions ammonium qui se transformeront en nitrates dans le milieu naturel.
- Cette source représente les 2/9 des apports ;
- Industrielle : rejet des industries minérales, en particulier de fabrication des engrais azotés. Cette source représente 1/9 des apports. (REJSEK, 2002). [4]

- **L'azote ammoniacal :**

Pour désigner l'azote ammoniacal, on utilise souvent le terme d'ammoniaque qui correspond aux formes ionisées (NH_4^+) et non ionisées (NH_3) de cette forme d'azote.

L'ammoniaque constitue un des maillons du cycle de l'azote. Dans son état primitif, l'ammoniac (NH_3) est un gaz soluble dans l'eau, mais, suivant les conditions de pH, il se transforme soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée (NH_4^+), (REJSEK ; 2002). [4]

Les réactions réversibles avec l'eau sont fonction également de la température et sont les suivantes :



- **Le Phosphore :**

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test spectrophotométrie sont considérés comme étant des orthophosphates. L'hydrolyse en milieu

Chapitre I

acide fait apparaître le phosphore hydrolysable et minéralisation, le phosphore organique. Chaque fraction (phosphore en solution ou en suspension) peut être séparée analytiquement en orthophosphates, phosphore hydrolysable et phosphore organique. (RODIER ;2005). [4]
Suivant les cas, la teneur en phosphates peut être exprimée en mg/L de PO₄ ou de P₂O₅

$$1\text{mg/L PO}_4 = 0,747 \text{ mg/L P}_2\text{O}_5 = 0,326 \text{ mg/L P} \dots\dots\dots(3)$$

On distingue le phosphore organique (résidu de la matière vivante) et le phosphore minéral ou les orthophosphates (PO₄³⁻) (agent fertilisant). Ces différents composés sont soit solubilisés, soit fixés sur les matières en suspension, la présence du phosphore entraîne un risque d'eutrophisation du cours d'eau ou du lac, c'est-à-dire que celui-ci peut se voir envahi par un développement excessif de la population algale.

On distingue :

- ✓ Le phosphore organique : résidu de la matière vivante.
- ✓ Le phosphore minéral : essentiellement constitué d'orthophosphates (PO₄³⁻) qui représente 50% de la totalité contenue dans les eaux usées urbaines. Les orthophosphates constituent, au même titre que les nitrates, des agents fertilisants susceptibles de provoquer le phénomène d'eutrophisation. [7]

- **Le sulfate :**

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/L, mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à 300 mg/L) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé. La teneur en sulfates des eaux doit être reliée aux éléments alcalins et alcalinoterreux de la minéralisation. Leur présence dans l'eau est généralement due à des rejets en provenance d'ateliers de blanchiment (laine, soie, etc.), d'usines de fabrication de cellulose (pâte à papier, etc.) et d'unités de déchloration. Sont utilisées, par ailleurs, les propriétés réductrices des sulfites dans les eaux de chaudières pour éviter la corrosion liée à la présence d'oxygène dissous ; l'injection dans le circuit se fait habituellement en continu à la concentration de 20 mg/L. Cependant un excès d'ions sulfites dans les eaux de chaudières peut avoir des effets néfastes car il abaisse le pH et peut alors développer la corrosion. En cas de rejet dans l'environnement, les sulfites se combinent à l'oxygène en donnant des sulfates. (RODIER, 2005). [4]

I-5-Les effluents industrielles :

I-5-1-Les effluents industriels, c'est quoi ? : [1] [8] [9]

« Ce sont des rejets liquides issus des procédés d'extraction ou de transformation des matières premières en vue de fabriquer des produits industriels ou des biens de consommation. Ces eaux sont extrêmement hétérogènes. Leur quantité et leur qualité varient en fonction du procédé mis en œuvre, du domaine industriel. Elles présentent souvent un large spectre de polluants chimiques : composés à l'état solide ou dissous, matières organiques et minérales,

Chapitre I

métaux, hydrocarbures, solvants, polymères, huiles, graisses, sels, ... à divers niveaux de toxicité. Cette grande diversité requiert une approche spécifique pour chaque type d'effluents. C'est du travail sur mesure ! Nous devons être capables de fournir pour chaque type d'effluent le procédé remplissant les critères de performance et de fiabilité qui permettent de répondre aux exigences réglementaires de rejet et de sécurité, aux contraintes économiques, et parfois également aux contraintes plus spécifiques de l'industriel, telles que la place disponible. Traiter une eau de production sur une plate-forme pétrolière en mer du Nord ne se pose pas dans les mêmes termes que pour une raffinerie qui dispose de plusieurs hectares de terrain ! Il nous faut ajuster les solutions à chaque problématique. Les travaux de recherche sont donc menés selon deux axes principaux : comment mieux caractériser les effluents et comment mieux les traiter ensuite. » [8]

I-5-2-Pourquoi on porte une attention particulière aux effluents salins ?

« Beaucoup d'industries génèrent des effluents salins. Ils tiennent, par exemple, une place importante dans les effluents de la chimie, de l'agro-alimentaire (salaisons) et des tanneries. Ils sont aussi présents au niveau des centres de stockage de déchets (lixiviats). En outre, les effluents salins sont complexes à traiter : le plus souvent, ils contiennent une forte proportion de sels – tels sulfates, chlorures ou sodium – et des matières organiques. Ce mélange crée la difficulté. Les technologies de traitement actuellement utilisées sont souvent performantes pour une nature particulière de polluants, saline ou organique. Le défi est de parvenir à associer des procédés pour traiter les deux types de pollution, sans nuire à leur efficacité respective. Par exemple, la présence de sels peut perturber fortement le fonctionnement des procédés biologiques appliqués aux effluents organiques. D'où l'importance d'améliorer sans cesse nos connaissances dans le traitement des effluents salins, afin de développer des procédés toujours plus performants. » [8]

I-5-3-Quel est l'impact des effluents salins quand ils sont rejetés tels quels dans les cours d'eau ?

« Les effluents salins ne renvoient pas l'image de toxicité qui est attachée à d'autres composés, comme le cyanure par exemple. Mais, lorsqu'ils sont fortement concentrés, ils peuvent conduire au niveau du point de rejet à un phénomène de « choc osmotique », c'est-à-dire à de fortes perturbations qui influent sur la faune et la flore locales. Bien sûr, ce phénomène s'atténue rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point de rejet par diminution de la concentration. Mais Il est aussi possible que dans des contextes hydrogéologiques particuliers, le rejet de ces effluents provoque une « salinisation » d'aquifères et produise des eaux saumâtres. » [8]

I-5-4- Contexte réglementaire des effluents industriels :

Le rejet des effluents industriels est strictement encadré et réglementé et afin de contrôler et d'estimer l'évolution des principaux rejets industriels, l'arrêté ministériel du 2 février 1998 définit les modalités de surveillance de ces rejets. Une auto surveillance est donc imposée aux plus gros pollueurs considérant que ces industriels sont responsables du contrôle de la qualité de leurs rejets. Un arrêté préfectoral prescrit la nature et la fréquence des mesures à réaliser par l'exploitant lui-même, tout en suivant les normes de prélèvement et d'analyse des échantillons. L'exploitant doit s'assurer du bon fonctionnement de ses matériels d'analyse en

Chapitre I

faisant effectuer périodiquement ces mêmes mesures par un organisme extérieur compétent. L'inspecteur des installations classées peut également procéder à des contrôles inopinés des rejets par un organisme indépendant (DRIRE92, 2004). Cette auto surveillance permet à l'industriel de contrôler l'efficacité de ses systèmes de prévention ou de traitement et de réagir rapidement en cas de dérive. Grâce à cet outil de suivi de l'évolution des rejets de la DRIRE, on a pu prouver par expérience que cette pratique conduit à une amélioration des rejets et de la prévention des pollutions, dans le domaine de l'eau principalement. Il faut noter que l'article 18 de l'arrêté du 2 février 1998 intègre la notion de transfert de pollution qu'il faut éviter. Ainsi, les procédés de traitement retenus ne doivent pas être susceptibles de conduire à ce phénomène lors de l'épuration des effluents. Et afin de respecter les valeurs limites imposées au rejet, elles doivent être conçues de manière à faire face aux variations de débit, de température ou de composition des effluents à traiter en particulier à l'occasion de leur démarrage ou arrêt (DRIRE, 2005). [9]

I-5-5-Conditions de rejet des effluents industriels :

Ce sont les arrêtés du 1^{er} mars 1993 et du 25 avril 1995 (complétant le premier) sur les rejets des établissements classés et la circulaire du 26 mars 1993 qui procèdent à la définition des valeurs limites de rejet et des conditions de rejet et des modalités du contrôle et de la surveillance des rejets.

Les caractéristiques générales des rejets en eaux superficielles sont données dans le tableau 2-I.

La maîtrise des pollutions chroniques passe par la limitation des rejets et par la surveillance de leurs caractéristiques tant physiques que chimiques (valeurs limites).

La valeur limite est définie comme une valeur moyenne sur 24 heures. Il y a respect de la valeur limite quant au maximum 10% des résultats la dépassent, tout en restant inférieurs à deux fois la valeur limite :

- dans le cas d'une mesure en continu, ces 10 % sont comptés sur une base mensuelle ;
- dans le cas d'une mesure instantanée, aucun résultat ne doit être supérieur à deux fois la valeur limite.

Le tableau I-2 résume les valeurs limites de rejet dans les eaux superficielles pour :

- la pollution particulière (matières en suspension totales : MEST) ;
- la pollution organique (demande chimique en oxygène DCO et demande biologique en oxygène DBO₅) ;
- les polluants à l'origine de l'eutrophisation des rivières et lacs (azote global et phosphore total).

Chapitre I

Tableau I-2 : Caractéristiques des rejets en eaux superficielles.

Débit (m3/j)	<p>Cas général : le débit maximal journalier est fixé par arrêté préfectoral. Cas particulier : lorsque le débit maximal journalier autorisé dépasse le 1/10 du débit nominal du cours d'eau ou s'il est supérieur à 100 m3/j, l'arrêté d'autorisation fixe également une limite à la moyenne mensuelle du débit journalier ainsi qu'une valeur limite instantanée.</p>		
pH		Minimal	Maximal
	Cas général	5.5	8.5
	Cas particuliers :		
	-neutralisation chimique.....	5.5	9.5
	- eaux réceptrices soumises au décret no 91.1283 du 9/12/91 :		
	• eaux salmonicoles, cyprinicoles et de baignade.....	6	9
	• eaux conchylicoles.....	7	9
	• eaux alimentaires.....	5.5	8.5
Température		Élévation maximale de température (°C)	Température induite maximale (°C)
	Cas général	T effluent < 30	T effluent<30
	Cas particulier : eaux réceptrices soumises au décret N°91-1283 du 19/12/91 (en °C)		
	- eaux salmonicoles.....	1.5	21.5
	-eaux cyprinicoles.....	3	28
	-eaux conchylicoles	2	-
	-eaux alimentaires	-	25

Chapitre I

Couleur	Modification du milieu récepteur	≤ 100 mg Pt/L
Salinité	Eaux réceptrices soumises au décret N° 91.1283 du 19/12/91 de type conchylicole.....	Augmentation $\leq 10\%$

Tableau I-3 : valeurs limites de rejet dans les eaux superficielles.

Polluants	Flux journalier autorisé (Kg/j)		Valeur limite de rejet Cas général (mg/l)	
	Cas général	Eaux réceptrices concernées par le décret N° 91.1283	Moyenne mensuelle	Moyenne sur 24 h
MEST	≤ 15	.....	.....	100
	> 15	.....	.....	35
DBO₅	≤ 30	≤ 15	.....	100
	> 30	> 15	.....	30
DCO	≤ 100	≤ 50	.....	300
	> 100	> 50	.....	125
Azote global	≤ 50	.....	30	.....
Phosphore total	≥ 15	.....	10	.....

❖ Remarque :

Des valeurs limites différentes peuvent être fixées par arrêté préfectoral dans les cas spécifiés suivants :

- pour les MEST, DBO₅, DCO :

Chapitre I

- si les eaux réceptrices sont soumises au décret N° 91.1283 et sont de type conchylicole,
- si une valeur limite exprimée en flux spécifique existe,
- si le rendement de la station d'épuration de l'installation est supérieur à 95 % pour la DCO, la DBO5 et la MEST,
- si le rendement de la station d'épuration est supérieur à :

DCO 85 % et 300 mg/L

DBO5 90 % et 100 mg/L

MEST 90 % et 100 mg/L

- et si la concentration reste inférieure à :

DCO 85 % et 300 mg/L

DBO5 90 % et 100 mg/L

MEST 90 % et 100 mg/L

- pour l'azote global : si le rendement en azote de la station d'épuration est supérieur à 80 % pour une installation nouvelle, 70 % pour une installation existante ;
- pour le phosphore total : si le rendement de la station d'épuration de l'installation en phosphore est supérieur à 90 %.

Tableau I-4: rejet en zone sensible.

Polluants	Flux journalier autorisé (Kg/j)	Valeur limite de rejet (mg/l)	Remarque
	Eaux réceptrices concernées par les directives CEE N ^{OS} 91.271 et 91.676	Cas général Moyenne mensuelle	Des valeurs limites différentes peuvent être fixées par arrêté préfectoral dans les cas suivants :
Azote global	≥ 150	15	si le rendement en azote de la station d'épuration est supérieur à 80 %
	≥ 300	20	

Chapitre I

Phosphore total	≥ 40	2	si le rendement de la station d'épuration de l'installation en phosphore est supérieur à 90%
	≥ 80	1	

Tableau I-5 : Valeurs limites de rejet dans les eaux superficielles pour la micropollution minérale et organique.

Polluants	Flux journalier autorisé (g/j)	Valeurs limites de rejet (mg/L)	
		Cas général	Cas particulier
Indice phénol	> 3	0.3	
Phénol	> 1	0.1	
Chrome hexavalent	> 1	0.1	
Cyanures	> 1	0.1	
Arsenic et composés	> 1	0.1	
Pb et composés	> 5	0.5	
Cu et composés	> 5	0.5	1
Cr et composés	> 5	0.5	1.5
Ni et composés	> 5	0.5	2

Chapitre I

Zn et composés	> 20	2	
Mn et composés	> 10	1	
Sn et composés	> 20	2	
Fe, Al et composés	> 20	5	7
Composés organiques du chlore, AOX	> 30	5	
Hydrocarbures totaux	> 100	10	
Fluor et composés	> 150	15	

I-5-6-Nature des effluents :

Alors que les rejets domestiques présentent des caractéristiques relativement similaires, l'extrême diversité des eaux résiduaires industrielles (ERI) nécessite une investigation propre à chaque type d'industrie et souvent le recours à des procédés spécifiques.

Outre les données analytiques indispensables, il est fondamental d'être bien informé sur les procédés de fabrication et l'organisation des circuits pour comprendre les besoins et décider d'un traitement satisfaisant. [1]

I-5-7-Origine des effluents :

Quatre grandes catégories de rejet peuvent être distinguées dans l'industrie [1] :

- **Effluents de fabrication**

La plupart des procédés conduisent à des rejets polluants qui proviennent du contact de l'eau avec des gaz, liquides ou solides.

Chapitre I

Les rejets sont soit continus, soit discontinus. Ils peuvent même n'être produits que durant quelques mois par an (campagne dans l'industrie agroalimentaire : deux mois en sucrerie de betteraves par exemple).

Généralement, les flux de pollution sont connus si les fabrications sont régulières, mais si les industries travaillent par campagnes spécifiques (chimie de synthèse, pharmacie, parachimie) l'analyse des rejets est plus difficile, ceux-ci évoluant constamment.

La présence de bassins d'homogénéisation est donc indispensable, ils servent également à alimenter les traitements, en particulier biologiques, en cas d'arrêt de production.

- **Effluents particuliers**

Certains effluents sont susceptibles d'être ségrégués :

- Soit pour subir un traitement spécifique avec éventuellement récupération de matières premières et/ou d'eau recyclable en fabrication ;
- Soit dirigés vers un bassin de stockage pour être réinjectés à débit pondéré dans le circuit de traitement (au besoin après prétraitement).

Tel est le cas des :

- Bains de décapage et galvanoplastie ; soudes usées ; eaux ammoniacales de cokerie ;
- Condensats de papeterie, « eaux mères » des industries agroalimentaires et chimiques ;
- Rejets toxiques et rejets concentrés ;

- **Effluents utilisés**

- Eaux vannes (cantines...) ;
- Eaux de chaufferie (purge chaudière, éluats de régénération) ;
- Boues du traitement des eaux d'appoint ;
- Purges d'eaux de réfrigération.

- **Rejets occasionnels**

Ceux-ci ne doivent pas être oubliés, ils peuvent correspondre :

- A des fuites accidentelles de produits lors de leur manutention ou de leur stockage ;
- A des eaux de lavage de sols ou d'outils de production ;
- A des eaux polluées, dont celles d'orage qui peuvent causer aussi une surcharge hydraulique.

Souvent de tels effluents doivent pouvoir être dirigés vers un bassin « d'observation ».

Chapitre I

I-5-8-Caractérisation générale des effluents :

Pour la bonne définition d'une station de traitement d'eaux résiduaires, il est nécessaire de pouvoir disposer des éléments suivants :

- Fabrication types, capacités et cycles, matières premières consommées ;
- Composition de l'eau d'appoint à l'usine ;
- Possibilité de séparation des rejets, et/ou de recyclage ;
- Volumes journaliers d'effluents par catégories ;
- Débits horaires moyens et maximaux (durée et fréquence par catégories) ;
- Flux de pollution moyen, maximal (fréquence et durée) par catégorie de rejet et pour une pollution spécifique de l'industrie considéré.

Il est souvent utile d'être informé d'une pollution secondaire, même occasionnelle, pouvant perturber gravement le fonctionnement de certains organes des équipements de traitement (colles, goudrons, fibres, huiles, sables, toxiques,...).

Dans le cadre de l'étude d'une usine nouvelle, ces données, recueillies après l'analyse des fabrications, sont à comparer aux données provenant d'usines existantes similaires.

La connaissance de la composition de l'eau d'appoint est souvent nécessaire. [1]

I-5-9-Nature des pollutions :

Les apports significatifs de pollution énumérés ci-après sont classés en fonction des modes de traitement dont ils sont justiciables :

- **Eléments insolubles séparables physiquement avec ou sans floculation**
 - Matières flottantes (graisses, hydrocarbures aliphatiques, goudrons, huiles organiques, résines...) ;
 - Matières en suspension (sables, oxydes, hydroxydes, pigments, soufre colloïdal, latex, fibres, adjuvants de filtration...).
- **Eléments organiques séparables par adsorption**
 - Colorants, détergents, composés phénolés, dérivés nitrés, dérivés chlorés ;
- **Eléments séparables par précipitation**
 - Métaux : Fe, Cu, Ni, Al, Hg, Pb, Cr, Cd, Ti, Be, précipitables dans une certaine zone de pH, sulfures ;
 - Anions: PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , F^- .
- **Eléments séparables par dégazage ou strippage**
 - H_2S , NH_3 , SO_2 , CO_2 , phénols, hydrocarbures légers ou aromatiques, dérivés chlorés.
- **Eléments pouvant nécessiter une réaction d'oxydoréduction**
 - CN, Cr(VI), S^{2-} , Cl_2 , NO_2^- .
- **Acides minéraux et bases**
 - Acides chlorhydrique, nitrique, sulfurique et fluorhydrique ;
 - Bases diverses.

Chapitre I

- **Eléments concentrables par échange d'ions ou par osmose inverse**
 - Radionucléides tels que I*, Mo*, Cs* ;
 - Sels d'acides et de bases forts, composés organiques ionisés (échange d'ions) ou non (osmose inverse).
- **Eléments biodégradables**

Par exemple sucres, protéines, phénols. Après acclimatation, certains composés organiques tels que formol, aniline, détergents et même hydrocarbures aromatiques peuvent être biodégradés ainsi que certains composés minéraux ($S_2O_3^{2-}$, SO_3^{2-}).

- **Eléments oxydables par oxydant fort (O_3 , $O_3 + H_2O_2$)**

Nombreux composés organiques plus ou moins adsorbables : pesticides, composés macromoléculaires, HPA, PCB..., détergents.

- **Coloration**

Les effluents industriels peuvent être fortement colorés. Cette coloration est due à des colloïdes (pigments, sulfures) ou à des substances dissoutes (matières organiques, dérivés nitrés).

Sur le **plan analytique**, il faut noter :

- Le rapport entre DCO et DBO_5 des ERI est souvent très différent de celui des ERU. Il évolue aux divers stades du traitement et le rapport final peut être supérieur à 10 ;
- La présence de toxiques très actifs peut masquer la présence de matières biodégradables et fausser gravement la mesure de la DBO_5 « potentielle ».

I-6-Traitement des eaux résiduaires industrielles : [5] [10]

La filière de l'épuration des eaux usées recommande différentes techniques à divers niveaux technologiques souvent très élaborées ceci est illustré comme étant des méthodes classiques de traitement ; ainsi que de nouvelles techniques visant la protection de l'environnement et la sauvegarde du milieu naturel ont apparus celle-ci est démontré sous le vocable de lagunage ou phytoépuration. [5]

I-6-1-Les méthodes classiques de traitements : [5]

La ligne de traitement complète des eaux résiduaires peut être schématiquement scindée en deux filières :

- La filière eau dans laquelle l'eau est débarrassée de tous les polluants avant son rejet dans le milieu naturel ;
- La filière boue dans laquelle les résidus générés par la filière eau sont traités et déshydratés avant leur évacuation.

Chapitre I

La filière eau comprend généralement :

- Un prétraitement pour l'élimination des objets de taille comprise entre 0,1 et 50 mm (dégrillage, tamisage), des graisses et du sable,
- Un traitement primaire pour l'élimination des matières en suspension facilement décantables,
- Un traitement secondaire composé d'un réacteur biologique pour l'élimination de la pollution biodégradable organique (DBO_5) ou minérale (NH_3 , NO_3^- , P).
- Certaines stations sont également équipées d'un traitement tertiaire pour l'élimination des microorganismes ou du phosphore résiduel.

Les boues provenant du décanteur primaire (boues primaires) et du traitement biologique (boues biologiques) seront ensuite traitées et conditionnées sur la filière boues. (GROSCLAUDE, 1999).

I-6-2- Différentes filières ou chaînes de traitement : [10]

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargées de matières minérales ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certaines peuvent avoir un caractère toxique.

En fonction des caractéristiques physico-chimiques des effluents à traiter et du degré d'épuration visé, on est conduit à concevoir différentes chaînes de traitement de l'eau et des boues.

On peut considérer, d'une manière générale, que l'épuration amènera toujours à mettre en œuvre des procédés :

- de séparation et d'élimination des matières en suspension ;
- d'élimination des matières en solution, dont une certaine proportion pourra être convertie en matières en suspension, et éliminée avec ces dernières.

I-6-2-1-Principales filières de traitement des eaux résiduaires :

On distingue classiquement la succession des stades de traitements suivants :

I-6-2-2-Traitement de dégrossissage ou prétraitement :

Il a pour objet de séparer les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures de traitement. Il comprend les opérations de dégrillage, tamisage, dessablage et déshuilage. Pour les rejets industriels, il est souvent souhaitable d'assurer leur homogénéisation de composition au niveau d'un bassin tampon de tête, qui permet par ailleurs d'éviter les variations du débit hydraulique et d'assurer si nécessaire une pré neutralisation.

Le prétraitement existe quelle que soit la filière utilisée, mais peut être réduit dans certains cas au simple dégrillage.

Chapitre I

I-6-2-3-Traitement primaire :

C'est une séparation physique, liquide-solide, dont l'objectif est de retenir le maximum de matières en suspension présentes dans les eaux usées. Les matières en suspension que l'on peut habituellement éliminer par décantation font l'objet classiquement du traitement primaire. La clarification globale des rejets nécessite l'élimination complémentaire de la pollution particulaire colloïdale ou finement dispersée, qui peut être obtenue moyennant l'utilisation de réactifs chimiques lors d'un traitement par voie physico-chimique qui implique la mise en œuvre d'une coagulation-floculation en amont d'une séparation solide-liquide par décantation ou flottation. Certains types de stations ne comportent pas de traitement primaire.

I-6-2-4-Traitement secondaire :

Il fait généralement appel aux procédés biologiques dans lesquels on fait consommer la plus grande partie des matières organiques présentes dans les eaux usées par des bactéries aérobies ou anaérobies.

Les procédés le plus couramment mis en œuvre pour la dépollution des rejets urbains et industriels sont du type aérobie (présence d'air ou d'oxygène).

On distingue :

- Les procédés aérobies utilisant une culture bactérienne libre en suspension dans l'eau à traiter (épuration par boues activées, lagunage naturel et aéré) ;
- Les procédés aérobies utilisant une culture bactérienne fixée sur un support (épuration par lits bactériens ou par biofiltration).

Notons que l'élimination de la pollution organique concentrée de certains rejets industriels biodégradables fait l'objet de plus en plus de l'application de procédés d'épuration anaérobie de méthanisation.

I-6-2-5-Traitement tertiaire ou de finition :

Dans le vocabulaire courant de l'épuration, ce terme désigne un traitement complémentaire permettant d'obtenir une qualité d'effluent traité supérieure à celle obtenue par les procédés biologiques classiques.

Il s'agit en fait d'affiner l'eau en poussant l'épuration le plus loin possible avec la possibilité de viser deux objectifs différents :

- L'amélioration des performances sur les paramètres classiques (MES, DBO₅, DCO) : le traitement tertiaire est alors un affinage qui peut être obtenu par différentes techniques : micro tamisage, filtration sur sable, biofiltration ou lagunage, adsorption sur charbon actif...
- L'action spécifique sur un paramètre qui n'est que peu ou pas touché par les traitements classiques : c'est le cas de la désinfection, par laquelle on s'attache à réduire la pollution bactérienne, ou des procédés visant l'élimination des éléments

Chapitre I

nutritifs (azote ou phosphore) facteurs d'eutrophisation, par des traitements biologiques (nitrification et dénitrification de l'azote) ou physico-chimiques (précipitation du phosphore).

I-6-3-Filières de traitement des boues d'épuration :

C'est malheureusement une évidence, la quasi-totalité des procédés d'épuration appliqués aux effluents urbains industriels, qu'ils soient biologiques ou physico-chimiques, conduisent à la concentration des polluants sous la forme de suspensions aqueuses ou boues.

Une filière de traitement et d'élimination finale des boues [9] est constituée par un enchaînement d'opérations élémentaires assurant une fonction bien déterminée et au niveau de laquelle il existe un grand nombre d'options possibles, parmi lesquelles doit être fait le meilleur choix en tenant compte des contraintes amont (nature, caractéristiques et quantité de boues) et aval (possibilités locales d'élimination finale) et, cela, au meilleur coût. Il est important de noter que, si les solutions de traitement envisageables pouvaient varier, leurs objectifs finaux resteraient cependant toujours les mêmes :

- Réduction des nuisances olfactives, c'est-à-dire du pouvoir fermentescible des boues, ce qui implique leur stabilisation biologique (digestions anaérobie et aérobie) ou chimique ;
- Réduction du volume des boues afin de faciliter leur manutention et de diminuer les frais pour leur élimination finale ; on opère généralement en deux stades afin d'obtenir une élimination plus ou moins poussée de l'humidité des boues :
 - **1er stade** : épaissement (décantation – flottation – centrifugation),
 - **2ème stade** : déshydratation par drainage naturel ou essorage mécanique selon les principes de la centrifugation (décanteuses continues) ou de la filtration (filtres sous vide, sous pression ou bandes presseuses) après un conditionnement chimique ou thermique préalable des boues.

Pour l'élimination finale des boues déshydratées, on peut envisager la mise en décharge, la valorisation

I-6-4-Principales opérations unitaires mises en œuvre :

Dans le cas très fréquent d'une eau résiduaire qui contient des polluants de natures très variées, on fait généralement appel, selon un assemblage séquentiel approprié, à tout l'arsenal des opérations physiques, chimiques ou biologiques.

I-6-4-1-Traitements physiques :

I-6-4-4-1-Traitements courants :

Ils constituent l'essentiel des opérations du prétraitement et du traitement primaire des rejets, mettant en œuvre les séparations solide-liquide énumérées ci-après.

Chapitre I

- **La rétention par dégrillage ou tamisage des matières volumineuses**, dont la dégradation par voie chimique ou biochimique est difficile sinon impossible. Ces matières sont susceptibles de gêner le bon fonctionnement d'une station d'épuration.
- **L'élimination des particules grossières et de forte densité** (graviers, sables, matières en suspension décantables) ou des produits insolubles de faible densité (huiles, graisses, hydrocarbures ou matières solides finement dispersées) se fait respectivement par décantation et flottation (naturelle ou accélérée).
- **La Décantation** est une opération dont le principe repose dans la séparation, sous l'action de la force de gravité, des matières en suspension de l'eau et dont la densité est supérieure à celle de cette dernière. Elle est réalisée dans des décanteurs continus, essentiellement des bassins circulaires ou rectangulaires, munis d'un dispositif mécanique de raclage en vue de la collecte des boues. Dans le principe de fonctionnement de ces ouvrages, la théorie montre que la hauteur du bassin n'a aucune influence sur la séparation des particules, celle-ci ne dépendant que du débit et de l'aire de décantation.
- **La flottation**, réalisant une décantation inversée, est une opération de séparation par laquelle on amène les substances solides en suspension, généralement finement dispersées dans l'eau, dans un complexe plus léger, constitué essentiellement par une mousse d'air, qui flotte à la surface de l'eau et que l'on sépare soit par débordement soit par raclage mécanique. La technologie la plus utilisée est l'aérofloitation ou flottation par air dissous produisant des microbulles d'air selon le processus de pressurisation-détente : l'eau préalablement saturée en air sous une pression de 2 à 4 bars dégaze dans une cellule de flottation à la pression atmosphérique en donnant naissance à un nuage de microbulles d'air qui, en se fixant sur les particules, les allège en provoquant leur flottation.
- **La filtration** est généralement une opération de séparation solide-liquide utilisée lors d'un traitement de finition pour parfaire la clarification de l'eau réalisée préalablement par décantation ou flottation. Elle consiste à séparer les matières en suspension du liquide par passage à travers une membrane ou un lit de matériaux granulaires qui retient les impuretés et laisse passer le liquide seul (filtrat). En traitement d'eau, on réalise généralement une filtration en profondeur à travers des matériaux filtrants (sable ou anthracite) accumulés en lit épais (sur 1 à 2 m). Le fonctionnement des filtres est cyclique avec des périodes alternées de filtration et de régénération
- **Par lavage** d'eau en retour, aidé d'un soufflage d'air surpressé.

I-6-4-2-Traitements chimiques :

Situés dans la chaîne de traitement des eaux résiduaires soit en amont (à titre de prétraitements), soit en aval (comme traitement d'affinage), les traitements chimiques comportent essentiellement les opérations ci-après.

- La neutralisation a pour objet de modifier le pH d'une eau résiduaire pour l'amener à une valeur déterminée pour favoriser un traitement ultérieur ou permettre le rejet dans un milieu récepteur. Il s'agit d'une opération dans laquelle on ajoute à une eau à

Chapitre I

caractère basique ou acide une quantité suffisante soit d'acide soit de base, de manière à réaliser un échange protonique complet entre les deux constituants. L'introduction automatique du réactif dans le milieu réactionnel est asservie à une chaîne de régulation de pH.

- L'oxydo-réduction est une opération par laquelle on ajoute à une eau contenant une substance à caractère oxydant ou réducteur une quantité suffisante soit d'un réducteur soit d'un oxydant, de manière à réaliser un échange électronique complet entre les deux constituants.
- La précipitation est une méthode très largement utilisée pour éliminer les composés solubles, le plus souvent minéraux, contenus dans les rejets, en l'occurrence les sels (carbonates, sulfates, fluorures...), les phosphates à l'origine de l'eutrophisation et les métaux lourds à caractère toxique (Cu, Pb, Cd, Cr, Fe...). Elle consiste à ajouter à l'eau résiduaire un réactif appelé précipitant de manière à ce que le produit de la réaction présente une solubilité aussi faible que possible et puisse, de cette façon, être séparé de l'eau sous forme solide.
- Coagulation-floculation : la séparation des particules finement dispersées et des colloïdes (matières en suspension non décantables), à l'origine de la turbidité des rejets, implique la rupture de la stabilité colloïdale de la suspension aqueuse par l'intermédiaire de réactifs chimiques (coagulants et floculants) qui, en provoquant l'agglomération mutuelle des particules « ultrafines », contribuent à accélérer leur séparation et à parfaire la clarification des effluents.
- Les électrolytes minéraux à poly cations (sels de fer et d'aluminium) réalisent la coagulation, processus assurant la coalescence traitée. Cette matrice insoluble appelée échangeur d'ions est constituée d'une résine organique qui comporte, dans sa structure, des radicaux susceptibles d'être libérés et donc échangés.

I-6-4-3-Traitements biologiques :

Ils constituent le mode classique d'épuration de la pollution organique carbonée et azotée.

Les techniques d'épuration biologique reposent sur les conditions qui permettent aux flores microbiennes de se développer, pour assurer la dégradation des matières organiques polluantes, éliminées dans la mesure où elles servent d'aliments aux bactéries, à condition cependant qu'elles soient biodégradables.

Il faut considérer que, quoique théoriquement l'épuration biologique puisse s'effectuer par voie aérobie ou anaérobie, c'est le traitement aérobie qui est universellement utilisé par suite de sa supériorité évidente pour des effluents dont la production polluante à débit élevé contient des matières organiques pas trop concentrées. Du fait du caractère beaucoup plus exothermique du métabolisme aérobie, la cinétique du processus s'avère beaucoup plus rapide et les rendements d'épuration plus élevés (> 95 %) avec, comme contrepartie, la production d'une biomasse excédentaire plus importante.

Chapitre I

I-6-4-3-1-Traitements biologiques aérobie :

Ils s'effectuent dans un réacteur où l'on met en contact les micro-organismes épurateurs et les polluants organiques de l'eau à épurer cela en présence d'oxygène généralement fourni par l'air.

La mise en œuvre de l'épuration biologique aérobie est réalisée [8] [9] suivant deux types de techniques :

- Procédés à cultures libres type boues activés et lagunage naturel et aéré, quand la masse bactérienne est en suspension dans un bassin aéré.
- Procédés à cultures fixées type lits bactériens ou bio-filtres bactériens, quand la biomasse est fixée sur ou par un support solide.

I-6-4-3-2-Traitements biologiques anaérobies :

On constate un regain d'intérêt pour la dépollution des rejets industriels biodégradables fortement concentrés ($DBO_5 > 3\ 000\ \text{mg O}_2/\text{L}$) par fermentation anaérobie, essentiellement comme premier étage d'un traitement biologique en vue d'une élimination de 70 à 85 % de la pollution carbonée.

Le traitement présente un certain nombre d'avantages par rapport à un traitement aérobie :

- Faible consommation d'énergie pour les besoins du process ;
- Faible production de boues biologiques en excès (5 fois moins que pour un traitement aérobie) ;
- Et surtout récupération d'un biogaz (à 70 % de méthane) pouvant être utilisé industriellement comme source d'énergie.

Sur le plan technologique, le biométhaniseur peut fonctionner avec une biomasse en suspension ou avec une biomasse fixée sur un support.

I-6-4-3-3-Traitements par voie biologique de l'azote et du phosphore :

- ❖ **L'élimination de l'azote** est réalisée par l'intermédiaire de réactions enzymatiques qui se produisent dans des conditions bien définies, en présence ou absence d'oxygène, en deux étapes successives.

Dans un premier stade, par l'intermédiaire de microorganismes strictement aérobies autotrophes s'opère l'oxydation de l'ammoniaque en nitrate (nitrification) après ammonification préalable de l'azote organique. Les bactéries impliquées (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*) sont caractérisées par un temps de génération élevé dépendant de la température. Dans un second stade, la réduction des nitrates en azote gazeux (dénitrification) est réalisée par des bactéries hétérotrophes en l'absence stricte d'oxygène, mais en présence d'un substrat carboné, puisé généralement dans l'effluent brut.

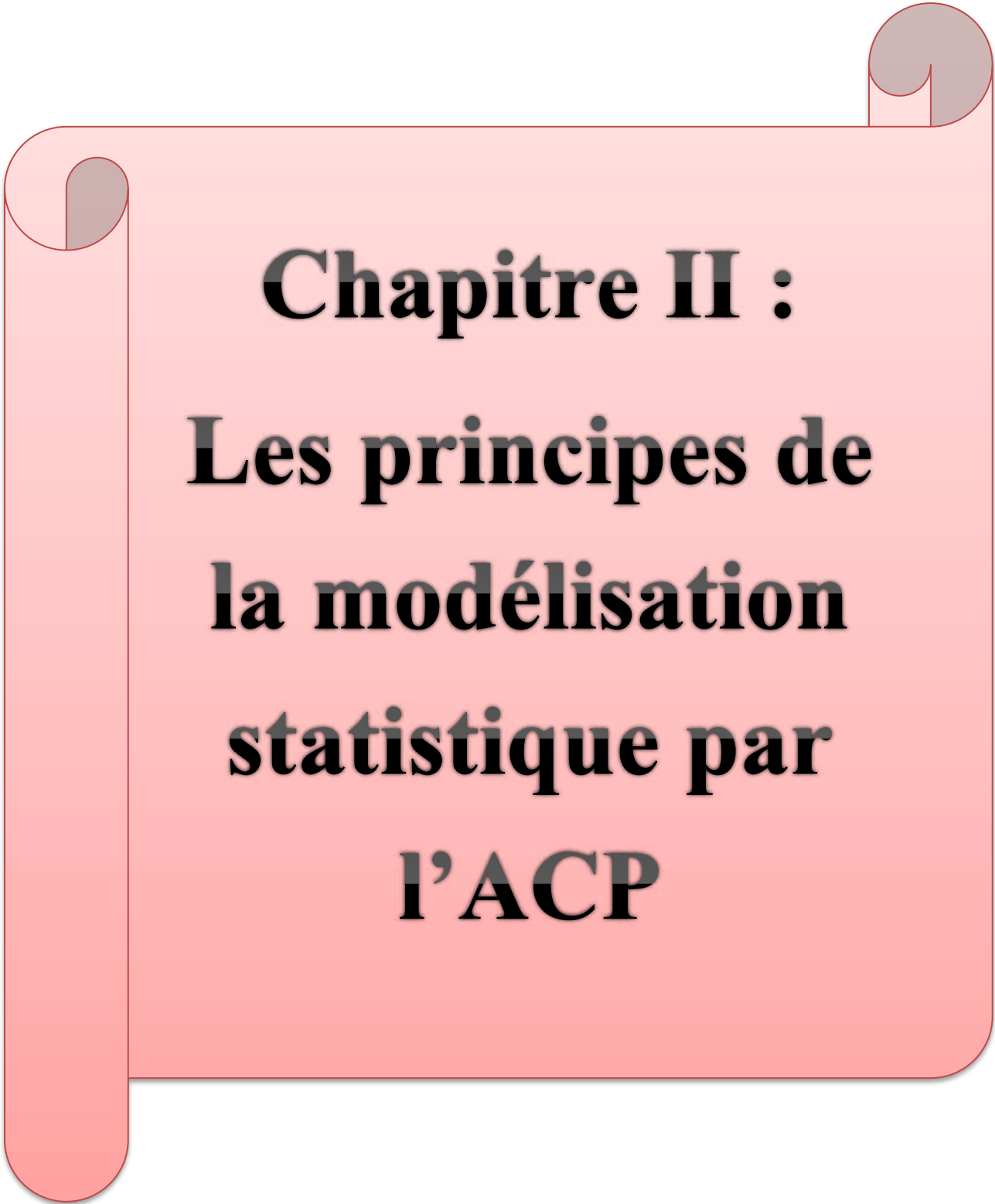
Chapitre I

- ❖ **La déphosphatation biologique** met en œuvre des phénomènes de suraccumulation du phosphore dans la biomasse, par l'intermédiaire de population bactérienne possédant un métabolisme capable d'utiliser les conditions particulières d'une alternance de conditions anaérobie et aérobie.

Chapitre I

Conclusion :

Les eaux résiduaires industrielles de différentes compositions et de diverses origines constituent un problème pour la nature lors du rejet sans subir de traitements au préalable. Afin de montrer l'intérêt de leur épuration, nous avons présenté dans ce chapitre d'une part, les origines et caractéristiques des eaux résiduaires, et d'autre part, les différentes méthodes utilisées pour les traiter. L'intérêt consiste à trouver la méthode la moins coûteuse et celle qui présente un traitement adéquat.



Chapitre II :
Les principes de
la modélisation
statistique par
l'ACP

Chapitre II

Introduction :

Ce chapitre propose un état de l'art sur la modélisation basée sur l'utilisation des méthodes statistiques dans différents domaines tels que : la médecine, l'écologie, l'économie, la science géographique (climatologie), la science environnementale...etc.

On va présenter l'utilisation des statistiques dans l'un des domaines précédents ; les objectifs, les champs d'applications et leur classification.

L'environnement c'est le domaine le plus intéressant dans notre vie et la connaissance des informations sur son état exige une étude profonde.

II-1-Définition et domaines d'application de la statistique : [11]

La statistique est la science dont l'objet est de recueillir, de traiter et d'analyser des données issues de l'observation de phénomènes aléatoires, c'est-à-dire dans lesquels le hasard intervient. L'analyse des données est utilisée pour décrire les phénomènes étudiés, faire des prévisions et prendre des décisions à leur sujet. En cela, la statistique est un outil essentiel pour la compréhension et la gestion des phénomènes complexes.

Les données étudiées peuvent être de toute nature, ce qui rend la statistique utile dans tous les champs disciplinaires et explique pourquoi elle est enseignée dans toutes les filières universitaires, de l'économie à la biologie en passant par la psychologie, et bien sûr les sciences de l'ingénieur.

Donnons quelques exemples d'utilisation de la statistique dans divers domaines.

- Economie, assurance, finance : prévisions économétriques, analyse de la consommation des ménages, fixation des primes d'assurance et franchises, études quantitatives de marchés, gestion de portefeuille, évaluation d'actifs financiers, ...
- Biologie, médecine : essais thérapeutiques, épidémiologie, dynamique des populations, analyse du génome, ...
- Sciences de la terre : prévisions météorologiques, exploration pétrolière, ...
- Sciences humaines : enquêtes d'opinion, sondages, études de populations, ...
- Sciences de l'ingénieur : contrôle de qualité, maîtrise statistique des procédés (méthode "six-sigma"), sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, sécurité,), maîtrise des risques industriels, évaluation des performances des systèmes complexes, ...
- Sciences de l'information et de la communication : traitement des images et des signaux, reconnaissance des formes et de la parole, analyse exploratoire des grandes bases de données, analyse des réseaux de communication, ...
- Physique : mécanique statistique, théorie cinétique des gaz, ...
- Etc...

Chapitre II

Le point fondamental est que les données sont entachées d'incertitudes et présentent des variations pour plusieurs raisons :

- Le déroulement des phénomènes observés n'est pas prévisible à l'avance avec certitude (par exemple on ne sait pas prévoir avec certitude les cours de la bourse ou les pannes des voitures)
- Toute mesure est entachée d'erreur
- Seuls quelques individus sont observés et on doit extrapoler les conclusions de l'étude à toute une population (contexte des sondages)
- Etc...

Il y a donc intervention du hasard et des probabilités. L'objectif essentiel de la statistique est de maîtriser au mieux cette incertitude pour extraire des informations utiles des données, par l'intermédiaire de l'analyse des variations dans les observations.

Nous ne nous intéresserons pas à la collecte des données, qui est une tâche importante et difficile mais qui ne relève pas des mathématiques. Si on omet la collecte des données, les méthodes statistiques se répartissent en deux classes :

- La statistique descriptive : statistique exploratoire ou analyse des données, a pour but de résumer l'information contenue dans les données de façon synthétique et efficace. Elle utilise pour cela des représentations de données sous forme de graphiques, de tableaux et d'indicateurs numériques (par exemple des moyennes). Elle permet de dégager les caractéristiques essentielles du phénomène étudié et de suggérer des hypothèses pour une étude ultérieure plus sophistiquée. Les probabilités n'ont ici qu'un rôle mineur.
- La statistique inférentielle va au-delà de la simple description des données. Elle a pour but de faire des prévisions et de prendre des décisions au vu des observations. En général, il faut pour cela proposer des modèles probabilistes du phénomène aléatoire étudié et savoir gérer les risques d'erreurs. Les probabilités jouent ici un rôle fondamental.

Pour le grand public, les statistiques désignent les résumés de données fournis par la statistique descriptive. Par exemple, on parle des "statistiques du chômage" ou des "statistiques de l'économie américaine". Mais on oublie en général les aspects les plus importants liés aux prévisions et à l'aide à la décision apportés par la statistique inférentielle.

L'informatique et la statistique sont deux éléments du traitement de l'information : l'informatique acquiert et traite l'information tandis que la statistique l'analyse. Les deux disciplines sont donc étroitement liées. En particulier, l'augmentation considérable de la puissance des ordinateurs et la facilité de transmission des données par internet ont rendu possible l'analyse de très grandes masses de données, ce qui nécessite l'utilisation de

Chapitre II

méthodes de plus en plus sophistiquées, connues sous le nom de data mining ou fouille de données.

Enfin, l'informatique décisionnelle ou business intelligence regroupe les outils d'aide à la décision devenus essentiels dans la gestion des entreprises. Ces outils nécessitent un recours important aux méthodes statistiques. Plus généralement, tout ingénieur est amené à prendre des décisions au vu de certaines informations, dans des contextes où de nombreuses incertitudes demeurent. Il importe donc qu'un ingénieur soit formé aux techniques de gestion du risque et de traitement de données expérimentales.

II-1-2-La statistique descriptive :

La statistique descriptive a pour but de résumer l'information contenue dans les données de façon à en dégager les caractéristiques essentielles sous une forme simple et intelligible. Les deux principaux outils de la statistique descriptive sont les représentations graphiques et les indicateurs statistiques.

II-1-2-1- Généralités :

On désigne par statistique descriptive multidimensionnelle l'ensemble des méthodes de la statistique descriptive (ou exploratoire) permettant de traiter simultanément un nombre quelconque de variables (il s'agit d'aller au-delà de l'étude d'une seule ou de deux variables). Ces méthodes sont purement descriptives, c'est-à-dire qu'elles ne supposent, a priori, aucun modèle sous-jacent, de type probabiliste. (Ainsi, lorsqu'on considère un ensemble de variables quantitatives sur lesquelles on souhaite réaliser une A.C.P., il n'est pas nécessaire de supposer que ces variables sont distribuées selon des lois normales.) Dans chaque méthode que nous allons développer, les variables considérées seront de même nature : toutes quantitatives (Analyse en Composantes Principales) ou toutes qualitatives (Analyses des Correspondances). Les méthodes les plus classiques de la statistique descriptive multidimensionnelle sont les méthodes factorielles. Elles consistent à rechercher des facteurs (cette notion sera précisée ultérieurement) en nombre restreint et résumant le mieux possible les données considérées. Elles aboutissent à des représentations graphiques des données (des individus comme des variables) par rapport à ces facteurs, représentés comme des axes. Ces représentations graphiques sont du type nuage de points (ou diagramme de dispersion). Nous allons développer une méthode dans ce chapitre : l'Analyse en Composantes Principales (A.C.P.).

II-1-2-2-Terminologie :

Les données dont nous disposons sont des mesures faites sur des individus (ou unités statistiques) issus d'une population. On s'intéresse à une ou plusieurs particularités des individus appelées variables ou caractères. L'ensemble des individus constitue l'échantillon étudié.

Chapitre II

Exemple : si l'échantillon est un groupe de TD à l'ENSIMAG,

- Un individu est un étudiant
- La population peut être l'ensemble des étudiants de l'ENSIMAG, des élèves ingénieur de France, des habitants de Grenoble, etc...
- Les variables étudiées peuvent être la taille, la filière choisie, la moyenne d'année, la couleur des yeux, la catégorie socio-professionnelle des parents, ...

Si l'échantillon est constitué de tous les individus de la population, on dit que l'on fait un recensement. Il est extrêmement rare que l'on se trouve dans cette situation, essentiellement pour des raisons de coût. Quand l'échantillon n'est qu'une partie de la population, on parle de sondage. Le principe des sondages est d'étendre à l'ensemble de la population les enseignements tirés de l'étude de l'échantillon. Pour que cela ait un sens, il faut que l'échantillon soit représentatif de la population. Il existe des méthodes pour y parvenir, dont nous ne parlerons pas ici.

Une variable statistique peut être discrète ou continue, qualitative ou quantitative. Les méthodes de représentation des données diffèrent suivant la nature des variables étudiées.

Dans la statistique descriptive, on ne s'intéresse qu'au cas où on ne mesure qu'une seule variable sur les individus. On dit alors que l'on fait de la statistique unidimensionnelle.

Dans ce cas, les données sont sous la forme de la série des valeurs prises par la variable pour les n individus, notées x_1, \dots, x_n . On supposera que ces données sont les réalisations de n variables aléatoires X_1, \dots, X_n indépendantes et de même loi. On notera X une variable aléatoire de cette loi. Le terme d'échantillon désignera à la fois les séries x_1, \dots, x_n et X_1, \dots, X_n .

Quand on mesure plusieurs variables sur les mêmes individus, on dit que l'on fait de la statistique multidimensionnelle.

L'objectif premier de la statistique descriptive est un objectif de représentation des données, et pas d'estimation. On peut cependant utiliser les outils de statistique descriptive dans un but d'estimation. Notamment, on s'intéressera au choix d'un modèle probabiliste pertinent, ce qui reviendra à estimer la fonction de répartition F ou la densité f de la variable aléatoire X sous-jacente, quand celle-ci est quantitative.

II-2-L'analyse en composantes principales ACP :

II-2-1-Définition : [12] [13] [14] [15]

L'analyse en composantes principales (ACP) est essentiellement une méthode de description et d'exploration qui permet de révéler des regroupements de faits et suggérer des idées. C'est un outil confortable pour résumer un vaste tableau de données

Chapitre II

difficilement accessible à l'analyse descriptive habituelle. Les facteurs nés de l'analyse ont la mission de proposer des variables permettant d'élaborer des modèles économétriques de sens traditionnel. [12]

Sur le plan théorique, l'Analyse en Composantes Principales est une méthode relativement complexe, dans la mesure où elle fait appel à des notions mathématiques non élémentaires : celles de matrices, d'éléments propres... Fort heureusement, il n'est pas nécessaire de connaître ces notions pour comprendre le mécanisme d'une A.C.P et donc pour l'utiliser correctement. [13]

L'ACP propose, à partir d'un tableau rectangulaire de données comportant les valeurs de p variables quantitatives pour n unités (appelées aussi individus), des représentations géométriques de ces unités et de ces variables. Ces données peuvent être issues d'un procédé d'échantillonnage ou bien de l'observation d'une population toute Entière. Les représentations des unités permettent de voir s'il existe une structure, non connue a priori, sur cet ensemble d'unités. Les représentations des variables permettent de voir s'il existe une structure, non connue a priori, sur cet ensemble d'unités. De façon analogue, les représentations des variables permettent d'étudier les structures de liaisons linéaires sur l'ensemble des variables considérées. [14]

Il s'agit de résumer l'information contenue dans un fichier en un certain nombre de variables synthétiques, combinaisons linéaires des variables originelles. On les appelle « composantes principales », ou « axes factoriels », ou tout simplement « facteurs ». Nous devons les interpréter pour comprendre les principales idées forces que recèlent les données. [15]

II-2-2-Principe et objectif : [16] [17] [18]

L'ACP sert à mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles. Elle consiste à remplacer une famille de variables par de nouvelles variables de variance maximale, non corrélées deux à deux et qui sont des combinaisons linéaires des variables d'origine. Ces nouvelles variables, appelées composantes principales, définissent des plans factoriels qui servent de base à une représentation graphique plane des variables initiales. L'interprétation des résultats se restreint généralement aux deux premiers plans factoriels, sous réserve que ceux-ci expliquent la majeure partie de la variance du nuage des variables initiales. [16]

L'étude nous offrant des informations souvent récurrentes et redondantes, le calcul de quelques composantes principales concentrant l'essentiel de l'information contenue dans la matrice - ou tableau - de données de départ permet de distinguer très clairement les grandes tendances de l'organisation spatiale de l'espace étudié, sans se noyer dans une mer de chiffres difficilement interprétables. [17]

D'un autre sens, on cherche une représentation des n individus, dans un sous-espace F_k de \mathbf{R}_p de dimension k (k petit 2, 3 ... ; par exemple un plan)

Chapitre II

Autrement dit, on cherche à définir k nouvelles combinaisons linéaires des p variables initiales qui feront perdre le moins d'information possible.[18]

Ces variables seront appelées « composantes principales »,
Les axes qu'elles déterminent : « axes principaux »
Les formes linéaires associées : « facteurs principaux »

II-2-2-1-Objectifs : [19]

Les objectifs poursuivis par une ACP sont :

- La représentation graphique “optimale” des individus (lignes), minimisant les déformations du nuage des points, dans un sous-espace E_q de dimension ($q < p$),
- La représentation graphique des variables dans un sous-espace F_q en explicitant au “mieux” les liaisons initiales entre ces variables,
- La réduction de la dimension (compression), ou approximation de X par un tableau de rang q ($q < p$).
- Les derniers objectifs permettent d'utiliser l'ACP comme préalable à une autre technique préférant des variables orthogonales (régression linéaire) ou un nombre réduit d'entrées (réseaux neuronaux).

Des arguments de type géométrique dans la littérature francophone, ou bien de type statistique avec hypothèses de normalité dans la littérature anglosaxonne, justifient la définition de l'ACP. Nous adoptons ici une optique intermédiaire en se référant à un modèle “allégé” car ne nécessitant pas d'hypothèse “forte” sur la distribution des observations (normalité). Plus précisément, l'ACP admet des définitions équivalentes selon que l'on s'attache à la représentation des individus, à celle des variables ou encore à leur représentation simultanée. [19]

II-2-3-Les étapes de l'ACP : [20] [21]

L'idée à la base de l'analyse en composantes principales est de pouvoir expliquer ou rendre compte de la variance observée dans la masse de données initiales en se limitant à un nombre réduit de composantes, définies comme étant des transformations mathématiques pures et simples des variables initiales.[20]

Pour cela on doit suivre le processus suivant :

- **Choix du tableau X**
- **Analyse directe** : Construction de l'espace factoriel du nuage de points individus associé au tableau. On garde pour l'instant les p axes factoriels.

Chapitre II

cet espace. L'ensemble des points qui représentent les unités est appelé traditionnellement "nuage des individus" (Fig.II-1)

En faisant de même dans \mathbb{R}^n , chaque variable pourra être représentée par un point de l'espace affine correspondant. L'ensemble des points qui représentent les variables est appelé "nuage des variables" (Fig.II-2)

On constate, que ces espaces étant de dimension supérieure en général à 2 et même 3, on ne peut visualiser ces représentations. L'idée générale des méthodes factorielles est de trouver un système d'axes et de plans tels que les projections de ces nuages de points sur ces axes et ces plans permettent de reconstituer les positions des points les uns par rapport aux autres, c'est-à-dire avoir des images les moins déformées possible.[14]

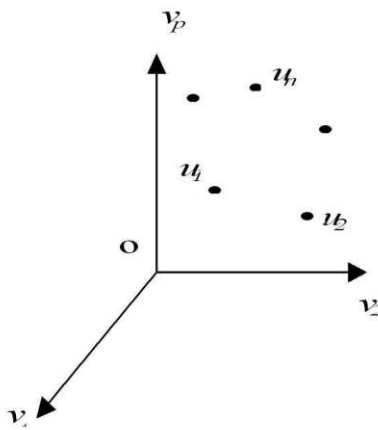


Fig.II-1 Représentation des individus.

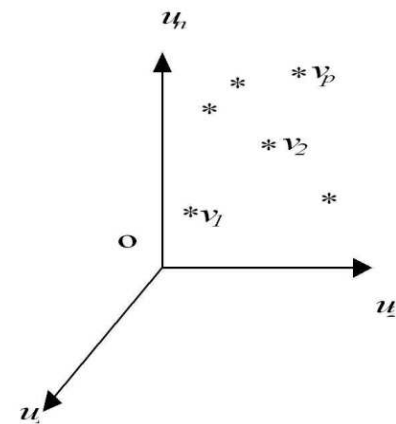


Fig.II-2 Représentation des variables.

II-2-4-1-Représentation des individus : [18] [22]

Si les individus ne sont pas « anonymes », ils aident à l'interprétation des axes principaux et des composantes principales. On pourra par exemple rechercher les individus opposés le long d'un axe. Les composantes permettent de positionner les individus sur les axes de l'ACP [22]

La $j^{\text{ème}}$ composante principale $c^j = \begin{pmatrix} c_1^j \\ c_2^j \\ \vdots \\ c_n^j \end{pmatrix}$ les coordonnées des n individus sur le $j^{\text{ème}}$ axe principal.

Si on désire une représentation plane des individus, la meilleure sera celle réalisée grâce aux deux premières composantes principales. [18]

Chapitre II

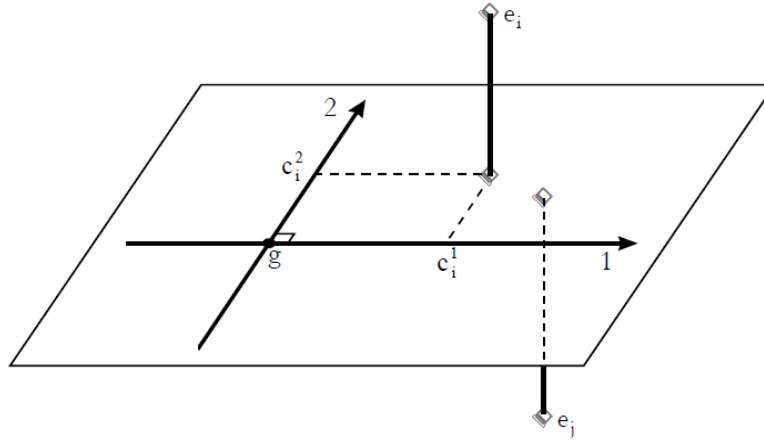


Fig.II-3 Représentation des individus

II-2-4-2-Représentation des variables : [18]

Les « proximités » entre les composantes principales et les variables initiales sont mesurées par les covariances, et surtout **les corrélations**.

$r = (c^j, X^i)$ Est le coefficient de corrélation linéaire entre c^j et X^i . [18]

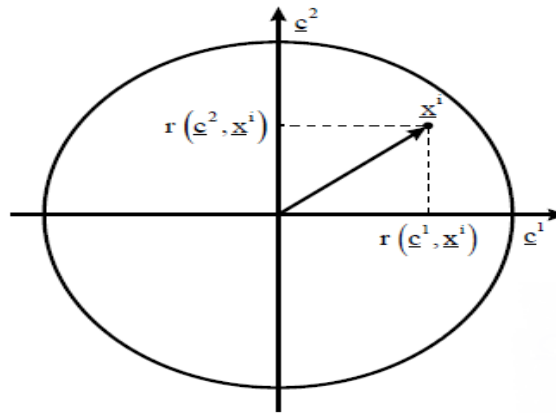


Fig.II-4 Cercle des corrélations

II-2-5-Choix d'une distance : [24]

Pour faire une représentation géométrique, on doit choisir une distance entre deux points de l'espace. La distance utilisée par l'ACP dans l'espace \mathbb{R}^p , où sont représentées les unités, est la distance euclidienne classique.

La distance entre deux unités u_i et u_j , est :

Chapitre II

$$d^2(u_i, u_{i'}) = \sum_{j=1}^p (x_{ij} - x_{i'j})^2$$

Avec cette distance, toutes les variables jouent le même rôle et les axes définis par les variables constituent une base orthogonale. [24]

II-2-6-Choix de l'origine : [24]

Le point O correspondant au vecteur de coordonnées toutes nulles n'est pas une origine satisfaisante, car si les coordonnées des points du nuage des individus sont grandes, le nuage est éloigné de cette origine. Pour l'ACP on choisit de donner le même poids $\frac{1}{n}$ à tous les individus.

Le centre de gravité G du nuage des individus est alors le point dont les coordonnées sont les valeurs moyennes des variables :

$$G = \begin{pmatrix} \frac{1}{n} \sum_i^n = 1X_{i1} \\ \frac{1}{n} \sum_i^n = 1X_{ij} \\ \frac{1}{n} \sum_i^n = 1X_{ip} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_j \\ \bar{X}_p \end{pmatrix}$$

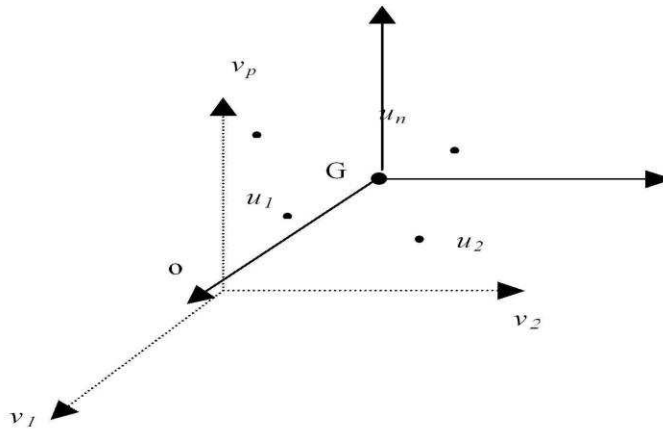


Fig. II-5 Origine du nuage de individus

On travaille avec le tableau des données centrées :

$$X^c = \begin{pmatrix} x_{11} - \bar{x}_1 & \dots & x_{1p} - \bar{x}_p \\ x_{i1} - \bar{x}_1 & \dots & x_{ip} - \bar{x}_p \\ x_{n1} - \bar{x}_1 & \dots & x_{np} - \bar{x}_p \end{pmatrix}$$

Chapitre II

Le vecteur des coordonnées centrées de l'unité u_i et le vecteur des coordonnées centrées de la variable x_j sont respectivement :

$$u_i^c = \begin{pmatrix} x_{i1} - \bar{x}_1 \\ x_{i2} - \bar{x}_2 \\ \vdots \\ x_{ip} - \bar{x}_p \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^p, \quad X_j^c = \begin{pmatrix} x_{j1} - \bar{x}_j \\ x_{j2} - \bar{x}_j \\ \vdots \\ x_{jn} - \bar{x}_j \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^n$$

II-2-7-Choix de dimension : [19]

La qualité des estimations auxquelles conduit l'ACP dépend, de façon évidente, du choix de q , c'est-à-dire du nombre de composantes retenues pour reconstituer les données, ou encore de la dimension du sous-espace de représentation. De nombreux critères de choix pour q ont été proposés dans la littérature. Nous présentons ici ceux, les plus courants, basés sur une heuristique et un reposant sur une quantification de la stabilité du sous-espace de représentation.

D'autres critères, non explicités, s'inspirent des pratiques statistiques décisionnelles ; sous l'hypothèse que l'erreur admet une distribution gaussienne, on peut exhiber les lois asymptotiques des valeurs propres et donc construire des tests de nullité ou d'égalité de ces dernières. Malheureusement, outre la nécessaire hypothèse de normalité, ceci conduit à une procédure de tests emboîtés dont le niveau global est incontrôlable. Leur utilisation reste donc heuristique.

II-2-7-1-Part d'inertie : [19]

La "qualité globale" des représentations est mesurée par la part d'inertie expliquée :

$$r_q = \frac{\sum_{k=1}^q \lambda_k}{\sum_{k=1}^p \lambda_k}$$

La valeur de q est choisie de sorte que cette part d'inertie expliquée r_q soit supérieure à une valeur seuil fixée a priori par l'utilisateur. C'est souvent le seul critère employé.

II-2-7-2-Règle de Kaiser : [19]

On considère que, si tous les éléments de Y sont indépendants, les composantes principales sont toutes de variances égales (égales à 1 dans le cas de l'ACP réduite). On ne conserve alors que les valeurs propres supérieures à leur moyenne car seules jugées

Chapitre II

plus “informatives” que les variables initiales ; dans le cas d’une ACP réduite, ne sont donc retenues que celles plus grandes que 1.

Ce critère, utilisé implicitement par SAS/ASSIST, a tendance à surestimer le nombre de composantes pertinentes.

II-2-7-3-Éboulis : [19]

C’est le graphique (Fig. II-6) présentant la décroissance des valeurs propres.

Le principe consiste à rechercher, s’il existe, un “coude” (changement de signe dans la suite des différences d’ordre 2) dans le graphe et de ne conserver que les valeurs propres jusqu’à ce coude. Intuitivement, plus l’écart $(\lambda_q - \lambda_{q+1})$ est significativement grand, par exemple supérieur à $(\lambda_{q-1} - \lambda_q)$, et plus on peut être assuré de la stabilité de \hat{E}_q .

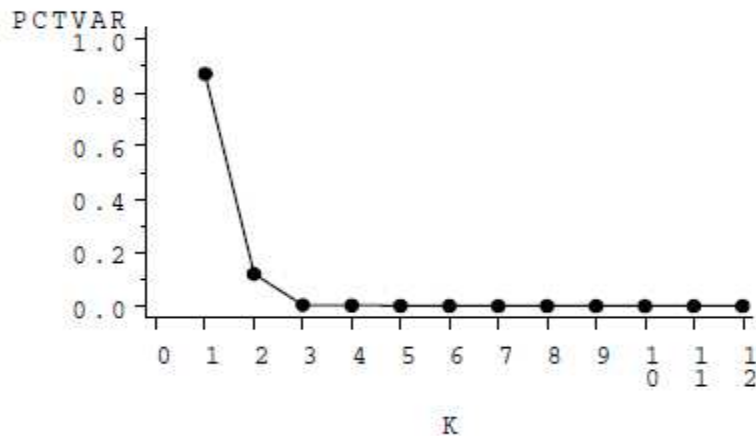


Fig. II-6 Températures : éboulis des valeurs propres.

II-2-8-Interprétation d’une ACP : [23]

La décomposition précédente est faite par des logiciels statistiques (Statistica, R, SAS...). Non automatique (interprétation des résultats) :

- Choisir le nombre q d’axes factoriels (ou de composantes principales) à retenir pour obtenir un résumé suffisamment précis de l’information contenue dans le tableau initial
- Construire les graphiques
- Donner une signification aux nouvelles variables.
- Evaluer la qualité de ce résumé

Chapitre II

II-2-8-1-Choix du nombre d'axes à retenir : [23]

Deux critères empiriques pour sélectionner le nombre d'axes :

- **Critère du coude** : sur l'éboulis des valeurs propres, on observe un décrochement (coude) suivi d'une décroissance régulière. On sélectionne les axes avant le décrochement
- **Critère de Kaiser** : on ne retient que les axes dont l'inertie est supérieure à l'inertie moyenne I/p (un peu étroit).

Kaisers en ACP normés : $I/p = 1$: On ne retiendra que les axes associés à des valeurs propre supérieures à 1.

II-2-8-2-Construction des nuages de points projetés : [23]

- Chaque nuage de points (variables et individus) est construit en projection sur les plans factoriels : un plan factoriel est un repère du plan défini par deux des q axes factoriels retenus.
Ex : Si l'on retient 3 axes, on tracera 3 graphiques pour chaque nuage : le nuage projeté sur le plan (axe1, axe2), celui projeté sur le plan (axe1, axe3), celui projeté sur le plan (axe2, axe3).
- L'examen des plans factoriels permettra de visualiser les corrélations entre les variables et d'identifier les groupes d'individus ayant pris des valeurs proches sur certaines variables. Mais il faut avant de lire directement les graphiques interpréter les axes et s'assurer que la projection est fidèle à la réalité.

Deux types de facteurs :

- **Effet taille** : les variables sont toutes du même côté de l'axe. (I.e. elles contribuent toutes dans le même sens à la formation de l'axe)
- **Effet forme** : Deux groupes de variables opposées : celles qui contribuent positivement à l'axe, celles qui contribuent négativement.

II-2-8-3-Interprétation des axes : [24]

Maintenant nous pouvons définir quelques règles pour l'interprétation :

- Il est naturel de commencer l'examen détaillé des graphiques par les variables parce qu'elles sont moins nombreuses et plus chargée de sens que les individus
- Interprétation axe par axe : Interpréter un axe factoriel consiste à donner un " sens " à l'axe en recensant les variables les plus liées à chaque axe.

Chapitre II

Par exemple, supposons que les variables soient des notes dans différentes matières : un facteur peut traduire l'opposition entre matières scientifiques et matières littéraires.

- Interprétation par plans : Le plan factoriel apporte le pouvoir synthétique du graphique, et la prise en compte simultanée de deux dimensions qui donne une image plus fidèle des données et peut aussi suggérer d'autres directions que les axes factoriels. Il est utile de représenter en plus des points (variables) : " Le cercle de rayons 1, ou cercle de corrélations. " Les vecteurs joignant l'origine aux points variables afin de visualiser les angles qui mesurent la liaison entre variables.
- Un individu sera du côté des variables pour lesquelles il a de fortes valeurs, inversement il sera du côté opposé des variables 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 (i.e. éloignés de l'origine) sont proches (i.e. se ressemblent).
- Deux variables très corrélées positivement sont du même côté sur un axe.
- Il n'est pas possible d'interpréter la position d'un individu par rapport à une seule variable, et réciproquement, il n'est pas possible d'interpréter la position d'une variable par rapport à un seul individu. Les interprétations doivent se faire de manière globale.

Chapitre II


Conclusion :

La statistique est une méthode scientifique qui consiste à réunir des données chiffrées sur des ensembles nombreux, puis à analyser, à commenter et à critiquer ces données.

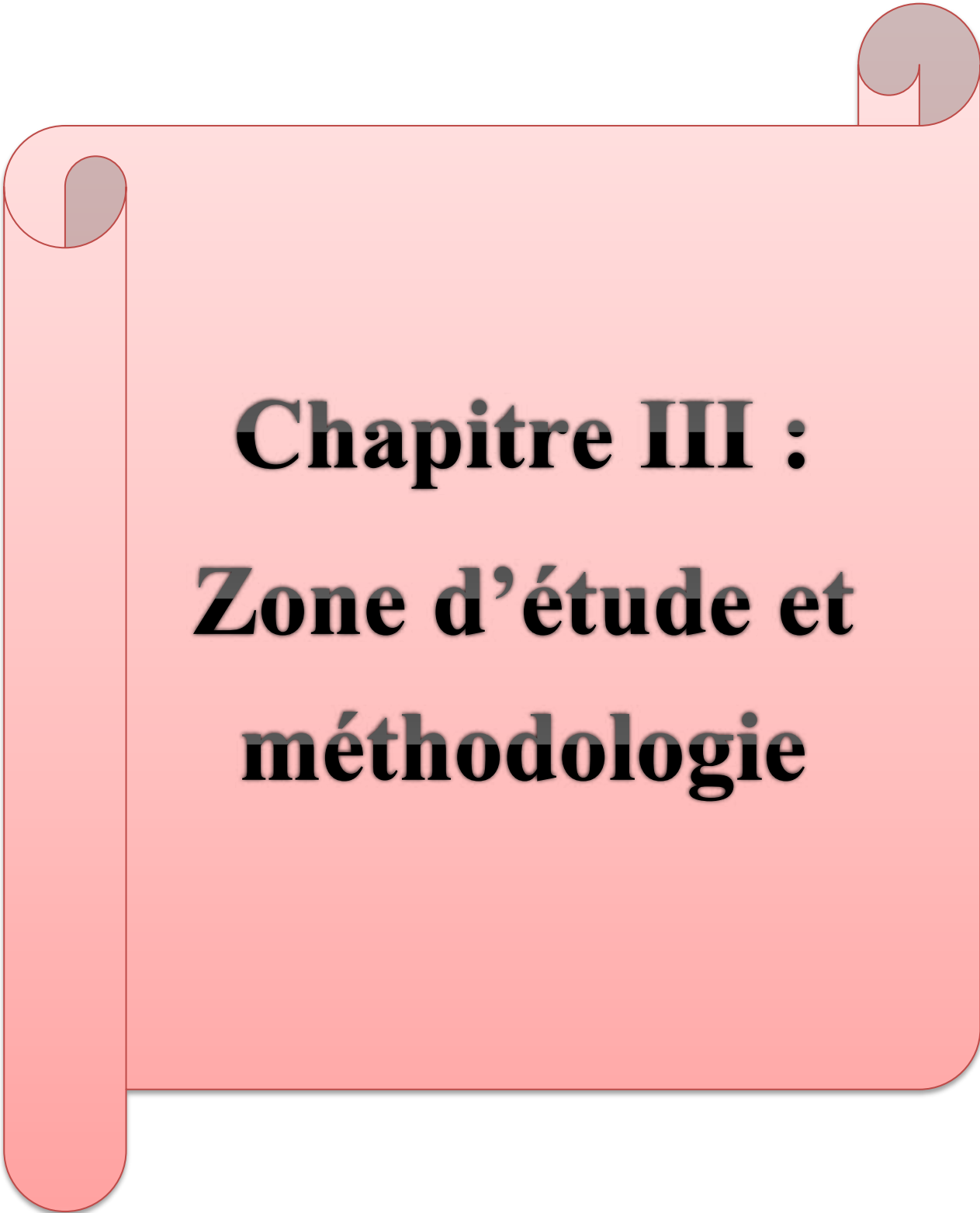
Les méthodes multidimensionnelles permettent d'obtenir des représentations graphiques qui constituent le meilleur résumé possible de l'information contenue dans un grand tableau de données. Pour cela, il faut consentir à une perte d'information afin de gagner en lisibilité. En fonction des phénomènes que l'on veut étudier et de la nature du tableau de données dont on dispose, on appliquera telle ou telle méthode multifactorielle. En effet, il n'existe pas une méthode factorielle d'analyse des données, mais un ensemble de méthodes, reposant toutes sur les mêmes théories mathématiques. Ainsi, on trouvera **l'analyse en composantes principales**.

L'ACP fait en réalité partie d'un ensemble de méthodes d'analyse de données, appelées méthodes multidimensionnelles dites multifactorielles. De façon générale, celles-ci ont pour but de résumer de la façon la plus fidèle possible un grand ensemble de données, c'est-à-dire d'observations différentes (les variables) pour chaque membre d'une importante population d'étude (les individus). Ce résumé engendre toujours une perte d'information, mais c'est au profit des informations les plus pertinentes et de la lisibilité, donc de la meilleure interprétation.

L'ACP joue un rôle central ; cette méthode permet de simplifier les mathématiques en réduisant les données, simplifier les résultats grâce aux graphiques qu'elle fournit, puissante car elle offre un résumé sur les variables quantitatives et elle est flexible puisqu'elle s'applique sur un ensemble de données de contenu et de taille quelconques.



**Etude
expérimentale**



Chapitre III :
Zone d'étude et
méthodologie

Chapitre III

Introduction :

La composition du rejet liquide du complexe FERTIAL est de nature complexe puisque les eaux résiduaires rejetée proviennent de plusieurs unités de l'usine (plus de 5 unités). Ces effluents contiennent des matières solides en suspension, des huiles, des graisses, des matières minérales et organiques dissoutes ...etc.

L'évaluation quantitative et qualitative des rejets déversés dans le littoral nécessite un suivi permanent afin de prévoir la tendance du milieu récepteur et préconiser les remèdes appropriés. Pour cela des analyses physico-chimiques sur les eaux résiduaires industrielles du complexe FERTIAL (Annaba) s'annonce impératives dans le contexte de temps et de lieu en effet ce chapitre décrit dans un premier temps le site d'étude, la méthodologie d'échantillonnage les réactifs et le matériel employé dans la partie expérimentale de ce travail. Les propriétés caractéristiques de l'instrumentation utilisée, en termes de qualité notamment, seront présentées. La démarche expérimentale choisie sera également expliquée pour chaque paramètre physico-chimique à travers les méthodes d'analyses utilisées pour caractériser le rejet industriel.

III-1-Site d'étude :

L'usine de FERTIAL est située à 04 Km de la ville d'Annaba, elle est limitée par Oued Seybouse et la cité Sidi- Salem à l'Est, la cité Seybouse à l'ouest, la mer méditerranée au Nord et la route nationale n°:44 et la pleine de Annaba au Sud (figure.III-1).



Figure.III-1 : Situation géographique de FERTIAL.

Chapitre III

III-2-Méthodologie d'étude :

III-2-1-Echantillonnage des rejets :

L'échantillonnage des rejets est la première étape de la chaîne d'étude, ont été effectués pendant un cycle hebdomadaire. Les prélèvements ont été effectués pendant quelque minutes à 8 heure de matin, afin d'obtenir un échantillon moyen représentatif du type de rejet. Les échantillons ont été prélevés dans deux stations : zone nord et zone sud du complexe et conservés dans des bouteilles en PET puis on l'emmène au laboratoire pour faire les analyses.

Tableau III-1 : Techniques d'échantillonnage et d'analyse des paramètres d'évaluation du degré de pollution des rejets liquides (Fertial-Annaba).

	Echantillonnage	Paramètres d'analyse
Effluents liquides	<ul style="list-style-type: none">• Point de prélèvement• Echantillonnage• Cadence• Transport	<ul style="list-style-type: none">• Température et pH• MES et Phosphore• N-Kjeldahl et NH_4^+• Huiles et graisses• DBO_5 et DCO

III-3-Techniques d'échantillonnage des rejets liquides :

III-3-1-Définition du point de contrôle : [24]

Le point de contrôle se définit par l'endroit de la prise d'échantillons ; il se localise en deux endroits de la zone sud du complexe où on produit les différents types d'engrais minéraux. Le premier point se trouve à la sortie des tours de lavage alors que le second est situé à la sortie caniveau juste avant le rejet dans le milieu récepteur. La collecte d'eau se fait à une immersion égale au tiers de la profondeur totale du rejet conformément à la norme ISO-5667-10 (1979) relative à l'échantillonnage des eaux résiduaires.

III-3-2- Le prélèvement : [25]

Compte tenu de la diversité de la nature des eaux résiduaires ainsi que des systèmes de transfert et de dilution, il est difficile de définir une technique de prélèvement satisfaisante en toutes circonstances. Le but à atteindre consiste essentiellement à obtenir des prélèvements représentatifs du rejet et du milieu récepteur. En fonction du but à atteindre, le responsable aura le choix entre le prélèvement manuel instantané et le prélèvement automatique en continu. Lorsqu'il s'agit de contrôler des paramètres à l'état de traces ou susceptibles de très grandes variations, le prélèvement instantané peut être d'un plus grand intérêt. Cette procédure permettra de diminuer les risques de précipitation, d'adsorption, de contamination, de concentration ou d'évaporation. La constitution d'un échantillon moyen peut aussi être

Chapitre III

obtenue à partir de prélèvements instantanés effectués avec des intervalles de temps réguliers. Si les recherches analytiques doivent porter sur des composés organiques volatils, le mélange de plusieurs prélèvements n'est pas recommandé, l'analyse sera effectuée sur chaque prélèvement instantané. L'échantillonnage automatique en continu est utile pour suivre l'évolution des paramètres courants. [25]

Dans l'industrie de Fertil il ya deux zones de rejets :

- Zone nord : qui contient l'unité de l'ammoniac, l'unité de nitrate d'ammonium, et l'unité de l'acide nitrique. Les rejets de cette zone sont localisés dans le point de prélèvement de la zone nord qui est le caniveau nord (Figure.III-2).
- Zone sud : qui contient l'unité de l'N.P.K, les rejets de la zone sud sont localisés dans le point de prélèvement de la zone sud qui est le caniveau sud (Figure.III-3).

❖ Remarque :

On a remarqué que le caniveau nord est plus grand que le caniveau sud car le nombre d'unités de la zone nord est supérieur de la zone sud.



Figure.III-2 : le point de prélèvement de la zone nord.



Figure.III-3 : le point de prélèvement de la zone sud.

III-3-3-Cadence de prélèvement :

Le prélèvement d'échantillons au niveau des deux points de contrôle se fait chaque semaine. Ce prélèvement est l'ensemble de petits échantillons d'un volume de 200 ml toutes les 30 min pendant 24h ; ce dernier peut être considéré comme un échantillon représentatif de notre prélèvement.

Les dosages au laboratoire ont été effectués sur les prises journalières cumulées. Dans cette étude, nous avons accordé à chaque point de rejets le nom de la zone géographique de la source de pollution la plus proche (Figure.III-4).

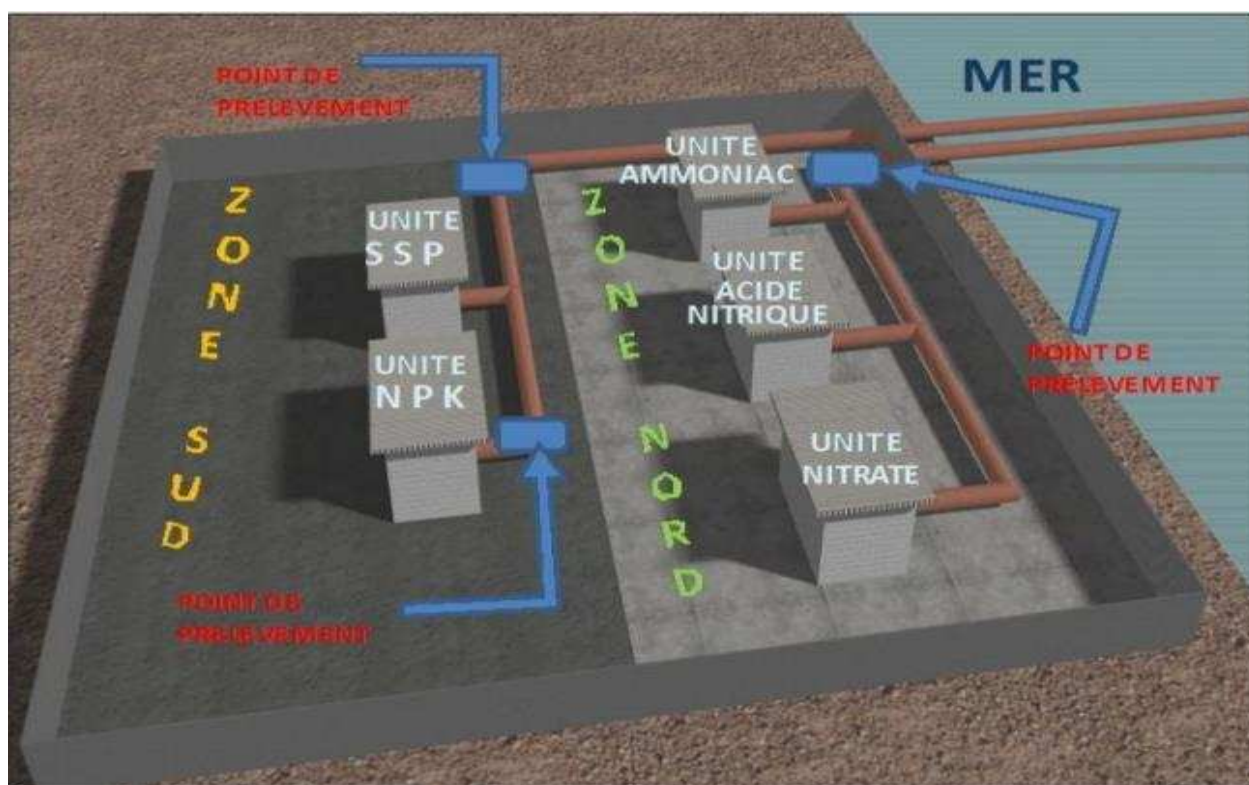


Figure.III-4 : Carte de localisation des points de rejets et des stations de prélèvements.

III-3-4-Conditions générales de l'échantillonnage : [26]

Le volume prélevé devra être représentatif des conditions de fonctionnement habituelles de l'établissement et être compatible avec les quantités nécessaires pour réaliser les analyses. Pour cela, une mesure du débit en continu du rejet et un échantillonnage à l'aide d'un échantillonneur automatique réfrigéré asservi à la mesure du débit permettant la constitution d'échantillons moyens représentatifs des rejets pendant la période de mesure devront être réalisés.

Un dialogue étroit entre l'opérateur de prélèvement et le laboratoire est à mettre en place préalablement à la mise en œuvre du programme de surveillance des émissions, afin que l'opérateur ait à disposition les consignes écrites spécifiques sur le remplissage (ras-bord par exemple), le rinçage des flacons, le conditionnement des échantillons (ajout de conservateurs avec leurs quantités), l'utilisation des réactifs, l'identification des flacons et des enceintes et la durée de mise au froid des blocs eutectiques avant utilisation. [26]

Le prélèvement s'effectue dans des bouteilles en polyéthylène spécialement conçues à cet effet. Ces bouteilles en plastiques préalablement nettoyées doivent être soigneusement rincées pour éliminer toute trace d'un éventuel détergent. L'échantillon est préservé à froid pour être analysé ultérieurement.

Les échantillons devront être expédiés le plus tôt possible à la fin de l'échantillonnage dans une durée ne dépasse pas 30 minutes, le laboratoire les réceptionne au plus tard 1 heure après

Chapitre III

la fin de l'échantillonnage et les analyses s'effectuent dès l'arrivée des échantillons au laboratoire.

Certaines substances ne sont pas stables dans le temps et de ce fait les échantillons ne pourront pas être expédiés en métropole. Ces échantillons devront être expédiés au plus tard le lendemain de la fin de l'opération d'échantillonnage vers le laboratoire d'analyse et y être analysés.

Ces substances qui sont mesuré le lendemain sont : les huiles et graisses et fluor.

Les différents paramètres entrant dans la caractérisation de la pollution liquide générée par le complexe Fertial (Tableau III-1) sont analysés avec des méthodes normalisés et habituellement adoptées par ce complexe. Le type de méthode, l'appareil utilisé ainsi que la référence de la méthode sont résumés dans le tableau III-2.

Tableau III-2 : Méthodes d'analyses utilisées dans la caractérisation de la pollution des rejets liquides.

Paramètre	Méthode	Référence
MES	Filtration-Pesage	AFNOR, 1979
Fluor	Distillation	Rodier, 2009
N-Kjeldahl	Distillation	Rodier, 2009
NH ₄ ⁺	Distillation	Rodier, 2009
Huiles et graisses	Extraction-Pesage	Rodier, 2009
DBO ₅	Mesure d'O ₂ dissous	AFNOR, 1979
DCO	Mesure d'O ₂ dissous	ARNOR, 1979

Chapitre III

III-3-5-Mesure in situ :

La mesure de la température et pH est nécessaire pour comprendre l'évolution des autres paramètres. Ces paramètres susceptibles de variation pendant le transport des échantillons sont de préférence, mesurés sur le terrain. Les mesures sont réalisées à l'aide d'un instrument multi-paramètres (Endress Hauser ASP) ; il s'agit de capteurs de pH et de température et de débit aussi, avec une précision de 0,1°C et 0,1 pour le pH



Figure.III-5 : préleveur automatique (Endress Hauser ASP)

Chapitre III

III-4-Les méthodes analytiques utilisées :

III-4-1-Les analyses physico-chimique des rejets :

Les méthodes d'analyse utilisées pour chaque paramètre sont les suivantes :

III-4-1-1-Les matières en suspension :

Les matières en suspension sont déterminées par la méthode de mesure et la filtration sur fibre de verre, voir (annexe I).

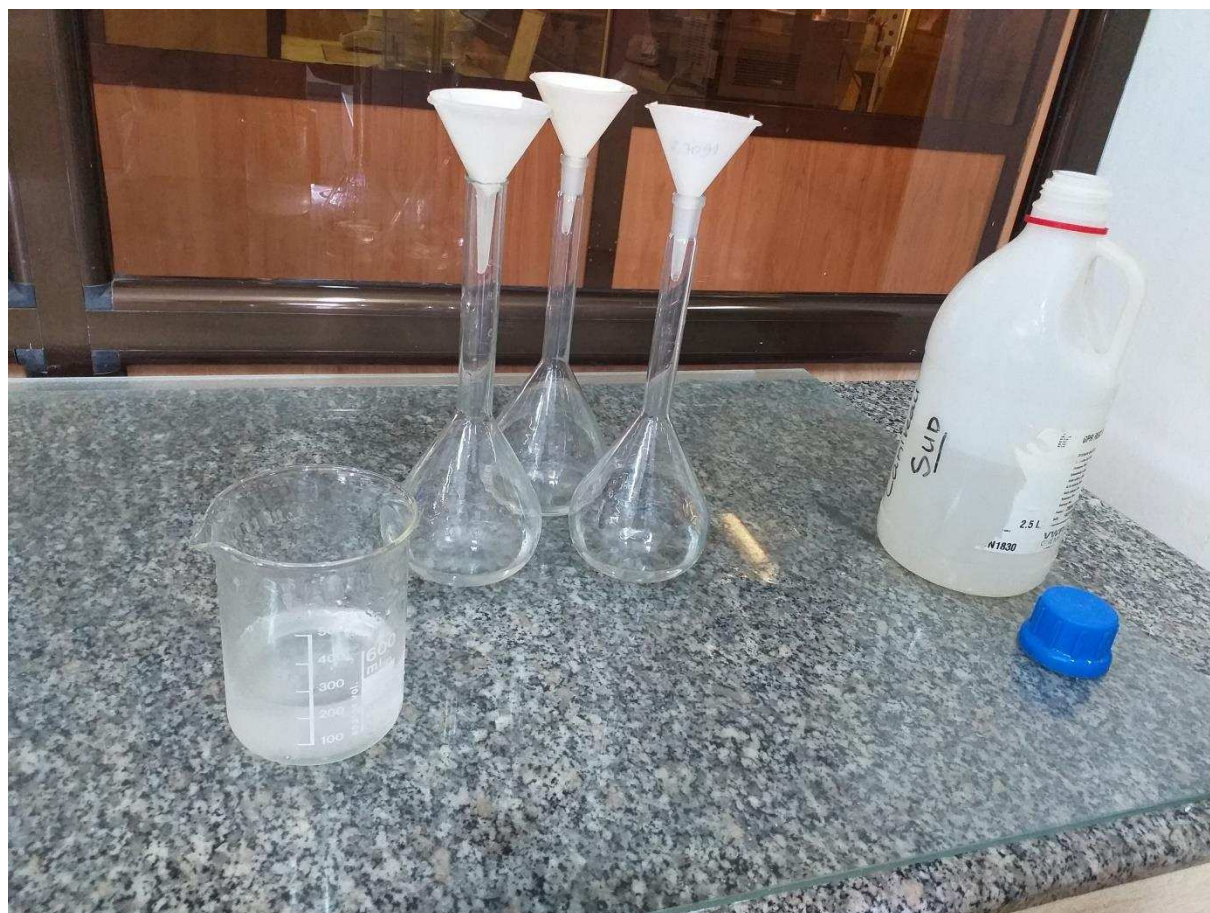


Figure.III-6 : Filtration des MES.

III-4-1-2-Les composés azotés (ammonium et azote Kjeldahl) :

a) L'azote total Kjeldahl (NKT) :

Le dosage d'azote Kjeldahl est réalisé par distillation à partir d'un appareil de distillation (Figure.III-7) en présence d'alliage de Dewarda (3 g), après 5 min de distillation le distillat recueilli dans un Erlen Meyer qui contient 50 ml d'acide borique à 4 % et 50 ml eau distillée et ajouter quelques gouttes d'indicateur Tachiro, ce dernier sera dosé par titrimétrie avec l'acide sulfurique (H_2SO_4) à 0.1 N.



Figure.III-7 : Le dosage d'Azote total par un distillateur d'Azote Kjeldahl (BÜCHI Distillation Unit K-350).

b) L'ion Ammonium (NH_4^+) :

Le dosage de l'ion ammonium est réalisé avec la même méthode que l'azote total sauf qu'on n'ajoute pas l'alliage de Dewarda.

Le montage de dosage de l'ion ammonium est indiqué dans la Figure.III-8.

Chapitre III



Figure.III-8 : Distillation de l'ion d'ammonium par un distillateur d'Azote Kjeldahl (BÜCHI Distillation Unit K-350).

❖ **Remarque :**

La différence entre le montage de Figure.III-7 et Figure.III-8 c'est l'alliage de Dewarda qui réagit avec la solution d'Azote total Kjeldahl, cette réaction nous donne une couleur violette ce qui montre la Figure.III-9.



Figure.III-9 : la réaction de Dewarda avec la solution de l'Azote Kjeldahl.

III-4-1-3-Le dosage de phosphore : dosage de phosphore par le molybdate d'ammonium, Norme ISO 6870-1998 :

On prend 10 ml de l'échantillon et on ajoute le réactif de phosphore dans une ampoule d'essai.

Après on met quelque millilitre de cette solution dans le spectrophotomètre (Figure.III-10). Voir annexe I.



Figure.III-10 : spectrophotomètre HACH DR 2800.

III-4-1-4-La demande chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène (DCO) est déterminée grâce à une méthode normalisée qui consiste en l'oxydation par un excès de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$ à 0.25 N) dans un milieu acide ($Ag_2SO_4 + H_2SO_4$) et on met la solution dans des fioles de l'appareil à reflux (Figure.III-11) puis dans le thermos-réacteur (VELP scientifica Inolab BSB/BO) voir (Figure.III-12) pendant 2h à 150 °C jusqu'à l'ébullition, après l'ébullition on dose le mélange avec la solution $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$.

Voir (l'annexe I) pour trouver le mode opératoire complet de la méthode de détermination des DCO.

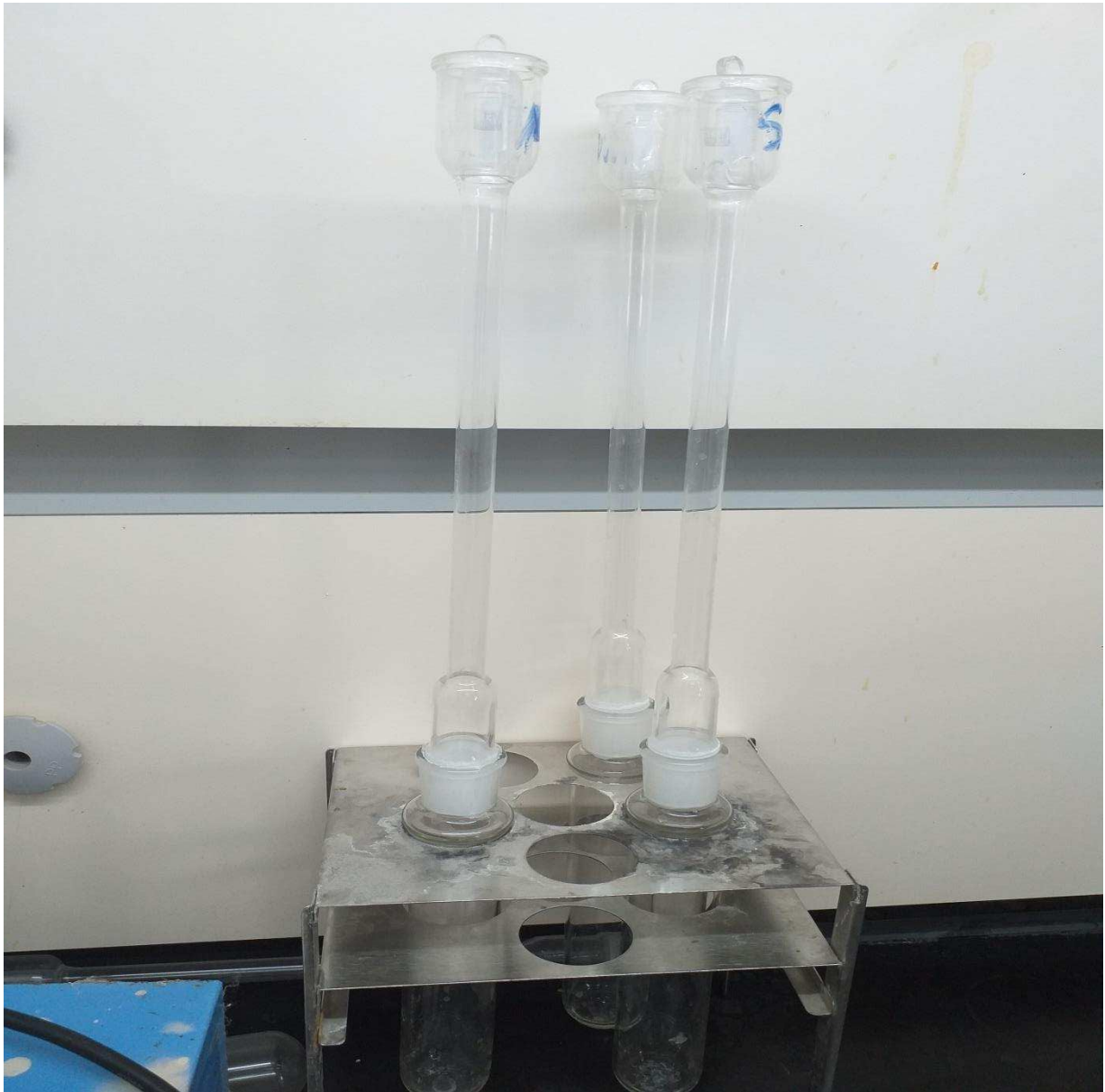


Figure.III-11 : des fioles de l'appareil de VELP scientifica à reflux dans lesquelles on met notre échantillon.

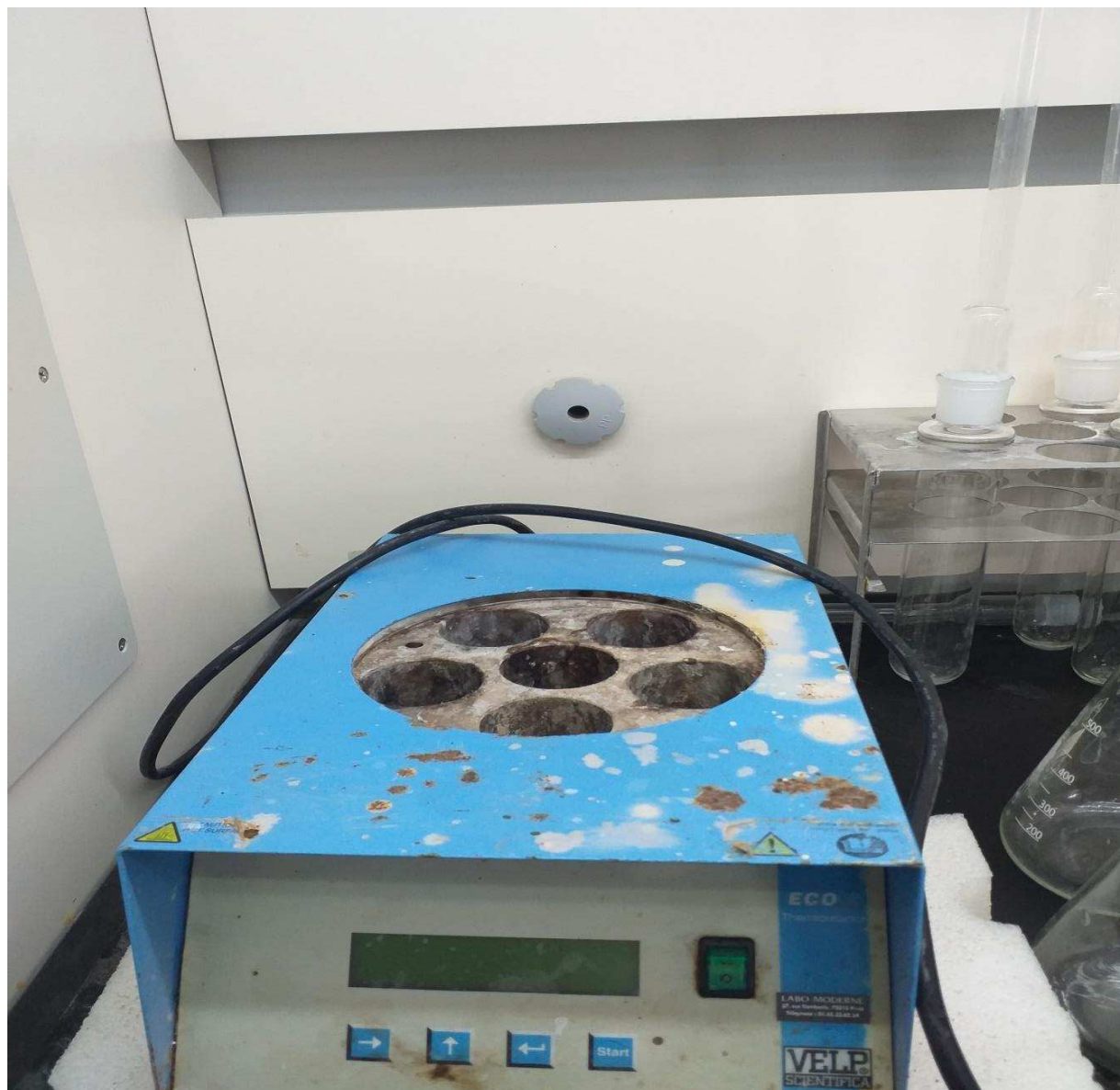


Figure.III-12 : Velp scientifica Inolab BSB/BO.

Chapitre III

III-4-1-5-La demande biologique en oxygène (DBO₅) :

La demande biologique en oxygène est déterminée par incubation de l'échantillon dans un Oxi-Top voir (Figure.III-13) pendant 5 jours avec agitation à l'obscurité dans une enceinte réglée à 20 °C, voir (annexe I).

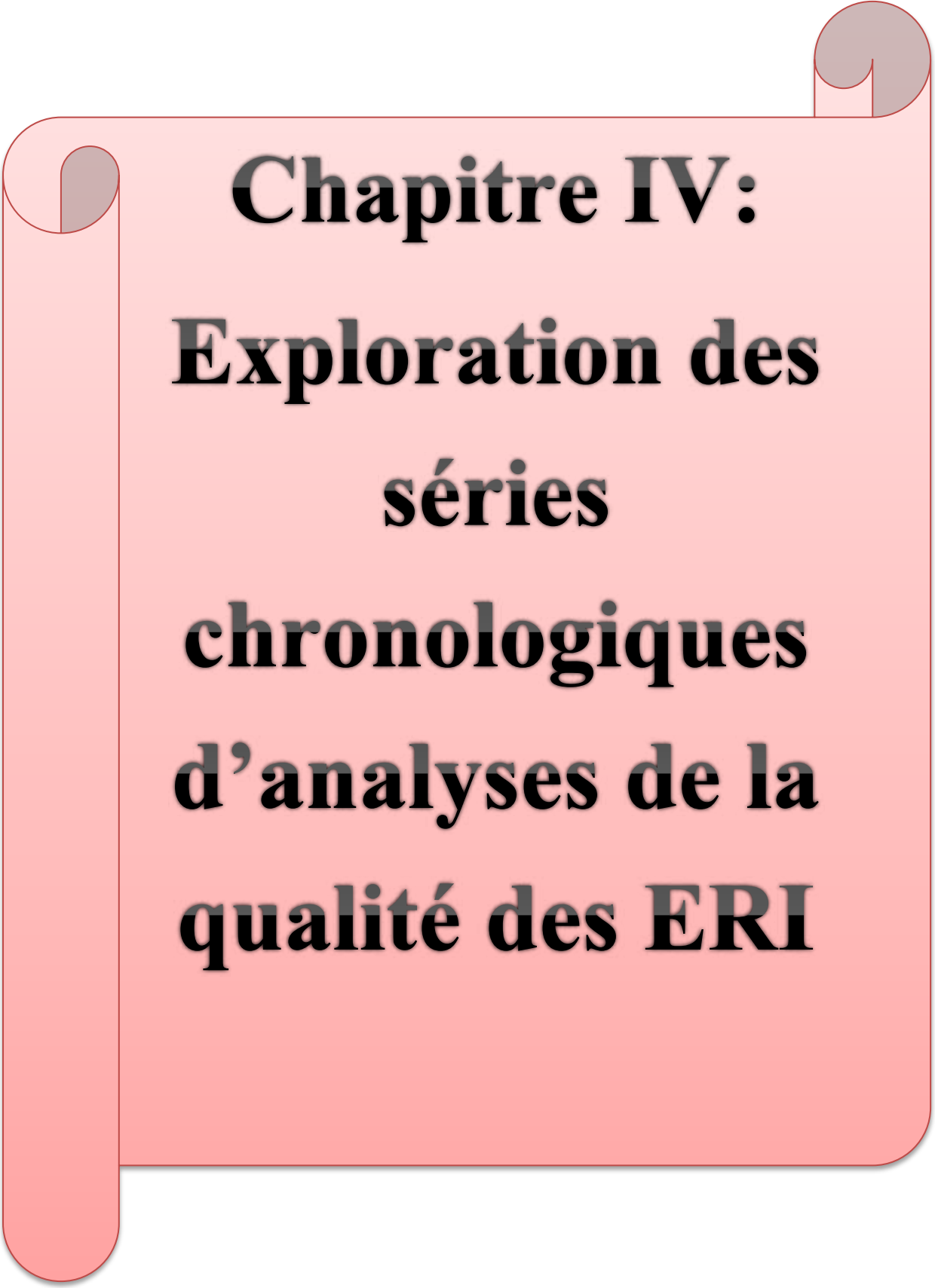


Figure.III-13: Oxi-Top Inolab BSB/BOD/DBO.

Chapitre III

Conclusion :

Les méthodes d'analyses pour la caractérisation physico-chimiques au sein du laboratoire agronomique de FERTIAL sont accréditées selon des normes internationales du contrôle de la qualité des eaux résiduaires industrielles. Les sites de prélèvements ont été choisis dans des points caractéristiques du rejet potentiel du complexe et l'échantillonnage a été effectué avec précaution. Le Matériel et les réactifs ainsi que les méthodes d'analyse utilisées lors de la partie expérimentale de notre travail ont été présentés. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux propriétés des matériels utilisés à travers une caractérisation systématique de chaque instrument d'analyse employé dans notre plan d'expérience



**Chapitre IV:
Exploration des
séries
chronologiques
d'analyses de la
qualité des ERI**

Chapitre IV

Introduction :

L'apport des effluents industriels en milieu aquatique peut profondément modifier la physico-chimie du milieu récepteur. L'étude de l'impact de ces apports sur le milieu récepteur se fait à travers des approches multiples liées à la complexité des écosystèmes aquatiques. Toutes ces approches présentent des limites et sont par conséquent complémentaires ; d'où l'intérêt de les utiliser conjointement pour pallier à certains inconvénients. Ce chapitre se limite à l'examen de l'impact des rejets des eaux résiduaires industrielles du complexe FERTIAL de la ville d'Annaba à travers une approche physico-chimique. La physico-chimie indique les causes de la perturbation relevée au moment des prélèvements. Ces derniers sont souvent ponctuels dans le temps et peuvent donc être faits avant ou après un rejet. En plus, la physico-chimie ne permet pas d'en prédire les effets et se révèle toujours incomplète au vu du nombre des espèces présents dans les rejets. Nous caractérisons dans ce chapitre les eaux résiduaires industrielles du complexe FERTIAL d'Annaba par une évaluation des paramètres indicateurs de l'état réel du rejet par rapport à la norme ainsi que l'analyse qualitative et quantitative des co-fractions dissoutes dans les eaux résiduaires industrielles et déversées dans le littoral et qui nécessitent un suivi permanent afin de prévoir la tendance du milieu récepteur et préconiser les remèdes appropriés.

IV-1- Résultats et discussions :

L'évaluation qualitative et quantitative des eaux résiduaires industrielles du complexe FERTIAL s'étend sur la période allant du mois d'avril 2018 jusqu'au mois d'avril 2019. Les paramètres étudiés seront classés selon leur type en : paramètres physico-chimique, organiques, azotée et phosphatée. Les résultats des analyses sont reportés sur les tableaux (IV-1), (IV-2). Et comparés par rapport aux normes de déversement d'effluents liquides industriels préconisés par la législation nationale en vigueur (voir annexe 1).

Chapitre IV

Tableau IV-1 : Résultats d'analyse des rejets de la zone nord (2018/2019).

	PH	Azote Kjeldahl(mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	TS
Avril	8,33	27,4	16,233	23,36	2,66	10
Mai	8,4633	13,07	6,94	68,42	3,66	16
Juin	8,4125	13,655	9,87	40,28	4	21,5
Juillet	7,95	5,3	4,6	Traces	99,56	23
Aout	8,37	10,325	9,9125	109	4,5	23,75
Septembre	8,315	8,075	7,55	61,04	4	28,25
Octobre	8,3	17,5	19,84	111,76	4	29
Novembre	8,3	16,1	17,13	Néant	2	21
Décembre	8,34	12,425	13,7525	101,04	1,5	24
Janvier	8,32	9,9125	11,5325	80,84	1,25	24,25
Février	8,45	7,7	9,21	15	1,5	18
Mars	8,45	5,25	5,71	23,40	2	23,33
Avril	8,46	5,96	6,2966	80,89	4,33	26,33
\bar{X}	8,34	11,74	10,66	65,003	10,38	22,18
σ	0,134	6,16	4,78	38,46	26,82	5,15
A	0,016	0,52	0,44	0,59	2,58	0,23
MAX	8,46	27,4	19,84	111,76	99,56	29
MIN	7,95	5,25	4,6	15	1,25	10
NORME	6,50-8,50	30	40	120	35	30

Chapitre IV

Tableau IV-2 : Résultats d'analyse des rejets de la zone sud (2018/2019).

	pH	Azote Kjeldahl(mg/l)	NH4 ⁺ (mg/l)	MES (mg/l)	P Total(mg/l)	DCO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	TS
Avril	6,87	27,16	28,48	31,39	3,01	82	3,66	12
Mai	7,455	28,835	33,765	30,065	6,19	76,51	11	19
Juin	6,71	27,44	5,38	22,87	2,25	37,01	4,33	22
Juillet	6,5	11,6	9,02	34,88	Traces	Traces	50,94	20
Aout	6,8	21	18,54	22,932 5	0,69	112,575	11,75	24,5
Septembre	7,42	15,80	12,83	21,21	8,84	84,62	6,66	28,83
Octobre	7,125	29,05	31,21	27,55	7,67	95,21	7,5	26,32 5
Novembre	7,1	18,2	19,84	19,8	6,4	100	2	19
Décembre	7,83	26,89	30,65	20,57	4,05	108,14	3	18,66
Janvier	7,17	27,275	28,93	32,245	5,89	81,415	4,25	20,42
Février	7,13	27,475	28,42	33,425	3,495	77,725	6,5	20,45
Mars	8,61	26,4	29,36	25,40	7,91	68,41	6	20,33
Avril	8,40	28,4	29,11	31,4	5,29	103,70	4	19,66 6
\bar{X}	7,31	24,27	23,50	27,21	5,14	85,61	9,35	20,86
σ	0,631	5,69	9,35	5,34	2,55	15,084	12,82	5,34
A	0.086	0.23	0.39	0.196	0.49	0.176	1.37	0.25
MAX	8,61	29,05	33,765	34,88	8,84	112,575	50,94	28,83
MIN	6,5	11,6	5,38	19,8	0,69	37,01	2	12
NORME	6,50-8,50	30	40	35	10	120	35	30

Chapitre IV

IV-1-1-Paramètres physico-chimiques :

Sous cette appellation se trouvent le pH, la température et les matières en suspension.

IV-1-1-1-pH :

Le pH varie de neutre à légèrement basique pour la majorité des rejets. Cependant, on distingue deux points de prélèvement qui sont : des rejets de la zone nord avec un pH qui varie de neutre 7.95 à légèrement basique 8.46 (Figure IV-1) et des rejets de la zone sud d'un pH variant de 6.5 à 8.61 (Figure IV-2) qui dépasse un peu la norme, cette valeur est liée au déversement de l'ammoniaque dans l'eau de lavage (unité NPK). La basicité du pH dans la zone nord est expliquée par la présence des ions NH_4^+ (unité ammoniac) et les nitrates (unité nitrate d'ammonium, acide nitrique). Le pH revêt un rôle très important et doivent être pris en compte lorsqu'on cherche à contrôler un rejet industriel. Des modifications excessives de ce paramètre au niveau des milieux récepteurs à tendance à modifier le biotope et perturber la vie aquatique et terrestre.

On peut dire que, généralement le pH des effluents liquides du complexe Fertial ne s'écarte pas des normes préconisées qui sont comprises entre 6.5 et 8,5.

Tableau IV-3 : l'évolution du pH dans les rejets (zone nord).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
pH	8,33	8,46	8,41	7,95	8,37	8,315	8,3	8,3	8,34	8,32	8,45	8,45	8,46
\bar{X}	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34
MIN	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95	7,95
MAX	8,46	8,46	8,46	8,46	8,46	8,46	8,46	8,46	8,46	8,46	8,46	8,46	8,46
NORME	6.5-8.5												
σ	0,134												
A	0,016												

Chapitre IV

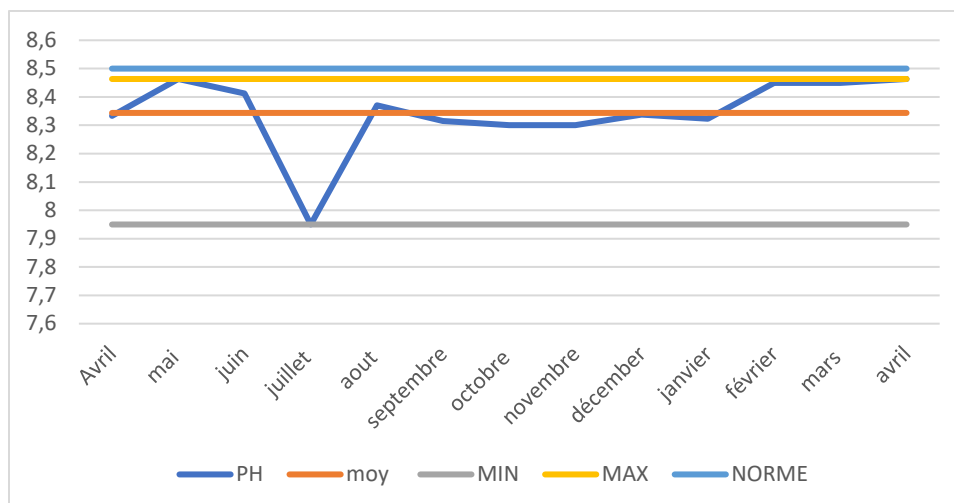


Figure IV-1 : l'évolution du pH dans les rejets (zone nord).

Tableau IV-4 : l'évolution du pH dans les rejets (zone sud).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
pH	6,87	7,45	6,71	6,5	6,8	7,42	7,125	7,1	7,83	7,17	7,13	8,61	8,40
\bar{X}	7,31	7,31	7,31	7,31	7,31	7,31	7,31	7,31	7,31	7,31	7,31	7,31	7,31
MIN	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
MAX	8,61	8,61	8,61	8,61	8,61	8,61	8,61	8,61	8,61	8,61	8,61	8,61	8,61
NORME	6.5-8.5												
σ	0,631												
A	0,086												

Chapitre IV

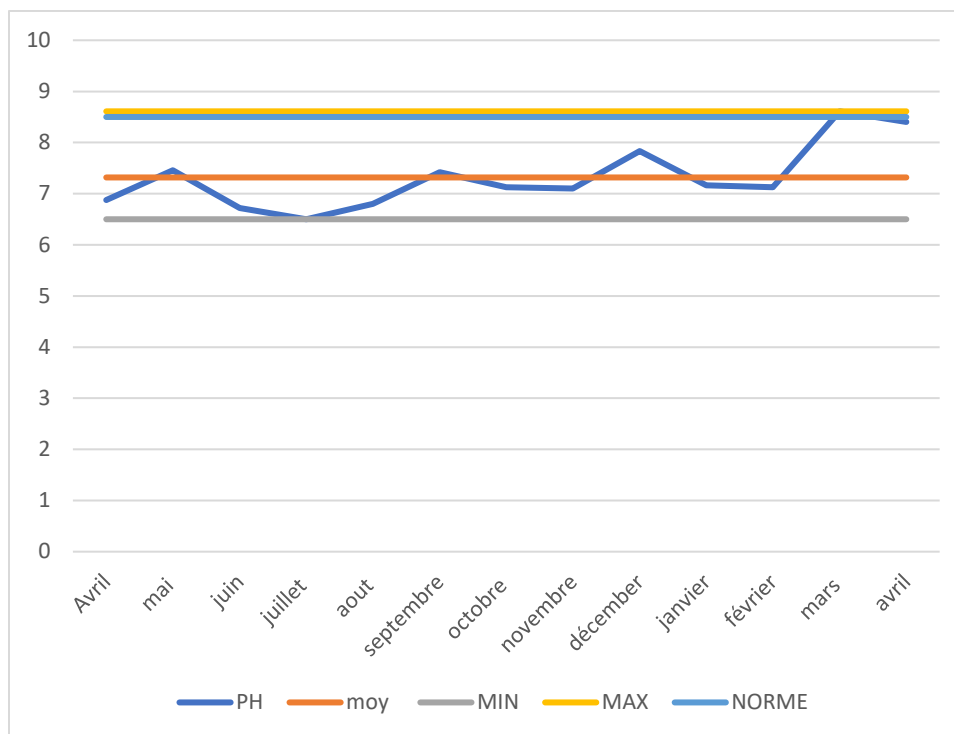


Figure IV-2 : l'évolution du pH dans les rejets (zone sud).

IV-1-1-2- Température :

La température des rejets liquides de la zone nord varie de 10 à 29 (Figure IV-3), pour la zone sud on a noté des températures variantes de 12 à 28.83 (Figure IV-4). Ces résultats sont proches de la température du milieu récepteur et inférieur à la température conformé par le projet de norme nationale qui est 30°C.

Tableau IV-5 : L'évolution de la température dans les rejets (zone nord).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
Ts	10	16	21,5	23	23,75	28,25	29	21	24	24,25	18	23,33	26,33
\bar{X}	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18
MAX	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
MIN	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Norme	30												
σ	5,15												
A	0,23												

Chapitre IV

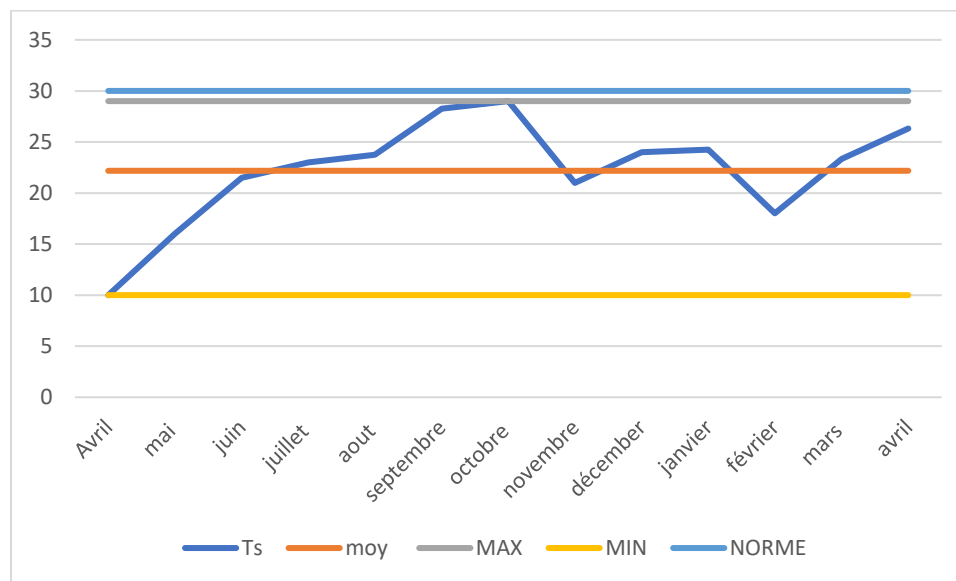


Figure IV-3 : L'évolution de la température dans les rejets (zone nord).

Tableau IV-6 : L'évolution de la température dans les rejets (zone sud).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
Ts	12	19	22	20	24,5	28,83	26,325	19	18,66	20,42	20,45	20,33	19,66
\bar{X}	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86	20,86
MAX	28,83	28,83	28,83	28,83	28,83	28,83	28,83	28,83	28,83	28,83	28,83	28,83	28,83
MIN	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Norme	30												
σ	5,34												
A	0,25												

Chapitre IV

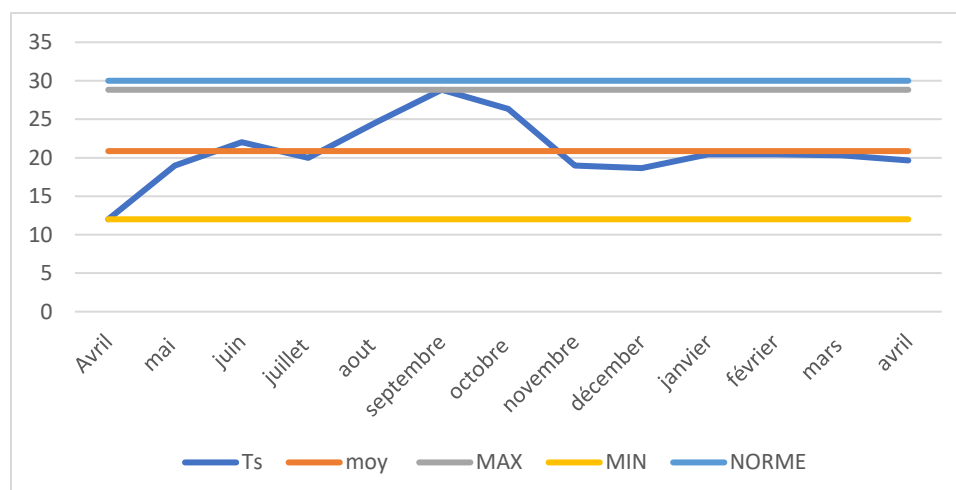


Figure IV-4 : L'évolution de la température dans les rejets (zone sud).

IV-1-1-3-Matières en suspension :

Les résultats des analyses des effluents, montrent que les eaux rejetées par le complexe dans la zone sud sont chargées en MES d'une variation entre 19.8 et 34.88 (Figure IV-5), par contre on trouve l'absence des MES dans les rejets de la zone nord. Cette variation est due au rejet de l'unité NPK qui déverse des eaux de lavage contenant des matières premières (sulfate de potassium, chlorure dipotassium et carbonate de calcium) issue de la fabrication des engrais. Ces résultats sont inférieurs à la norme préconisée qui est comprise de 35 mg/l (Tableau IV-7). La présence de ces MES dans les rejets peut compromettre de manière sensible le fonctionnement du réseau d'égout et causer des nuisances tels que les dépôts de boue et le colmatage des fonds aquatiques récepteurs.

Tableau IV-7 : l'évolution de la matière en suspension dans les rejets (zone sud).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
MES	31,39	30,065	22,87	34,88	22,93	21,21	27,55	19,8	20,57	32,245	33,425	25,4	31,4
\bar{x}	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21	27,21
MAX	34,88	34,88	34,88	34,88	34,88	34,88	34,88	34,88	34,88	34,88	34,88	34,88	34,88
MIN	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
NORME	35												
σ	5,34												
A	0,196												

Chapitre IV

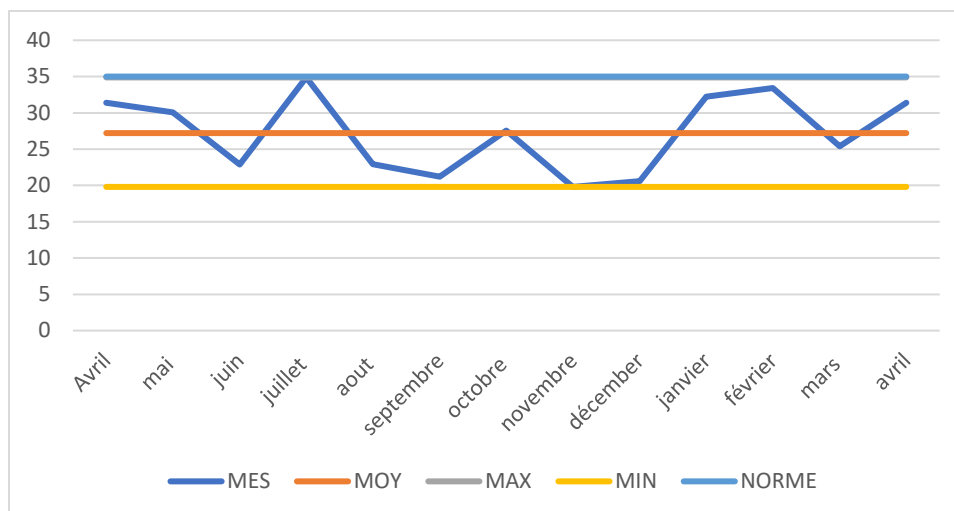


Figure IV-5 : l'évolution de la matière en suspension dans les rejets (zone sud).

IV-1-2- Paramètres azotés et phosphatés :

Il comporte trois paramètres, qui sont des composés azotés : l'ion ammonium (NH_4^+), l'azote Kjeldahl et composés phosphorés.

IV-1-2-1- L'ion ammonium NH_4^+ :

La variation des concentrations moyennes d'ammonium dans les rejets de la zone nord est de 4.6 mg/l à 19.84 mg/l (figure IV-6) et de 5.38 mg/l à 33.765 mg/l dans les rejets de la zone sud (figure IV-7). Pour ce qui est des ions ammonium, toutes les valeurs mesurées pendant la période définie sont largement inférieures à la norme de rejet de ce polluant qui est de 40 mg/L. Ce paramètre explique la quasi stabilité des unités opérationnelles dans les deux zones.

Tableau IV-8 : l'évolution de NH_4^+ dans les rejets (zone nord).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
NH_4^+	16,23	6,94	9,87	4,6	9,91	7,55	19,84	17,13	13,75	11,53	9,21	5,71	6,29
\bar{X}	10,66	10,66	10,66	10,66	10,66	10,66	10,66	10,66	10,66	10,66	10,66	10,66	10,66
MAX	19,84	19,84	19,84	19,84	19,84	19,84	19,84	19,84	19,84	19,84	19,84	19,84	19,84
MIN	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
Norme	40												
σ	4,78												
A	0,44												

Chapitre IV

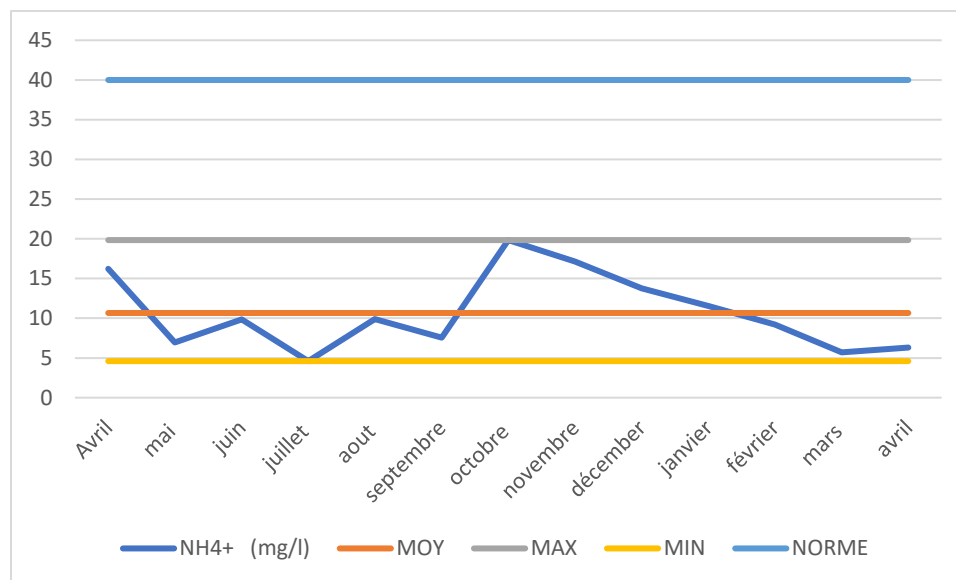


Figure IV-6 : l'évolution de NH_4^+ dans les rejets (zone nord).

Tableau IV-9 : l'évolution de NH_4^+ dans les rejets (zone sud).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
NH_4^+	28,48	33,765	5,38	9,02	18,54	12,83	31,21	19,84	30,65	28,93	28,42	29,36	29,11
\bar{x}	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5
MAX	33,76	33,76	33,76	33,76	33,76	33,76	33,76	33,76	33,76	33,76	33,76	33,76	33,76
MIN	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38	5,38
Norme	40												
σ	9,35												
A	0,39												

Chapitre IV

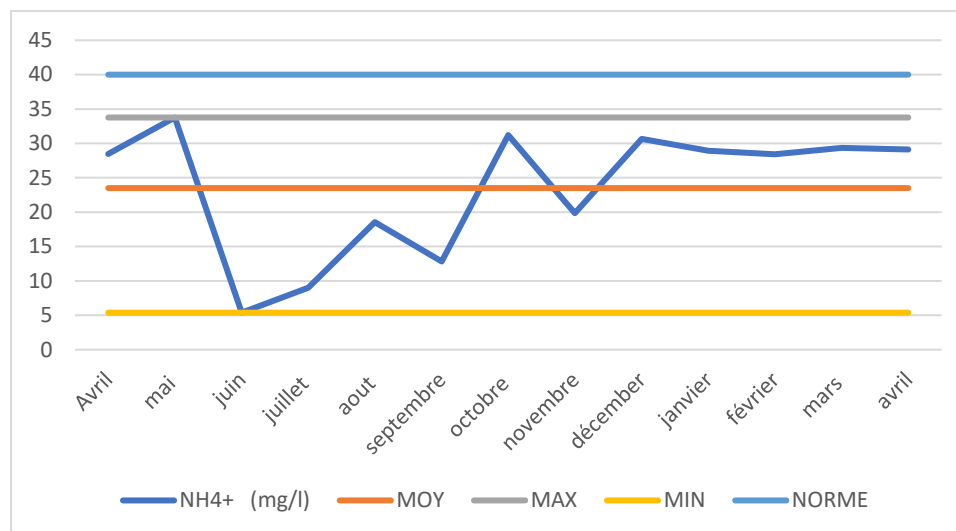


Figure IV-7 : l'évolution de NH_4^+ dans les rejets (zone sud).

IV-1-2-2- L'azote Kjeldahl :

L'azote Kjeldahl est un indicateur de la présence de composés azotés dans un milieu liquide ; ce paramètre regroupe deux formes d'azote à savoir l'azote ammoniacal (NH_4^+) et l'azote organique.

L'étude des concentrations de l'azote Kjeldahl pendant la période d'étude présente des valeurs conformes à la norme (40 mg/L) montré dans les tableau IV-10, tableau IV-11. On distingue que les rejets de la zone nord varient de 5.25 mg/l à 27.4 mg/l (figureIV-8) en effet ce dernier varie de 11.6 mg/l à 29.05 mg/l dans les rejets de la zone sud (figureIV-9), la charge en ce composé azoté dans les effluents de l'unité NPK traduit l'état critique de rejets et par conséquent l'état des installations responsables de cet effluents. Cette dernière déverse des quantités importantes des eaux de lavage riches en composés azotés.

Tableau IV-10 : l'évolution de l'azote Kjeldahl dans les rejets (zone nord).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr
Azote Kjeldahl (mg/l)	27,4	13,07	13,65	5,3	10,32	8,07	17,5	16,1	12,42	9,91	7,7	5,25	5,96
\bar{X}	11,74	11,74	11,74	11,74	11,74	11,74	11,74	11,74	11,74	11,74	11,74	11,74	11,74
MAX	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4
MIN	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25
Norme	30												
σ	6,16												
A	0,52												

Chapitre IV

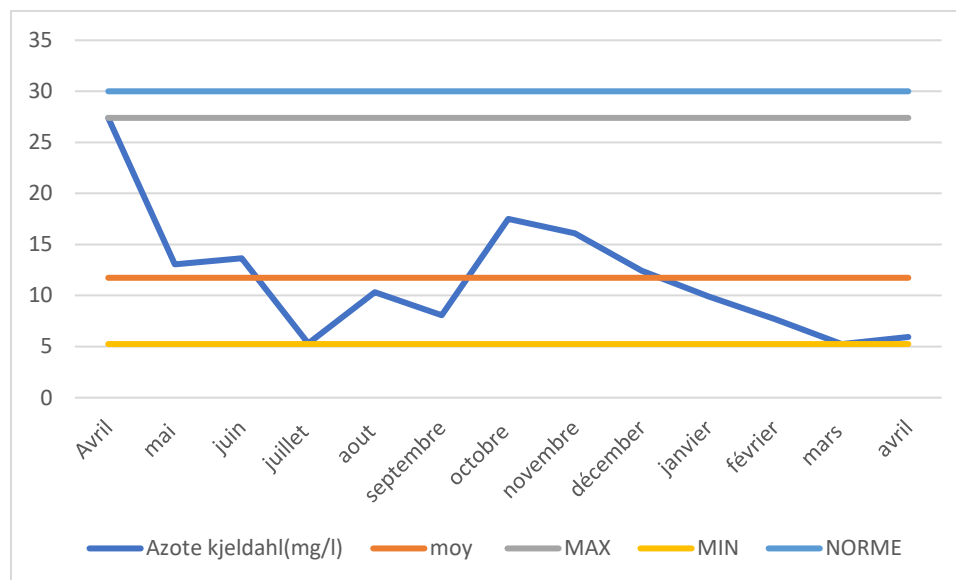


Figure IV-8 : l'évolution de l'azote Kjeldahl dans les rejets (zone nord).

Tableau IV-11 : l'évolution de l'azote Kjeldahl dans les rejets (zone sud).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oc	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
Azote Kjeldahl (mg/l)	27,16	28,835	27,44	11,6	21	15,8	29,05	18,2	26,89	27,275	27,475	26,4	28,4
\bar{X}	24,27	24,27	24,27	24,27	24,27	24,27	24,27	24,27	24,27	24,27	24,27	24,27	24,27
MAX	29,05	29,05	29,05	29,05	29,05	29,05	29,05	29,05	29,05	29,05	29,05	29,05	29,05
MIN	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6
Norme	30												
σ	5,69												
A	0,23												

Chapitre IV

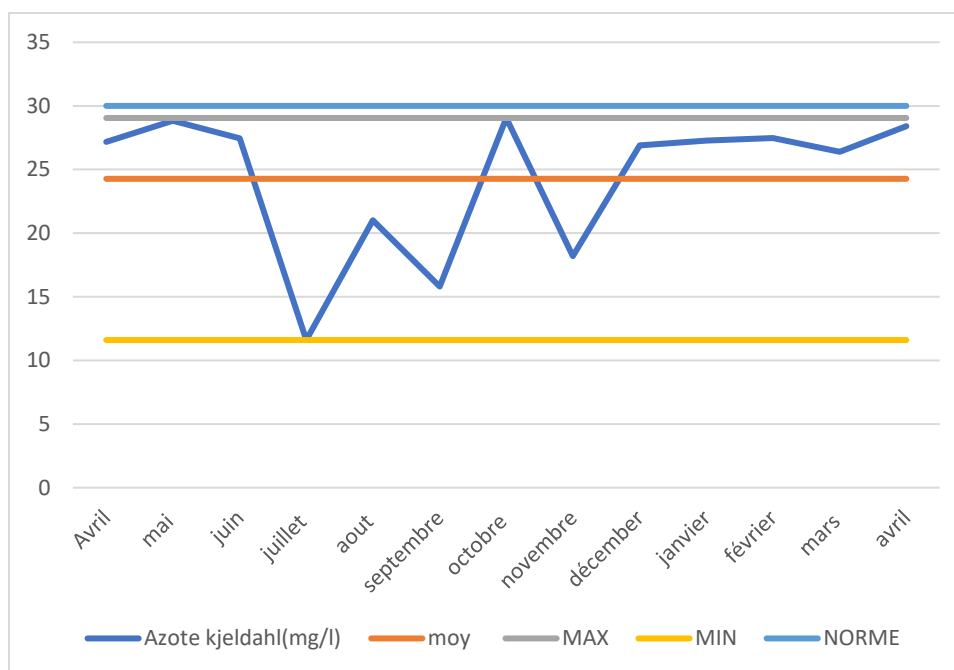


Figure IV-9 : l'évolution de l'azote Kjeldahl dans les rejets (zone sud).

IV-1-2-3- Phosphore :

Concernant les ortho-phosphates les concentrations en PO_3^- ce qui induit au phosphore total présentes des valeurs plus au moins faibles dans la zone sud par rapport à la norme (Tableau IV-12), donc la teneur en phosphates dans les eaux de rejets est inférieure à 10 mg/l. Par contre elle est négligeable dans la zone nord.

Tableau IV-12 : l'évolution du phosphore dans les rejets (zone sud).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
P Total(mg/l)	3,01	6,19	2,25	Traces	0,69	8,84	7,67	6,4	4,05	5,89	3,495	7,91	5,29
MOY	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,15	5,14	5,14
MAX	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84	8,84
MIN	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
NORME	10												
σ	2,55												
A	0,49												

Chapitre IV

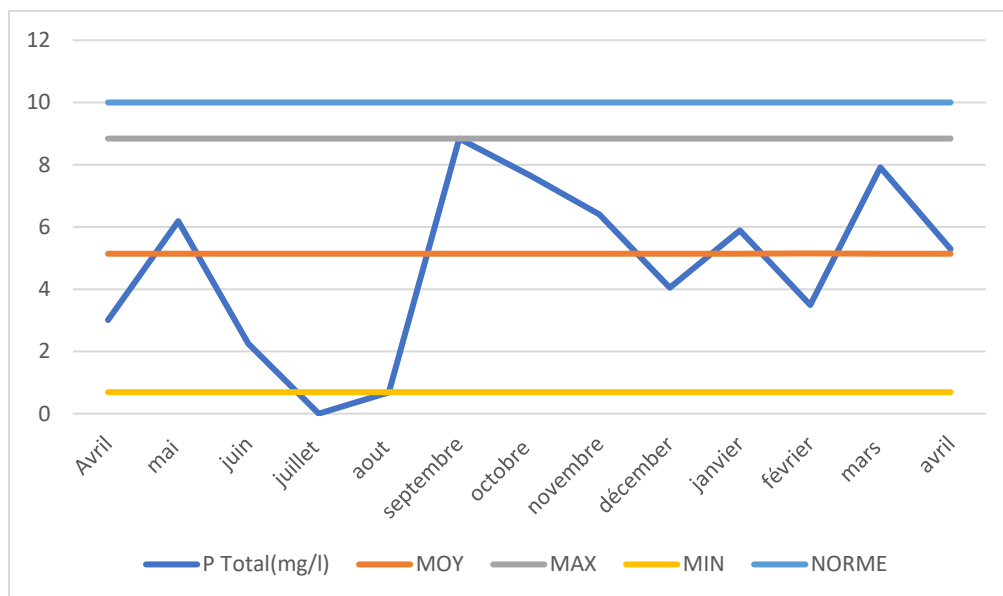


Figure IV-10 : l'évolution du phosphore dans les rejets (zone sud).

IV-1-3- Paramètres de pollution organiques :

Deux paramètres ont été suivis dans cette partie. Il s'agit de la demande biologique en oxygène (DBO_5) qui est un paramètre indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau et qui peut donc mesurer sa qualité, elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau. L'analyse de la DBO_5 dans les échantillons prélevés des eaux de rejet montre que les teneurs pour la zone nord varient de 1.25 mg/l à 99.56 mg/l (figure IV-11) et de 2 mg/l à 50.94 mg/l dans la zone sud (figure IV-12) ainsi dépassent la norme en vigueur (35 mg/L).

Cette grande charge en matières organiques entraînera un développement de micro-organismes aérobies et provoquera une chute de l'oxygène dissous dans le milieu récepteur et conduisant à l'asphyxie des espèces présentes.

La demande chimique en oxygène (DCO) permet également d'évaluer la charge polluante des eaux usées. C'est la consommation en oxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. La DCO mesure la totalité des substances oxydables, ce qui inclut celles qui sont biodégradables.

Les différentes mesures de la DCO effectuées sur la période sélectionnée (avril 2018 et avril 2019) L'analyse de la DCO dans les échantillons prélevés des eaux de rejet montre que les teneurs ne dépassent pas 115 mg/L (tableau IV-15, tableau IV-16) et ainsi n'atteignent jamais la norme en vigueur (120 mg/L). Les concentrations en DCO dans les rejets de la zone nord s'écartent entre 15 mg/l et 111.76 mg/l (Figure IV-13), pour la zone

Chapitre IV

sud elle varie de 37.01 mg/l à 112.57 mg/l (Figure IV-14). On peut dire que les deux zones respectent le projet de la norme nationale.

Tableau IV-13 : l'évolution de la DBO₅ dans les rejets (zone nord).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
DBO ₅	2,66	3,66	4	99,56	4,5	4	4	2	1,5	1,25	1,5	2	4,33
\bar{X}	10,38	10,38	10,38	10,38	10,38	10,38	10,38	10,38	10,38	10,38	10,38	10,38	10,38
MAX	99,56	99,56	99,56	99,56	99,56	99,56	99,56	99,56	99,56	99,56	99,56	99,56	99,56
MIN	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
NORME	35												
σ	26,82												
A	2,58												

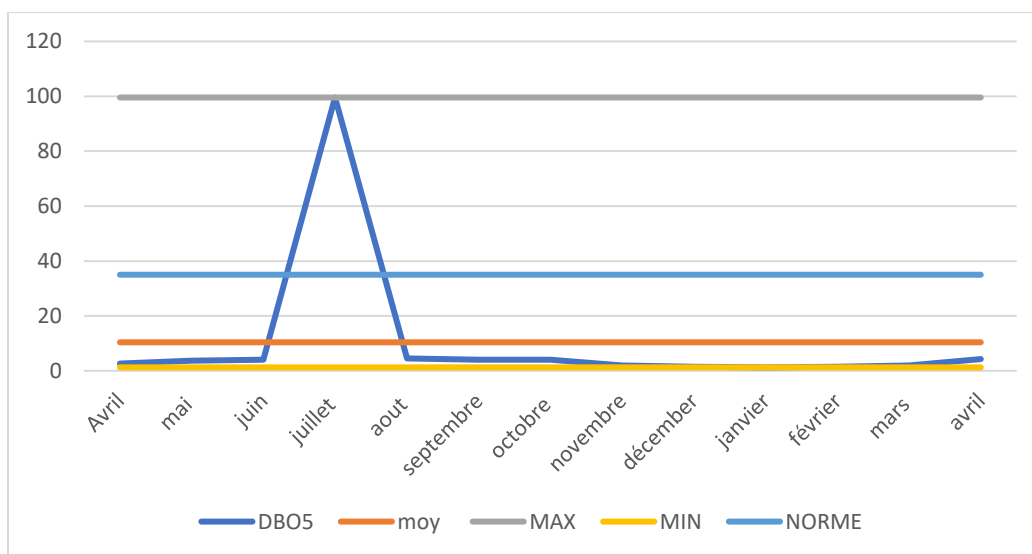


Figure IV-11 : l'évolution de la DBO₅ dans les rejets (zone nord).

Chapitre IV

Tableau IV-14 : l'évolution de la DBO₅ dans les rejets (zone sud).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
DBO ₅	3,66	11	4,33	50,94	11,75	6,66	7,5	2	3	4,25	6,5	6	4
\bar{x}	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35
MAX	50,94	50,94	50,94	50,94	50,94	50,94	50,94	50,94	50,94	50,94	50,94	50,94	50,94
MIN	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
NORME	35												
σ	12,82												
A	1,37												

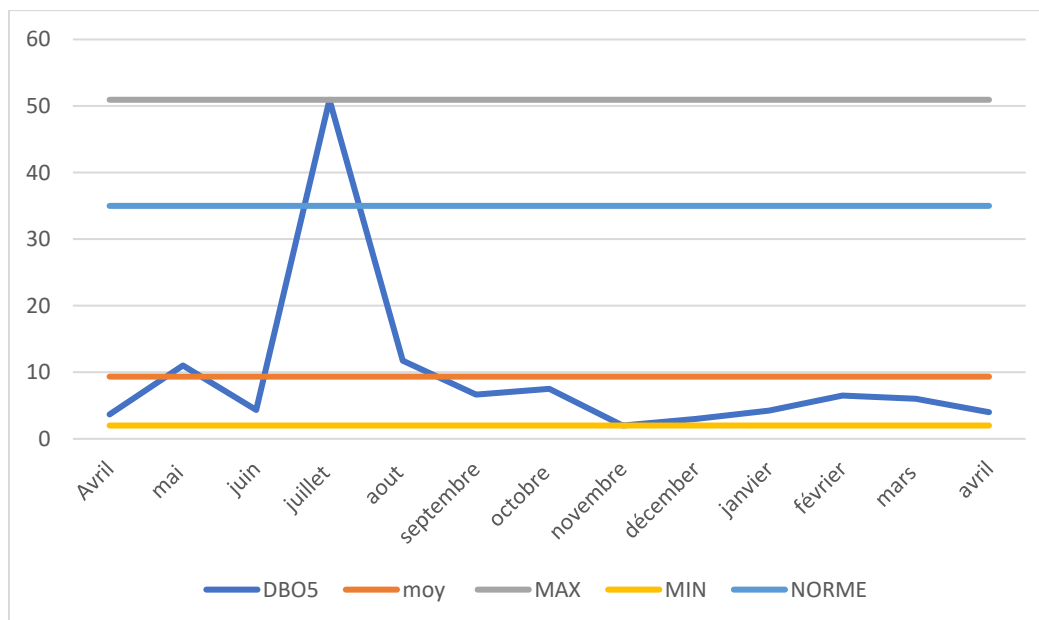


Figure IV-12 : l'évolution de la DBO₅ dans les rejets (zone sud).

Chapitre IV

Tableau IV-15 : l'évolution de la DCO dans les rejets (zone nord).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
DCO	23,36	68,42	40,28	Trc	109	61,04	111,76	Néant	101,04	80,84	15	23,4	80,89
\bar{X}	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
MAX	111,76	111,76	111,76	111,76	111,76	111,76	111,76	111,76	111,76	111,76	111,76	111,76	111,76
MIN	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
NORME	120												
σ	38,46												
A	0,59												

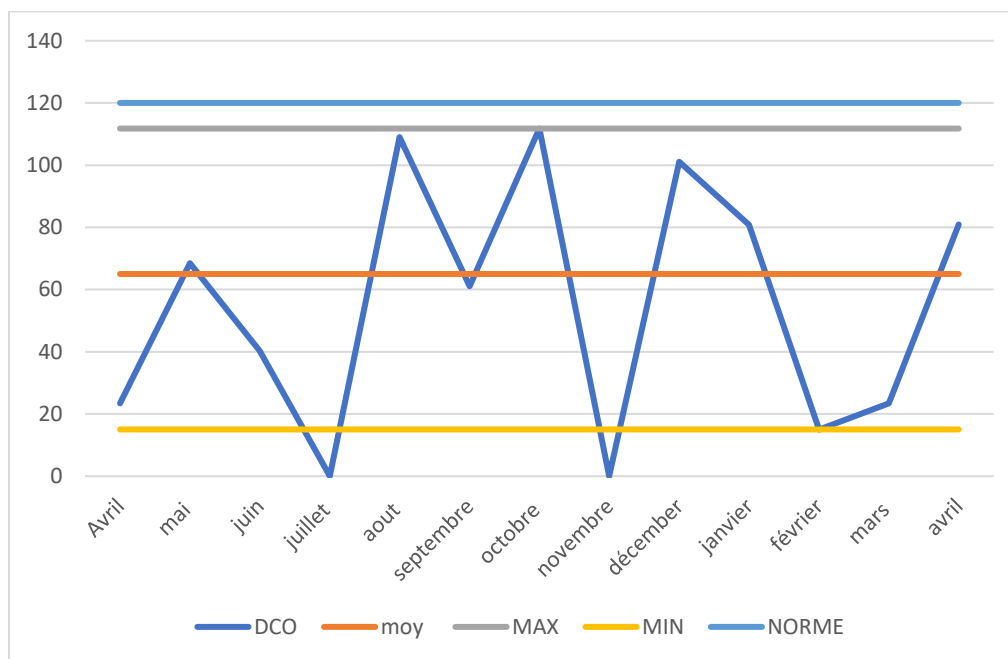


Figure IV-13 : l'évolution de la DCO dans les rejets (zone nord).

Chapitre IV

Tableau IV-16 : l'évolution de la DCO dans les rejets (zone sud).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr
DCO	82	76,51	37,01	Trc	112,57	84,62	95,21	100	108,14	81,41	77,72	68,41	103,7
\bar{X}	85,61	85,61	85,61	85,61	85,61	85,61	85,61	85,61	85,61	85,61	85,61	85,61	85,61
MAX	112,57	112,57	112,57	112,57	112,57	112,57	112,57	112,57	112,57	112,57	112,57	112,57	112,57
MIN	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
NORME	120												
σ	15,084												
A	0,176												

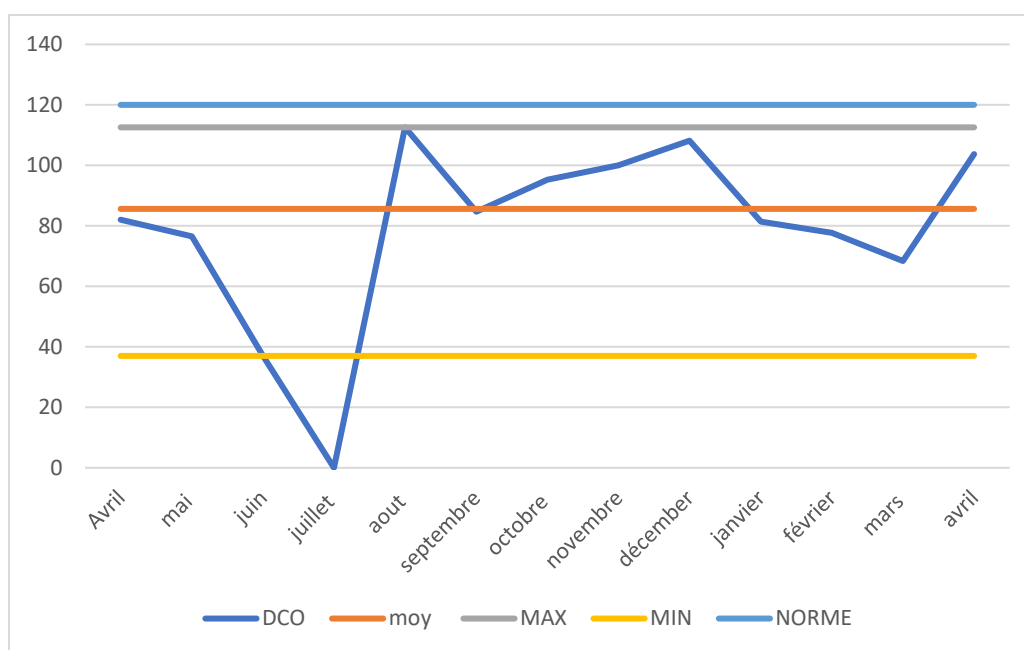


Figure IV-14 : l'évolution de la DCO dans les rejets (zone sud).

Chapitre IV

IV-2- Evaluation de la pollution organique des eaux résiduaires industrielles :

Pour une meilleure appréciation de l'origine des eaux résiduaires industrielles des effluents étudiés, on fait un calcul des rapports DCO/DBO₅, DBO₅/DCO (Tableau IV-17) qui donnent une première estimation sur la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent. Cette estimation présente l'intérêt le plus important pour avoir une image sur le degré de pollution d'une eau et même d'optimiser ces paramètres physico-chimiques afin de proposer une meilleure méthode de traitement.

Tableau IV-17 : Le rapport de la biodégradabilité.

	Zone Sud	Zone Nord
DBO₅ (mg d'O₂/l)	9.35	10.38
DCO (mg d'O₂/l)	85.61	65.003
DCO/DBO₅	9.15	6.26
DBO₅/DCO	0.109	0.159

Le rapport DCO/DBO₅ :

Le rapport DCO/DBO₅ donne une indication sur la biodégradabilité de la pollution organique quand le taux est inférieur à 3 l'effluent est facilement biodégradable, s'il est supérieur à 3 l'effluent est difficilement biodégradable. Le Tableau IV-17 montre que le rapport DCO/DBO₅ de la zone sud est de 9.15 et de 6.26 dans la zone nord, ces valeurs sont supérieures à 3 cela veut dire que les effluents sont peu ou pas biodégradables. On remarque que le rapport DCO/DBO₅ supérieure à 3 donc la valeur de la DBO₅ est inférieure à celle de la DCO. Par conséquent, il existe une fraction de la matière organique qui est très difficilement, voire non biodégradable ; on la qualifie alors de DCO dure ou réfractaire. Cette fraction de la matière organique génère des problèmes en épuration des effluents industriels, pour lesquels il est parfois difficile de respecter la réglementation en termes de concentrations limites dans les rejets épurés.

Le rapport DBO₅/DCO :

Pour caractériser une pollution industrielle, on considère le rapport DBO₅/DCO qui donne des indications très intéressantes sur l'origine d'une pollution des eaux usées et ses possibilités de traitement. Pour notre étude, ce rapport est relativement faible de l'ordre de 0.109 pour la zone sud et de 0.159 (Tableau IV-17). Ces résultats confirment le comportement peu biodégradable (DBO₅/DCO < 0.3) l'effluent est difficilement biodégradable, de la matière organique présente dans les eaux de rejet industrielle des deux zones étudiées. C'est le cas général pour les rejets faiblement chargés en matière organique.

Chapitre IV

IV-3-Calcul statistique des résultats de l'analyse physico-chimiques :

Un traitement statistique des résultats de la caractérisation physico-chimique s'annonce nécessaire pour mieux comprendre l'état du rejet, il repose essentiellement sur le calcul de la moyenne \bar{X} pour chaque paramètre ainsi que la variance δ et le coefficient de corrélation A pour les deux stations de prélèvement, le tableau regroupe l'essentiel de ce calcul. L'analyse de variance a permis de mettre en évidence, pour chaque paramètre, les stations qui sont significativement différentes les unes des autres de même que la variabilité périodique.

IV-3-1-pH :

Il est légèrement supérieur ou égal à 7 pour la majorité des stations : station sud ($\bar{X}= 7.31 \pm 0.631$, $A=0.086$, $N = 6.5 - 8.5$). La station nord a un pH supérieur à 8 ($\bar{X} = 8,34 \pm 0,134$, $A=0.016$ $N = 6.5 - 8.5$) ; elle est donc très significativement différente de l'autre station. Pendant la période de l'étude le pH ne subit pas des fluctuations pour toutes les stations avec une variance très faible comprises entre $\pm 0,134$ et ± 0.631 et un coefficient de corrélation négligeable de l'ordre de 0.016-0.086. Cette stabilité de pH au cours de la période d'analyse traduit le caractère neutre et légèrement basique dans les rejets déversés en amont de ces stations par l'Entreprise.

IV-3-2-Température :

Elle connaît une variation qui est significativement différente (1.32°C) entre la station nord ($\bar{X}=22.18 \pm 5.15$, $A = 0.23$, $N = 30^{\circ}\text{C}$) et la station sud ($\bar{X}= 20.86 \pm 5.34$, $A 0.25$, $N = 30^{\circ}\text{C}$), La température de l'eau de rejets des deux stations ne subit pas de fluctuations remarquables au cours de la période de l'étude avec de variances et de coefficients de corrélation relativement faibles.

IV-3-3-Matières en suspension (MES) :

La différence de concentration en matières en suspension est très marquée entre les différentes périodes d'échantillonnage avec des indices statistiques très élevés pour les stations mises en examen en effet la station sud présente une concentration moyenne de 27.21 mg/L une variance de l'ordre de ± 5.34 et un coefficient de corrélation égale à 0.196, la lecture dans cette compilation statistique pour les matières en suspension une variation relativement faible dans les concentration pendant la saison d'expertise et traduit en amont la charge modérée de la matière solide générer ainsi que la stabilité du procédé mis en place en matière de rejets solide dans les eaux résiduaires à la station de la zone sud .

Chapitre IV

IV-3-4-Demande chimique et biochimique en oxygène :

La demande chimique en oxygène est plus faible dans la station de la zone nord et plus élevée dans la station de la zone sud avec respectivement 65.003 mg/L et 85.61 mg/L en moyenne. La différence de concentration entre les deux stations (20.7 mg/L) est significativement importante. La variance δ et le coefficient de corrélation A des deux stations nord ($\delta = \pm 38.46$, $A = 0.59$) et sud ($\delta = \pm 15.084$, $A = 0.176$) reflètent une forte fluctuation dans la teneur en matière organique oxydable pendant la période d'étude et traduit en conséquence l'instabilité de la source de cette pollution en amont des stations de rejet. En revanche la demande biochimique en oxygène présente des concentrations faibles dans les deux stations nord et sud avec une moyenne de l'ordre de 10.38 mg/L et 9.5 mg/L respectivement. La variance et le coefficient de corrélation sont très élevés en effet ils indiquent la forte altération des rejets en matière organique bio oxydable avec des valeurs significatives d'une instabilité remarquable : zone nord : ($\delta = \pm 26.82$, $A = 2.58$) et zone sud ($\delta = \pm 12.82$, $A = 1.37$)

IV-3-5-Ammonium NH_4^+ :

La concentration en ion ammonium est en moyenne élevée dans la station de la zone sud (23.50 mg N- $\text{NH}_4 \text{ L}^{-1}$) et relativement faible dans la station de la zone nord (10.66 mg N- $\text{NH}_4 \text{ L}^{-1}$). La lecture dans les paramètres statistiques (δ , A) des deux stations sud ($\delta = \pm 9.35$, $A = 0.39$), et nord ($\delta = \pm 4.78$, $A = 0.44$) montre le comportement variable des eaux résiduaires chargées en ion ammonium et traduit l'instabilité des points de génération de cette espèce azotée en amont des stations.

IV-3-6-Azote Kjeldahl :

Les deux stations examinées présentent une moyenne faible de la concentration en Azote Kjeldahl croissante dans le sens suivant : zone nord (11.74 mg/L) et zone sud (24.27 mg/L), la comparaison entre les deux stations montre un équilibre dans les points de rejets des unités responsables de production des composés azotée

IV-3-7-Phosphore total :

La zone sud présente une teneur moyenne caractéristique de cette espèce. Par contre l'autre station examinée présente des concentrations négligeables, les paramètres statistiques calculés pour la station sud sont : P-tot ($\bar{X} = 5.14 \pm 2.55$, $A = 0.49$) ; il traduit d'avantage l'instabilité en matière de rejets de cette espèce.

Chapitre IV

Tableau V-18 : Synthèse de calcul statistique des résultats de l'analyse physico-chimiques des eaux résiduaires industrielles (FERTIAL-Annaba).

Paramètres	Station zone nord			Station zone sud		
	\bar{X}	σ	A	\bar{X}	σ	A
pH	8,34	0,134	0,016	7,31	0,631	0,086
Azote Kjeldahl	11,74	6,16	0,52	24,27	5,69	0,23
NH₄⁺	10,66	4,78	0,44	23,50	9,35	0,39
MES	/	/	/	27,21	5,34	0,196
P Total	/	/	/	5,14	2,55	0,49
DCO	65,003	38,46	0,59	85,61	15,084	0,176
DBO₅	10,38	26,82	2,58	9,35	12,82	1,37
Température	22,18	5,15	0,23	20,86	5,34	0,25

Chapitre IV

Conclusion :

La masse des analyses menées pour la caractérisation des eaux résiduaires des deux stations est importante. Ainsi, globalement, les eaux de rejets des stations étudiées ne satisfont pas au projet national de normes de rejets. Ainsi, selon leur forme, ces paramètres ont des effets différents sur le milieu récepteur. Il s'agit de la désoxygénation de l'eau par l'azote organique, de la production du gaz ammoniac toxique pour les poissons à partir de l'azote ammoniacal et de la prolifération d'algues et des macrophytes par l'azote nitrique et les phosphates plus le colmatage par les matières en suspension. Les concentrations en DCO et DBO₅ des rejets exposent le milieu récepteur à une pollution organique très élevée avec pour conséquence une baisse de sa capacité à s'auto-épurer. La matière organique constitue dans l'eau un apport alimentaire pour les microorganismes qui en la dégradant consomment l'oxygène du milieu qui devient de plus en plus déficitaire.

Le traitement statistique élémentaire des résultats de la caractérisation physico-chimique repose essentiellement sur le calcul de la moyenne \bar{X} pour chaque paramètre ainsi que la variance δ et le coefficient de corrélation A pour les deux stations de prélèvement. L'analyse de variance a permis de mettre en évidence, pour chaque paramètre, les stations qui sont significativement différentes les unes des autres de même que la variabilité périodique. Le synthèse globale des résultats est significatif d'une pollution caractéristique et massive ce qui nous incite à continuer notre diagnostic afin d'identifier d'une manière quantitative les eaux de rejet.

Chapitre V :
Evolution
massique des
espèces chimiques
rejetées et
quantifacation de
la co-fraction
valorisable

Chapitre V

Introduction :

La compilation analytique et statistique, des résultats de caractérisation des eaux résiduaires industrielles effectuées précédemment, nous ramène à une évaluation systématique de la charge valorisable réelle, des espèces indicatrices de pollution à savoir, les matières en suspensions, le phosphore, l'azote total, les matières organiques oxydables et biodégradable d'une manière quantitative.

V-1-Evaluation de la charge valorisable des rejets liquides :

V-1-1-La masse des MES :

Les résultats d'analyses et d'évaluation quantitative de la masse des MES des ERI de la station sud regroupés dans le tableau V-1 et représentés sur la figure V-1 montrent que la charge polluante minimale est de l'ordre de 13,506 T enregistré au mois de Novembre 2018, alors que la valeur maximale est de l'ordre de 24,585 T enregistré au mois de Juillet 2018 avec des teneurs variantes entre 14,467 et 22,728 Tonne pour les autres mois, et une charge annuelle importante de 244,16308 T/an.

La zone nord on ne peut pas évaluer sa masse ; car les analyses de cette zone pour cette année nous donnent que des traces seulement.

Tableau.V-1 : Evaluation de la masse des MES durant la période 2018-2019 (zone sud).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janvr	Fév	Mars	Avr
Débit	743,33	730	709,33	680	702,5	1266,66	1024,5	990	1063,33	1021,75	1037,5	1120	1227
\bar{X}	947,37												
[MES] (mg/l)	31,39	30,065	22,87	34,88	22,9325	21,21	27,55	19,8	20,57	32,245	33,425	25,4	31,4
[MES] T/mois	21,41	21,19	15,59	24,58	16,16	14,46	19,41	13,50	14,49	22,72	21,27	17,90	21,41
[MES] T/an	244,16												

Chapitre V

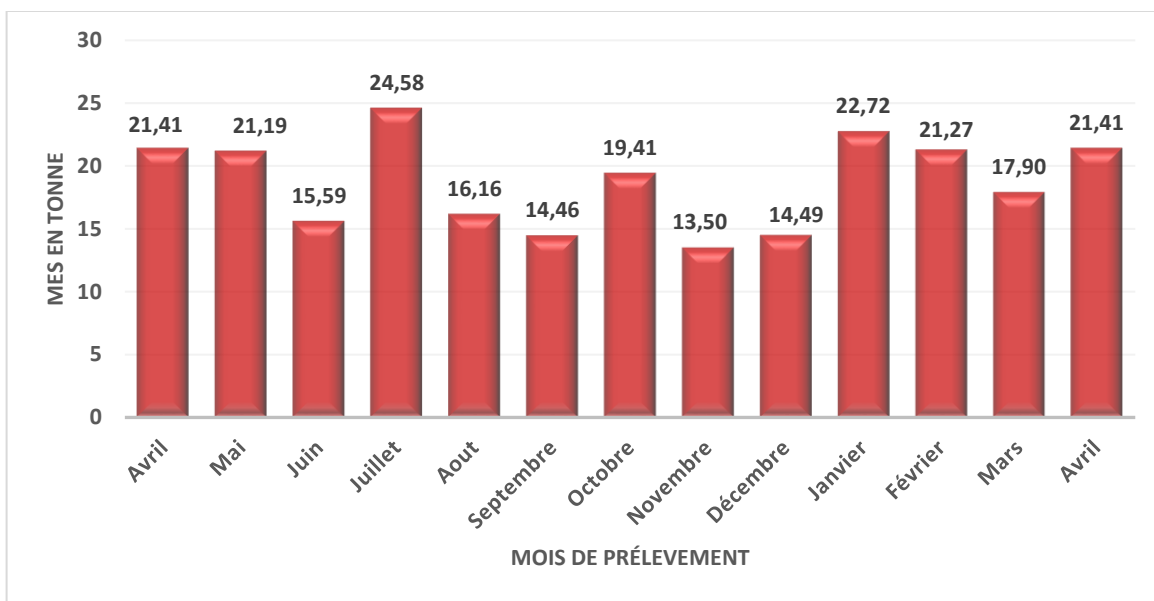


Figure.V-1 : Evaluation de la masse de la matière en suspension (zone sud 2018-2019).

V-1-2-La masse d'azote total :

Les résultats d'analyse et d'évaluation quantitative de la charge polluante de l'azote total des ERI de la zone nord reporté sur le tableau V-2 et représenté sur la figure V-2 montre que les teneurs en azote atteint une charge maximale de l'ordre de 374,01 T pendant le mois d'Avril 2018, et une charge minimale de 87,69 T enregistré dans le mois de Juillet 2018 ; avec un bilan annuel énorme de 2528,57 T/an. D'autre part les résultats d'analyse et d'évaluation quantitative de la charge polluante de l'azote totale des ERI de la zone sud reportés sur le tableau V-3 et représenté sur la figure V-3 affiche une valeur maximale de l'ordre de 44,12 T au mois de Mai 2018 et une valeur minimale de l'ordre de 14,53 T au mois de Juillet 2018, avec un bilan annuel de matière azoté estimé à 428,64 T/an.

La comparaison entre les deux stations montre que les résultats de la zone nord présentent une charge annuelle très importante en matières azotés relativement à la zone sud.

Chapitre V

Tableau V-2 : Evaluation de la charge polluante mensuelle de l'azote total durant la période 2018-2019 (zone nord).

	Avr	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
Débit	12333,33	11866,66	12800	11900	11737,5	12508,5	12340	11800	13250	12030	12050	8353,33	11806,66
\bar{X}	11905,84												
[N- _{TOT}] (mg/l)	43,63	20,01	23,525	9,9	20,235	15,625	37,34	33,23	26,1775	21,44	16,91	10,96	12,25
[N- _{TOT}] T/mois	374,01	177,24	201,66	87,69	179,24	133,94	330,75	284,85	231,87	189,91	135,29	97,08	105,01
[N- _{TOT}] T/an	2528,57												

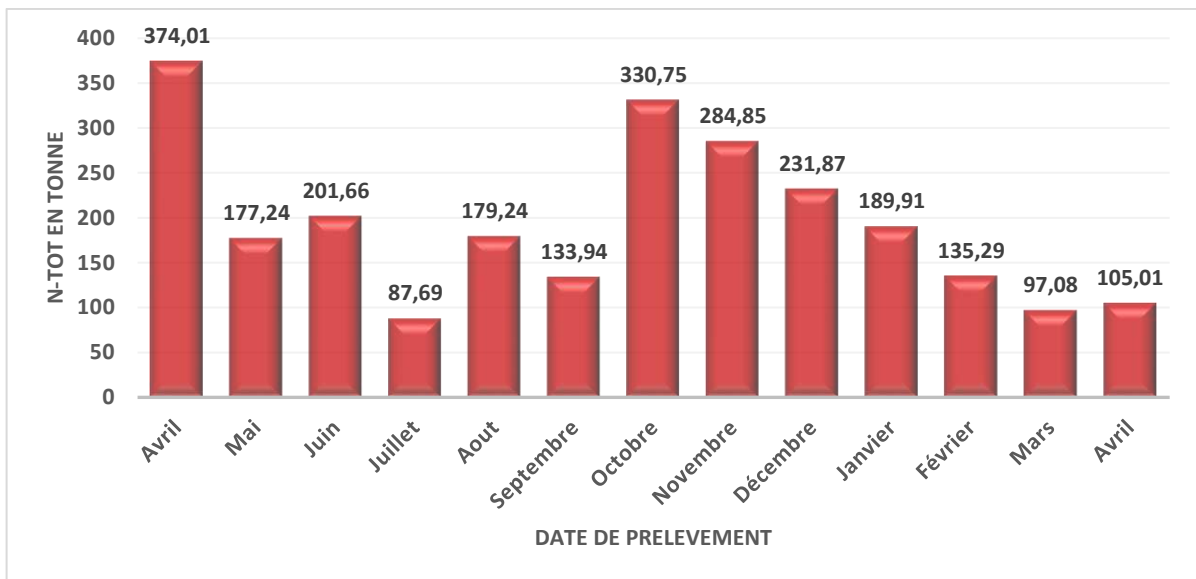


Figure.V-2 : Evaluation de la masse de l'azote total durant la période 2018-2019 (zone nord).

Chapitre V

Tableau V-3 : Evaluation de la masse mensuelle de l'azote total durant la période 2018-2019 (zone sud).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
Débit	743,33	730	709,33	680	702,5	1266,66	1024,5	990	1063,33	1021,75	1037,5	1120	1227
\bar{X}	947,37												
[N _{tot}] (mg/l)	55,64	62,6	32,82	20,62	39,54	28,63	60,26	38,04	57,54	56,205	55,895	55,76	57,51
[N _{tot}] T/mois	37,95	44,12	22,38	14,53	27,86	19,52	42,47	25,94	40,55	39,61	35,58	39,30	39,22
[N _{tot}] T/an	428,64												

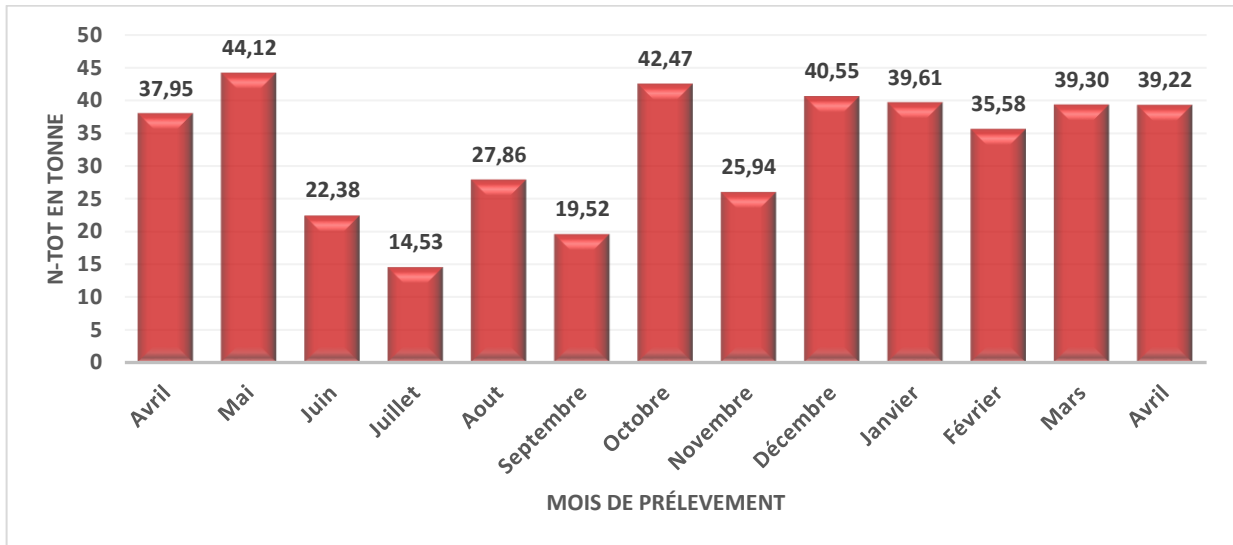


Figure.V-3: Evaluation de la masse mensuelle de l'azote total durant la période 2018-2019 (zone sud).

Chapitre V

V-1-3-La masse valorisable du phosphore :

Les résultats d'analyse et d'évaluation reportés sur le tableau V-4 montrent que la masse annuelle valorisable du phosphore rejeté dans la zone sud est de l'ordre de 42,65 T/an. En effet, nous avons enregistré sur la figure V-4 une charge minimale de l'ordre de 0,48 T au mois d'Aout 2018 alors que le mois de Septembre 2018 présente la charge la plus élevée avec une valeur de 6,03 Tonne.

Tableau V-4 : Evaluation de la masse valorisable mensuelle du phosphore durant la période 2018-2019 (zone sud).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
Débit	743,33	730	709,33	680	702,5	1266,66	1024,5	990	1063,33	1021,75	1037,5	1120	1227
\bar{X}	947,37												
[P] (mg/l)	3,01	6,19	2,25	Traces	0,69	8,84	7,67	6,4	4,05	5,89	3,495	7,91	5,29
[P] T/mois	2,053	4,36	1,53	/	0,48	6,03	5,40	4,36	2,85	4,15	2,22	5,57	3,60
[P] T/an	42,65												

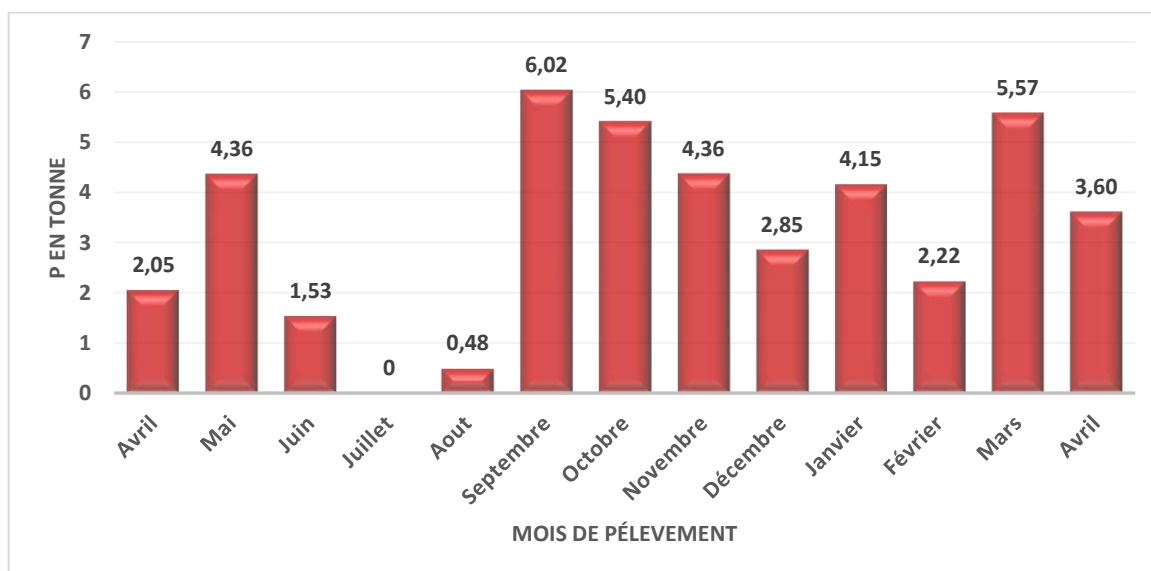


Figure. V-4 : Evaluation de la masse valorisable mensuelle du phosphore durant la période 2018-2019 (zone sud).

Chapitre V

V-1-4-La masse de la matière organique oxydable (MO.O):

Les résultats d'analyses et d'évaluation mensuelle et annuelle des ERI de la zone nord en matières organiques oxydables regroupé dans le tableau V-5 et présenté sur la figure V-5 montrent que la charge minimale des espèces organiques est de l'ordre de 120,01 Tonne enregistrer dans le mois de Février 2019, en revanche on a enregistré une charge maximale au mois de d'Octobre 2018 avec une valeur de l'ordre 989,964 Tonne. Or le bilan annuel affiche une valeur annuelle énorme de 6262,0985 T/an. Dans la zone sud (figure V-6), nous avons enregistrée une valeur minimale de 25,245 T enregistrée dans le mois de juin 2018 et une valeur maximale de l'ordre de 79,348 T enregistrée dans le mois d'Aout 2018, alors que la charge annuelle est estimée à 709,53 T/an (tableau V-6).

La comparaison entre les deux stations montre d'avantage les quantités importantes de matières organiques rejetées dans les ERI dans la zone nord relativement avec la zone sud.

Tableau V-5 : Evaluation de la masse de la matière organique oxydable durant la période 2018-2019 (zone nord).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
Débit	12333,33	11866,66	12800	11900	11737,5	12508,5	12340	11800	13250	12030	12050	8353,33	11806,66
\bar{X}	11905,84												
[MO.O] (mg/l)	23,36	68,42	40,28	Traces	109	61,04	111,76	Néant	101,04	80,84	15	23,4	80,89
[MO.O] T/mois	200,24	606,06	345,28	/	965,51	523,24	989,96	/	895,01	716,07	120,01	207,27	693,40
[MO.O] T/an	6262,09												

Chapitre V

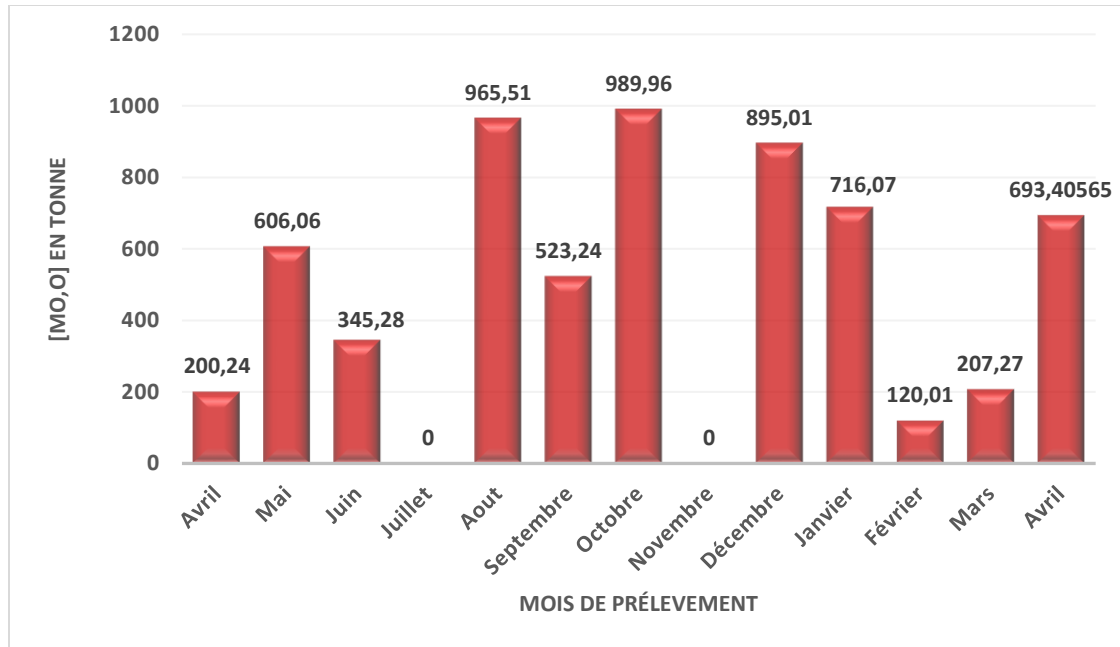


Figure. V-5 : Evaluation de la masse de la matière organique oxydable durant la période 2018-2019 (zone nord).

Tableau V-6: Evaluation de la masse de la matière organique oxydable durant la période 2018-2019 (zone sud).

	Avr	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
Débit	743,33	730	709,33	680	702,5	1266,66	1024,5	990	1063,33	1021,75	1037,5	1120	1227
\bar{x}	947,37												
[MO.O] (mg/l)	82	76,51	37,01	Traces	112,575	84,62	95,21	100	108,14	81,415	77,725	68,41	103,7
[MO.O] T/mois	55,93	53,92	25,24	/	79,34	57,71	67,12	68,21	76,22	57,38	49,48	48,21	70,73
[MO.O] T/an	709,53												

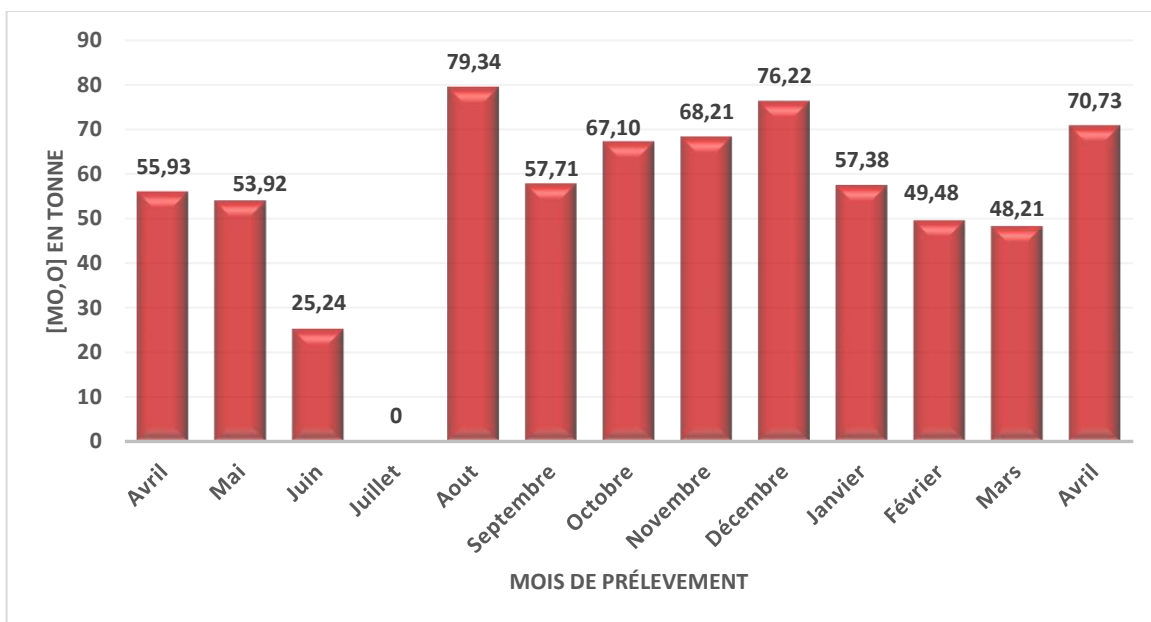


Figure. V-6 : Evaluation de la masse de la matière organique oxydable durant la période 2018-2019 (zone sud).

V-1-4-La masse de la matière organique biodégradable (MO.B):

Les résultats d'analyse et d'évaluation mensuelle et annuelle des ERI en matière organique biodégradable de la zone nord regroupés dans le tableau V-7 et représentés sur la figure V-7, montrent que la valeur minimale est de l'ordre de 11,072 T a été enregistré dans le mois de Janvier 2019, par contre la valeur maximale est de l'ordre de 881,897T durant le mois de Juillet 2018. D'autre part les résultats d'évaluation quantitative de cette matière organique biodégradable dans les ERI de la zone sud regroupés dans le tableau V-8 et représentés dans la figure V-8 montrent que la valeur minimale est de l'ordre de 1,364 T enregistrée dans le mois de Novembre (2018), alors que le mois de Juillet (2018) affiche une valeur maximal de 35,905 T et une charge annuelle de 84,789 T/an.

La comparaison entre les deux stations montre que la charge annuelle de matières organiques biodégradable de la zone nord est plus grande que celle de la zone sud avec une valeur importante de l'ordre de 1189,327 T/an.

Chapitre V

Tableau V-7 : Evaluation de la masse de la matière organique biodégradable 2018-2019 (zone nord).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
Débit	12333,33	11866,66	12800	11900	11737,5	12508,5	12340	11800	13250	12030	12050	8353,33	11806,66
\bar{X}	11905,84												
[MO.B] (mg/l)	2,66	3,66	4	99,56	4,5	4	4	2	1,5	1,25	1,5	2	4,33
[MO.B] T/mois	22,80	32,42	34,28	881,89	39,86	34,28	35,43	17,14	13,28	11,07	12,00	17,71	37,11
[MO.B] T/an	1189,33												

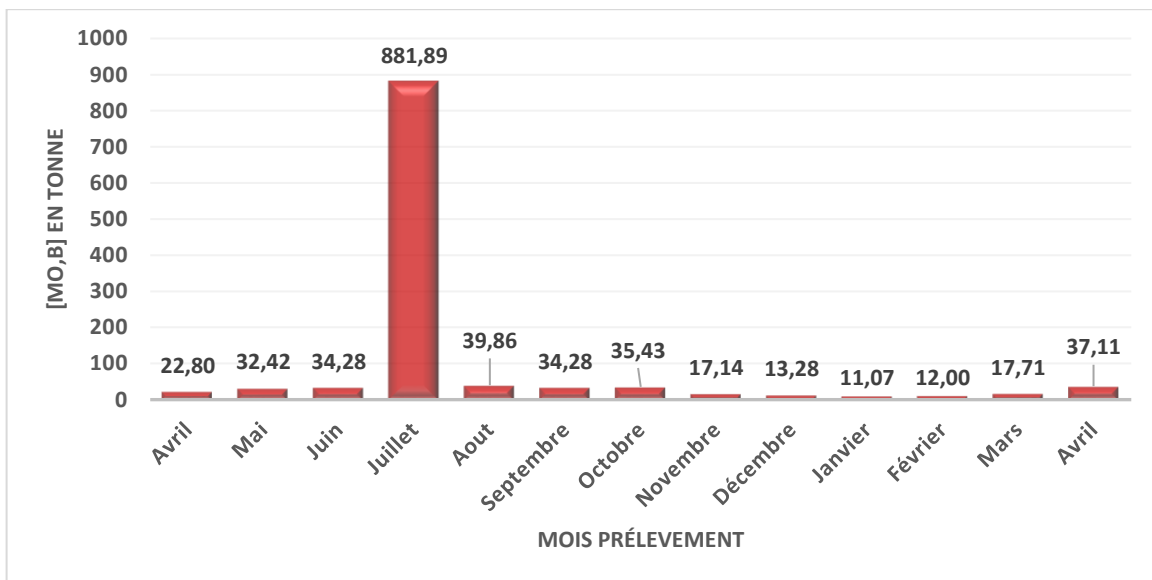


Figure. V-7 : Evaluation de la masse de la matière organique biodégradable durant la période 2018-2019 (zone nord).

Chapitre V

Tableau V-8 : Evaluation de la masse de la matière organique biodégradable durant la période 2018-2019 (zone sud).

	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avr
Débit	743,33	730	709,33	680	702,5	1266,66	1024,5	990	1063,33	1021,75	1037,5	1120	1227
\bar{x}	947,37												
[MO.B] (mg/l)	3,66	11	4,33	50,94	11,75	6,66	7,5	2	3	4,25	6,5	6	4
[MO.B] T/mois	2,49	7,75	2,95	35,90	8,28	4,54	5,28	1,36	2,11	2,99	4,13	4,22	2,72
[MO.B] T/an	84,79												

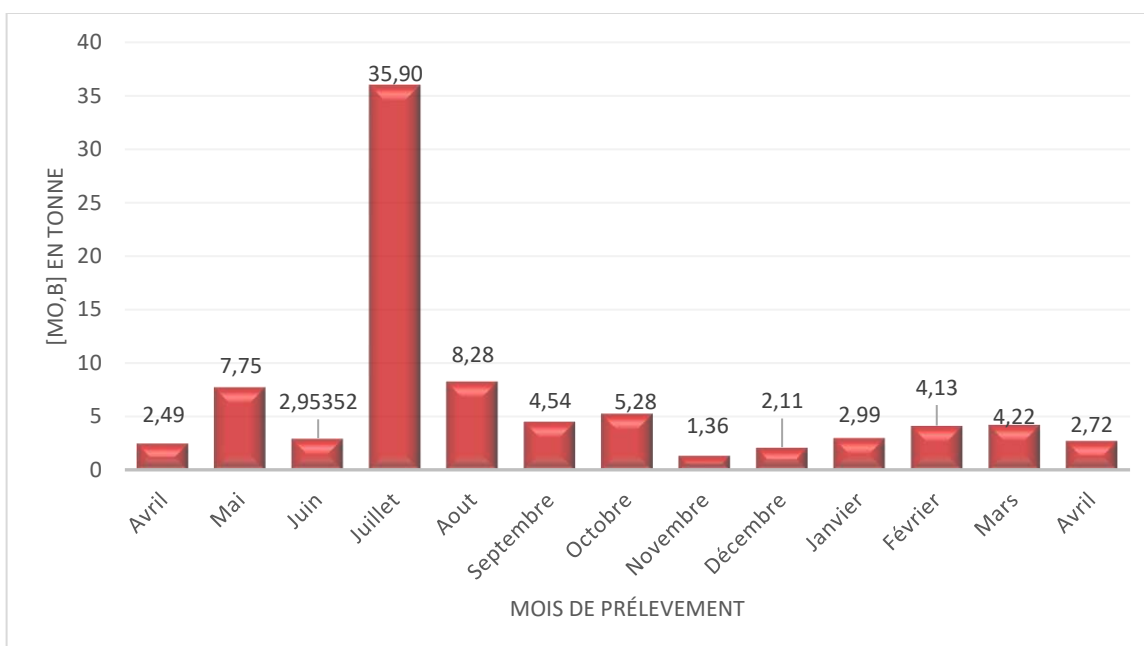


Figure. V-8 : Evaluation de la masse de la matière organique biodégradable durant la période 2018-2019 (zone sud).

Chapitre V

V-2-Evaluation de la charge annuelle des ERI :

Les résultats d'analyse et d'évaluation des paramètres de pollution annuelle représentés sur les deux figures V-9 et V-11 de la zone sud et nord respectivement montrent que la zone nord subsistait le point de rejet le plus riche des espèces polluantes étudiés, tel que l'azote total qui représente également six fois la quantité rejetée dans la zone sud, et dans le même contexte nous avons constatés que les matières organiques oxydables représentent quasiment huit fois la quantité estimée dans le point de rejet de la zone nord et finalement les matières organiques biodégradable représente 14 fois la quantité rejetée dans le point de rejet de la zone sud.

Tableau.V-9 : Evaluation de la masse annuelle (2018-2019).

	MO.B	MO.O	MES	N-Tot	P
T/an Zone Sud	84,79	709,53	244,16	428,64	42,65
T/an Zone Nord	1189,33	6262,09	/	2528,57	/
Le rapport Nord/Sud	14,03	8,83	/	5,89	/

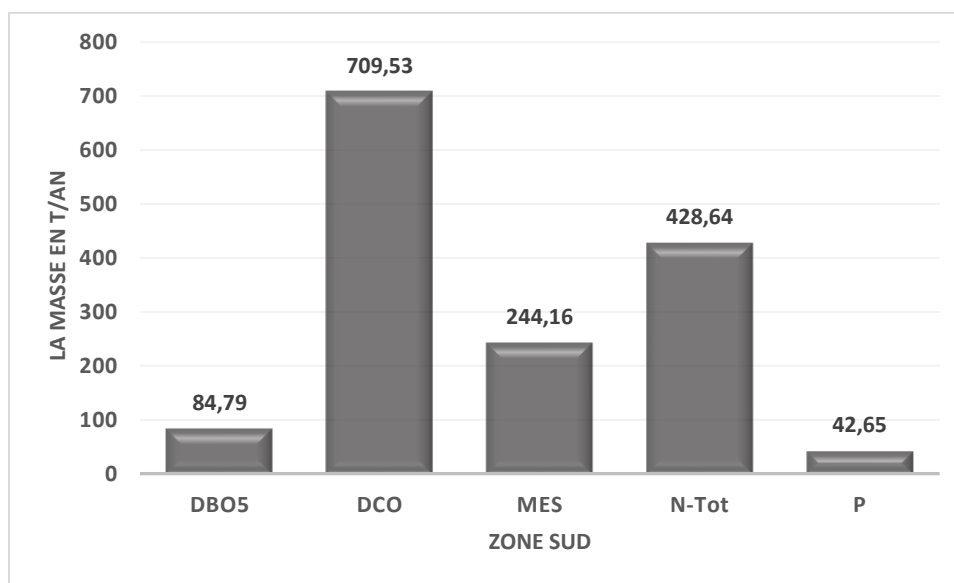


Figure.V-9 : Evaluation de la masse annuelle (2018-2019 zone sud).



Figure.V-10 : le point de rejet en aval de la zone sud.

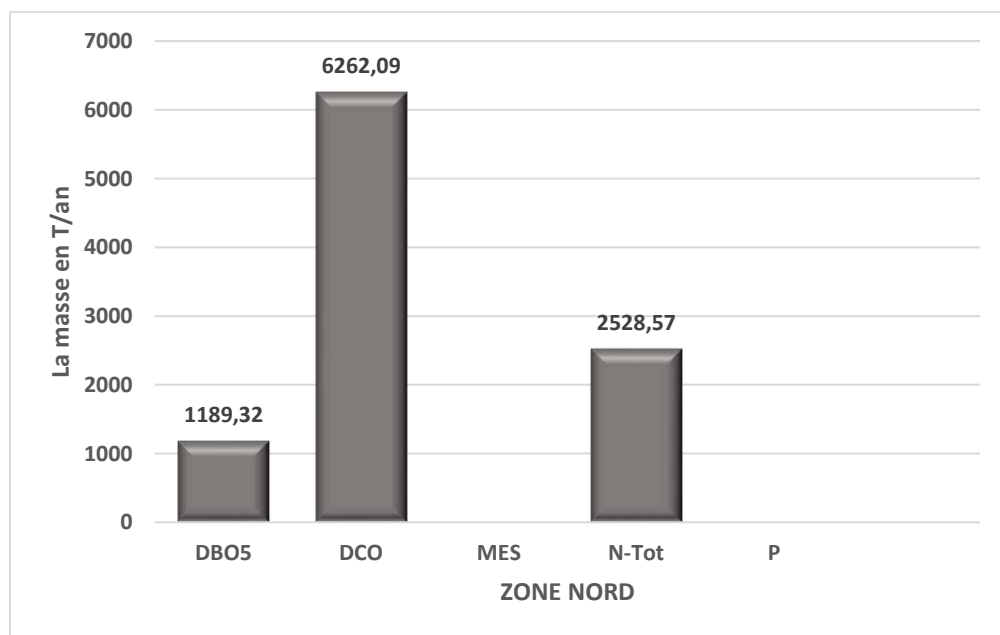


Figure.V-11 : Evaluation de la masse annuelle (2018-2019 zone nord).



Figure. V-12 : Le point de rejet en aval de la zone nord.

V-3-Evaluation globale de la masse annuelle jetée dans la mer :

Les résultats d'analyse et d'évaluation globale des charges polluantes regroupés dans le tableau V-10 et représenté sur la figure V-13 montrent que la majorité de la charge polluante annuelle déversée était celle de la matière organique oxydable avec une valeur énorme de l'ordre de 6971,63 T/an qui inclut la partie de la matière organique biodégradable avec une valeur de l'ordre de 1274,12 T/an. Alors que la charge polluante de l'azote total est de l'ordre de 2957,22 T/an.

Puis on a les matières en suspensions qui peuvent être organique ou minérale sont enregistrés une valeur de 244,16 T/an et le phosphore était de l'ordre de 42,65 T/an ces deux paramètres déversés seulement à partir de la zone sud.

Chapitre V

Tableau.V-10 : Evaluation globale de la masse annuelle (2018-2019).

Paramètre	MO.B	MO.O	MES	N-Tot	P
Charge globale T/an	1274,11	6971,63	244,16	2957,22	42,65
Sud T/an	84,79	709,53	244,16	428,64	42,65
% (Z.S)	6,65%	10,17%	100%	14,49%	100%
Nord T/an	1189,33	6262,09	/	2528,57	/
% (Z.N)	93,34%	89,82%	/	85,51%	/

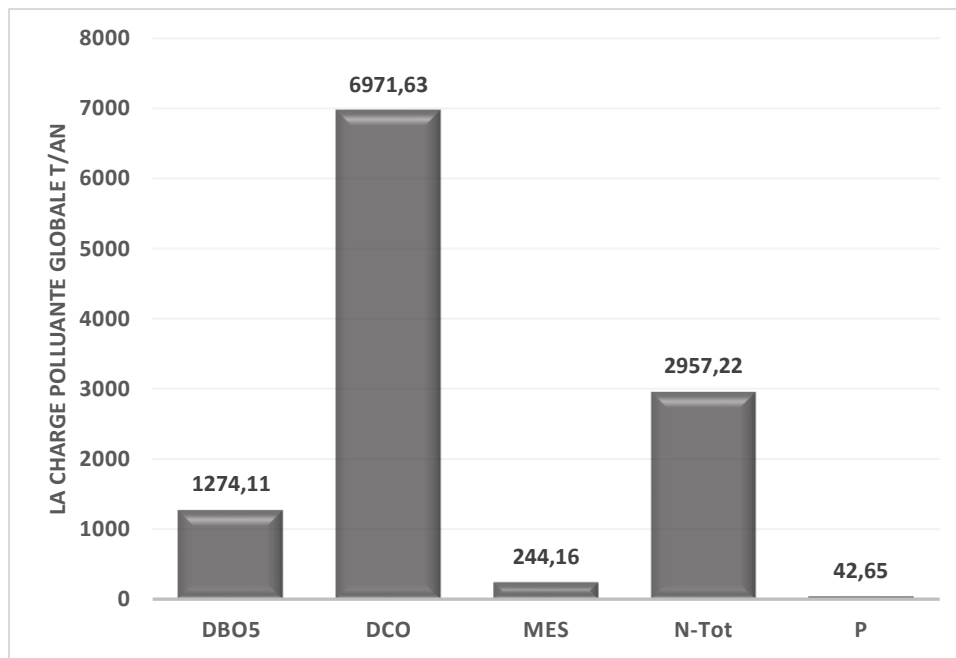


Figure.V-13 : Evaluation globale de la masse annuelle (2018-2019).

Chapitre V

Conclusion :

L'appréciation de la masse globale réelle rejetée par an dans la mer en matière organique oxydable est de l'ordre de 6971,63 T/an dont 89,82% est dans la station nord, l'azote total viens en second avec une charge globale de 2957,22 T/an ou la quantité rejetée dans la zone nord représente 85,51% , par la suite arrive les matières en suspensions en troisième position avec une charge annuelle de 244,16 T/an est évaluée dans le point de rejet de la zone sud, finalement les espèces phosphatés caractérise le point de rejet de la zone sud avec des charges valorisables de l'ordre et 42,65 T/an.

Toutefois, l'utilisation intensive de phosphore pose deux problèmes environnementaux : le phosphore est responsable, associé aux nitrites, de l'eutrophisation des lacs et des rivières. Si la nécessité d'éviter le rejet incontrôlé de phosphore dans les effluents est maintenant intégrée dans la démarche de la plupart des utilisateurs du phosphore : industriels, industriels spécialisés dans le traitement des eaux, agriculteurs..., la prise de conscience de la nécessité de mieux gérer les réserves en phosphore est plus récente et pas encore partagé partout.

Cependant, de plus en plus convaincus qu'à l'avenir cet élément n'est pas une ressource inépuisable, et aussi sous les pressions socio-environnementales, les industriels du phosphore et du traitement de l'eau dans les pays dits développés se sont fixés l'objectif de valoriser le phosphore contenu dans les eaux résiduaires (urbaines, industrielles ou agricole) dans le cadre d'une politique de développement durable. Ces dernières années, en Europe ou au Japon, plusieurs compagnies ont mis au point ou ont testé des systèmes de récupération/valorisation du phosphore et continuent à les améliorer. Certains pays précurseurs (Pays Bas, Allemagne, Suède) ont fait de la valorisation du phosphore un objectif de politique nationale, ce qui a permis la mise en place et le développement de systèmes de récupération à l'échelle industrielle. Cela ne semble malheureusement pas encore être le cas en Algérie.

**Chapitre VI:
Distrubition
spatiale des
groupes de
paramètres mise
en évidence par
L'ACP**

Chapitre VI

Introduction :

La pollution par les eaux usées industrielles est autant de facteurs menaçants qui tendent à mettre en péril les potentialités environnementales tout en impactant de manière négative le cadre de vie et le bien-être des citoyens, la caractérisation des eaux résiduaires de FERTIAL présentent des valeurs des paramètres MES, DCO et DBO5 qui dépassent relativement les valeurs limites générales des rejets directs et indirects ce qui représente un risque de pollution environnementale.

Dans notre étude on va faire une étude statistique à base d'Analyse en Composants Principales (ACP), on a collecté les analyses de rejets des deux zones nord et sud à partir de l'année 2008 jusqu'à l'année 2019. L'utilisation de l'ACP, pour l'interprétation des données semble une solution intéressante pour une meilleure compréhension de la qualité des eaux, Cette technique a également l'avantage de transformer les variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélés entre elles, en nouvelles variables quantitatives, non corrélées, appelées composantes principales, l'objectif principal est de faire une représentation graphique compréhensible.

L'objectif de cette étude est de mettre en évidence les facteurs les plus influençant sur la pollution des milieux aquatiques en appliquant l'analyse en composants principales, pour atteindre l'objectif nous avons utilisé le logiciel Anaconda (Python) que nous avons appliqué à une base de données de 817 paramètres ; 449 pour la zone nord et 368 pour la zone sud.

VI-1-Traitement statistique des données par Python :

Pour un meilleur traitement des données, nous avons utilisé la programmation Python qui nous donne les outils nécessaires pour faire aussi bien l'analyse des données et les graphiques pour l'interprétation, à cet effet toutes les données des deux zones nord et sud seront utilisées pour l'analyse de données :

Chapitre VI

VI-1-1-Traitement statistique de la zone nord :

- **La corrélation :**

Tableau VI-1 : corrélation entre les paramètres de la zone nord des données (2008 -2019).

	PH	Azote Kjeldahl	NH_4^+	MES	DCO	DBO ₅	T _s
PH	1.000000	0.009655	-0.037411	0.030040	-0.038280	-0.119088	-0.045263
Azote Kjeldahl	0.009655	1.000000	0.877248	-0.124433	0.081230	0.102301	-0.104165
NH_4^+	-0.037411	0.877248	1.000000	-0.100983	0.068770	0.113006	-0.044064
MES	0.030040	-0.124433	-0.100983	1.000000	0.076297	-0.145222	-0.090740
DCO	-0.038280	0.081230	0.068770	0.076297	1.000000	0.186396	0.112054
DBO ₅	-0.119088	0.102301	0.113006	-0.145222	0.186396	1.000000	0.066725
T _s	-0.045263	-0.104165	-0.044064	-0.090740	0.112054	0.066725	1.000000

- **Interprétation :**

L'analyse effectuée par Python nous montre qu'il y'a une forte corrélation entre [NH_4^+ - l'Azote Kjeldahl] de 87%, par contre les autres paramètres physico-chimiques de la zone nord ne sont pas corrélés car ils sont proches de zéro, la figure VI-1 montre cette corrélation.

Chapitre VI

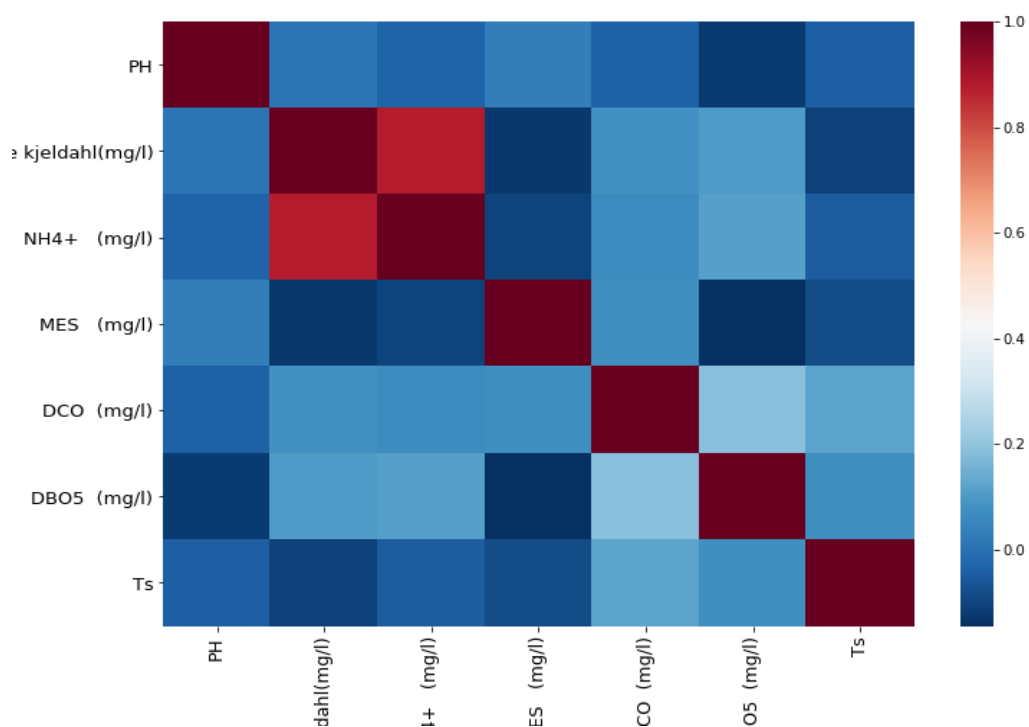


Figure.VI-1 : représentation graphique de corrélation des données de la zone nord.

➤ Les zones en rouges et en briques sont des zones corrélées les autres non.

- **Variance :**

Tableau VI-2 : la variance des paramètres de la zone nord des données (2008 -2019).

PH	0.712338
Azote Kjeldahl	129.787025
NH_4^+	72.766638
MES	51.133257
DCO	1898.597292
DBO₅	81.041664
Ts	24.239843

➤ La DCO a beaucoup varié, cela veut dire qu'il a été utilisé d'une manière différente avec le temps.

Chapitre VI

- **Covariance :**

Tableau VI-3 : la variance-covariance des paramètres de la zone nord des données (2008 -2019).

	PH	Azote Kjeldahl	NH_4^+	MES	DCO	DBO ₅	T _s
PH	0.712338	0.092837	-0.269347	0.181297	-1.407752	-0.904828	-0.189879
Azote Kjeldahl	0.092837	129.787025	85.251912	-10.136856	40.322678	10.491758	-5.879245
NH_4^+	-0.269347	85.251912	72.766638	-6.159785	25.561354	8.678028	-1.858622
MES	0.181297	-10.136856	-6.159785	51.133257	23.772587	-9.348446	-3.211263
DCO	-1.407752	40.322678	25.561354	23.772587	1898.597292	73.115100	24.062994
DBO ₅	-0.904828	10.491758	8.678028	-9.348446	73.115100	81.041664	2.944617
T _s	-0.189879	-5.879245	-1.858622	-3.211263	24.062994	2.944617	24.239843

- **ACP :**

Le traitement statistique en utilisant l'analyse en composantes principales de 8 paramètres (pH, Azote Kjeldahl, NH_4^+ , MES, P, DCO, DBO₅, T_s) de 449 échantillons de la zone nord celle de Janvier 2008 jusqu'à Avril 2019 par le logiciel Python nous conduit à résumer en trois composantes principales nos données, ce qui est équivalent à trois axes, expliquant 95,8% de l'inertie totale du nuage (figure VI-2).

En réalité, on peut ici se contenter de sélectionner deux axes. En effet, d'un côté, la chute d'inertie est très importante dès le troisième axe, qui ne conserve plus que 3% de l'inertie totale ; de l'autre, les deux premiers axes conservent plus de 91,4% de l'inertie ce qui est très bon. Avec les deux premiers axes, nous disposons donc d'un espace compréhensible par l'œil sans subir une déformation trop prononcée du nuage.

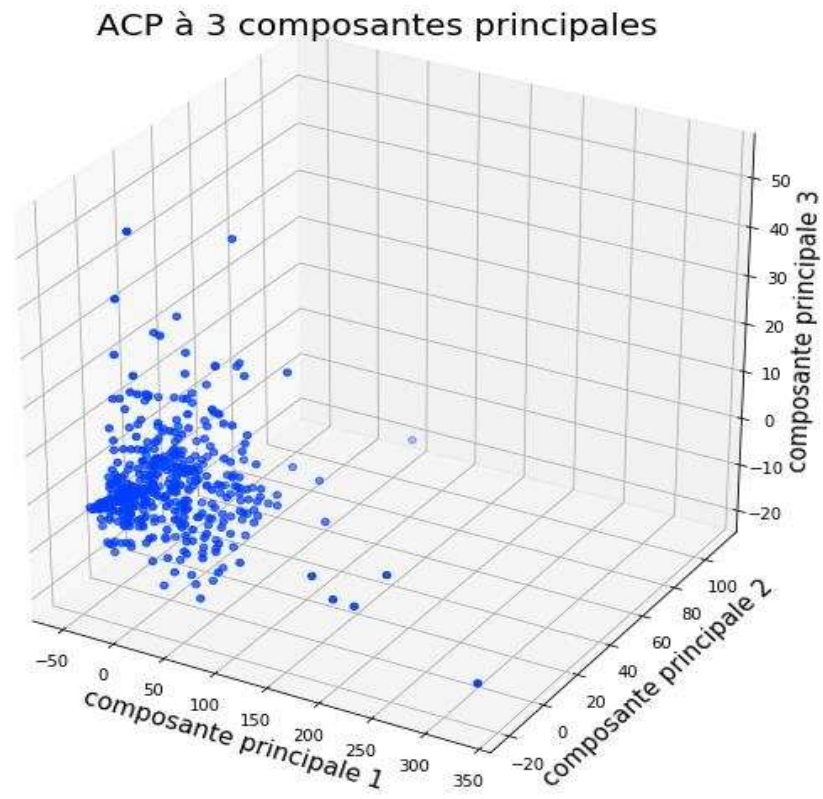


Figure.VI-2 : représentation graphique d'ACP à 3 composantes principales de la zone nord en 3D.

Chapitre VI

- **Groupement KMeans :**

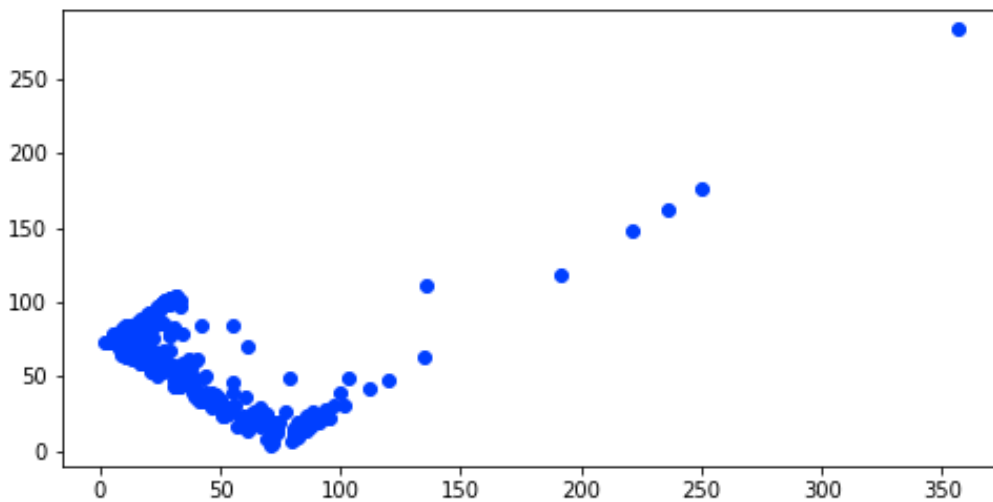


Figure.VI-3 : représentation graphique de groupement KMeans des données de la zone nord.

- **Interprétation :**

Les KMeans dans cet outil Python, essaye de trouver des groupes à l'intérieur des données, c'est à dire on cherche à construire des centres sur lesquels on essaye de rapprocher des individus pour former un groupe séparé des autres. Dans notre cas, il y'a un groupe compact et les autres éléments restent dispersé ce qui n'est pas intéressant pour le groupage. Ce groupage permet de faire une modélisation des groupes, c'est à dire chaque groupe s'il y en avait eu pu être représenté par un modèle mathématique pour simplifier son utilisation.

Chapitre VI

VI-1-2-Traitement statistique de la zone sud :

- **La corrélation :**

Tableau VI-4 : corrélation entre les paramètres de la zone sud des données (2008 -2019).

	PH	Azote Kjeldahl	NH_4^+	MES	P	DCO	DBO ₅	T _s
PH	1.000000	0.304973	0.278406	0.072944	-0.024640	0.066937	-0.019994	-0.080313
Azote Kjeldahl	0.304973	1.000000	0.930751	0.660852	0.365078	0.125616	0.074866	0.003712
NH_4^+	0.278406	0.930751	1.000000	0.705296	0.425550	0.123870	0.053652	0.029153
MES	0.072944	0.660852	0.705296	1.000000	0.543451	0.227867	0.094406	0.082701
P	-0.024640	0.365078	0.425550	0.543451	1.000000	0.021074	0.037816	0.008415
DCO	0.066937	0.125616	0.123870	0.227867	0.021074	1.000000	0.098474	-0.022258
DBO ₅	-0.019994	0.074866	0.053652	0.094406	0.037816	0.098474	1.000000	-0.054352
T _s	-0.080313	0.003712	0.029153	0.082701	0.008415	-0.022258	-0.054352	1.000000

- **Interprétation :**

Ces analyses de la zone sud (figure VI-4) permettent de distinguer :

- Une forte corrélation entre [NH_4^+ - l'Azote Kjeldahl] de 93%, [MES – NH_4^+] 70,5% et [MES – l'Azote Kjeldahl] de 66%.
- Une corrélation moyenne entre [P - MES] de 54%.
- Une faible corrélation entre [P – NH_4^+] de 42,5%.
- Une plus faible corrélation entre [P – l'Azote Kjeldahl] 36,5%.

Chapitre VI

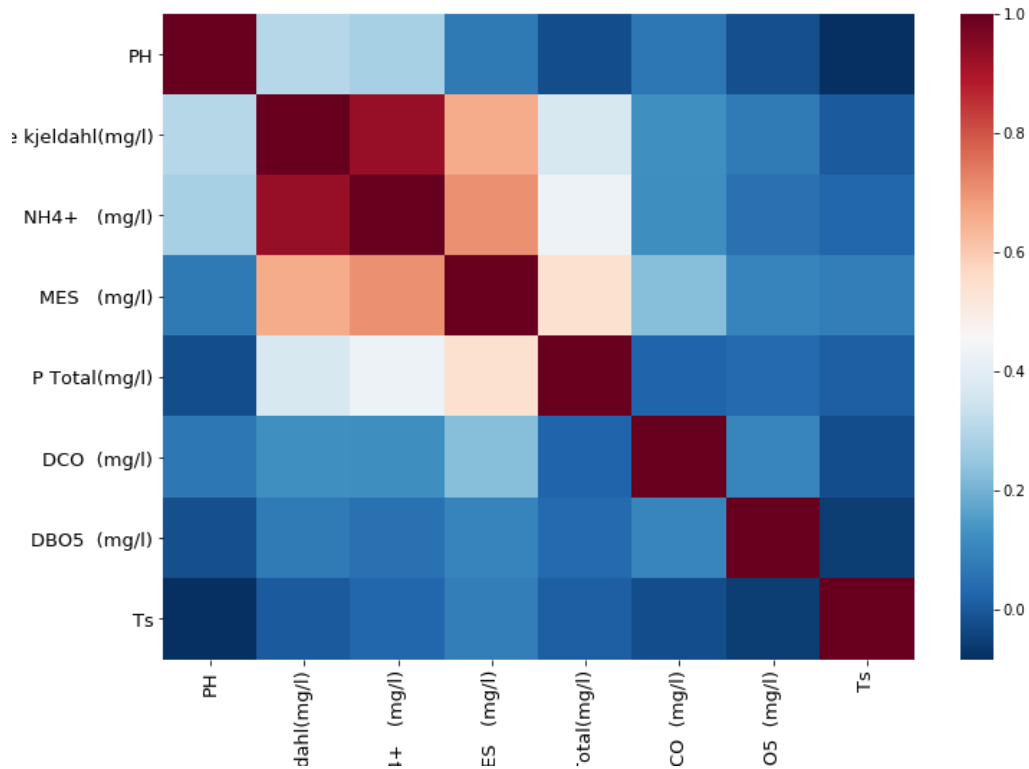


Figure.VI-4 : représentation graphique de corrélation des données de la zone sud.

- **Variance :**

Tableau VI-5 : la covariance des paramètres de la zone sud des données (2008 -2019).

pH	1.074648
Azote Kjeldahl	6443.605666
NH_4^+	6187.842777
MES	8482.393018
P	604.117509
DCO	2580.225216
DBO₅	1499.020474
Ts	22.839701

➤ On remarque déjà une très forte variance des MES, Azote Kjeldahl et du NH_4^+

Chapitre VI

- **Covariance :**

Tableau VI-6 : la variance-covariance des paramètres de la zone sud des données (2008 -2019).

	pH	Azote Kjeldahl	NH_4^+	MES	P	DCO	DBO ₅	T _s
PH	1.074648	23.817662	21.409942	7.568437	-0.499705	3.251633	-0.860333	-0.301781
Azote Kjeldahl	23.817662	6443.605666	5877.163775	4885.709195	720.641254	512.199922	236.024963	2.520904
NH_4^+	21.409942	5877.163775	6187.842777	5109.754275	822.791872	494.952170	166.581411	11.699625
MES	7.568437	4885.709195	5109.754275	8482.393018	1230.587061	1066.028707	341.386793	36.978325
P	-0.499705	720.641254	822.791872	1230.587061	604.117509	28.199416	36.443521	1.824247
DCO	3.251633	512.199922	494.952170	1066.028707	28.199416	2580.225216	196.309432	-7.543260
DBO ₅	-0.860333	236.024963	166.581411	341.386793	36.443521	196.309432	1499.020474	-9.937548
T _s	0.301781	2.520904	11.699625	36.978325	1.824247	-7.543260	-9.937548	22.839701

- **ACP :**

Le traitement statistique en utilisant l'analyse en composantes principales de 8 paramètres (pH, Azote Kjeldahl, NH_4^+ , MES, P, DCO, DBO₅, T_s) de 368 échantillons de la zone sud celle de Janvier 2008 jusqu'à Avril 2019 par le logiciel Python nous conduit à sélectionner trois axes, expliquant 91,03 % de l'inertie totale du nuage (figure VI-5).

En réalité, on peut ici se contenter de sélectionner deux axes. En effet, d'un côté, la chute d'inertie est très importante dès le troisième axe, qui ne conserve plus que 8% de l'inertie totale ; de l'autre, les deux premiers axes conservent plus de 82% de l'inertie ce qui est très bon. Avec les deux premiers axes, nous disposons donc d'un espace compréhensible par l'œil sans subir une déformation trop prononcée du nuage.

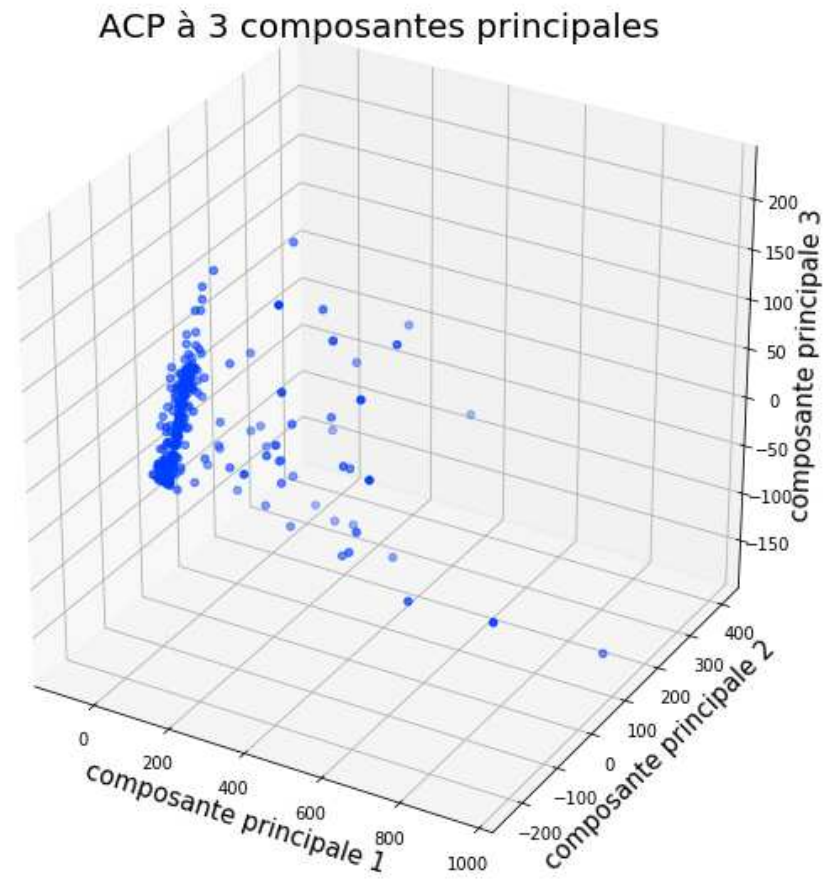


Figure.VI-5 : représentation graphique d'ACP à 3 composantes principales de la zone nord en 3D.

- Cette représentation nous permet une meilleure compréhension de nos données.

Chapitre VI

- **Groupement KMeans :**

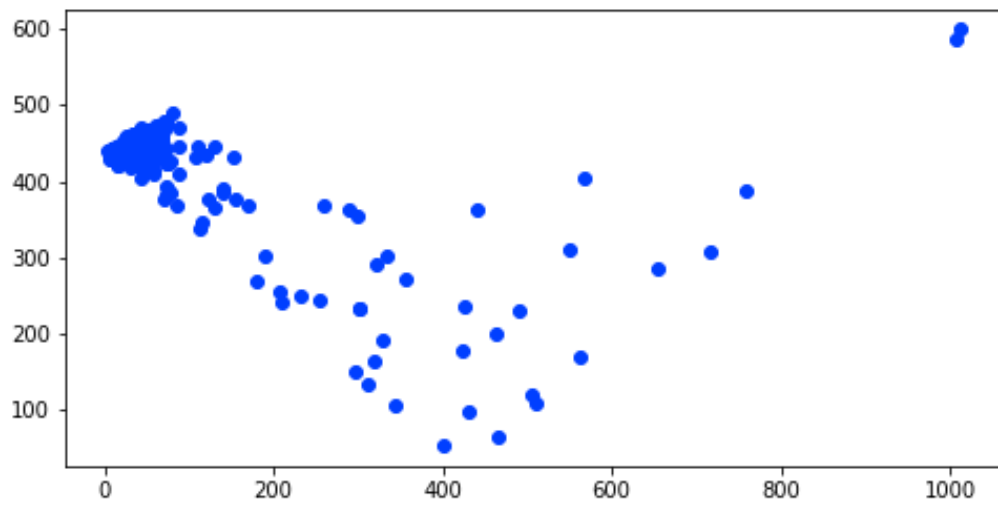


Figure.VI-6 : représentation graphique de groupement KMeans des données de la zone sud.

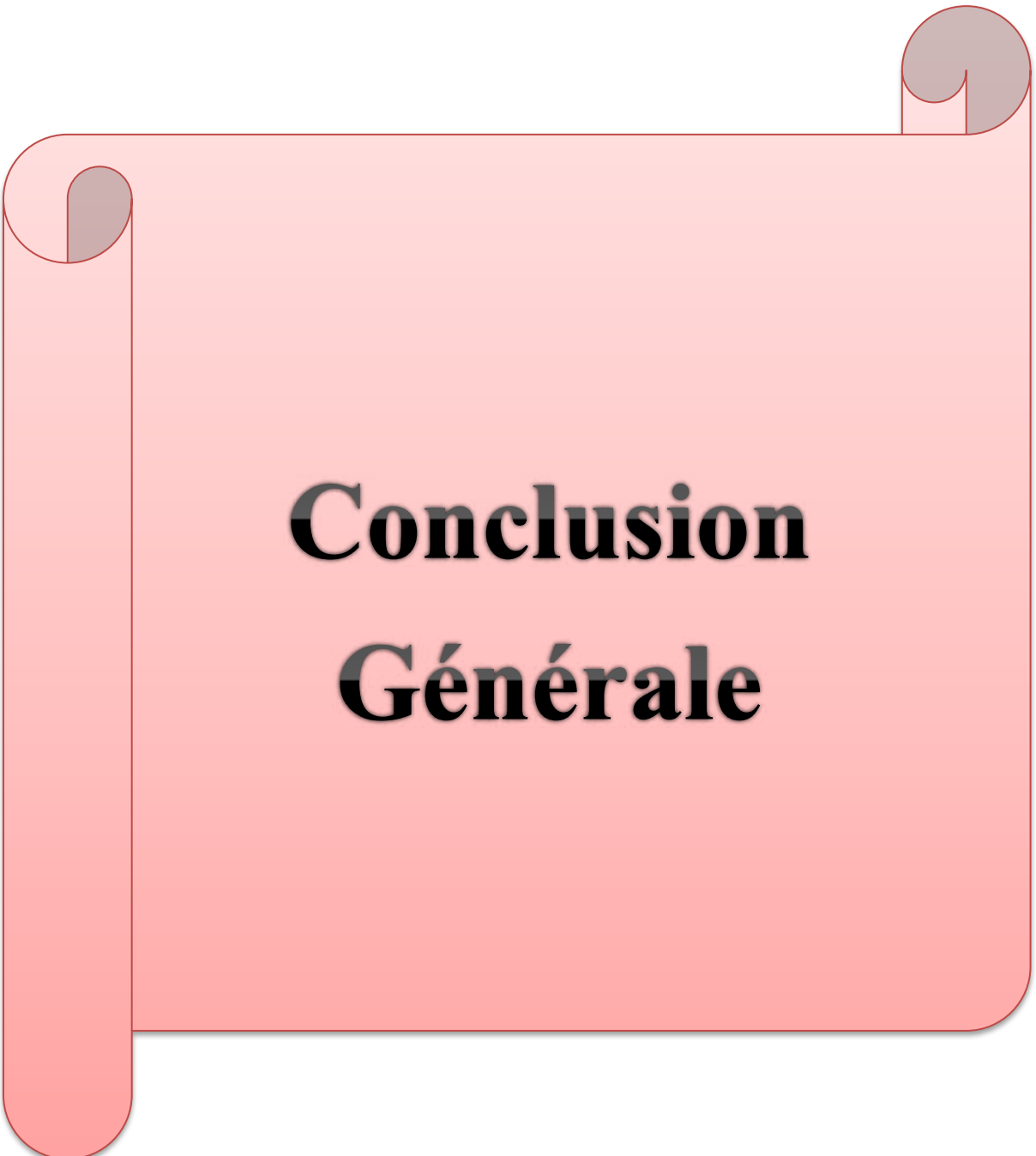
- **Interprétation :**

Chercher à regrouper les données permettra par la suite de les modéliser, dans notre cas les données sont dispersées à la vue de la figure VI-6, ce qui rend la tâche de modélisation plus difficile.

Chapitre VI

Conclusion :

Dans cette partie du travail, nous avons fait une analyse de données qui nous a permis aussi bien une meilleure compréhension de la dispersion de nos données et une meilleure représentation graphique de ces données. Dans notre cas une perte très légère quant à la représentation 3d des données de la zone nord de 7 %, et une perte de 8% pour la zone sud a été constatée. Nous avons aussi proposé un moyen pour regrouper les données semblables pour une future modélisation malheureusement l'opération de regroupement n'a pas donné de résultats concluants.



**Conclusion
Générale**

Conclusion générale

Conclusion générale :

Les eaux de surface sont de plus en plus polluées : taux d'acidité des mers et océans qui ne cesse d'augmenter à cause des gaz à effets de serre ; pollution des mers par des produits toxiques ; métaux lourds, engrais et pesticides charriés par les fleuves qui contiennent des millions de tonnes de polluants formés des rejets chimiques de nos industries avec une partie non négligeable de ces résidus.

Le travail qui fait l'objet de cette étude entre dans le cadre global de la lutte contre la pollution causée par les rejets des eaux résiduaires industriels ERI dans le littoral de la région d'Annaba. En effet, l'une des sources responsables de pollutions chimiques est les effluents industriels de fabrication d'engrais chimiques du complexe FERTIAL. Toutefois, on se propose de caractériser les ERI de FERTIAL afin de recommander un traitement adéquat en amont permettant leurs réutilisations, réduisant ainsi les nuisances que subit le milieu récepteur et de remédier aussi à la perte de cette source hydrique en matières valorisables.

L'analyse d'une eau résiduaire industrielle se fait d'après la détermination d'un certain nombre de paramètres caractérisant cette eau. Les analyses qualitatives et quantitatives des ERI menées nous ont permis de faire le point sur les différentes stations sélectionnées dans notre plan d'expérience à travers leurs caractéristiques physico-chimiques. Cependant, les eaux résiduaires examinées présentent des valeurs des paramètres physico-chimiques qui dépassent relativement les valeurs limites générales des rejets directs et indirects dans le milieu récepteur, d'autre part, l'ensemble des paramètres étudiés traduit les effets néfastes sur le milieu récepteur, par exemple la présence des phosphates et les différentes formes d'Azote génère un déséquilibre dans le système aquatique ou le phénomène d'eutrophisation devient abondant aussi bien l'examen du rapport DCO/DBO₅ souligne le caractère peu ou pas biodégradable des ERI.

L'évaluation globale des espèces chimiques montre que la majorité de la masse annuelle déversée était celle de la matière organique oxydable avec une valeur énorme de l'ordre de 6971,63 T/an qui incluent la fraction de la matière organique biodégradable avec une valeur de l'ordre de 1274,11T/an. D'autre part la masse de l'azote totale représentée par ses deux formes l'azote organique et inorganique atteint une valeur de l'ordre de 2957,22T/an, par contre la présence des phosphates et des matières en suspension est constatée uniquement dans station de la zone sud avec une charge annuelle globale de l'ordre de 42,65 T/an et 244,16 T/an respectivement, la station nord a été le point de rejet le plus significatif en terme des espèces chimiques examinées, à savoir les matières organiques oxydables qui présentent 89,82% et les espèces azotées avec 85,51% de sa masse globale.

Le constat général dans ce bilan massique est que le phosphate est une co-fractions valorisable avec une masse annuelle de l'ordre de 42.65 T/an cette valeur témoigne sur l'état réel de la charge valorisable qui nécessite une étude technique et économique afin de récupérer cette espèce. Cependant, de plus en plus convaincus qu'à l'avenir cet élément devient une ressource naturelle rare et aussi sous les pressions socio-environnementales, il est

Conclusion générale

impératif de prévoir des procédés de récupération des phosphates dans le plan de gestion de l'entreprise.

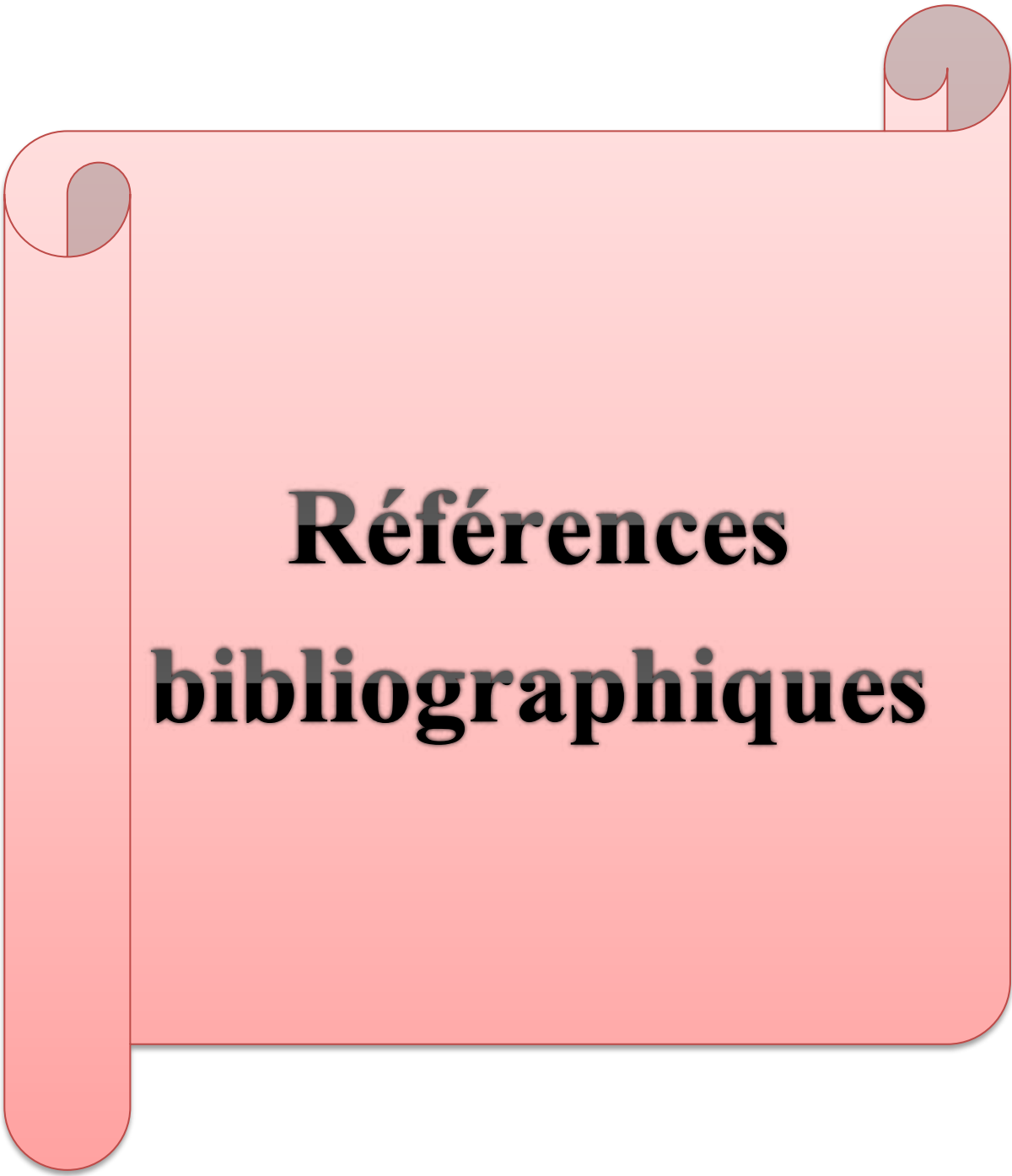
D'autre part la complexité des résultats d'analyse obtenus nous ramène à faire un traitement statistique avancé basé sur un recul important de ses évolutions historiques et la connaissance de sa variabilité à différentes échelles de temps afin de comprendre le comportement d'un polluant dans le milieu naturel. Le choix du test statistique est ainsi grandement amélioré lorsque les processus qui guident l'évolution des concentrations des espèces chimiques étudiées dans les ERI sont connus.

L'application de l'analyse en composantes principales sur les résultats d'analyses physico-chimiques effectuées sur des échantillons prélevés sur les stations de rejets génère l'interaction entre les différents paramètres évalués en termes de dépendance sous forme d'une matrice de corrélation, la projection des variables traduisant les valeurs des paramètres analysés en fonction du temps sur une représentation graphique en 3d, dans notre cas une perte très légère des données de la zone nord de 7 %, et une perte de 8% pour la zone sud a été constatée. Parmi l'ensemble des paramètres examinés on trouve des couples corrélés dans les deux stations. Dans la zone nord on trouve que le couple $[\text{NH}_4^+ - \text{l'Azote Kjeldahl}]$ présente une forte corrélation par un pourcentage de 87%. Par contre dans la zone sud on trouve une forte corrélation entre le couple $[\text{NH}_4^+ - \text{l'Azote Kjeldahl}]$ avec 93%, le couple $[\text{MES} - \text{NH}_4^+]$ avec un pourcentage de 70,5% et entre $[\text{MES} - \text{l'Azote Kjeldahl}]$ par 66%. Une corrélation moyenne entre $[\text{P} - \text{MES}]$ présentée par 54%, une faible corrélation entre le couple $[\text{P} - \text{NH}_4^+]$ de 42,5% et le couple $[\text{P} - \text{l'Azote Kjeldahl}]$ représente une plus faible corrélation par un pourcentage de 36,5%.

Dans notre travail, l'ACP nous a permis une meilleure compréhension sur la variation et le groupement des effluents, dans la zone nord, il y'a un groupe compact et les autres éléments restent dispersés ce qui n'est pas intéressant pour le groupage. Ce groupage permet de faire une modélisation des groupes, c'est à dire chaque groupe s'il y en avait eu pu être représenté par un modèle mathématique pour simplifier son utilisation. Dans la zone sud, les données sont dispersées ce qui rend la tâche de modélisation plus difficile.

Malheureusement l'opération de regroupement n'a pas donné de résultats concluants, mais nous avons aussi proposé un moyen pour regrouper les données semblables pour une future modélisation.

Cependant, les lois en vigueur et les technologies d'épuration doivent encore évoluer pour répondre à l'évolution des styles de vie, car avec de nouveaux polluants arrivent de nouveaux dangers aussi bien pour les écosystèmes aquatiques que pour l'homme.



**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques

[1] Degrémont. MEMENTO TECHNIQUE DE L'EAU. Dixième édition. Lavoisier : Tech & Doc, 2005, 785p (TOME 1).

[2] Zaghdoud, Mohamed Seifeddine. Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méhibra **[en ligne]** Mémoire de Master en Diagnostic et conception des systèmes d'AEP et d'assainissement. Université d'El-Oued : département des sciences et technologies, 2013/2014, .90p. Format PDF. Disponible sur : <<http://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/02/LABBACI-Kheireddine.pdf>> (consulté le 28/02/2019).

[3] La pollution de l'eau d'origine industrielle. Panorama **[en ligne]**. 2007/2008, 25p. Disponible sur : <<http://www.bretagne.drire.gouv.fr>> (consulté le 21/03/2019).

[4] Kostyantyn Voloshyn. PROBLEMATIQUE DE LA GESTION DES EAUX USEES INDUSTRIELLES AU NIVEAU MUNICIPAL DANS LES REGIONS DE L'ESTRIE ET DE LA MONTEGEGIE **[en ligne]** essai présenté en vue de l'obtention du grade de maître en environnement. SHERBROOKE : Centre universitaire de formation en environnement et développement durable, Mai 2014, 157 p. Format PDF. Disponible sur : <<http://www.usherbrooke.ca>> (consulté le 27/02/2019).

[5] KHALILA BENGOUGA. CONTRIBUTION A L'ETUDE DU ROLE DE LA VEGETATION DANS L'EPURATION DES EAUX USEES DANS LES REGIONS ARIDES **[en ligne]**. Mémoire de Magister Agriculture et environnement dans les régions arides. BISKRA : université des sciences Agronomiques de MOHAMED KHIDER, 25/10/2010, chapitre 1, 23p. Format PDF. Disponible sur : <<http://univ-biskra.dz>> (consulté le 30/02/2019).

[6] Mlle Faiza MEKHALIF. REUTILISATION DES EAUX RESIDUAIRES INDUSTRIELLES EPUREES COMME EAU D'APPOINT DANS UN CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT **[en ligne]**. Mémoire de Magister pollution Chimique et Environnement. SKIKDA : faculté des sciences à l'université du 20 Août 1955, 2009, 158 p. Format PDF. Disponible sur : <<http://vrpg.univ-skikda.dz>> (consulté le 24/03/2019).

[7] Rehamnia Salim et Bouhachemane Med Rabie, Caractérisation des eaux résiduaires industrielles. Etude analytique et statistique : cas FERTIAL. Annaba. Génie Chimique. ANNABA : Faculté de science de l'ingénieur UNIVERSITE BADJI MOKHTAR, Juin 2011, 106p.

[8] Jean Cantet, Pourquoi les effluents industriels sont-ils difficiles à traiter ? VEOLA Environnement Recherche & Développement **[en ligne]**. Mai 2007, N°10, 8p. Disponible sur : <<http://www.veolia.com>> (consulté le 20/03/2019).

[9] Hayet Djelal, Maité Rigail et Luc Boyer. LES EFFLUENTS INDUSTRIELS ET LEUR TRAITEMENT. REVUE management & avenir. 2008. N° 20, 275 & 288p. Disponible sur <http://www.cairn.info/revur-management-et-avenir-2008-6-page-275.htm>> (consulté le 20/03/2019).

Références bibliographiques

- [10] BOEGLIN Jean Claude. Analyse des eaux résiduaires Mesure de la pollution **In** : Technique de l'ingénieur. **[en ligne]**. Maison d'édition à Saint-Denis. France : ETAP, 2002, 30p. Format PDF. Disponible sur < <http://www.techniques-ingenieur.fr>> (consulté le 20/03/2019).
- [11] Olivier Gaudoin. 2^{ème} année Statistique Inférentielle Avancée .Ensimag **[en ligne]**. 7 Mai 2018, 135p.disponible sur < <http://www-ljk.imag.fr> > (consulté le 24/02/2019).
- [12] Prof. Mohamed El Merouani, cours analyse des données S6 option : gestion, 5p. Format PDF. Disponible sur < <https://elmerouani.jimdo.com/app/download/5593706620/AD-ACP3.pdf?t...mobile.>> (Consulté le 13/05/2019).
- [13] Alain Caccini, Statistique Descriptive Multidimensionnelle (pour les nuls), version de mai 2010, p, Format PDF. Disponible sur<<https://www.math.univ-toulouse.fr/~baccini/zpedago/asdm.pdf> > (consulté le 15/05/2019)
- [14] C. Duby, S. Robin, Analyse en Composantes Principales, p54, Format PDF. Disponible sur <www.agroparistech.fr/IMG/pdf/AnalyseComposantesPrincipales-AgroParisTech.pdf > (consulté le 14/05/2019)
- [15] Didacticiel - Études de cas R.R, 4 juin 2012, 20p, Format PDF. Disponible sur < eric.univ-lyon2.fr/~ricco/tanagra/fichiers/fr_Tanagra_Nb_Components_PCA.pdf > (consulté le 12/05/2019)
- [16] Principe de l'analyse en composantes principales, 2p. Format PDF. Disponible sur <https://www.lcsqa.org/system/files/Etude14.1_guide_Annexe2_ACP.pdf> (Consulté le 15/05/2019).
- [17] Marc Guerrien, L'intérêt de l'analyse en composantes principales (ACP) pour la recherche en sciences sociales présentation à partir d'une étude sur le Mexique p. 181-192 **[En ligne]** ,2003. Disponible sur < <https://journals.openedition.org/cal/7364> > (consulté le 15/05/2019)
- [18] Pierre-Louis Gonzalez, l'analyse en composantes principales (A.C.P.), 30p, Format PDF. Disponible sur < <http://maths.cnam.fr/IMG/pdf/A-C-P-.pdf> > (consulté le 16/05/2019).
- [19] Analyse en Composantes Principales (ACP), wikistat, 12p. Format PDF. Disponible sur <<https://www.math.univ-toulouse.fr/~besse/Wikistat/pdf/st-m-explo-acp.pdf> >(consulté le 12/05/2019)
- [20] Laurence Reboul, cours Analyse en Composantes Principales (ACP) chapitre 2, l'Institut de Mathématiques de Marseille, 40p, Format PDF. Disponible sur <iml.univ-mrs.fr/~reboul/ADD2-MAB.pdf> (consulté le 15/05/2019).
- [21] Sebastien Gadat Analyse en Composantes Principales Laboratoire de Statistique et Probabilités, 45p.Format PDF Disponible sur<https://perso.math.univ-toulouse.fr/gadat/files/2012/12/04_ACP.pdf> (consulté le 16/05/2019)

Références bibliographiques

- [22] Mohamed Deriouch, Chapitre 3 : Analyse en composante principale (ACP), école nationale des sciences appliqués Oujda, p59. Format PDF. Disponible sur mderouich.algorithmht.com/web/Enseignements%202016/chapitreIII.pdf > (consulté le 16/05/19)
- [23] Laurence Reboul, cours analyse des données, l'Institut de Mathématiques de Marseille, interprétation d'une ACP, p41, Format PDF. Disponible sur <iml.univ-mrs.fr/~reboul/ADD3-MAB.pdf> (consulté le 16/05/2019)
- [24] W. Zegaoula et N. Khellaf. EVALUATION DU DEGRE DE POLLUTION DES REJETS LIQUIDES ET ATMOSPHERIQUES DU COMPLEXE FERTIAL ANNABA (ALGERIE). Larhyss Journal [**En ligne**]. Juin 2014, n°18, pp.77-91. Format PDF. Disponible sur < <http://www.univ-tebessa.dz> >
- [25] JEAN RODIER et Collaboration de C. Bazin, J.-P. Broutin, P. Chambon, H. Champsaur, L. Rodi. L'analyse de l'eau. 8^{ème} édition. Paris : Dunod, 2005, 1383p.
- [26] Guide de mise en œuvre relatif aux opérations d'échantillonnage et d'analyse de substances dans les rejets aqueux des ICPE, Bérengène LYAN [**en ligne**]. Février 2018, 22p. Format PDF. Disponible sur< <http://aide.ineris.fr> >.



Annexes

Annexe I

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIC ALGERIENNE N°26

VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DES REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES INDUSTRIELS

N°	PARAMETRES	UNITE	VALEUR LIMITE	TOLERANCES AUX VALEURS LIMITES ANCIENNES INSTALLATIONS
1	Température	°C	30	30
2	PH		6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
3	MES	<i>mg/l</i>	35	45
4	Azote Kjeldahl	<i>mg/l</i>	30	40
5	Phosphore Total	<i>mg/l</i>	10	15
6	DCO	<i>mg/l</i>	120	130
7	DBO ₅	<i>mg/l</i>	35	40
8	Aluminium	<i>mg/l</i>	3	5
9	Substances Toxiques Bioaccumulables	<i>mg/l</i>	0.005	0.01
10	Cyanures	<i>mg/l</i>	0.1	0.15
11	Fluor Et Composés	<i>mg/l</i>	15	20
12	Indice De Phénols	<i>mg/l</i>	0.3	0.5
13	Hydrocarbures Totaux	<i>mg/l</i>	10	15
14	Huiles Et Graisses	<i>mg/l</i>	20	30
15	Cadmium	<i>mg/l</i>	0.2	0.25
16	Cuivre Total	<i>mg/l</i>	0.5	1
17	Mercure Total	<i>mg/l</i>	0.01	0.05
18	Plomb Total	<i>mg/l</i>	0.5	0.75
19	Chrome Total	<i>mg/l</i>	0.5	0.75
20	Etain Total	<i>mg/l</i>	2	2.5
21	Manganèse	<i>mg/l</i>	1	1.5
22	Nickel Total	<i>mg/l</i>	0.5	0.75
23	Zinc Total	<i>mg/l</i>	3	5
24	Fer	<i>mg/l</i>	3	5
25	Composés Organiques Chlorés	<i>mg/l</i>	5	7

PH : Potentiel d'hydrogène

DCO : Demande chimique en oxygène

DBO₅ : Demande biologique en oxygène pour une période de cinq (5) jours

MES : Matière en suspension

Annexe I

Les protocoles d'analyses des paramètres étudiés

Détermination du PH :

Modes opératoires :

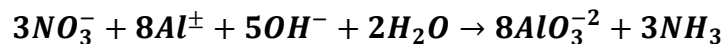
- On prend 50 ml l'échantillon du rejet liquide caniveaux et on les met dans un bécher de 100 ml.
- On introduit l'électrode de mesure dans la solution à analyser.
- On lit la valeur lorsque la lecture est constante sur le PH-mètre

Les étapes de dosage de l'azote Kjeldahl :

❖ 1^{ère} étape :

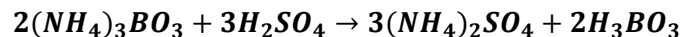
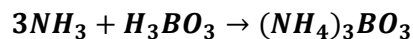
On réduit l'azote de nitrate en azote ammoniacal par des métaux en milieu alcalin ($NaOH$) en utilisant a cette effet l'alliage de Dewarda composé de :

- 45% d'Aluminium
- 5% de zinc
- 50% de cuivre

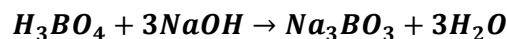
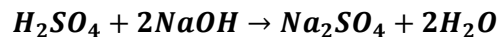
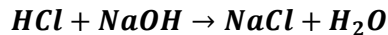


❖ 2^{ème} étape :

L'ammoniac libéré est recueilli par distillation dans une quantité connue et en excès de l'acide sulfurique, borique ou chlorhydrique de facteur connu :



L'excès de l'acide est neutralisé par la soude suivant ces réactions :



Annexe I

❖ Mode opératoire de dosage de l'azote Kjeldahl :

- On prend 200 ml de l'échantillon et on les met dans une ampoule de l'appareil de distillation (Kjeldahl) puis on ajoute 3g de l'alliage Dewarda et on accorde l'ampoule à l'appareil.
- On met 50 ml d'acide borique et 50 ml d'eau distillée dans un Erlen Meyer puis on ajoute quelques gouttes de l'indicateur de Tachiro.
- On met l'appareil en marche avec une injection de NaOH (environ 25ml).
- On récupère le distillat dans l'Erlen Meyer.
- On fait un titrage avec de l'acide sulfurique (H_2SO_4)

Pour faire nos calculs on utilise la formule suivante :

$$\text{Azote total}(mg/l) = \frac{V_c \times N \times Eqg}{PE} \times 1000$$

V_c : volume de chute de l'acide sulfurique

N : la normalité de l'acide sulfurique

Eqg : équivalent gramme d'azote (14)

PE : la prise d'essai

Dosage de l'ion Ammonium(NH_4^+) :

Mode opératoire :

- On met 200 ml de l'échantillon dans une ampoule de l'appareil de distillation (Kjeldahl) et on accorde l'ampoule à l'appareil.
- Dans un Erlen Meyer on met 50 ml d'acide borique et 50 ml d'eau distillée puis on ajoute quelques gouttes de l'indicateur de Tachiro.
- On fait la mise en marche de l'appareil avec l'introduction de réactif $NaOH$ (environ 25ml)
- On récupère le distillat dans l'Erlen Meyer.
- On passe le distillat au titrage en utilisant l'acide sulfurique(H_2SO_4).

La formule utilisée pour le calcul est celle-ci :

$$NH_4^+(mg/l) = \frac{V_c \times N \times Eqg}{PE} \times 1000$$

V_c : volume de chute de l'acide sulfurique

N : la normalité de l'acide sulfurique

Eqg : équivalent gramme d'ion ammonium (18.04)

PE : la prise d'essai en ml

Annexe I

Détermination des Matières En Suspension :

Mode opératoire :

- On prend un papier filtre N°1 et on le pèse en utilisant une balance analytique de précision on note P1.
- On agite l'échantillon jusqu'il soit homogène.
- On prend 1500 ml d'échantillon et on commence notre filtration en utilisant le filtre N°1.
- On récupère le filtrat dans trois fioles de 500 ml.
- Après filtration, on sèche le papier filtre dans une étuve régler a 105°C .
- On fait refroidir le papier filtre dans un dessiccateur, puis on pèse P2.

Les résultats sont exprimés comme suit :

$$MES(mg.l^{-1}) = \frac{P1 - P2}{Pe} \times 1000$$

P1 : Poids du papier filtre avant séchage

P2 : Poids du papier filtre après séchage

Pe : Prise d'essai

Détermination les huiles et graisse dans les rejets :

Mode opératoire :

Dans une ampoule à décanter de 250 ml mettre les réactifs dans l'ordre suivant :

- Prendre 100 ml d'échantillon à analyser dans une ampoule à décanter
- Ajouter 20 ml de chloroforme en trois portions
- A chaque ajout fermer le robinet et agiter
- Ouvrir le robinet pour faire le dégazage
- Laisser décanter la solution
- Filtrer la solution sur un papier filtre N°1 en récupérant la phase organique dans un cristalliseur en porcelaine déjà pesé soit P1.
- Mettre le cristalliseur en porcelaine sur la plaque chauffante en réglant la température jusqu'à environ 50°C
- Faire l'évaporation sous une hotte jusqu'à sec.
- Mettre le cristalliseur en porcelaine dans une étuve réglée à 105°C pendant 5 minutes.
- Après étuvage, refroidir le cristalliseur dans un dessiccateur, et peser soit P2

Les résultats sont exprimés comme suit :

$$\text{Huiles et graisse}(mg.l^{-1}) = \frac{P1 - P2}{Pe} \times 1000$$

P1 : Poids du cristalliseur vide

P2 : Poids du cristalliseur plein

Pe : Prise d'essai en gramme

Annexe I

Dosage du phosphore :

❖ Préparation de l'échantillon :

On ajoute 1 ml d'acide sulfurique à 4,5 mol/l pour 100 ml d'échantillon non filtré. Il convient que l'acidité soit située autour d'un pH de 1. Si cela n'est pas le cas, on ajuste le pH à l'aide de la solution d'hydroxyde de sodium à 2 mol/l ou d'acide sulfurique à 2 mol/l

On conserve au froid et dans l'obscurité jusqu'à l'analyse.

Si le phosphore soluble total doit être déterminé, filtrer l'échantillon convenablement.

❖ Mode opératoire :

- On transfère, à l'aide d'une pipette, jusqu'à 40 ml au maximum de l'échantillon pour essai dans un ballon de Kjeldahl.
- On ajoute avec précaution 2 ml d'acide sulfurique et on agite pour mélanger.
- On ajoute des régulateurs d'ébullitions et on chauffe doucement jusqu'à l'apparition de fumées blanches.
- On laisse refroidir, puis on n'ajoute goutte à goutte et avec précaution 0,5 ml d'acide nitrique (3.6) tout en agitant ; on chauffe jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de fumées rousses.
- On laisse refroidir et on continue à traiter, si nécessaire, avec de l'acide nitrique versé goutte à goutte tout en agitant jusqu'à obtention d'une fumée limpide et incolore.
- On refroidit et on ajoute avec précaution 10 ml d'eau en agitant ; on chauffe jusqu'à l'apparition de fumées blanches.
- Après refroidissement on ajoute 20 ml d'eau en agitant de façon continue.
- On laisse refroidir et en agitant, on ajoute avec précaution la solution d'NaOH 8 mol/l afin d'ajuster le pH de la solution entre 3 et 10.
- Après refroidissement, on transfère la solution dans une fiole volumétrique de 50 ml.
- On rince le ballon de Kjeldahl avec de faibles volumes d'eau et on ajoute les eaux de lavage au contenu de la fiole.
- On ajoute dans chaque fiole de 50 ml tout en agitant, 1 ml d'acide ascorbique 100 g/l, puis après 30 s, 2 ml de solution de molybdate acide. Compléter au volume avec de l'eau et bien mélanger.
- On laisse reposer pendant quelques minutes puis on les fait passer au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 700 nm.

❖ Essai à blanc :

Effectuer, parallèlement au dosage, un essai à blanc, en suivant le même mode opératoire, et en utilisant les mêmes quantités de réactifs que dans le dosage, mais en employant de l'eau à la place de la prise d'essai.

Les calculs sont effectués en utilisant la formule suivante :

$$P(mg/l) = \frac{L \times \Delta \times 100}{Pe}$$

Annexe I

L : est l'absorbance de l'échantillon

Δ : est la pente de la courbe d'étalonnage en mg/l

Pe : est la prise d'essai

Dosage du fluor :

Mode opératoire :

Dans un bêcher de 1 litre introduire

- 500 ml d'échantillon (rejet liquide)
- Neutraliser l'échantillon par de la soude NaOH 5N ou de l'acide H₂SO₄ 5N pour que le pH soit entre 11 ou 12.
- On met le bêcher qui contient la solution à analyser sur la plaque chauffante jusqu'à l'évaporation complète (presque à sec).
- On transvase le contenu de l'échantillon dans le ballon bi col rodé à fond rond et on ajoute 0,75 g de silice on rince le ballon par environ 20 ml eau distillée, et 30 ml acide phosphorique H₃PO₄ concentré à 88.0% et de densité égale à 1.74 g/ml (R.P)
- On ferme le ballon par un entonnoir séparateur menu d'un robinet puis on ajoute dans l'entonnoir séparateur et avec une éprouvette 30 ml H₃PO₄ à 88%, densité de 1,740 g/ml.
- On ouvre le robinet de l'entonnoir, et on laisse écouler doucement l'acide dans le ballon
- On rince encore une fois l'entonnoir avec un peu d'eau distillée exempt du fluor.
- On ferme la vanne et on laisse un peu d'eau dans l'entonnoir.
- Pendant la distillation le gaz du fluor, va passer à travers un réfrigérant,
- Le distillat est récupéré dans une fiole de 500 ml qui contient de la soude caustique NaOH 5N, et 40 ml eau distillée.

La formule utilisée pour le calcul est :

$$F^{-} (mg/l) = \frac{D_o \times \Delta \times 500 \times 1000}{1000 \times V_a \times 500}$$

Do : Densité optique de l'échantillon

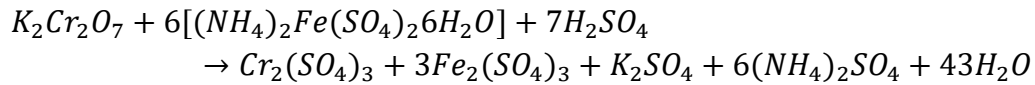
Δ : Rapport de la somme des concentrations des étalons et les densités optiques des étalons

Va : Volume aliquote

Annexe I

Détermination de la demande chimique en Oxygène (DCO) :

La réaction de réduction de Bichromate est la suivante :



❖ Réactifs :

- Acide sulfurique
- Acide sulfurique et sulfate d'argent
- Bichromate de potassium et contenant un sel de mercure II
- Sulfate de fer II d'ammonium
- Féroïen, solution d'indicateur

❖ Mode opératoire :

- Introduire dans le ballon 50 ml d'échantillon.
- Dans le ballon on ajoute 1 g de HgSO₄ et 5 ml H₂SO₄ et des pierres ponce.
- On ajoute lentement H₂SO₄ et remuer pour dissoudre complètement HgSO₄.
- On doit refroidir en mélangeant pour éviter les pertes des matières volatiles.
- Ajouter 1 g d'Ag₂SO₄ et 25 ml de K₂Cr₂O₇ à 0.25N et remuer de nouveau.
- On fait relier le ballon au réfrigérant et alimenter en eau ce dernier.
- On ajoute 70 ml de H₂SO₄ lentement à travers l'ouverture du condenseur et on remue en même temps. On doit assurer que le contenu du ballon est bien mélangé pour éviter que la température ne soit très élevée.
- On place un verre de montre ou un bêcher au sommet du réfrigérant.
- On va chauffer pendant 2 Heures le ballon. On laisse le ballon refroidir puis on lave le réfrigérant avec environ 25 ml d'eau.
- On fait transférer le contenu du ballon ainsi que les eaux de lavage de celui-ci dans un Erlenmeyer de 500 ml diluer avec de l'eau à environ 300 ml et laisser refroidir la solution à la température ambiante.
- On ajoute 8 à 10 gouttes de la solution de sulfate ferreux phénanthroline.
- On titre l'excès de bichromate avec la solution de sulfate ferreux d'ammonium à 0.25 N jusqu'au changement de la coloration (du bleu-vert à la coloration rougeâtre).
- On fait de même pour l'essai à blanc en introduisant dans le ballon avant le chauffage de l'eau à la place de l'échantillon.

Le calcul se fait comme suit :

$$DCO\left(\frac{mg}{l}\right) = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 8 \times 1000}{V_e}$$

V₁ : volume de sulfate ferreux d'ammonium utilisé pour l'essai à blanc.

V₂ : Volume de sulfate ferreux d'ammonium utilisé pour l'échantillon.

V_e : Volume d'échantillon.

Annexe I

Détermination de la demande biologique en Oxygène (DBO₅) :

❖ Réactifs :

Eau distillée

Tampon Phosphate :

- Dihydrogénophosphate de potassium (KH₂PO₄)
- Dihydrogénophosphate de dipotassium anhydre (KH₂HPO₄)
- Dihydrogénophosphate de disodium (Na₂HPO₄,7H₂O)
- Chlorure d'ammonium (NH₄Cl)
- Sulfate de magnésium (MgSO₄,7H₂O)
- Chlorure de calcium (CaCl₂)
- Chlorure de fer III hexahydraté (FeCl₃,6H₂O)

❖ Mode opératoire :

- On utilise la feuille de calcul pour définir les volumes de prise d'essai selon la valeur attendue et les 3 dilutions à réaliser pour chaque échantillon.
- On réalise à chaque analyse un échantillon témoin et un échantillon de contrôle.
- La mesure d'oxygène à **j₀** et **j₅** portera donc sur 8 flacons.
- Le volume d'eau de dilution à préparer est donné dans la feuille de calcul.
- Porter l'échantillon à 20°C .
- On remplit le flacon de dilution avec la prise d'essai, on ajoute 2 ml d'ATU Allylthio-uré par litre d'échantillon dilué et diluer avec l'eau de dilutionensemencée jusqu'au trait. On mélange doucement en limitant l'introduction d'air.
- On va remplir les flacons d'incubation en limitant l'introduction de bulles d'air et les placer dans l'incubateur.
- On mesure la teneur en oxygène du volume restant de la préparation dans le flacon de dilution, on obtient les valeurs C₀
- Après 5 jours plus au moins 4 heures, sortir les flacons d'incubation et mesurer les teneurs en oxygène, on obtient des valeurs C₅.
- Renseigner la feuille de calcul pour les résultats.

Les calculs sont effectués suivant la formule :

$$DBO_5 \left(mg \frac{O_2}{l} \right) = Lecture \times Facteur$$

Annexe II

L'appellation FERTIAL signifie « Fertilisants d'Algérie » est une société de fabrication et de commercialisations d'ammoniac et d'engrais azotés, issue d'un partenariat signé en août 2005 entre le Groupe algérien **ASMIDAL** (34%) et le Groupe espagnol **Grupo Villar Mir** (66%).

Fin 2016, un nouvel actionnaire rentre dans le Conseil d'Administration, le Groupe ETRHB Haddad. Actuellement FERTIAL est détenue à 49% par le Groupe Villar-Mir, 34% par l'état algérien, à travers de la société étatique ASMIDAL et 17% par le Groupe ETRHB Haddad.

FERTIAL dispose d'un tissu industriel très dense s'étendant sur une superficie de 153 Hectares. Elle utilise des technologies modernes et sophistiquées avec des procès de fabrication

Complexes propres à chaque produit. Ces procès assurent un rôle fonctionnel de haut Niveau.

La société FERTIAL dispose de deux (02) usines à Annaba et à Arzew. leur capacités de production sont :

- Ammoniac : 900.000 Tonnes métriques / an
- Acide Nitrique : 520.000 Tonnes métriques / an
- Nitrates (AN/CAN) : 360.000 Tonnes métriques / an
- NPK / PK / TSP : 300.000 Tonnes métriques / an
- UAN : 260.000 Tonnes métriques / an

Usine d'Annaba :

L'usine s'étend sur une superficie de 103 hectares et emploie environ **440** personnes

Productions :

FERTIAL Annaba présente plusieurs activités :

- Ammoniac, avec une capacité de production annuelle de 330.000 tonnes.
- Acide Nitrique, avec une capacité de production annuelle de 264.000 tonnes.
- Calcium Ammonitrate (CAN) à 27% d'azote, avec une capacité de production annuelle de 300.000 tonnes.
- Engrais complexes (NPK / PK / TSP), avec une capacité de production annuelle de 300.000 tonnes

Annexe II

- Urée Ammonitrate (UAN) à 32 % d'azote, avec une capacité de production annuelle de 260.000 tonnes

Les objectifs de l'entreprise :

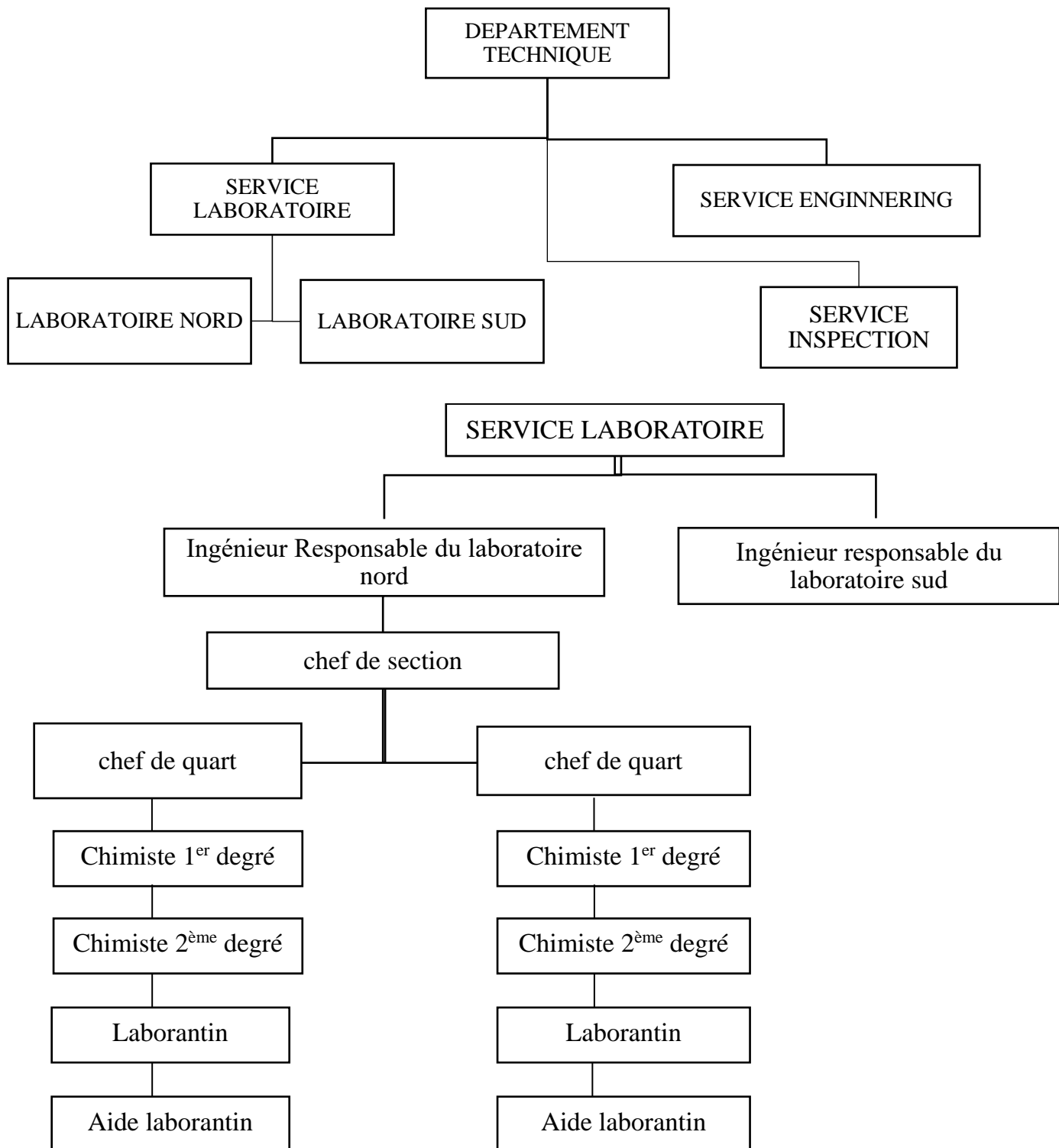
Dans le cadre national du développement économique et social du pays, l'entreprise est chargée de :

- Promouvoir et développer l'industrie des engrais et produits phytosanitaire.
- Exploiter, gérer et rentabiliser les moyens humains, matériels et financiers dont elle dispose.
- En vue de satisfaire les besoins du marché national et international
- Développer la coopération dans le cadre de la politique nationale en la matière.

Le tableau représente les principaux pays vers les quels l'entreprise export ses produits.

Produits	Pays
NH ₃	Espagne, France, Italie, Grèce, Belgique, Cuba, Grande-Bretagne
Nitrate	Tunisie, Maroc
UAN	France, Espagne, USA
SSP	Maroc, Grèce, France, Italie, Brésil

Annexe III



Annexe III

Le laboratoire central de FERTIAL est situé au sein du complexe, il accomplit une mission extrêmement importante périodique de la production dans le but de l'amélioration de la qualité de la matière première et produit fini.

Le laboratoire travail en collaboration avec les différentes unités du complexe en suivant les besoins de ces dernières, le laboratoire de chimie procède aux analyses des éléments demandés et c'est lui qui ordonne le choix de la méthode approprié.

Pour ce fait le laboratoire dispose de différents équipements ainsi que des méthodes très variées.

1- Equipements :

- Spectrophotomètre
- Chromatographe en phase gazeuse
- Appareil de distillation a fluor
- Appareil de distillation d'eau

2- Méthodes utilisées :

- Méthodes chimiques.
- Méthodes physico-chimiques