

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 8 Mai 1945 GUELMA

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Hydraulique

Option : HYDRAULIQUE URBAINE

Présenté par : BENREDJEM Ines

**Thème : Utilisation de l'Analyse en Composantes Principales
(ACP) pour la caractérisation physico-chimique des eaux
de la station d'épuration (cas Guelma)**

Sous la direction de : Dr. BOUMAAZA Messouada

Juillet 2021



Remerciements :

En premier lieu, je remercie Dieu, le Tout Puissant, le Miséricordieux, qui nous a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

Je remercie mon encadreur Dr. BOUMAAZA Messouada pour la clarté de ses explications et sa rigueur scientifique, pour la confiance qu'elle m'a accordée, et sa bonne humeur, et parce qu'elle est le vivant exemple de ce qu'elle m'a enseignée, je tiens à lui exprimer toute ma gratitude.

Je voudrais adresser mes sincères remerciements également aux membres du jury, pour accepter d'évaluer mon travail. Je vais suivre tous leurs enrichissants conseils et observations.

Mes remerciements s'adressent à tous les enseignant(e)s du département de Génie Civil et Hydraulique chacun en son nom.

Mes sincères remerciements s'adressent vivement à : Monsieur le directeur de l'ONA De Guelma ; pour son aide bénéfique et son soutien.

Merci à toute l'équipe de la station d'épuration de la ville de Guelma, en particulier à monsieur Dali amine chef de la station, à Madame bouchebout Nadia (chef de service du laboratoire), qui a participé activement à mon stage effectué dans cette station. Ma gratitude va également à Monsieur sellami Youcef (laborantin) merci à toute l'équipe qui m'a permis de profiter de leurs compétences. Je saisis cette occasion pour exprimer ma grande reconnaissance et gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation et l'achèvement de ce travail.



Dédicaces :

Je dédie ce modeste travail :

A mon cher papa, Monsieur **benredjem Yazid**, qui a toujours cru en moi et a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour que je réussisse dans mes études.

A ma **chère mère**, que je ne cesse de remercier pour m'avoir mis au monde et pour tout ce qu'elle m'a donnée. Je lui dois une mère chandelle. Que Dieu la récompense pour tous ses bienfaits.

A ma **sœur, israa** aucune dédicace ne peut exprimer mon amour et ma gratitude de t'avoir comme sœur, je ne pourrais jamais imaginer ma vie sans toi je t'aime beaucoup.

A mon frère **mouiz** que dieu te protège.

A toute ma famille.

A mon amie **Ilham douakha**, merci pour tous les moments qu'on a passé ensemble je t'aime énormément ma chérie.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Partie 1 : Synthèse bibliographique	
Chapitre I : généralités sur les eaux usées.	
1.1. Généralités sur les eaux usées.....	4
1.1.1. Définition des eaux usées.....	4
1.1.2. Type des eaux usées.....	4
1.1.3. Caractéristiques des eaux usées.....	5
1.1.4. Composition des eaux usées.....	9
1.1.5. Rejet des eaux usées.....	10
1.1.6. Conséquences du rejet sur le milieu récepteur.....	11
1.1.7. Impact de la réutilisation des eaux épurées.....	11
1.1.8. Norme de rejet.....	12
1.2. Epuration des eaux usées.....	13
1.2.1. Objectif du traitement.....	13
1.2.2. Les procédés de traitements des STEP.....	14
1.2.3. Description de la station d'épuration Guelma.....	15
1.2.4. Etapes de traitement au niveau de STEP de Guelma.....	15
Chapitre II : Analyse en composantes principales.	
2.1. Etat de l'art	30
2.2. Analyse des données	31
2.2.1. Définition	31
2.2.2. Quelques exemples de méthodes d'analyse des données	31
2.2.3. Objectif s de réduction des données	33
2.2.4. Les différentes méthodes de réduction	34

2.3.	Analyse en composantes principales	35
2.3.1.	Définition	35
2.3.2.	Bref historique de l'ACP	35
2.3.3.	Principe de la méthode	36
2.3. 4	Objectifs	37
2.4.	Les domaines d'application	37
2.5.	La théorie de l'ACP	37
2.5.1	Les données à analyser	37
2.5. 2.	Construction des nuages de points projetés	38
2.5.3.	Préparation des données	39
2.5.4.	Interprétation des résultats	39
2.5.5.	ACP en pratique	43
2.5.5.1.	L'inertie	43
2.5.5.2.	Matrice de corrélation	44
2.5.5.3.	Construction des composantes	45
2.5.5.4.	Cercle des corrélations	45
2.5.6.	Avantages et inconvénients de l'ACP	47

Partie 2 : Etude pratique

Chapitre III : Méthodes et Matériels.

3.1.	Présentation de la zone d'étude	49
3.2.	Aperçus socio-économique	50
3.2.1.	Population	50
3.2.2.	Tourisme	50
3.2.3.	Economie	51
3.2.4.	Le relief	51

3.2.5.	Agriculture	51
3.2.6.	L'industrie	51
3.3.	Présentation de la STEP de Guelma	52
3.3.1.	Localisation	52
3.3.2.	Emplacement et accès	52
3.3.3.	Caractéristique et Nature des effluents	53
3.3.4.	Nature du réseau	53
3.3.5.	Nature du traitement des eaux Usées avant l'emplacement de la Station.....	54
3.3.6.	Charges Hydrauliques et Polluantes	54
3.4.	Matériels et méthodes	55
3.4.1.	Prélèvement et échantillonnage	55
3.4.2.	Analyses physico-chimiques	56
3.4.3.	Paramètres par Spectrophotomètre	59

Chapitre IV : résultats et discussion

4.1.	Présentation des résultats des analyses.	70
4.2.	Evaluation des paramètres physico-chimiques.	71
4.2.1	Température de l'eau (T°C).	71
4.2.2	Potentiel d'hydrogène (pH).	72
4.2.3.	Conductivité électrique.	73
4.2.4.	La Demande biochimique en Oxygène (DBO5).	74
4.2.5.	La Demande Chimique en Oxygène (DCO).	75
4.2.6.	Les matières en suspension (MES).	77
4.2.7.	L'Ammonium (NH ₄ ⁺).....	78
4.2.8.	Les Nitrites NO ₂ ⁻	78

4.2.9.	Les Nitrates NO_3^-	79
4.2.10.	L'ortho phosphates (OPO_4^-).	80
4.2.11.	Le potentiel d'oxydo-réduction(EH).....	81
4.3.	Analyse statistique (Application de l'ACP).	82
4.3.1.	Typologie spatio-temporelle.	82
4.3.2.	Application de l'ACP en utilisant les paramètres physico-chimiques de l'eau.....	83
4.3.2.1.	Cercle de contribution	85
4.3.2.2.	Matrice de corrélation	87
4.3.2.3.	Valeurs propres.....	89
4.3.2.4.	Cosinus carrées.....	89
4.3.2.5.	Contribution des individus.....	92
4.3.3.	Modélisation.....	94
4.3.3.1.	Validation du modèle.....	94
Conclusion générale		102

Liste des figures

Figure 1.1	le dégrilleur (STEP Guelma).	17
Figure 1.2	Dessablage/déshuilage.	18
Figure 1.3	Décantation primaire.	19
Figure 1.4	Bassin d'aération.	21
Figure 1.5	Clarificateur.	24
Figure 1.6	Bassin de désinfection.	25
Figure 1.7	Lit de séchage.	28
Figure 2.1	Les données à analyser.	38
Figure 2.2	Construction des nuages des variables et des individus.	39
Figure 2.3	Modèle de l'inertie.	44
Figure 2.4	Matrice de corrélation.	44
Figure 2.5	Cercle de corrélation.	45
Figure 2.6	Cosinus carrées.	47
Figure 3.1	Carte de la situation géographique de la zone d'étude (Guelma).....	49
Figure 3.2	Photo aérienne de la station d'épuration Guelma.	53
Figure 3.3	Prélèvement à L'entrée.	55
Figure 3.4	Prélèvement à la sortie.	55
Figure 3.5	Appareil de mesure de pH et de température.	57
Figure 3.6	Conductimètre portatif.	58
Figure 3.7	Photo de la balance analytique.	60
Figure 3.8	Dispositif d'aspiration.	61
Figure 3.9	Dessiccateur.	61
Figure 3.10	Flacons à DBO.	63
Figure 3.11	DBO mètre.	63
Figure 3.12	Réactif à DCO.	65
Figure 3.13	Spectrophotomètre.	65
Figure 3.14	Test de décantation.	69
Figure 4.1	Evolution spatio-temporelle de la température.	72
Figure 4.2	Evolution spatio-temporelle du PH.	73
Figure 4.3	Evolution spatio-temporelle de la conductivité.	74
Figure 4.4	Evolution spatio-temporelle de la DBO5.	74
Figure 4.5	Evolution spatio-temporelle de la DCO.	75
Figure 4.6	Evolution spatio- temporelle du rapport $\frac{DBO5}{DCO}$	77

Figure 4.7	Evolution spatio-temporelle de MES.	77
Figure 4.8	Evolution spatio-temporelle de l'NH4.	78
Figure 4.9	Evolution spatio-temporelle de NO_2^-	79
Figure 4.10	Evolution spatio-temporelle de NO_3^-	80
Figure 4.11	Evolution spatio-temporelle d'OPO4-.	81
Figure 4.12	Evolution spatio-temporelle d'EH.	82
Figure 4.13	Projection des variables dans l'espace des axes CP ₁ , CP ₂ , CP ₃ et CP ₄	86
Figure 4.14	Représentation des cosinus carrés	90
Figure 4.15	Groupement des individus.	93
Figure 4.16	Validation des modèles.	96

Liste des tableaux

Tableau 1.1	Différents types d'eau dans les régions arides et semi arides.	9
Tableau 1.2	Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006).....	13
Tableau 1.3	Les différents procédés de traitement des eaux usées.	13
Tableau 1.4	Les procédés de traitement des boues d'épuration.	15
Tableau 1.5	Dimensionnement de dégrilleur.	17
Tableau 1.6	Dimensionnement de l'ouvrage.	18
Tableau 1.7	Dimensionnement de décanteur.	20
Tableau 1.8	Dimensionnement d'un bassin d'aération.	21
Tableau 1.9	Dimensionnement de clarificateur.	24
Tableau 1.10	Dimensionnement du bassin de désinfection.	26
Tableau 1.11	Dimensionnement d'épaississeur.	27
Tableau 1.12	Dimensionnement de l'ouvrage.	27
Tableau 1.13	Dimensionnement du lit.	28
Tableau 3.1	Charges polluantes.	54
Tableau 4.1	Résultats physicochimiques des effluents de la STEP.	71
Tableau 4.2	Rapport $\frac{DCO}{DBO5}$	76
Tableau 4.3	Matrice de corrélation des vecteurs propres.....	83
Tableau 4.4	Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques.....	87
Tableau 4.5	Valeurs propres.	88
Tableau 4.6	Cosinus carrés.	90
Tableau 4.7	Validation du modèle.	95
Tableau 4.8	Modèles des composantes principales (CP1, CP2, CP3 et CP4). ...	99
Tableau 4.9	Coefficients de corrélation entre les variables et les 4 premières composantes (CP1, CP2, CP3 et CP4).....	100

Liste des abréviations et notations

°C	Degré Celsius.
CE	Conductivité Electrique (mS).
Cm	La charge massique exprime en kg DBO5 / kg MVS.j.
DBO5	Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (mg/l).
DCO	Demande Chimique en Oxygène (mg/l).
EH	Le potentiel d'oxydo-réduction.
Im	Indice de Mohlman (mg/l).
K	Constant de la biodégradabilité.
MES	Matière En Suspension (mg/l).
MMS	Matière minérales sèche (mg/l).
MO	Matière organique.
MVS	Matière volatile en suspension (mg/l).
NH ⁺ ₄	L'azote ammoniacal (mg/l).
NO ₂ ⁻	Nitrites (mg/l).
NO ₃ ⁻	Nitrates (mg/l).
ONA	Office National d'Assainissement.
PH	Potentiel Hydrogène.
OPO ₄ ⁻	Ortho phosphates (mg/l).
STEP	Station d'épuration.
ACP	Analyse en composantes principales.
X	Tableau des données.
N	Nombre des individus.
p	Nombre des variables.
X _j	J ^{ème} variable.
X _j	Moyenne de la variable
Cov	Covariance.
Var	Variance.
d (ei ; ei0)	Distance entre ei et ei0.
M	Métrique.
Ig	Inertie totale.
P	Matrice de projection.
Rn	Espace des nombres réels de dimension.
Fi	Projection de l'individu ei.
Rp	Espace des nombres réels de dimension p.
g	Centre de gravité.

$r(x_j ; x_{j0})$	Coefficient de corrélation entre x_j et x_{j0} .
F_k	Sous-espace de dimension k .
j_{j0}	Angle entre deux vecteurs.
Proj	Projection.
CTR (x_j)	Contribution de x_j sur l'axe 1
CTR (e_i)	Contribution sur l'axe 1 de e_i
CTR ($e_i ; e_{i0}$)	Contribution sur l'axe 1 de couple ($e_i ; e_{i0}$)
V_p	Valeurs propres.

Résumé :

Les effluents étant fortement chargés en polluants et contaminants divers, ce qui engendre des risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées traitées, ils doivent être acheminés par les égouts vers des stations d'épuration pour y être traités. Dans cette étude, une attention particulière est accordée au suivi de l'évolution des différents paramètres physico-chimiques des eaux de la station d'épuration de Guelma au cours des différentes étapes de traitement par le biais de l'analyse en composantes principales (ACP). L'objectif du présent mémoire consiste à valider toutes les informations fournies par les analyses d'une station d'épuration des eaux usées de traitement biologique à boues activées. Dans le souci de mieux comprendre et gérer la qualité de ces eaux usées (EU) de la Station de Traitement des Eaux Polluées (STEP) de Guelma .l'application de l'ACP pour une telle tâche pourrait être salutaire dont l'objectif est de visualiser et résumer l'information contenue dans les différentes données afin d'avoir une représentation permettant plus facilement l'interprétation. C'est dans l'optique d'une telle application que 11 paramètres physico-chimiques ont fait l'objet d'un suivi au niveau de la (STEP) de Guelma réalisé sur une base de données réelle dans une période de 11 mois. La réduction de la dimension de l'espace des variables en utilisant les méthodes de projection linéaires comme l'analyse en composantes principales (ACP) nous a permis de différencier la qualité de l'eau dans la station étudiée en fonction de la saison , de l'étape de traitement et aussi nous révéler des informations pertinentes. Les résultats de simulation obtenus dans ce travail montrent l'efficacité de l'approche abordée

Mots clés : Analyse en composantes principales, validation de données, procédé biologique de dépollution, Guelma

Abstract:

The effluents are heavily loaded with pollutants and various contaminants, which creates health risks associated with the reuse of treated wastewater, they must be routed through the sewers to treatment plants for treatment. In this study, particular attention is paid to the monitoring of the evolution of the various physico-chemical parameters of the waters of the Guelma wastewater treatment plant during the various stages of treatment by means of principal component analysis (PCA). The objective of this thesis is to validate all the information provided by the analyses of a wastewater treatment plant of biological treatment with activated sludge. In order to better understand and manage the quality of these wastewater (EU) of the Station of Treatment of Polluted Water (STEP) of Guelma. The application of the PCA for such a task could be beneficial whose objective is to visualize and summarize the information contained in the various data in order to have a representation allowing more easily the interpretation. It is in the optics of such an application that 11 physicochemical parameters were the object of a follow-up at the level of the (STEP) of Guelma carried out on a base of real data in a period of 11 months. The reduction of the dimension of the space of the variables by using the methods of linear projection like the analysis in principal components (PCA) allowed us to differentiate the quality of the water in the studied station according to the season, the stage of treatment and also to reveal us relevant information. The simulation results obtained in this work show the effectiveness of the approach discussed.

Keywords: Principal component analysis, data validation, biological process of depollution, Guelma

الملخص :

النفايات السائلة محملة بشكل كبير بالملوثات والملوثات المختلفة، مما يخلق مخاطر صحية مرتبطة بإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة، يجب توجيهها عبر المجاري إلى محطات المعالجة للمعالجة. في هذه الدراسة، يتم إيلاء اهتمام خاص لرصد تطور العوامل الفيزيائية والكيميائية المختلفة لمياه محطة معالجة مياه الصرف الصحي في قالة خلال مراحل الهدف من هذه الأطروحة هو التحقق من صحة جميع (PCA) المعالجة المختلفة عن طريق تحليل المكونات الرئيسية. المعلومات المقدمة من خلال تحليلات محطة معالجة مياه الصرف الصحي للمعالجة البيولوجية مع الحمأة المنشطة

في قالة (STEP) من أجل فهم وإدارة نوعية مياه الصرف الصحي (الاتحاد الأوروبي) لمحطة معالجة المياه الملوثة لمثل هذه المهمة مفيداً حيث يتمثل هدفه في تصور وتلخيص المعلومات الواردة في PCA بشكل أفضل. قد يكون تطبيق البيانات المختلفة من أجل الحصول على تمثيل يسمح بالتفسير بسهولة أكبر. في علم البصريات لمثل هذا التطبيق، كانت 11 من قالة على أساس بيانات حقيقية في فترة 11 شهراً. إن (STEP) معلمة فيزيائية كيميائية هدفاً للمتابعة على مستوى سمح لنا (PCA) تقليل أبعاد مساحة المتغيرات باستخدام طرق الإسقاط الخطي مثل التحليل في المكونات الرئيسية بالتفريق بين جودة المياه في المحطة المدروسة وفقاً للموسم ومرحلة المعالجة وأيضاً لتكشف لنا المعلومات ذات الصلة. تظهر نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها في هذا العمل فعالية النهج الذي تمت مناقشته

الكلمات المفتاحية: تحليل المكون الأساسي، التحقق من صحة البيانات، العملية البيولوجية لإزالة التلوث، قالة

Introduction générale

L'eau fait partie de notre environnement naturel tout comme l'air que nous respirons. Elle constitue un des éléments familiers de notre vie quotidienne. Sans eau l'homme ne peut pas survivre. Il en est de même pour tous les êtres vivants. C'est dire toute l'importance de cette ressource qu'on appelle « l'or bleu ».

Dans le monde, la qualité des eaux a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, des rejets urbains, trafics routiers, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau. Ces dernières produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

Pour parer à cette situation, l'homme a conçu des stations pour l'épuration des eaux usées et a développé une technologie conséquente dans le domaine de la protection des milieux récepteurs. Ces stations sont actuellement très répandues à travers le monde, et leur réalisation est devenue systématique et obligatoire pour les grands centres urbains et les industries grandes consommatrices d'eau. Cependant, la conception et la réalisation d'une station d'épuration coûtent cher, et cela est encore plus vrai pour les pays du tiers monde.

En Algérie, les années 70 ont vu le lancement de la réalisation de nombreuses stations d'épurations disséminées à travers le territoire national, un programme de mise en œuvre des stations d'épuration notamment dans les grands centres urbains.

La région de Guelma, comme la plupart des villes algériennes endure des conséquences de la pollution hydrique. Elle est devenue après l'indépendance, en plus de sa vocation agricole, un pôle industriel ce qui a causé un exode rural important. Cependant, le sous-bassin de la moyenne Seybouse, où se localise notre région d'étude, n'échappe pas à la pollution. L'oued Seybouse, principal cours d'eau, qui traverse la plaine de Guelma, Bouchegouf sur plus de 45 km du sud au nord-est, se trouve particulièrement touché par ce problème.

Pour cela, la wilaya de Guelma a mis en service une station d'épuration (STEP), qui est rentrée en service en 2008 et avait pour objectif l'épuration de 43388 m³/j d'eaux usées. Les eaux usées urbaines sont épurées directement dans la station d'épuration avec une série de traitements, notamment le prétraitement permettant d'éliminer les déchets, les sables, les graisses suivi du traitement primaire pour l'élimination des matières en suspension, et enfin le traitement biologique pour écarter le reste de la pollution.

Avec toute cette importance de l'eau, il est donc nécessaire de réfléchir à des solutions pour la contrôler et la surveiller dont le but d'avoir une eau avec une plus grande qualité à un coût de production plus faible. Ces considérations motivent les efforts importants dans le développement de nouvelles méthodes et techniques de contrôle et de surveillance. Les méthodes classiques sont déterminées par une analyse chimique effectuée au laboratoire, cette méthode nécessite un temps d'analyse relativement important et peut donc être difficilement intégrée dans un système de surveillance et de diagnostic en temps réel de l'unité. En outre, les méthodes modernes qui ont l'avantage de pouvoir effectuer un contrôle automatique permanent en temps réel, sont mieux placées pour être une alternative plus efficace. Une surveillance permanente des divers procédés de traitement et des paramètres relatifs à la qualité de l'eau est devenue nécessaire, où des systèmes de contrôle automatique infaillibles sont impératifs.

Il est logique de supposer que le problème de contrôle et de surveillance de l'eau brute peut être vu comme un problème de reconnaissance de formes, où les formes représentent l'ensemble des méthodes ou mesures liées aux caractéristiques de celle-ci. Parmi les techniques connues dans ce domaine, l'ACP est une méthode statistique multivariée utilisée pour résumer et visualiser l'information contenue dans les données procurant ainsi des représentations géométriques des individus et des variables [1].

Dans cette optique notre étude s'est intéressé particulièrement à la connaissance de la qualité des eaux usées traitées de la station d'épuration de Guelma par des analyses physico-chimiques et ceci en procédant à leur validation. Pour cela, pour réaliser ces objectifs, cette étude est structurée en quatre chapitres qui sont les suivants :

- ✚ Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les eaux usées, les types de contrôle ainsi que les normes de rejet suivi par les différentes étapes de la chaîne de traitement des eaux usées en occurrence la STEP de Guelma.
- ✚ Le deuxième chapitre est dévoué à l'analyse multivariée des données d'une façon générale, ainsi que ses différents types. Dans ce contexte, la méthode de réduction de dimension « Analyse en composantes principales, ACP » a été étudiée, après un bref historique en partant du principe, en passant par les différentes étapes, l'algorithme, ainsi que l'application de l'ACP pour la régression et la classification de données.
- ✚ Le troisième chapitre représente la zone étude ainsi que la description des méthodes d'analyse et des matériels utilisés.

✚ Dans le quatrième chapitre, la simulation par la technique d'analyse statistique des données ACP utilisée pour la réduction de dimension comme une étape préliminaire pour l'extraction des paramètres d'entrée, est présentée. En effet, une validation des données expérimentales a été effectuée afin d'évaluer les performances de cette technique.

Une conclusion générale donnera une synthèse du travail effectué, et résumera les principaux résultats obtenus.

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées.

Introduction :

Les eaux usées qu'elles soient industrielles ou ménagères ne devraient pas être directement rejetées dans le milieu naturel, car elles peuvent engendrer de graves problèmes environnementaux et de santé publique. Le traitement ou l'épuration des eaux usées a donc pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent. Par conséquent elles devraient être dirigées vers des stations d'épuration dont le rôle est de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous la forme des résidus à petit volume (les boues) et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises, cela grâce à des procédés physico-chimiques ou biologiques. A travers ce chapitre, nous essayerons d'offrir un aperçu général sur la provenance, les caractéristiques ainsi que le traitement des eaux usées.

1.1. Généralités sur les eaux usées :

1.1.1. Définition des eaux usées :

Les eaux usées sont définies comme étant des eaux ayant été utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricoles, constituant donc un effluent pollué et qui sont rejetées dans un émissaire d'égout. Elles 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. A cette charge s'associent presque toujours des matières grasses et des matières colloïdales.

Les eaux usées sont des eaux utilisées et souillées par différentes substances telles que les détergents, les urines, les matières fécales, les huiles, les micro-organismes, les pesticides, les engrais. Elles sont issues des différents usages de l'eau liés aux activités humaines domestiques, industrielles, agricoles ou autres.

1.1.2. Types des eaux usées :

Nous distinguons trois grandes catégories d'eaux usées :

- Les eaux domestiques.
- Les eaux industrielles.
- Les eaux pluviales.

Les eaux domestiques :

Proviennent de différents usages domestiques de l'eau et sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères (qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines), qui sont chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organique et en eaux de vannes (provenant des sanitaires) contenant les matières organiques biodégradables et des micro-organismes, chargées de divers matières organiques azotées et de germes fécaux.

Les eaux industrielles :

Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds et des micropolluants organiques.

Les eaux pluviales :

Ces eaux peuvent être fortement polluées, en particulier en début de pluie, fait :

- a- De la dissolution des fumées dans l'atmosphère.
- b- Du lavage des chaussées grasses et des toitures chargées de poussière.
- c- Du lessivage des zones agricoles.

Les polluants présents dans ces eaux peuvent être des matières organiques biodégradables ou non, des matières minérales dissoutes ou en suspension, ou des éléments toxiques.

1.1.3. Caractéristiques des eaux usées :

Les caractéristiques ou les propriétés des eaux usées peuvent être classée comme suivant :

1.1.3.1. Caractéristiques physiques :

a-Couleur :

Les eaux d'égout domestiques fraîches sont grises, ressemblant en quelque sorte à une solution faible de savon au fil du temps, pendant que la dégradation commence, elles commencent à devenir noires. La couleur des eaux d'égout septiques est plus ou moins noire ou foncée. La couleur des eaux usées industrielles dépend du procédé chimique utilisé dans les industries.

b-Odeur :

Les eaux d'égout fraîches normales ont une odeur de moisissure qui n'est normalement pas gênante, mais après un délai de 3 ou 4 heures, tout l'oxygène dissous présent dans les eaux

d'égout est épuisé et il commence à se dégager une mauvaise odeur due au sulfate d'hydrogène (H₂S) et à d'autres composés de soufre produits par les micro-organismes anaérobies.

c- Température :

Généralement, la température des eaux usées est plus élevée que celles des eaux potables, en raison de l'ajout d'eaux chaudes des ménages et des industries. Le changement de température affecte l'eau usée selon les manières suivantes :

- Quand la température augmente, la viscosité diminue ce qui a pour conséquence de précipiter les matières en suspension. Les températures extrêmement basses affectent défavorablement l'efficacité de la sédimentation.
- L'activité bactérienne augmente avec l'augmentation de la température, jusqu'à environ 60C⁰, après cette température, elle retombe. Cette caractéristique a pour effet d'affecter la conception des stations de traitement et leur efficacité.

d- Turbidité :

La turbidité des eaux usées dépend de la quantité des matières en suspensions. L'essai de turbidité est employé pour indiquer la qualité de matière colloïdale. La turbidité dépend de la concentration des eaux d'égout ou des eaux résiduaires. Plus forte est sa concentration, plus grande est sa turbidité.

e- Matière en suspension :

Elles représentent la partie solide de la pollution, les MES est la pollution non dissoute, la plus facile à éliminer.

f- Les matières volatiles sèches :

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension, elles constituent environ 70 à 80% de MES.

1.1.3.2. Caractéristiques chimiques :

a. Le potentiel hydrique :

Il exprime le degré d'acidité ou d'alcalinité des eaux. Ce paramètre joue un rôle primordial :

- Dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité).
- Dans les processus biologiques, dont certains exigent des limites de pH très étroites se situent entre 6.5 et 8.5.

- La détermination de la valeur du pH des eaux d'égout est importante puisque certains modes de traitement sont sensibles à la valeur du pH pour leur fonctionnement.

b. Teneur en chlorure :

Les chlorures sont des sels minéraux et en conséquence, ne sont pas affectés par les interactions biologiques des eaux d'égout. Les eaux usées reçoivent environ 6g de chlorure par personne par jour. Les adoucissants ajoutent également de grandes quantités de chlorures. De grandes quantités de chlorures peuvent également provenir des industries.

c. Teneur en azote et en phosphore :

Les teneurs en azote et en phosphore sont également des paramètres très importants. Les rejets excessifs de phosphore et d'azote contribuent à l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau. Ce phénomène se caractérise par la prolifération d'algues et la diminution de l'oxygène dissous, ce qui appauvrit la faune et la flore des eaux superficielles (cours d'eau, lacs, etc....)

d. Teneur en graisse et en huile:

Les graisses et les huiles proviennent essentiellement des cuisines, elles peuvent avoir aussi pour origine certaines industries, garages, ateliers...etc. Les graisses et les huiles flottent au-dessus de l'eau et ne se sédimentent pas, obstruent souvent les conduites en hiver et les filtres. Ils gênent ainsi le fonctionnement des installations de traitement et posent des problèmes d'entretien. Les graisses sont parmi les molécules organiques les plus stables et ne sont pas facilement décomposées par les bactéries.

C'est pour cette raison qu'il est nécessaire de détecter et retirer ces derniers de l'affluent à l'entrée des stations de traitement.

e. Demande chimique en oxygène:

Elle représente la quantité d'oxygène consommée par oxydation chimique de la totalité des matières organiques et minérales dissoutes dans l'eau. Le bichromate de potassium agissant en milieu sulfurique pendant deux heures à ébullition, oxyde presque entièrement les matières réductrices.

f- Demande biologique en oxygène :

Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation (avec l'intervention des bactéries) les matières organiques contenues dans une eau usée.

Matière organique + bactéries → boues + gaz + eau.

Généralement la pollution est dégradée d'une manière significative pendant une durée de 5 jours, au-delà de 5 jours la consommation en oxygène diminue énormément ainsi on a adapté la notion DBO₅ obtenue après 5 jours d'incubation à 20⁰C et dans l'obscurité.

1.1.3.3. Caractéristiques biologiques :

Les eaux d'égout domestiques, par leurs natures, contiennent d'énormes quantités de microorganismes. Les caractéristiques biologiques des eaux d'égout sont liées à la présence de ces micro-organismes. L'ingénierie sanitaire dit avoir une grande connaissance des :

- Principaux groupes de micro-organismes présents dans les eaux usées.
- Organisme pathogènes.
- Organismes utilisés comme indicateurs de pollution.

✓ Les virus :

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries. Ils sont présents soit intentionnellement, soit chez un individu infecté accidentellement. L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas.

✓ Les bactéries :

Sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0.1 et 10 µm. la majorité de ces bactéries ne sont pas pathogènes. Cependant, chez un hôte infecté, le nombre de bactéries pathogènes peut être très important. Les bactéries entériques sont adaptées aux conditions de vie dans l'intestin, c'est-à-dire une grande quantité de matière carbonée et de nutriments, et une température relativement élevée 37 ° C. leur temps de survie dans le milieu extérieur, où les conditions sont totalement différentes, est donc limité. Par ailleurs, les bactéries pathogènes vont se trouver en compétition avec les bactéries indigènes, ce qui limitera leur développement.

✓ Les protozoaires :

Sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. la plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées.

✓ Les helminthes :

Les helminthes sont des vers multicellulaires .tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites .les œufs d'helminthes sont très résistants.la concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10³ œufs/l.

1.1.4. Composition des eaux usées :

La composition ou les constituants des eaux d'égout dépendent en grande partie de la source de laquelle proviennent ces eaux. Elle peut être classée comme forte, moyenne et faible, suivant la concentration de ses constituants.

a/Matière en suspension :

La tenue en MES ne doit pas trop élevée étant donné que les risques des ajustages est d'obstruer les pores du sol. La décantation et la filtration fournissent normalement une séparation suffisante.

b/Salinité :

Une salinité élevée peut endommager les récoltes, spécialement dans les régions où l'évaporation est plus grande que les précipitations. Le tableau ci-après montre l'utilisation possible de différents types d'eau dans les régions arides et semi arides.

Tableau 1.1 : Différents types d'eau dans les régions arides et semi arides.

classification	Matière sèche (mg/l)	Conductivité (us/cm)
- Eau n'ayant pas d'effet nocif.	500	750
-Eau pouvant avoir un effet sensible	500 – 1000	750 - 1500
-Eau pouvant avoir un effet beaucoup de plantes.	1000 - 2000	1500 - 3000
-Eau pouvant être utilisée sur des plantes tolérantes sur un sol perméable.	2000 - 5000	3000 - 7500

c/ Matière organique :

Une teneur en matière organique (DBO) peut entraîner la formation d'une couche de la boue biologique dans les canalisations et les ajustages d'arrosage.

d/Substance nutritive:

La présence de substance nutritive telles que le phosphore et l'azote sont normalement avantage à condition de ne pas mener à la contamination de la nappe phréatique. Certains minéraux peuvent agir sur les terres, et les nappes phréatiques.

e/Bactéries :

Les teneurs en bactéries dans les eaux usées qui doivent servir à l'irrigation ne doivent pas être trop élevés, de l'eau d'une teneur de 100 bactéries coliformes par 100 ml peut être utilisée pour toute forme d'irrigation pour l'arrosage de plantes ne devant pas être consommées crus, de l'eau d'une teneur de 1000 bactéries coliformes par 100 ml reste acceptable.

1.1.5. Rejet des eaux usées :

1.1.5.1. Importance des rejets urbains :

L'importance des rejets urbains dépend de certains facteurs notamment :

- Du type de réseau.
- Des industries raccordées ou non au réseau.
- De la taille de l'agglomération.

➤ Type de réseau :

Les principaux systèmes de collecte utilisés en assainissement sont :

- ✚ Le système unitaire : qui reçoit dans les mêmes canalisations les eaux usées et les eaux pluviales.
- ✚ Le système séparatif : comportant deux réseaux de canalisations différentes, l'un pour les eaux pluviales et l'autre pour les eaux usées.
- ✚ Le système pseudo-séparatif : actuellement peu préconisé dans la conception d'un nouvel équipement, est un système dans lequel, on divise les apports des eaux pluviales en deux parties.

1.1.6. Conséquences du rejet sur le milieu récepteur :

Le rejet des eaux usées brutes perturbe l'équilibre du milieu récepteur, la quantité de pollution rejetée est devenu incompatible avec les capacités d'autoépuration des cours d'eau et provoque des conséquences néfastes telles que la dégradation du milieu naturel et le risque de contamination des eaux souterraines, dont le plus important est l'eutrophisation, ou vieillissement prématuré et accéléré d'un plan d'eau. La matière organique contient du phosphore et de l'azote qui sont deux éléments importants pour la survie et la croissance de tout être vivant. Un surplus de ces deux éléments nutritifs provoque la prolifération d'algues et de plantes aquatiques. Ces dernières peuvent rapidement envahir un plan d'eau ou gêner l'écoulement d'un cours d'eau. Elles consomment également une grande quantité d'oxygène. De plus, les bactéries et autres décomposeurs utilisent l'oxygène dissous dans l'eau pour digérer la matière organique. La prolifération des algues et des bactéries dans l'eau provoque une baisse de l'oxygène dans l'eau ce qui étouffe les poissons et les insectes qui y vivent. Cependant, les eaux usées ne sont pas la seule cause de l'eutrophisation ; l'épandage d'engrais agricole est en effet la première source de phosphore et d'azote. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 103 et 104 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel. Parmi les infections virales d'origine hydrique, on trouve la poliomyélite, l'hépatite A.

1.1.7. Impact de la réutilisation des eaux épurées :

Le recyclage des eaux usées urbaines en irrigation offre de nombreux avantages, y compris l'épuration et l'élimination sûres et peu coûteuses des eaux usées ; la conservation de l'eau et la recharge des réserves de la nappe aquifère ; et l'utilisation des éléments fertilisants que contiennent les eaux usées à des fins productives.

1.1.7.1. L'impact de la réutilisation des eaux épurées sur l'environnement :

On reconnaît de plus en plus l'intérêt des espaces verts en milieu urbain et périurbain pour la protection de l'environnement, le cadre de vie, les activités de loisir et la production. Toutes les villes gagnent à avoir des arbres dans le paysage urbain, mais les avantages sont peut-être plus évidents dans les zones tropicales arides et semi-arides où la végétation naturelle est clairsemée, où il faut se protéger des tempêtes de sable et des vents desséchants et où les fortes températures font que l'ombre est autant une question de santé que de confort. L'utilisation des

eaux usées traitées présente des avantages multiples aussi bien au niveau économique qu'environnemental :

- ❖ La mobilisation d'une ressource potentielle en eau (dont la qualité peut être encore améliorée).
- ❖ L'économie des ressources en eau conventionnelle (permet éventuellement de différer les investissements d'une nouvelle mobilisation en eau conventionnelle).
- ❖ La protection des milieux récepteurs en particulier le littoral et le réseau hydrographique contre la pollution hydrique.
- ❖ La préservation des zones humides (apport d'eau en continu).
- ❖ L'atténuation des impacts liés à la sécheresse (ressource en eau indépendante du climat).
- ❖ La réduction des quantités d'engrais utilisée en agriculture.
- ❖ Le renforcement des capacités nationales en matière de gestion intégrée des ressources en eau.

1.1.7.2. L'impact de la réutilisation des eaux épurées sur l'être humain :

Les eaux usées traitées au niveau secondaire contiennent des éléments physico-chimiques et une pollution biologique (bactéries et parasites) considérables qui provoquent à leur manipulation soit des allergies soit des maladies. Les allergies ont pu être imputées aux eaux usées, par contre résultats relatifs aux maladies des exploitants et de la population riveraine ne sont pas significatifs étant pratiquement semblables à toute autre population rurale. En effet, les agriculteurs ou les ouvriers qui manipulent les EUT ne respectent pas toujours les recommandations des agents de la santé publique et omettent souvent de porter des bottes et des gants.

1.1.8. Norme de rejet :

Les eaux usées se caractérisent par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent de déterminer leur éventuelle origine et de connaître l'importance de leur charge polluante. Avant qu'elles ne soient rejetées dans le milieu naturel et ne le dégradent, elles doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution. Pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement. Selon les normes Algériennes les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans le **Tableau 1.2** :

Tableau 1. 2 : Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006)

<u>Paramètres</u>	<u>Valeurs</u>	<u>Paramètres</u>	<u>Valeurs</u>
<u>Ph</u>	<u>6.5-8.5</u>	<u>Nickel total</u>	<u>0.01</u>
<u>Mes</u>	<u>30</u>	<u>Plomb total</u>	<u>0.5</u>
<u>DBO5</u>	<u>35</u>	<u>Zinc total</u>	<u>0.5</u>
<u>DCO</u>	<u>120</u>	<u>Cuivre total</u>	<u>0.5</u>
<u>Azote kjedlakh</u>	<u>25</u>	<u>Huiles graisses</u>	<u>3</u>
<u>Phosphate</u>	<u>30</u>	<u>Fluor et composés</u>	<u>0.3</u>
<u>Phosphore total</u>	<u>2</u>	<u>Etain total</u>	<u>15</u>
<u>Cyanures</u>	<u>10</u>	<u>Composés organiques chlorés</u>	<u>2</u>
<u>Aluminium</u>	<u>0.1</u>	<u>Chrome total</u>	<u>5</u>
<u>Cadmium</u>	<u>0.3</u>	(*) Chrome III +	<u>0.5</u>
<u>Fer</u>	<u>0.2</u>	(*) Chrome VI +	<u>0.3</u>

1.2. Epuration des eaux usées

1.2.1. Objectif du traitement :

L'objectif principal de traitement est de produire des effluents traités à un niveau acceptable du point de vue de risque pour la santé humaine et l'environnement. A cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique, à bas prix et des besoins d'opérations et d'entretien minimaux.

Les stations d'épuration des eaux usées, indépendamment du type de traitement, permettent d'éliminer ou de diminuer le taux d'un polluant présent dans l'eau usée qui peut être toxique aux récoltes [2]. Équipée d'un laboratoire d'analyse qui a pour but de calculer le rendement de

la STEP et d'étudier l'anomalie (si nécessaire) ; d'une façon générale il surveille le fonctionnement de la station.

1.2.2. Les procédés de traitements des STEP :

Les STEP traitent les eaux résiduaires afin de les purifier et aussi les boues d'épuration en les déshydratants de toute humidité [3].

Tableau 1. 3 : Les différents procédés de traitement des eaux usées.

Filières de traitement	Les étapes	Particularités
Le prétraitement	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dégrillage 2. Tamisage 3. Dessablage 4. Déshuilage (dégraissage) 	<p>L'eau traverse une première grille qui permet d'éliminer les plus gros déchets : c'est le dégrillage, puis passe au travers de tamis, c'est le tamisage. Les sables et graviers se déposent au fond de bassins conçus à cet effet et sont évacués : c'est le dessablage. Les graisses remontent grâce à une injection d'air et sont collectées à la surface : c'est le déshuilage.</p>
Le traitement physicochimique	La décantation	<p>Permet d'éliminer environ 70 % des matières en suspension. Celles-ci se déposent au fond du bassin ce sont les boues primaires. Elles sont ensuite récupérées par raclage du fond du bassin, puis envoyées à l'épaississeur. Les performances de la décantation peuvent être améliorées par l'ajout de réactifs chimiques, permettant après coagulation et floculation, de capter jusqu'à 90 % des matières en suspension.</p>
Le traitement biologique	<ol style="list-style-type: none"> 1- Lagunage 2- Boue activée 3- Lit bactérien 	<p>Ce traitement secondaire reproduit les phénomènes d'autoépuration existant dans la nature. Des bactéries présentes dans les eaux usées sont utilisées pour dégrader les matières polluantes dissoutes. Cette dégradation par voie biologique se fait dans les bassins d'aération.</p>
La désinfection		<p>Les traitements primaires et secondaires ne détruisent pas complètement les germes présents dans les rejets domestiques, des procédés d'élimination supplémentaires sont donc employés lorsque les eaux traitées sont rejetées en zone de baignade, de pisciculture ou d'élevage de coquillage. Un réactif désinfectant peut être ajouté aux traitements avant leurs rejets dans le milieu naturel. Le chlore est le désinfectant le plus courant.</p>

Tableau 1.4 : Les procédés de traitement des boues d'épuration.

Filières de traitement	Particularités
Epaissement	L'épaississement des boues a pour objectif de concentrer de la façon la plus économique les boues et de permettre d'alimenter à régime et à concentration pratiquement constante les installations de déshydratation. Il s'agit donc d'une étape intermédiaire pour la diminution du volume de boues produites par la station en permettant d'améliorer la concentration des boues en excès en termes de matières sèches.
Digesteurs	Le digesteur est l'élément principal d'une installation de biogaz. C'est dans le digesteur que les processus biochimiques et microbiens de fermentation ont lieu lors desquels le biogaz est constitué.
Déshydratation	La déshydratation des boues en excès est assurée par une presse à bande filtrante. Les boues à traiter après avoir été mélangées à une solution de polymères sont déversées sur un tapis roulant perméable qui assure la pression de ces boues au fur et à mesure de leur passage sur le tapis, ainsi obtenant à la fin une boue beaucoup plus sèche.

1.2.3. Description de la station d'épuration Guelma :

La station de la wilaya est fonctionnelle depuis le 8 février 2008, est composée de plusieurs étapes de traitement chacune de ces étapes assure une fonction particulière. La première est un prétraitement composé d'un dégrilleur et d'un dessableur / déshuileur. La deuxième assure le traitement primaire et comprend un bassin de décantation primaire. La troisième est responsable du traitement secondaire composé d'un bassin d'aération et d'un clarificateur. A la fin la dernière étape consiste en un traitement tertiaire.

1.2.4. Etapes de traitement au niveau de STEP de Guelma :

Le traitement se fait selon la procédure suivante :

- Arrivée des eaux, bassins d'orage.
- Dégrillage.
- Dessablage-dégraissage.

- Traitement primaire.
- Traitement biologique.
- Clarification, décantation.
- Désinfection.
- Traitement des boues.

1.2.4.1 Arrivée des eaux, bassin d'orage :

Bâche de relèvement, ceci par deux conduites, ce poste de relèvement permet l'alimentation du prétraitement en aval. Un déversoir alimente un bassin d'orage de tout débit supérieur au débit accepté par l'installation suivant le nombre de bassins d'aération en service. Deux pompes submersibles permettent de relever ces eaux vers le prétraitement, sur la base de la vidange du bassin plein, laissant ainsi rapidement le volume disponible pour réguler le débit entrant, sans toutefois surcharger le traitement ultérieur.

1.2.4.2. Le prétraitement :

Une phase pendant laquelle l'élément le plus grossier est éliminé par dégrillage puis par flottation ou décantation.

Le dégrillage :

A pour but de retenir les éléments les plus gros tel que chiffons, étoupes fragments des bois etc. , L'ensemble du dégrillage comporte un dégrilleur automatique de 30 mm pour la grille fixe fin du type à champ courbe, avec espacement entre barreaux de 20 mm, le dégrillage grossier ayant déjà été assuré dans les stations de pompage en amont. Les refus sont évacués par convoyeur à vis vers une benne de 10 m³ de capacité ou tout autre dispositif de stockage. (**Figure 1.1**) dont le dimensionnement est illustré dans le (**Tableau 1.5**):



Figure 1.1 : Le dégrilleur (STEP Guelma).

Tableau 1.5 : Dimensionnement de dégrilleur.

	<u>Unité</u>	<u>Valeur</u>
<u>Nombre de grilles</u>		<u>1</u>
<u>Largeur du canal</u>	<u>m</u>	<u>1.5</u>
<u>Surface total</u>	<u>m²</u>	<u>2.5</u>
<u>Débit maximum admissible</u>	<u>m³/h</u>	<u>4182</u>

✚ Le dessablage / déshuilage (dégraissage) :

S'effectuera dans un ouvrage longitudinal dimensionné pour accepter un débit de pointe par temps de pluie de 4.180 m³ (**Figure 1 .2**) dont le dimensionnement est illustré dans le (**Tableau 1.6**) assurant

- L'élimination par décantation de la plus grande partie de sable de dimensions supérieures à 150-200 mm
- L'élimination d'une grande partie de matières flottantes (graisse...) en partie supérieure des ouvrages.
- La rétention des particules sableuses contenues dans l'eau résiduaire urbaine est indispensable, car elle permet :

- D'éviter l'abrasion des engins mécaniques.
- D'éviter les surcharges dans les étapes suivantes du traitement, notamment en cas de pluie, ou la quantité journalière de sable arrivant sur la station peut être multipliée de 3 à 7 fois.
- D'éviter l'accumulation de sables dans les étapes ultérieures du traitement.
- La quantité de sable piégé soit de l'ordre de 15 à 40 mg/l (étude France).

L'élimination des graisses permet :

- D'améliorer la quantité visuelle de la surface des ouvrages ultérieurs.
- De limiter la quantité de flottants et graisses susceptibles de se coller, de s'agglutiner ou de flotter dans les ouvrages situés en aval et qui peuvent créer des problèmes de colmatage et de fermentation.



Figure 1.2 : Dessablage/déshuilage.

Tableau 1.6 : Dimensionnement de l'ouvrage.

	<u>Unité</u>	<u>Valeur</u>
<u>Nombre d'ouvrage</u>		<u>2</u>
<u>Volume total</u>	<u>m³</u>	<u>168</u>
<u>Longueur du bassin</u>	<u>m</u>	<u>35</u>
<u>Largeur du bassin</u>	<u>m</u>	<u>4.9</u>
<u>Hauteur d'eau</u>	<u>m</u>	<u>1.8</u>

1.2.4.3. Traitement primaire :

Décantation primaire :

Les eaux du dessableur/dégraisseur alimentent directement chacun des 2 décanteurs primaires, chacun équipé d'un pont racleur avec tiers arrière. La décantation consiste à faire traverser l'influent à faible vitesse, à travers un bassin de façon à ce que les matières en suspension puissent sédimenter. Le profil du fond de ce bassin est conçu pour permettre le rassemblement et la reprise de la suspension obtenue et des boues déposées par raclage permanent et pompage. (**Figure 1.3**) dont le dimensionnement est illustré dans le (**Tableau 1.7**). Ce processus réside dans l'utilisation des forces de gravité pour séparer une particule de densité supérieure à celle du liquide. Ce traitement élimine 30 à 60 % de MES et réduit d'environ 30 % la DBO₅ et la DCO.



Figure 1.3 : Décantation primaire.

Tableau 1. 7 : Dimensionnement de décanteur.

	<u>Unité</u>	<u>Valeur</u>
<u>Nombre d'ouvrage</u>		<u>2</u>
<u>Diamètre d'un bassin minimum</u>	<u>m</u>	<u>30</u>
<u>Surface total</u>	<u>m²</u>	<u>1.394</u>
<u>Hauteur d'eau</u>	<u>m</u>	<u>3</u>
<u>Forme</u>		<u>Cylindro-conique</u>

1.2.5.4. Traitement secondaire (biologique) :

Les traitements secondaires recouvrent les techniques d'élimination de la charge polluante soluble (carbone, azote et phosphore). Généralement, l'élimination des pollutions carbonées et azotées s'appuient sur des procédés de nature biologique. Les procédés membranaires combinent quant ` à eux des procédés biologiques et physiques.

Il consiste à mettre en contact l'eau usées avec une biomasse épuratrice qui est en fait un écosystème simplifié et sélectionné ne faisant appel qu'à des microorganismes elle est constituée d'être vivants de petite taille, inférieure au millimètre, micro filtre de bactéries et microfaune d'animaux, protozoaires.

La STEP de Guelma comporte une phase d'épuration biologique (boues activées puis bassin de clarification).

L'épuration biologique s'effectué conformément à l'ensemble suivant :

- Traitement par boues activées.
- La clarification, ou s'effectue la séparation « boues/eaux traites ».
- La recirculation des boues assurant le réensemencement en boues (des boues d'aération).

L'aération s'effectue dans deux bassins longitudinaux (forme rectangulaire) fonctionnant en parallèle. Cet ouvrage est prévu de turbines d'aération. (Figure 1.4) dont le dimensionnement est illustré dans le (Tableau 1.8) :

↪ **Bassin d'aération :**



Figure 1.4 : Bassin d'aération

Tableau 1. 8 : Dimensionnement d'un bassin d'aération.

	<u>Unité</u>	<u>Valeur</u>
<u>Surface d'un bassin</u>	<u>m²</u>	<u>1.037</u>
<u>Longueur d'un bassin</u>	<u>M</u>	<u>64.40</u>
<u>Largeur d'un bassin</u>	<u>M</u>	<u>16.10</u>
<u>Nombre de turbines</u>		<u>8</u>

Le principe du procédé est simple. Une biomasse libre élimine les composés polluants en mode aérobie. L'oxygène nécessaire aux réactions est apporté par aération. En première approximation, une station d'épuration à boues activées est une lagune dopée. La pollution arrive continuellement. Sa dégradation est en aérobie et assurée par une biomasse adaptée, suffisante et constante. Il faut ensuite séparer l'eau claire de la boue biologique.

Le couple aération- brassage permet de maintenir l'aérobie lors de la bio-élimination. La recirculation et l'extraction des boues biologiques, à partir du fond du clarificateur, maintiennent une biomasse constante dans le bassin.

Le clarificateur, ou décanteur secondaire, récupère l'eau claire traitée en fin de traitement. Les boues activées traitent les eaux résiduaires par contact avec une biomasse maintenue en suspension et aérée dans un bassin d'activation.

❖ Objectif :

Le procédé à boues activées a été découvert en 1914 à Manchester et repose sur la constatation suivante :

Le traitement des boues en station d'épuration est très largement utilisé. Il s'agit d'un réacteur qui contient les eaux à traiter, dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries. Pour limiter les quantités à stocker (voire à épandre), et de les stabiliser pour en améliorer les caractéristiques physiques (amélioration de leur tenue en tas) et arrêter la biodégradation dont elles sont le lieu. En effet, leur forte teneur en eau (99 %) et les fortes populations bactériennes qui s'y retrouvent en font un bouillon de culture favorable à la dégradation de la matière organique fraîche et très fermentescible qu'elles contiennent, avec production de mauvaises odeurs. La siccité est un paramètre fondamental de la caractéristique des boues elle s'exprime en tonnage de Matière Sèche (MS).

➤ Élimination de l'azote :

Les eaux résiduaires contiennent différents composés azotés protéines, urée et produits de décomposition ainsi que de l'azote sous forme minérale. Son élimination biologique se réalise en deux étapes qui sont chronologiquement la nitrification et la dénitrification. Parallèlement une partie de l'azote est utilisée pour la synthèse bactérienne par assimilation.

★ La nitrification :

La nitrification est un processus contrôlé par l'action de certains microorganismes spécifiques, qui conduit à la transformation de l'ammoniaque ou de l'ammonium en nitrite, puis en nitrate c'est-à-dire la conversion biologique de la forme réduite, NH_4^+ , NH_3 en la forme oxydée NO_3^- .

La réaction de nitrification :



La nitrification autotrophe caractérisée par l'utilisation de substrats inorganiques comme source d'énergie pour la croissance et comme source d'azote, le dioxyde de carbone comme source de carbone et l'oxygène comme accepteur final d'électrons.

★ Dénitrification :

Il s'agit d'un procédé biologique qui consiste à la réduction du nitrate en azote gazeux via la formation des composés intermédiaires tels que le nitrite, l'oxyde nitrique et l'oxyde nitreux en conditions anoxies.

Les bactéries ont besoin d'un environnement très pauvre en oxygène. L'arrêt des aérateurs ne permet pas à lui seul d'atteindre cet objectif, c'est en fait la surconsommation d'oxygène par les bactéries présentes dans le milieu qui engendre un environnement presque totalement anoxie. Il s'agit d'une dénitrification combinée, qui utilise simplement comme substrat oxygène l'eau d'égout elle-même. La cinétique est lente et la dénitrification n'est pas complète. Ce système profite de la recirculation des boues activées pour maintenir une teneur en substrat suffisante.

➤ Élimination du phosphore (déphosphatation) :

L'élimination du phosphore concerne limitation l'écotoxicité des rejets d'eaux usées un traitement du phosphore est généralement demandé sur les stations supérieures à 10000 équivalent habitant. Il peut être demandé sur des plus petites stations d'épuration suivant la sensibilité du milieu récepteur.

La déphosphatation biologique consiste en une suraccumulation de phosphore dans la biomasse. Elle stocke celui-ci et l'énergie utilisée pour le stockage provient de l'hydrolyse du poly phosphore ce qui explique la phase de relargage de phosphate dans le milieu.

L'élimination du phosphore peut être réalisée par un traitement chimique par précipitation en présence de sels minéraux comme le sulfate d'ammonium ou le chlorure ferrique et s'effectuer soit simultanément aux réactions biologiques dans le bassin de boues activées, soit en traitement final.

↳ La clarification :

Le clarificateur a pour but, la séparation de floc biologique de l'eau épurée. Les boues déposées dans le clarificateur sont recirculées vers le bassin d'aération afin d'y maintenir une concentration quasi constante en bactéries aussi les boues en excès sont évacuées vers les installations de traitement de boues (épaississement, déshydratation).

Un clarificateur permet de recueillir sous forme de boues les matières agglomérées par les bactéries. Les boues, plus denses que l'eau, tombent au fond du bassin ou elles sont raclées. (Figure 1.5) dont le dimensionnement est illustré dans le (Tableau 1.9)



Figure 1.5 : Clarificateur

Tableau 1.9 : Dimensionnement de clarificateur.

	<u>Unité</u>	<u>Valeur</u>
<u>Nombre de décanteur</u>		<u>2</u>
<u>Diamètre</u>	<u>m</u>	<u>53.00</u>
<u>Surface total</u>	<u>m²</u>	<u>2.201</u>
<u>Temps de séjour</u>	<u>h</u>	<u>2.5</u>
<u>Forme</u>		<u>Cylindro-conique</u>

↳ **Recirculation des boues :**

La recirculation des boues recueillies dans les clarificateurs a pour objectif de maintenir la concentration en biomasse épuratrice dans les bassins d'aération ou elles seront mélangées aux eaux à traiter et de maintenir dans les clarificateurs un voile de boues suffisant.

1.2.5.5. Traitement tertiaire :

↳ **La désinfection :**

Les eaux épurées de la station de Guelma sont prévues être utilisées pour l'irrigation après le rejet dans l'oued Seybouse. Pour cela la création d'un poste de désinfection de l'eau en sortie de clarificateur à raison d'une dose de 5 mg de Cl_2/l nécessaire pour réduire les constituants microbiologiques.



Figure 1.6 : Bassin de désinfection.

La désinfection se fera dans un ouvrage longitudinal muni de chicanes. Pour permettre un temps de contact suffisant à l'aide d'hypochlorite de calcium $Ca (ClO)_2$. L'hypochlorite de calcium se présente sous forme de poudre. la préparation de la solution est à réaliser sur site par dilution de la poudre avec de l'eau. Ainsi le chlore actif est utilisable. L'hypochlorite de calcium peut être exporté sans problème ce qui évite tout risque de rupture de stock et donc une fiabilité de traitement à tout moment de l'année. (Figure 1 .6) dont le dimensionnement est illustré dans le (Tableau 1.10)

Tableau 1.10 : Dimensionnement du bassin de désinfection.

	<u>Unité</u>	<u>Valeur</u>
<u>Temps de contact</u>	<u>min</u>	<u>20</u>
<u>Volume de désinfection</u>	<u>m³</u>	<u>727</u>
<u>Longueur</u>	<u>m</u>	<u>24.2</u>
<u>Largeur</u>	<u>m</u>	<u>15</u>
<u>Hauteur des chicanes</u>	<u>m</u>	<u>2</u>

L'effet du chlore sur les microorganismes

Le chlore tue les organismes pathogènes tels que les bactéries et les virus en cassant les liaisons chimiques de leurs molécules. Les désinfectants qui sont utilisés à cette fin sont des composés de chlore qui peuvent échanger des atomes avec d'autres composés, tels que des enzymes dans les bactéries et autres cellules. Lorsque l'enzyme vient en contact avec le chlore, un ou plusieurs atomes d'hydrogène de la molécule sont remplacés par le chlore. Ceci va modifier la structure entière de la molécule et dans la plupart des cas provoquer sa dissociation ou sa désactivation. Lorsque les enzymes ne fonctionnent pas correctement, la cellule ou la bactérie mourra.

1.2.5.6. Traitement des boues :

★ Epaississement :

Il s'agit de la première étape de traitement des boues, qui s'opère en général avant le mélange des boues issues des différentes étapes d'épuration des eaux usées (boues primaires, secondaires, et éventuellement tertiaires). L'épaississement consiste à laisser s'écouler les boues par gravitation à travers un silo placé au-dessus d'une table d'égouttage ou d'une toile semi-perméable. Autre technique de concentration : la flottation, basée sur l'injection de gaz dans les boues, ce qui sépare les phases liquides et solides par différence de densité. En sortie, les boues sont encore liquides avec une siccité de 4 à 6 %.

La déshydratation permet de diminuer la teneur en eau des boues, et d'atteindre en sortie une siccité allant de 15 à 40%. Les boues épaissies seront extraites à partir de deux pompes dont 1 secours. Elles sont envoyées vers le stabilisateur.

Tableau 1.11 : Dimensionnement d'épaississeur.

	<u>Unité</u>	<u>Valeur</u>
<u>Surface d'épaississement</u>	<u>m²</u>	<u>324</u>
<u>Diamètre</u>	<u>m</u>	<u>20.3</u>
<u>Hauteur des boues</u>	<u>m</u>	<u>4</u>

★ **Stabilisation aérobie des boues :**

Cela consiste à diminuer le caractère fermentescible des boues et ainsi, notamment, de supprimer les mauvaises odeurs. Les traitements de stabilisation des boues s'appliquent aux boues mixtes fraîches ou uniquement aux boues de traitement secondaire des eaux usées. La stabilisation aérobie consiste à mettre les boues dans des bassins d'aération dits aussi bassins de stabilisation aérobie. En sortie, les boues sont dites « aérobies » ou « stabilisées aérobies ». Le compostage est un mode de stabilisation aérobie des boues, le plus souvent après déshydratation. Il s'agit souvent d'un traitement de stabilisation biologique complémentaire. Les boues sont évacuées par pompage du bassin de stabilisation aux lits de séchage.

Tableau 1.12 : Dimensionnement de l'ouvrage.

	<u>Unité</u>	<u>Valeur</u>
<u>Surface de bassin</u>	<u>m²</u>	<u>1831</u>
<u>Nombre de turbines</u>		<u>4</u>
<u>Hauteur des boues</u>	<u>m</u>	<u>4</u>

★ **Le séchage :**

Le séchage des boues est une déshydratation quasi-totale des boues par évaporation de l'eau qu'elles contiennent ; la réduction de volume qui en résulte est conséquente.

* **Les lits de séchage :**

Ce procédé consiste à répartir les boues à déshydrater sur une surface drainante (composée de plusieurs couches de gravier et de sable de granulométries variables), à travers laquelle s'écoule l'eau interstitielle. Ces lits de séchages sont mis sous serre pour non seulement tirer parti du phénomène d'évaporation naturelle, mais l'accélérer par les rayons. On parle alors de séchage solaire. En sortie des lits de séchage, les boues sont solides, d'une siccité d'environ 35 à 40 %. Ce procédé de séchage présente l'intérêt d'être en plus une solution de stockage des boues du soleil.



Figure 1.7 : Lit de séchage.

Tableau 1. 13 : Dimensionnement du lit.

	<u>Unité</u>	<u>Valeur</u>
<u>Nombre de lits</u>		<u>16</u>
<u>Durée de séchage</u>		<u>3 semaines</u>
<u>Surface globale</u>	<u>m²</u>	<u>1503</u>
<u>Longueur de lit</u>	<u>m</u>	<u>48</u>
<u>Volume boue liquide</u>	<u>m³</u>	<u>358</u>

Conclusion :

L'objectif de traitement des eaux résiduaires est l'obtention d'une eau épurée qui satisfait aux normes de rejets édictés par la législation et pouvant par suite être évacuées sans danger dans le milieu naturel ou bien être réutilisée dans le cadre des mesures nécessaires à une bonne gestion de l'eau, plus particulièrement en milieu industriel et agricole. Avant le choix d'une filière de traitement, il est essentiel de connaître sa composition, qualité et caractéristiques des eaux usées.

Chapitre II : Analyse en composantes principales

Introduction :

Les méthodes d'analyse de données ont commencé à être développées dans les années 50, poussées par le développement de l'informatique et du stockage des données depuis n'ont cessé de croître. L'analyse de données a surtout été développée en France par l'analyse des correspondances représentant les données de manière simple et interprétable. Parmi les méthodes de l'analyse en trouve la méthode d'analyse en composantes principales (ACP). Cette méthode permet de faire le traitement statistique de données, dont le but de représenter et d'expliquer les liaisons statistiques entre les phénomènes [4]. Elle permet d'identifier des variables sous-jacentes, ou facteurs qui expliquent les corrélations à l'intérieur d'un ensemble de variables observées. Elle est souvent utilisée pour réduire un ensemble de données, et dans l'agrégation de l'information, en identifiant un petit nombre de facteurs qui expliquent la plupart des variances observées dans le plus grand nombre de variables manifestes. On peut également utiliser l'analyse factorielle pour résumer, synthétiser, et hiérarchiser l'information acquise pour l'étape de décision. Ce chapitre, est consacré à l'analyse des données et leur objectif ainsi que de quelques méthodes d'analyse on doit insister sur la méthode d'analyse en composantes principales (ACP), qui est choisie dans notre approche.

2.1. Etat de l'art :

Il décrit l'analyse de données selon cinq principes :

- 1er principe : Statistique n'est pas probabilité.
- 2ème principe : Le modèle doit suivre les données et non l'inverse.
- 3ème principe : Il convient de traiter simultanément des informations concernant le plus grand nombre possible de dimensions.
- 4ème principe : Pour l'analyse des faits complexes et notamment des faits sociaux, l'ordinateur est indispensable
- . - 5ème principe : Utiliser un ordinateur implique d'abandonner toutes techniques conçues avant l'avènement du calcul automatique.

Ces cinq principes montrent bien l'approche d'une part de la statistique à la différence des probabilités, les modèles doivent coller aux données et d'autre part de l'analyse de données, il faut traiter le plus grand nombre de données simultanément ce qui implique l'utilisation de

l'ordinateur et ainsi l'utilisation de nouvelles techniques adaptées. L'analyse de données fait toujours l'objet de recherche pour s'adapter à tout type de données et faire face à des considérations de traitements en temps réel en dépit de la quantité de données toujours plus importante. Les méthodes développées (l'analyse de données) sont maintenant souvent intégrées avec des méthodes issues de l'informatique et de l'intelligence artificielle (apprentissage numérique et symbolique) dans le data mining ou encore extraction de connaissance à partir de données, la technique utilisée dans notre approche est l'analyse en composantes principales (ACP).

2.2. Analyse des données :

2.2.1. Définition :

Dans l'acception française, la terminologie « analyse des données » désigne un sous-ensemble de ce qui est appelé plus généralement la statistique multi variée. L'analyse des données est un ensemble de techniques descriptives, dont l'outil mathématique majeur est l'algèbre matriciel, et qui s'exprime sans supposer a priori un modèle probabiliste.

2.2.2. Quelques exemples de méthodes d'analyse des données :

- ✚ Analyse en composantes principales : La méthode d'Analyse en Composantes Principales permet d'étudier un tableau individus x variables dans le cas où toutes les variables sont quantitatives. La méthode permet d'obtenir une carte des individus en fonction de leurs proximités et une carte des variables en fonction de leurs corrélations.
- ✚ L'analyse factorielle des correspondances : L'Analyse Factorielle de Correspondances (Analyse des Correspondances Simples ou Binaires) permet de représenter graphiquement un tableau de contingence créé par le ou les croisements (tris croisés) de deux ou plusieurs variables qualitatives. La méthode vise à rassembler sur un ou plusieurs graphiques (plan factoriel) la plus grande partie possible de l'information contenue dans le tableau en s'attachant non pas aux valeurs absolues mais aux correspondances entre les caractéristiques, c'est-à-dire aux valeurs relatives.
- ✚ L'analyse des correspondances multiples : L'Analyse des Correspondances Multiples permet d'analyser un tableau individus x variables lorsque les variables sont qualitatives. Cette méthode effectue une analyse des correspondances sur le tableau disjonctif complet obtenu en remplaçant dans le tableau d'origine chaque variable qualitative par l'ensemble des variables indicatrices des différentes modalités de cette variable.

- ✚ L'analyse sur tableau de distances : La méthode d'Analyse sur Tableau de Distances permet d'étudier un tableau carré symétrique (à diagonale nulle) individus x individus contenant à chaque intersection ligne-colonne la distance entre cette ligne et cette colonne. La méthode permet d'obtenir une carte des individus en fonction de leurs proximités.
- ✚ La classification ascendante hiérarchique : La méthode de Classification Ascendante Hiérarchique permet de construire une typologie (ou partition) d'un ensemble d'individus en classes telles que les individus appartenant à une même classe sont proches alors que les individus appartenant à des classes différentes sont éloignés.
- ✚ L'analyse factorielle multiple : L'Analyse factorielle multiple est spécialement conçue pour étudier une population d'individus caractérisés par un certain nombre de groupes de variables. Ces groupes de variables peuvent être constitués de variables mesurées à différents instants.
- ✚ L'analyse factorielle de données mixtes : L'Analyse Factorielle de Données Mixtes est une méthode spécialement conçue pour permettre l'étude simultanée de variables quantitatives et qualitatives (données dites mixtes) mesurées sur une population d'individus en tant qu'éléments actifs dans une même analyse. Cette analyse prend en compte les variables quantitatives comme une analyse en composantes principales normées (ACPN) et les variables qualitatives comme une analyse des correspondances multiples (ACM).
- ✚ L'analyse discriminante pas à pas : L'Analyse Discriminante Pas à Pas permet de sélectionner à partir d'un ensemble de variables quantitatives et d'une variable qualitative découpant la population en plusieurs groupes (2 ou plus), le sous-ensemble des variables quantitatives les plus explicatives des groupes qui seront alors utilisées pour définir des fonctions discriminantes robustes.
- ✚ L'analyse factorielle discriminante : L'Analyse Factorielle Discriminante est une méthode géométrique permettant de construire à partir d'un ensemble de variables quantitatives et d'une variable qualitative découpant la population en plusieurs groupes (2 ou plus), des fonctions discriminantes qui les séparent au mieux dans l'échantillon d'apprentissage (population de base).
- ✚ L'analyse discriminante bayésienne : (ou Stochastique) permet de construire à partir d'un ensemble de variables quantitatives et d'une variable qualitative découpant la population en plusieurs groupes (2 ou plus), des fonctions discriminantes qui définissent

une règle de décision optimale à partir de laquelle on peut affecter des individus tests ou anonymes aux différents groupes. Cette technique suppose que l'on connaisse a priori les probabilités d'appartenance aux différents groupes et que les données suivent une loi multi-normale.

- ✚ L'analyse discriminante qualitative : L'Analyse Discriminante Qualitative est une généralisation de l'Analyse Factorielle Discriminante dans le cas où les variables explicatives sont qualitatives et non plus quantitatives. La première étape de l'analyse consiste à mettre en œuvre une Analyse des Correspondances Multiples des variables qualitatives. La deuxième étape remplace les variables qualitatives d'origine par les coordonnées sur les axes factoriels issus de l'ACM et effectue sur ces données une Analyse Factorielle Discriminante
- ✚ La régression sur composantes principales : La méthode de Régression sur Composantes Principales est une technique de régression utile lorsque de fortes colinéarités entre les variables explicatives sont présentes et que l'on ne désire pas utiliser les algorithmes de régression pas à pas pour éliminer les variables corrélées entre elles ou la régression Ridge. Cette technique utilise à la fois l'Analyse en Composantes Principales et la Régression Multiple pour élaborer un modèle dont les coefficients sont stables.

2.2.3. Objectifs de réduction des données :

La réduction de dimension a pour objectif de créer un nombre réduit de variables qui décrivent les données de base presque aussi bien que le font les variables « brutes », habituellement en grand nombre. Ces nouvelles variables seront moins redondantes que les variables initiales. Alors que le processus de réduction de données fera en général perdre de l'information, les objectifs essentiels de la réduction de la dimension des données sont cités ci-après :

La raison la plus évidente, est de réduire la quantité d'information que les algorithmes auront à traiter, réduisant ainsi, parfois fortement, les temps de calcul et l'encombrement mémoire. Réduire le nombre de variables à 2 permet de donner de la base une représentation visuelle plane, ce qui permet de mettre en œuvre l'outil de d'Analyse des Données de loin le plus puissant qui existe.

Mais la raison la plus importante a trait à la crédibilité à accorder à un modèle (prédictif ou descriptif). Pour des raisons fondamentales de compromis, à erreurs commises sur les

données disponibles égales, un modèle ne prenant en entrée que peu de variables sera plus crédible qu'un modèle utilisant un grand nombre de variables d'entrée

La réduction de dimensionnalité est un exercice à la fois indispensable et difficile. L'analyste se doit de lui consacrer le temps nécessaire sous peine de construire des modèles apparemment de bonne qualité, mais qui en fait ne représentent pas la réalité sous-jacente.

2.2.4. Les différentes méthodes de réduction :

Les méthodes de réduction de dimension peuvent être supervisées ou non supervisées.

2.2.4.1. Les méthodes non supervisées :

Dans les cas des méthodes non supervisées, nous exploitons les données sans connaissances préalables du modèle. L'analyse en composantes principales est la décomposition en valeur singulière ainsi que l'analyse en composantes indépendantes.

2.2.4.2. Les méthodes supervisées :

Contrairement aux méthodes non supervisées, celles-ci imposent des limites à l'analyse des données sous certaines contraintes du modèle. Nous énumérons quelques-unes :

L'analyse discriminante linéaire (LDA), l'algorithme de classification à erreurs minimales (MCE) et les séparateurs à vastes marges (SVM).

La méthode d'analyse en composantes principales sera détaillée, car c'est la méthode utilisée dans notre application.

2.3. Analyse en composantes principales :

2.3.1. Définition :

L'analyse en composante principale ACP est une méthode basée sur des statistiques descriptives multidimensionnelles permettant de traiter simultanément un nombre quelconque de variables quantitatives [5]. Le cas de plusieurs individus (n individus) mesurés par rapport à un grand nombre de variables numériques. Ces variables sont la plupart du temps corrélées entre elles. Elle consiste à rechercher des facteurs en nombre restreint en résumant le mieux possible les données considérées. Elle aboutit 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.

L'ACP consiste à transformer des variables liées entre elles (dites "corrélées" en statistique) en nouvelles variables indépendantes les unes des autres (donc "non corrélées"). Ces nouvelles variables, appelées composantes principales ou axes, sont ordonnées par fraction de l'information totale que chacune contient.

2.3.2. Bref historique de l'ACP :

Conçue par Karl Pearson en 1901, intégrée à la statistique mathématique par Harold Hotelling en 1933, l'analyse en composantes principales (ACP) n'est vraiment utilisée que depuis la large diffusion des moyens de calcul informatique. La technique d'analyse en composantes principales peut être présentée de divers points de vue. Pour le statisticien classique, il s'agit de la recherche des axes principaux de l'ellipsoïde d'une distribution normale multidimensionnelle, ces axes étant estimés à partir d'un échantillon.

C'est la présentation initiale de Hotelling (1933), puis celle des manuels classiques d'analyse multi variée. Pour le factorialiste classique, il s'agit d'un cas particulier de la méthode d'analyse factorielle des psychométriciens (cas de variances spécifiques nulles ou égales). Enfin, du point de vue plus récent des analystes de données, il s'agit d'une technique de représentation des données, ayant un caractère optimal selon certains critères algébriques et géométriques, et que l'on utilise en général sans référence à des hypothèses de nature statistique ni à un modèle particulier. Ce point de vue, fort répandu actuellement est peut-être le plus ancien. C'est celui qui avait été adopté par Pearson (1901). Bien entendu, il ne s'agissait pas de l'analyse en composantes principales telle que nous la présentons, mais les idées essentielles de la méthode étaient déjà présentées par cet auteur.

L'analyse en composantes principales présente de nombreuses variantes selon les transformations apportées au tableau de données : le nuage des points-individus peut être centré ou non, réduit ou non. Parmi ces variantes, l'analyse en composantes principales normée (nuage centré-réduit) est certainement la plus utilisée et c'est celle-ci que nous choisissons pour présenter les principes de l'analyse.

L'ACP a l'avantage d'être une méthode pour laquelle il n'y a aucun paramètre à préciser au départ. Elle permet également d'analyser les associations entre un très grand nombre de profils d'expression (plusieurs milliers) sans aucun problème et est implémentée dans de nombreux outils. Pour ces raisons, c'est sans doute la première méthode à appliquer à un jeu de données que l'on souhaite mieux comprendre. Le résultat de l'ACP donne une première idée

de la structure des données et peut orienter les analyses ultérieures, comme par exemple choisir un nombre de groupes pertinent pour la classification [6].

2.3.3. Principe de la méthode :

Le principe de l'ACP est de réduire la dimension des données initiales (qui est p) si l'on considère p variables quantitatives), en remplaçant les p variables initiales par q facteurs appropriés ($q < p$). Les q facteurs recherchés sont des moyennes pondérées des variables initiales. Leur choix se fait en maximisant la dispersion des individus selon ces facteurs (variance maximum). Des techniques mathématiques appropriées permettent de réaliser tout cela de façon automatique et optimale.

L'idée de l'ACP est de déterminer un nouveau repère de R^p associé de manière naturelle à la structure du nuage considéré, de façon à pouvoir l'y examiner plus commodément.

Pour s'affranchir des effets d'échelle dus à l'hétérogénéité éventuelle des variables, ces dernières sont en général normalisées, c'est à dire que chaque colonne est divisée par son écart-type ; toutes sont dès lors exprimées dans la même échelle standard. D'autre part, l'origine est placée au centre de gravité du nuage.

C'est le nuage ainsi transformé qui est en fait considéré ; l'utilisateur n'a cependant pas à se préoccuper de ces transformations préalables, sauf demande contraire elles sont exécutées automatiquement par les logiciels d'ACP.

2.3.4. Objectifs :

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 ($q < p$).
- ✚ 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 ($q < p$).
- ✚ explorer les liaisons entre variables et ressemblance entre individus.

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).

2.4. Les domaines d'application :

De par la nature des données que l'ACP peut traiter, les applications sont très nombreuses. Il y a en fait deux façons d'utiliser l'ACP :

- ❖ soit pour l'étude d'une population donnée en cherchant à déterminer la typologie des individus et des variables. Par exemple, dans la biométrie, l'étude des mensurations sur certains organes peut faire apparaître des caractéristiques liées à des pathologies, ou encore en économie, l'étude des dépenses des exploitations par l'ACP peut permettre des économies de gestion.
- ❖ Soit pour réduire les dimensions des données sans perte importante d'information, par exemple en traitement du signal et des images, où l'ACP intervient souvent en prétraitement pour réduire la quantité de données issues de traitements analogiques.

2.5. La théorie de l'ACP :

2.5.1. Les données à analyser

Les données sont les mesures effectuées sur n unités $\{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$. Les p variables quantitatives qui représentent ces mesures sont v_1, v_2, \dots, v_p , d'où l'écriture matricielle suivante du tableau de données. La ligne i décrit la valeur prise par l'individu i pour p valeurs, alors que la colonne j décrit la valeur de la variable j pour n individus. La phase essentielle de l'ACP consiste à transformer ces p variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélées entre elles, en p nouvelles variables quantitatives, non corrélées, appelées composantes principales [7]

. Les données sont soit considérées en tant qu'individus décrits par leurs p variables, soit en tant que variables décrites par les n individus, d'où l'importance de la considération des deux nuages de points. Nous obtenons ainsi n points dans l'espace R^p , espace des variables et p points dans l'espace R^n celui des individus.

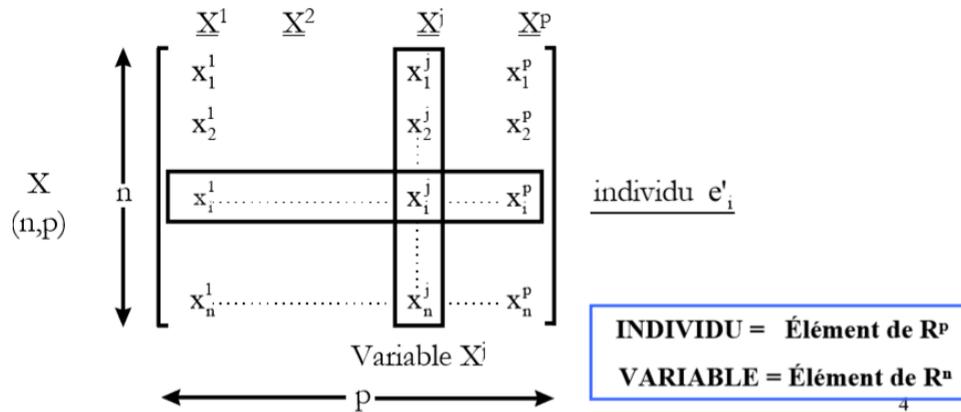


Figure 2.1 : Les données à analyser.

Mais le problème est de visualiser la forme des nuages, pour ce faire l'idée est d'étudier les projections sur des droites, des plans ou plus généralement sur des sous espace de dimension réduite $s < p$. Il faut donc chercher le sous-espace qui ajuste au mieux le nuage de points i.e. chercher à minimiser les déformations provoquées par la projection. Nous allons donc chercher à ajuster au mieux le nuage des individus dans l'espace des variables puis le nuage des variables dans l'espace des individus [1].

2.5. 2. Construction des nuages de points projetés :

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. 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 [8].

Deux types de facteurs :

- Effet taille : les variables sont toutes du même côté de l'axe. 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.

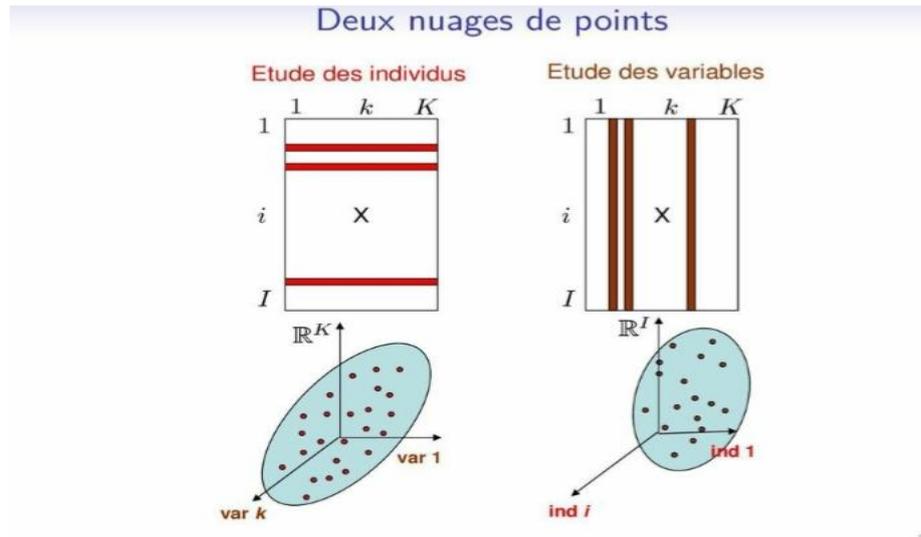


Figure 2.2 : Construction des nuages des variables et des individus.

2.5.3. Préparation des données :

Il faut s'assurer que les données sont quantitatives et pour ce qui des données manquantes, l'ACP ne sait pas traiter les données manquantes. Certains logiciels proposent de supprimer les individus possédant des données manquantes, alors que d'autres vont remplacer la donnée manquante par un zéro.

2.5.4. Interprétation des résultats :

2.5.4.1. Détermination du nombre d'axes :

Pour répondre à cette question, il faut consulter le tableau des valeurs propres qui accompagne L'ACP. Les valeurs propres sont classées de façon décroissante.

Il y a deux manières célèbres pour déterminer le nombre d'axes à prendre en compte :

L'éboullis des valeurs propres et le critère de Kaiser.

Il est important que les valeurs propres des axes retenus restituent une bonne proportion de la variance.

2.5.4.2. Sélection des individus et des variables à interpréter :

Les graphiques de L'ACP sont les projections des variables et des individus sur un plan factoriel déterminé. On commencera par interpréter le premier plan factoriel (celui formé par les facteurs CP1 et CP2 car c'est celui qui concentre la plus grande partie de l'information du nuage. Sur un plan factoriel, on n'interprète que les variables et les individus qui sont bien

représentés. Pour les individus, on utilisera les contributions absolues et relatives alors que pour les variables, on n'interprètera que celles qui sont proches du cercle de corrélation.

2.5.4.3. Les sorties graphiques :

Deux graphiques sont données par les logiciels : celui des variables et celui des individus.

➤ La représentation graphique des variables :

Une variable x_j est représentée par la projection sur le sous-espace F_k engendrée par les k premiers axes factoriels. La qualité de la représentation de x_j :

$$X_j = \frac{\sum_{k=1}^q \lambda_k (u_k^j)^2}{\sum_{k=1}^p \lambda_k (u_k^j)^2}$$

Le graphique des variables et des individus se distingue par la présence d'un cercle de corrélation. On interprète deux types de positions :

- Les positions des variables par rapport aux axes afin de déterminer quelles sont les variables qui font les axes.
- Les positions des variables les unes par rapport aux autres. Le coefficient de corrélation entre deux variables étant le cosinus de l'angle formé par les vecteurs correspondants on en déduit que :
 - ❖ deux variables qui sont proches ou confondues sont corrélées positivement (coefficient de corrélation proche de 1).
 - ❖ deux variables opposées (formant un angle de π) sont corrélées négativement (coefficient de corrélation proche de -1)
 - ❖ deux variables positionnées à angle droit (angle de $\frac{\pi}{2}$) ne sont pas du tout corrélées (coefficient de corrélation égal à 0).

➤ La représentation des individus :

Les graphiques obtenus permettent de représenter "au mieux" les distances euclidiennes inter-individus mesurées par la métrique M . Chaque individu i représenté par x_i est approché par sa projection M orthogonale sur le sous-espace E_q engendré par les q premiers vecteurs Principaux $\{v_1, \dots, v_q\}$. En notant e_i un vecteur de la base canonique de E , la coordonnée de l'individu i sur v_k est donnée par :

$$V_k = \frac{\sum_{k=1}^q (c_k^i)^2}{\sum_{k=1}^p (c_k^i)^2}$$

- La qualité :

La qualité globale des représentations est mesurée par la part de dispersion expliquée. La dispersion d'un nuage de points unidimensionnel par rapport à sa moyenne se mesure par la variance. Dans le cas multidimensionnel, la dispersion du nuage N par rapport à son barycentre x se mesure par l'inertie, généralisation de la variance. La qualité de la représentation de chaque xi est donnée par le cosinus carré de l'angle qu'il forme avec sa projection.

Pour éviter de consulter un tableau qui risque d'être volumineux (n lignes), les étiquettes de chaque individu sont affichées sur les graphiques avec des caractères dont la taille est fonction de la qualité. Un individu très mal représenté est à la limite de la lisibilité.

- La contribution :

Les contributions de chaque individu à l'inertie de leur nuage, ainsi qu'à la variance d'une variable principale permettent de déceler les observations les plus influentes et, éventuellement, aberrantes. Ces points apparaissent visiblement lors du tracé des diagrammes boîtes parallèles des composantes principales qui évitent ainsi une lecture fastidieuse de ce tableau des contributions. Les individus correspondants, considérés comme individus supplémentaires, peuvent être éliminés lors d'une nouvelle analyse [8].

2.5.4.4. Choix des dimensions :

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 explicite 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.

- Part d'inertie :

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

- Règle de Kaiser :

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 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 à tendance à surestimer le nombre de composantes pertinentes.

- Éboulis :

C'est le graphique présentant la décroissance régulière des valeurs propres. Le principe consiste à rechercher, s'il existe, un coude (changement désigné 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 $(\lambda_q - \lambda_{q+1})$ n'est significativement grand, par exemple supérieur à $(\lambda_{q-1} - \lambda_q)$, et plus on peut être assuré de la stabilité d'Eq. On sélectionne les axes avant le décrochement.

2.5.4.5. Etude des proximités entre points :

➤ Qualité de représentation des points :

Une fois les axes interprétés, on peut regarder les graphiques et analyser plus finement les proximités entre points.

- ✓ Les proximités entre points observées sur un axe ou un plan factoriel doivent correspondre à la réalité (et non être artificiellement créées par l'opération de projection).
- ✓ Pour pouvoir interpréter les proximités entre points, il faut qu'ils soient bien représentés sur l'axe ou le plan en question
- ✓ permet de mettre en évidence des proximités éventuelles que l'on n'a pas remarquées lors de l'interprétation des axes.
- ✓ Permet de repérer les points qui ne contribuent pas fortement à l'inertie de l'axe, mais qui sont bien représentés par cet axe, c'est-à-dire qui présentent des caractéristiques propres à l'axe.

Un point est dit bien représenté sur un axe ou un plan factoriel s'il est proche de sa projection sur l'axe ou le plan. S'il est éloigné, on dit qu'il est mal représenté.

Indicateur = angle formé entre le point et sa projection sur l'axe.

➤ Qualité de représentation de l'individu i sur l'axe k :

Lorsque l'angle est proche de 0, c'est-à-dire que le cosinus est proche de 1, l'individu est bien représenté. Dans le cas inverse, l'angle est proche de 90° et le cosinus est proche de 0. Le cosinus carré est additif sur des sous-espaces orthogonaux. La qualité de représentation sur le plan défini par les axes k et l est égale à la somme des qualités de représentation sur les axes k et l .

➤ Qualité de représentation de la variable j sur l'axe k :

En ACP, une variable est d'autant mieux représentée sur un axe qu'elle est proche du bord du cercle des corrélations et de l'axe, d'autant plus mal représentée qu'elle est proche de l'origine. Les variables qui contribuent le plus à l'axe sont aussi celles qui sont le mieux représentées et inversement, donc pas besoin d'étude spécifique de la représentativité. En ACP normée, on interprète les proximités de variables bien représentées sur le plan i.e. proches du bord du cercle de corrélations.

2.5.5. ACP en pratique :

2.5.5.1. L'inertie :

L'inertie indique la dispersion autour du barycentre, c'est une variance multidimensionnelle (calculée sur p dimensions). L'inertie peut être aussi définie par : écart par rapport au barycentre G (vecteur constitué des moyennes des p variables).

Etant donné $k < p$, on cherche F_k espace de dimension k tel que l'inertie des projections orthogonales des individus soit la plus grande possible. Proposition : Maximiser l'inertie du nuage projeté \Leftrightarrow Minimiser la distance au sens des moindres carrés.

$$I_p = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n d^2(i, G)$$

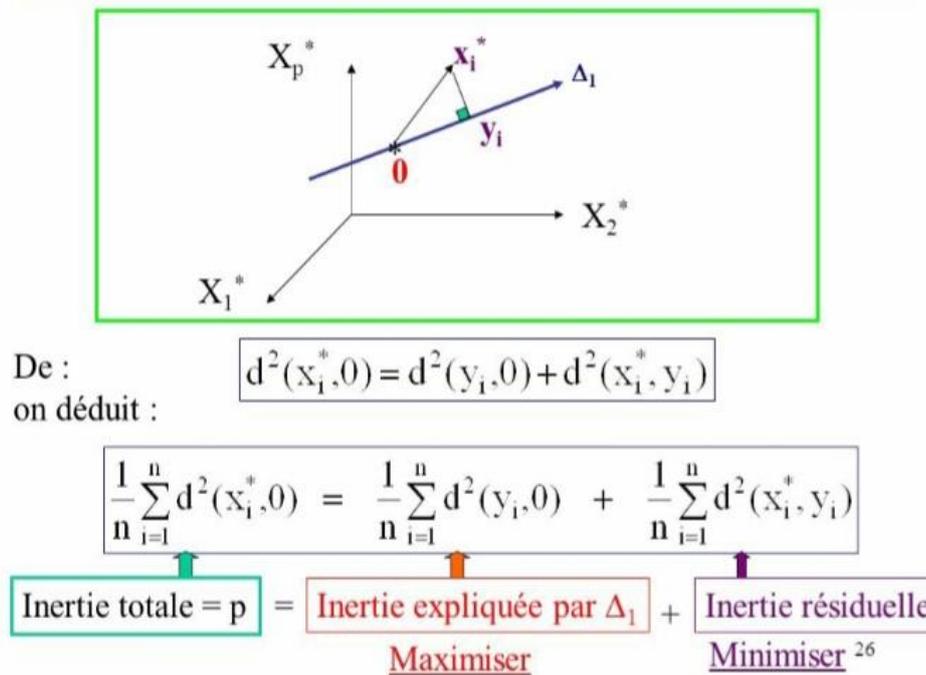


Figure 2. 3 : Modèle de l'inertie.

2.5.5.2. Matrice de corrélation :

Une matrice de corrélation est utilisée pour évaluer la dépendance entre plusieurs variables en même temps. Le résultat est une table contenant les coefficients de corrélation entre les variables. Une fois la matrice M transformée en M', il suffit de la multiplier par sa transposée pour obtenir la matrice de corrélation puisqu'on a réduit la matrice initiale.

La matrice de corrélation $V = M' \times M_t$

- Cette matrice de corrélation est carrée, symétrique et réelle. Symétrique et réelle. Elle est donc Elle est donc diagonalisable.

$$V = \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{1p} & \cdots & X_{np} \end{bmatrix}$$

Figure 2.4 : Matrice de corrélation.

2.5.5.3. Construction des composantes :

Construire la première composante CP1 qui permet de maximiser le carré de sa corrélation avec les variables de la base de données.

$$CP_1 = \sum r_j^2 (CP_1)$$

Habituellement, Inertie totale = Somme des variances des variables lorsque les données sont réduites (ACP normée), Inertie totale $I_p = P$

Part d'inertie expliquée par :

$$CP_1 = \frac{\lambda_1}{P}$$

De nouveau, on observe la décomposition de l'information en composantes non corrélées (orthogonales)

$$\sum_{k=1}^p \lambda_{k=p}$$

2.5.5.4. Cercle des corrélations :

On utilise souvent le « cercle des corrélations » pour obtenir une vision synthétique immédiate.

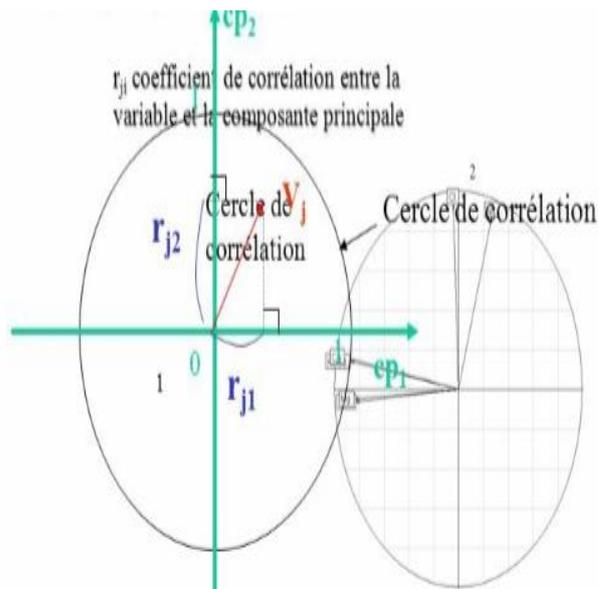


Figure 2.5 : Cercle de corrélation.

- Corrélation : degré de liaison de la variable avec la composante On en déduit que :

$$r_{jj'} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(x_{ij} - \bar{x}_j)}{s_j} * \frac{(x_{ij'} - \bar{x}_{j'})}{s_{j'}}$$

- La corrélation est le cosinus de l'angle entre les variables centrées :

$$r_{jj'} = \cos_{\theta_N}(y^j, y^{j'})$$

- La matrice $\mathbf{p} \times \mathbf{p}$ de corrélations se calcule matriciellement à partir de la matrice M des données centrées-réduites.

- Contributions :

Influence de la variable dans la définition de la composante (rarement fournie car redondante avec CORR et COS²).

$$CTR_{jk} = \frac{r_{xj}^2(F_k)}{\lambda_k} \qquad \sum_{j=1}^p CTR_{jk} = 1$$

- Cosinus carré :

Qualité de représentation de la variable sur la composante. On peut la cumuler sur les q premières composantes. les valeurs des cosinus carrés représentent l'angle entre deux variables, mesuré par son cosinus, est égal au coefficient de corrélation linéaire entre les deux variables $\cos(\text{angle}) = r(X1, X2)$

- si les points sont très proches (angle proche de 0) : $\cos(\text{angle}) = r(X1, X2) = 1$ donc X1 et X2 sont très fortement corrélés positivement
- si a est égal à 90° , $\cos(\text{angle}) = r(X1, X2) = 0$ alors pas de corrélation linéaire entre X1 et X2
- si les points sont opposés, a vaut 180°, $\cos(\text{angle}) = r(X1, X2) = -1$: X1 et X2 sont très fortement corrélés négativement.

$$\cos_{jk}^2 = r_{xj}^2(F_k)$$

$$\cos^2 \theta = \cos^2 \theta_1 + \cos^2 \theta_2$$

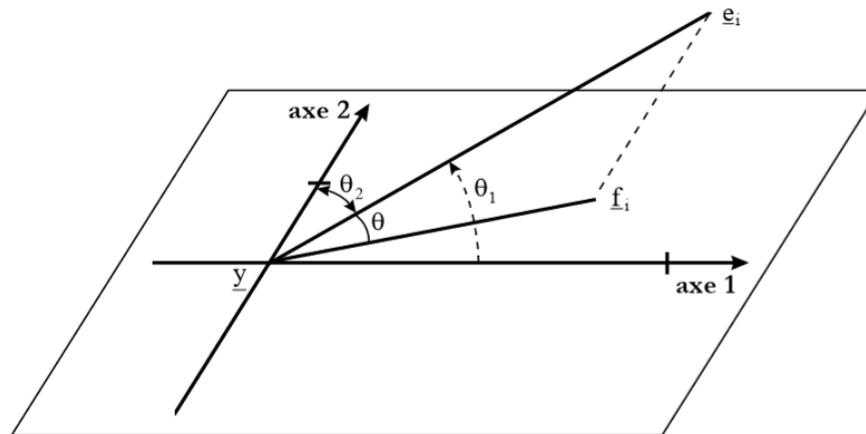


Figure 2.6 : Cosinus carrés.

2.5.6. Avantages et Inconvénients de l'ACP :

2.5.6.1. Avantages :

- ✚ Simplicité mathématique : Sur le plan mathématique, l'ACP est donc une méthode simple à mettre en œuvre. Les seuls véritables outils mathématiques utilisés dans l'ACP sont le calcul des valeurs/vecteurs propres d'une matrice, et les changements de base.
- ✚ Simplicité des résultats : Grâce aux graphiques qu'elle fournit, l'ACP permet d'appréhender une grande partie de ses résultats d'un simple coup d'œil.
- ✚ Puissance : L'ACP a beau être simple. Elle offre, en quelques opérations seulement, un résumé et une vue complète des relations existant entre les variables quantitatives d'une population d'étude.
- ✚ Flexibilité : L'ACP est une méthode très souple, puisqu'elle s'applique sur un ensemble de données de contenu et de taille quelconques.

2.5.6.2. Inconvénients :

- sensibilité aux points extrêmes. Ce manque de robustesse est notamment lié au rôle central qu'y joue le coefficient de corrélation : les points extrêmes, en perturbant les moyennes et corrélations, polluent fortement l'analyse -on peut cependant envisager de les déplacer en point supplémentaire.
- l'ACP est inadapté aux phénomènes non linéaires qui plus est en grande dimension. Pour ce genre de problème, d'autres méthodes ont été développées, comme l'ACPN (Analyse en Composantes Principales par Noyau).

Conclusion :

L'ACP sert de fondement théorique aux autres méthodes de statistique multidimensionnelle dites factorielles qui en apparaissent comme des cas particuliers. D'un point de vue plus "mathématique", l'ACP correspond à l'approximation d'une matrice (n, p) par une matrice de même dimensions mais de rang $q < p$; q étant souvent de petite valeur 2,3 pour la construction de graphiques facilement compréhensibles. L'analyse en composantes principales (ACP) sert à mettre en évidence des similarités ou des oppositions entre variables et à repérer les variables les plus corrélées entre elles.

Chapitre III : Méthodes et Matériels

Introduction :

Afin de déterminer les différents paramètres permettant d'évaluer le niveau de pollution dans chaque phase de traitement, une série des analyses a été faite au cours de ce travail. L'échantillonnage a été effectué à l'entrée (eaux brutes) et à la sortie (eaux épurées) de la STEP. Nous avons suivi les paramètres suivants : le pH, la température, les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO5), la demande chimique en oxygène (DCO), l'azote total et l'azote ammoniacal. Des autres analyses ont été également effectués afin de contrôler les paramètres de fonctionnement du processus durant la période d'échantillonnage, dont sont: la charge massique, la charge volumique, la concentration des boues dans le bassin d'aération, l'âge des boues et le temps de séjours de l'eau dans le bassin d'aération.

3.1 .Présentation de la zone d'étude :

La wilaya de Guelma se situe au Nord-de l'Algérie à 290 m d'altitude. Elle s'étend de 39° au 40° de l'altitude Nord et du 5° au 6° de longitude est. Elle occupe une position géographique stratégique, elle est donc un point de rencontre entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda), les centres d'échanges au sud (Oum El Bouaghi et Tébessa) et la proximité du territoire tunisien à l'Est.



Figure 3.1 : Carte de la situation géographique de la zone d'étude (Guelma).

3.2. Aperçus socio-économique :

3.2.1. Population :

La wilaya de Guelma est une wilaya d'Algérie en Afrique du Nord. Elle compte 518918 habitants sur une superficie de 374 km². La densité de population de la wilaya de Guelma est donc de 1387,6 habitants par km². Guelma, Oued Zenati et Héliopolis sont les plus grandes villes de la wilaya de Guelma parmi les 34 villes qui la compose.

3.2.2. Tourisme :

3.2.2.1. Sources thermales :

La cascade de Hammam Challala comporte :

- ★ Ain Chedakha.
- ★ Ain Ben Nadji.
- ★ Ain Echffa.
- ★ Hammam Chellala (ou Hammam Meskhoutine).
- ★ Hammam Ouled Ali.
- ★ Hammam N'Bail.
- ★ Hammam Belhachani, Ain Larbi.
- ★ Hammam Guerfa, Ain Larbi

3.2.2.2. Sites et monuments touristiques :

Façade du théâtre romain de Guelma comportent :

- Théâtre romain de Guelma (4500 places).
- Piscine romaine à Hammam Bradaa, Héliopolis.
- Vestiges antiques de Thibilis (Sellaoua Announa).
- Nécropole de Dolmens et grottes funéraires de Roknia.
- Grande Cascade de Hammam Chellala (Hammam Dbegh).
- Plateaux des cônes à Ain Hessaina.
- Lac souterrain à Bir Osman (Hammam Debagh)
- Grotte de djebel Taya à Bou Hachana.
- Stations climatiques de montagne, site naturels, forêts de chênes, sources minérales à Maouna.

- Forêt récréative de Béni Salah, à Bouchegouf.
- Ghar e'Said (Grotte du lion).
- Ghar el 'Djemaa (Grotte de l'Équipe ou du Groupe ou de l'Assemblée).

3.2.3. *Economie Champs de blé comportent :*

- CYCMA : Complexe de fabrication cycles et cyclomoteurs.
- Raffinerie de sucre.
- Unité de céramique et vaisselle (ECVE).
- Plusieurs unités de productions d'agrégats, de marbre et de kaolin.
- complexe d'habillement à bouchegouf.
- Levurière de bouchegouf.

3.2.4. *Le relief :*

La géographie de la Wilaya se caractérise par un relief diversifié dont on retient essentiellement une importante couverture forestière et le passage de la Seybouse qui constitue le principal cours d'eau. Ce relief se décompose comme suit : Montagnes : 37,82 % dont les principales sont :

- Maouna (Ben Djerrah) : 1.411 m d'altitude.
 - Houara (Ain Ben Beida) : 1.292 m d'Altitude.
 - Taya (Bouhamdane) : 1.208 m d'altitude.
 - D'bagh (Hammam Debagh) : 1.060 m d'altitude
- Plaines et Plateaux : 27,22 %
Collines et Piémonts : 26,29 %
Autres : 8,67 %

3.2.5. *Agriculture :*

Les cultures à développer qui nécessitent des investissements sont :

- ✚ Cultures fruitières.
- ✚ Cultures maraîchères.
- ✚ Céréaliculture.
- ✚ Cultures industrielles.

3.2.6. *L'industrie :*

Les créneaux d'investissement à développer concernent :

- l'Extraction et transformation de minéraux non ferreux- Gisements de KAOLIN de Marbres d'Agrégats et d'Argiles.
- les constructions mécaniques et mécano-soudées.

- l'Agro-Industrie.
- l'Industrie de la sous-traitante Le tissu industriel existant s'active autour de :
 - une unité de céramique.
 - une unité cycle et motocycle.
 - l'ENA sucre : société publique privatisée récemment.
 - une carrière de marbre de MAHOUNA dont l'exploitation devrait être intensifiée par l'augmentation du nombre de concessions minières et du nombre d'unités artisanales de transformation du marbre (Découpes à façon, bimmeloterie, carreaux de marbre reconstitué.
 - des ressources sylvestres dont l'exploitation doivent être rationalisées.
 - les activités de transformation du bois qui doivent être développées.

Le tissu industriel est peu développé mais susceptible de connaître un développement sur les filières économiques sus-indiquées

3.3. Présentation de la STEP de Guelma :

3.3.1. Localisation :

La Station d'épuration des eaux usées de la wilaya de Guelma est fonctionnelle depuis le 28 Février 2008.

3.3.2. Emplacement et accès :

La station est implantée sur un terrain agricole de 7.8 Hectares à (01) kilomètre environ au nord de la ville de Guelma, sur le flanc droit de la vallée développée par oued SEYBOUSE, et sans habitations existantes à la proximité.

Elle est alimentée par 02 conduites de refoulement, l'une en diamètre 700mm en provenance du premier poste de refoulement SP1 (OUED MAIZ) avec un débit de 1575m³ /h, l'autre en diamètre 500mm en provenance du second poste de refoulement SP2 (OUED SKHOUNE) son débit est de 1125m³/h. et l'emplacement de ces 02 postes était également pris en considération. (STEP Guelma, 2008).



Figure 3.2 : Photo aérienne de la station d'épuration Guelma.

3.3.3. Caractéristique et Nature des effluents :

La station est alimentée par des effluents d'origine domestique (à hauteur de 199086 Equivalent Habitants) en 2010.

3.3.4. Nature du réseau :

Les eaux Usées domestiques de la ville de Guelma sont collectées gravitairement sur 02 bassins versant par un ensemble de réseaux d'assainissement existant. Les 02 tronçons gravitaires rejoignent chacun le point bas (ou il y'a les 02 poste de refoulement).

Le réseau d'assainissement est du type unitaire (c'est-à-dire ; englobe tous en même temps ; les égouts, les rejets industriels, individuels...etc.).(STEP Guelma, 2008).

Points de rejet (destination) :

➤ **L'eau épurée**

Le rejet est réalisé dans l'Oued Seybouse situé en contrebas de la station d'épuration à 331 m de distance, les effluents sont acheminés jusqu'à l'Oued par une canalisation de rejet.

Pour la station de la ville de Guelma, le rejet doit se conformer aux normes ci-après :

DBO₅ : inférieure à 35 mg/l sur 24 h. Sans dépasser 40 mg/l sur 2 heures.

MES : inférieure à 35 mg/l sur 24 heures.

DCO : inférieure à 130 mg/l sur 24 h sans dépasser 120 mg/l sur 2 heures.

Ceci conduit aux rendements d'élimination moyens suivant :

DBO₅ : 91,12 % ;

MES : 93,15 % ;

DCO : 82,00 % ;

➤ **Les sous-produits issus de l'épuration**

*Boues : Les boues sont épaissies puis déshydratées sur des lits de séchage avant leur envoi en décharge (ou autres= utilisation agricole).

*Les produits de Dégrillage : Les refus de dégrillage sont évacués par un tapis transporteur, ou une vis de convoyage dans une benne à ordure.

*Graisses et Huiles : Elles sont stockées dans une fosse à graisse après enlèvement.

*Sables : Ils sont extraits de l'ouvrage de prétraitement, séparés de leur eau par un classificateur, puis stockés dans une benne relevable.

3.3.5. Nature du traitement des eaux Usées avant l'emplacement de la Station :

Les effluents sont collectés par le réseau d'assainissement existant, mais ne subissaient pas de traitement particulier.

3.3.6. Charges Hydrauliques et Polluantes :

Les différents nombres de charges à retenir sont (Tab) :

Tableau 3.1 : Charges polluantes.

Paramètres	Charge Kg/J	Concentration mg/l
DCO	16000	500
DBO5	10800	338
MES	14000	438

3.4. Matériels et méthodes :

3.4.1. Prélèvement et échantillonnage :

Pour les prélèvements destinés à l'analyse physico-chimiques, ils sont réalisés dans des flacons en plastiques en utilise une perche de 2 à 3m. Toutes les analyses ont été effectuées au niveau de laboratoire de la STEP.



Figure 3.3 : Prélèvement à L'entrée.



Figure 3.4 : Prélèvement à la sortie.

3.4.2. Analyses physico-chimiques :

3.4.2.1. Température :

La température est un paramètre physique de l'eau jouant un grand rôle dans la solubilité des gaz dans l'eau et sur la vitesse des réactions chimiques et biochimiques. La mesure de la température a été effectuée par l'utilisation d'une sonde thermométrique qui est soigneusement soignée dans la prise d'essai. La lecture est faite après stabilisation du thermomètre.

3.4.2.2. PH :

Le pH est une des caractéristiques fondamentales de l'eau. Il donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène hydronium (H^+) ou d'ions hydroxyde (OH^-) contenus dans la substance. La valeur du pH est à prendre en considération lors de la majorité des opérations d'épuration de l'eau, surtout lorsque celles-ci font appel à une réaction chimique et aussi quand certains procédés nécessitent d'être réalisés avec un pH.

➤ **Principe :**

La méthode est basée sur l'utilisation d'un pH-mètre. C'est un voltmètre un peu particulier qui se caractérise par une très grande impédance d'entrée en raison de sa forte résistance présentée par l'électrode de mesure.

➤ **Mode opératoire :**

L'étalonnage étant réalisé et l'appareil ayant acquis son régime de marche :

- ✚ Vérifier les diverses connexions : secteur, électrodes.
- ✚ Dégager l'électrode de son support.
- ✚ Oter le chapeau protecteur de l'électrode double, le déposer en lieu sûr.
- ✚ Rincer abondamment l'extrémité de l'électrode avec l'eau distillée.
- ✚ Essuyer l'extrémité de l'électrode ;
- ✚ Replacer l'électrode sur son support.
- ✚ Rincer le vase, le barreau magnétique, l'électrode, avec l'eau distillée puis Avec l'échantillon.
- ✚ Remplir le vase de mesure avec l'échantillon.
- ✚ Immerger l'électrode avec précaution habituelle et agiter.
- ✚ Lire directement le pH lorsque la valeur s'est stabilisée.

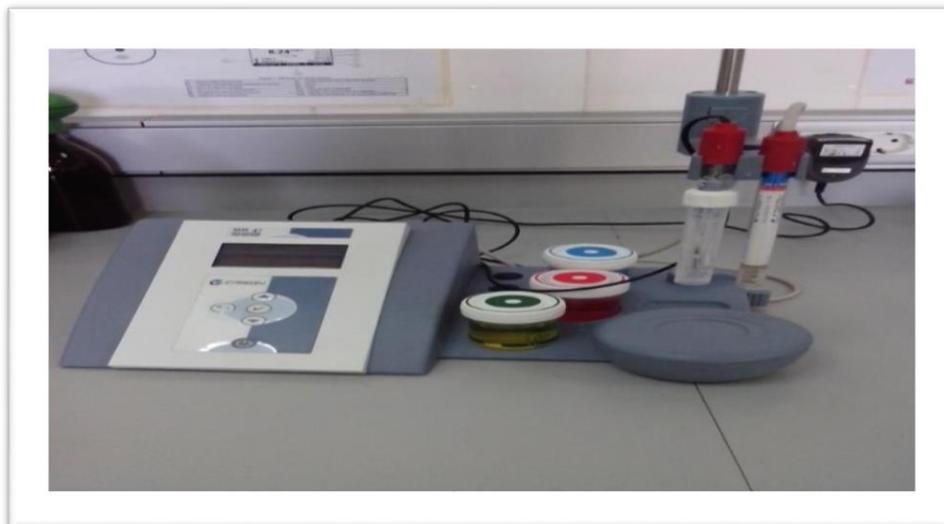


Figure 3.5 : Appareil de mesure de PH et de température

3.4.2.3. Conductivité :

➤ **Mesure de la conductivité :**

La conductivité électrique d'une eau traduit l'aptitude que possède celle-ci à laisser le courant électrique. Le transport des charges se faisant par l'intermédiaire des ions contenus dans l'eau, Il est logique d'admettre que la conductivité d'une eau sera d'autant plus importante que sa minéralisation sera élevée. Il existe donc une relation entre la conductivité d'une eau et sa minéralisation, d'où l'intérêt une présent-la mesure de la conductivité, mesure quasi instantanée, pour connaître la minéralisation d'une eau. L'unité de conductivité utilisée en chimie des eaux est micro siemens ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

➤ **Principe :**

La mesure de la conductivité se ramène à celle de la résistance d'une colonne d'eau. A cet effet on utilise un conductimètre. La conductivité est fonction de la température. Toute mesure de conductivité doit donc se faire à température connue et stabilisée. En général les résultats sont mesurés à 20°C.

➤ **Mode opératoire :**

- L'analyse s'effectue sur un prélèvement d'eau dont le volume doit être suffisant pour prolonger la sonde de conductivité.
- Vérifier les connexions cellule/ conductimètre.
- rincer soigneusement la cellule de mesure à l'eau distillée et l'essuyer convenablement.
- Rincer et essuyer soigneusement la cellule.

- Immerger la cellule dans l'eau.
- Agiter la sonde légèrement.
- Lire le résultat.
- La mesure terminée, éteindre l'instrument et, si nécessaire, nettoyer la sonde.
- Après chaque série de mesure, rincer l'électrode à l'eau déminéralisation.

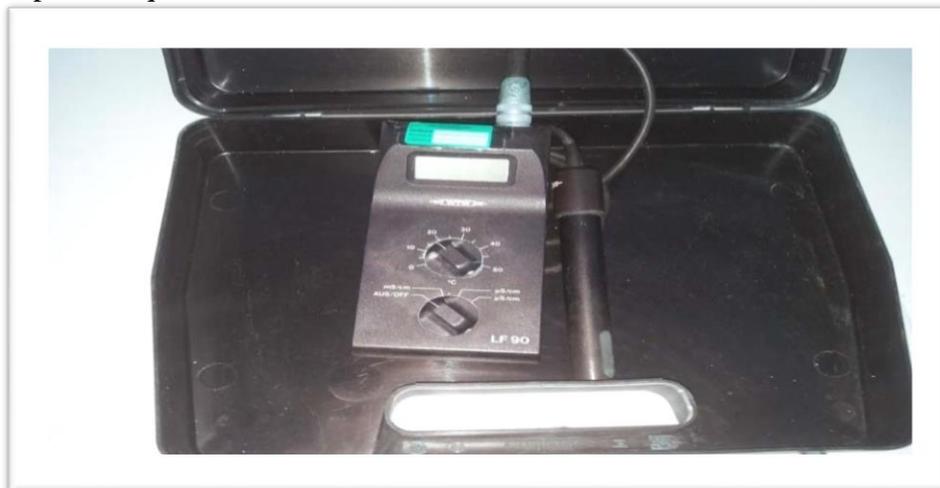


Figure 3.6 : Conductimètre portatif

3.4.2.4. Oxygène dissous :

Le système de mesure courant pour l'oxygène dissous consiste en un instrument de mesure et d'une sonde polar graphique. La sonde constitue la pièce la plus importante et délicate du système. Cette sonde comprend une anode d'argent (Ag) enveloppée d'un fil de platine (Pt) qui agit comme cathode. Ceux-ci sont insérés dans une cartouche remplie d'une solution électrolytique de chlorure de potassium (KCl). L'extrémité de la cartouche comporte une membrane en téflon, matériau perméable au gaz, qui permet uniquement le passage de l'oxygène présent dans la solution. Par l'application de potentiel de 790 mV, l'oxygène présent dans la cellule est réduit en ion d'hydroxyde (OH⁻) dans la cathode, et le chlorure d'argent (AgCl) est déposé sur l'anode. Cette réaction provoque un flux de courant dont l'intensité est proportionnelle à la quantité d'oxygène, convertit le courant en concentration correspondante à l'oxygène dissous.

➤ **Mode opératoire :**

- ❖ L'analyse s'effectue sur un prélèvement d'eau dont le volume doit être suffisant pour plonger la sonde de conductivité.
- ❖ l'étalonnage étant réalisé et l'appareil ayant acquis son régime de marche.

- ❖ allumer l'instrument en poussant le bouton ON/Off. Lorsque l'afficheur indique zéro, L'instrument est prêt pour la mesure de l'oxygène dissous.

3.3.2.5. Matière Insoluble Décantable (M.I.D) :

Un certain volume d'eau est abandonné au repos pendant 2 heures. La quantité de matière décantée est déterminée par volumétrie. On met les échantillons d'eau dans les cônes et on attend environ 2h pour lire les résultats en ml/l grâce aux graduations.

3.4.3. Paramètres par Spectrophotomètre :

3.4.3.1. Dosage des Matières En Suspension (MES) :

Dosage de MES par filtration sur fibres de verre (normes EN872/1996) :

➤ **Principe :**

Les méthodes gravimétrique reposent sur le calcul de la masse de matière sèche (mg/l) obtenue après séparation de MES de l'eau puis déshydratation à 105°C. La séparation de MES se fait à l'aide d'un équipement de filtration sous vide ou sous pression qui permet le passage de l'eau à analyser sur le filtre en fibres de verre. Les MES sont retenues sur le filtre qui est ensuite séché à 105°C, de manière à éliminer l'eau retenue dans le filtre. La masse du résidu retenue est déterminé par pesée.

➤ **Matériel utilisées :**

- l'eau brute.
- l'eau de l'aération.
- l'eau de sortie de clarificateur.
- Des récipients en plastiques.
- 03 filtres de Walthman.
- Appareil de filtration (pompe à vide).
- Balance électronique.
- Etuve à 105°C.

➤ **Mode opératoire :**

- Mesuré le poids de 03 papiers filtre dans la balance.
- Filtré :
 - 25 ml d'échantillon d'eau brute.

Chapitre III : Méthodes et Matériels.

- 100 ml d'eau d'aération.
- 100 ml d'eau sortie de clarificateur

-Mettre les trois papiers filtres sur un support de séchage (assiette plate)

-Sécher les filtres à 105°C pendant deux heures et le peser à nouveau.

➤ **Expression des résultats :**

Le calcul de la teneur en MES se fait à partir de l'expression suivante : [MES] est la teneur en MES mg/l-1 avec deux chiffres significatifs.

$$\text{MES (g/l)} = 1000 * (P_f - P_0) / V \text{ (mg/l)}$$

P_f : La masse du filtre après filtration en mg.

P_0 : La masse du filtre avant filtration en mg.

V : Le volume de l'échantillon en ml.



Figure 3.7 : Photo de la balance analytique.

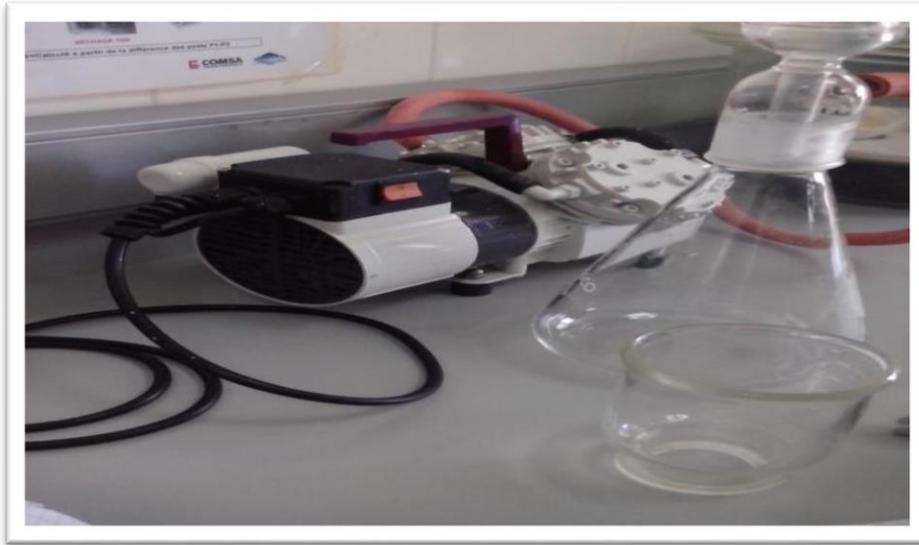


Figure 3.8 : Dispositif d'aspiration.



Figure 3.9 : Dessiccateur.

3.4.3.2. Détermination de la demande Biochimique en Oxygène après 5 jours(DBO5) :

➤ **Principe :**

La DBO5 est mesurée au bout de cinq jours à 20°C (température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d'O₂) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite).

Deux échantillons sont nécessaires, le premier sert à la mesure de la concentration initiale en O₂ et le second à la mesure de la concentration résiduaire en O₂ au bout de cinq

jours. La DBO5 est la différence entre ces deux concentrations. Les mesures seront effectuées sur un même volume est le second échantillon sera conservé cinq jours à l'obscurité 20°C.

➤ **Matériel utilisées :**

- Oxymétrie.
- Agitateur magnétique.
- Aérateur.
- Des flacons stériles spéciaux pour la DBO.
- Eau ultra pure pour la dilution.
- Des échantillons (eau brute et eau sortie clarificateur).

➤ **Mode opératoire :**

Préparation de l'eau de dilution :

Mettre la vielle du prélèvement dans un récipient de 10L de l'eau robinet dans laquelle on plonge pendant 24 heures un aérateur pour la saturer en dioxygène.

Laisser reposer 12 heures.

Choix du facteur de dilution :

Le facteur de dilution (F) dépendra de la charge de l'eau analysée.

Préparation des flacons de mesure :

Verser dans le flacon un peu d'eau de dilution puis la quantité prévue d'échantillon puis remplir le reste du flacon avec l'eau de dilution. Fermer le flacon sans y laisser d'aire.

1er flacons : pour l'eau brute dilution en : $V \text{ flacon} / 100$

2ème flacon : pour l'eau de sortie de clarificateur dilution en : $V \text{ flacon} / 10$

3ème flacons (témoin) : Eau de dilution + glucose

Mesure au T_0 : Doser l'O₂ dissous dans un flacon d'échantillon dilué (T_0 en mg/l).

✚ Incubation : Placer les deux flacons restants à l'étuve 20°C et à l'obscurité pendant 05 jours, avec agitation.

✚ Mesure au T_c : Doser l'O₂ dissous dans le flacon d'échantillon dilué restant (T_5 en mg/l).

Résultat :

$$DBO_5 = F(T_0 - T_5)$$

T₀ : pression d'O₂ dissous (O₂ avant).

T₅ : O₂ dissous après incubation. F : facteur de dilution.



Figure 3.10 : Flacons à DBO



Figure 3.11 : DBO mètre

3.4.3.3. Détermination de la demande Chimique en Oxygène (DCO) :

➤ **Principe :**

Cette détermination comprend deux étapes :

1^{ère} étape : Oxydation chimique des matières réductrices contenues dans l'eau par un excès de bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$).

2^{ème} étape : Dosage de l'excès de bichromate de potassium par le sel de Mohr après refroidissement.

➤ **Matériel utilisées :**

-Kits mesure DCO (exemple : LCK 314 15-150 ppm/LCK 114 150-1000 ppm).

-Eau distillée (nettoyage de dissolution).

-Digesteur DRB-200.

-Spectrophotomètre DR 5000.

-Gradette support.

-Pipette graduée 2 ml.

-aspirateur pipette 2ml.

➤ **Mode opératoire :**

Sélectionner le programme de la DCO.

Préparer les cuves :

1- mélanger le contenu Kit pour avoir une solution homogène.

2- Pipeter 2 ml d'échantillon avec précaution.

Le thermostat chauffe jusqu'à atteindre la température défini.

Placer les cuves dans un bloc de chauffage DRB -200 et refermer le couvercle de protection, mettre dans le digesteur DCO classique : 2h à 148 -150 °C.

Enlever la cuve chaude et invertir avec prudence 2 fois.

Laisser refroidir à température ambiante dans le support de cuve.

Bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer avec programme spectrophotomètre HACH.

➤ **Expression des résultats :**

$$DCO = \frac{8000 \cdot CF_e (V_T - V_E)}{E}$$

C Fe : Concentration exprime en mol/l.

VT : Volume du sel de Mohr pour le virage de couleur de l'échantillon témoin.

VE : Volume du sel de Mohr pour le virage de couleur de l'échantillon.

E : Volume de prise d'essai en ml.



Figure 3.12 : Réactifs DCO



Figure 3.13 : Spectrophotomètre

3.4.3.4. Dosage des nitrates (NO_3^-) :

➤ **Principe :**

Le dosage des nitrates fait appel à des méthodes relativement complexes avec une grande probabilité de présence de constituants interférents, de ce fait la détermination des nitrates est souvent délicate.

Dans une solution d'acide sulfurique et phosphorique, les nitrates réagissent avec le diméthylphénol pour donner de nitro - diméthylphénol

➤ **Matériels utilisés :**

- ✚ Kit de mesure nitrite (LCK 339/340).
- ✚ Eau distillée.
- ✚ Espectro DR 5000.
- ✚ Pipette graduée 2 ml.
- ✚ Aspirateurs pipette 2 ml.

➤ **Mode opératoire :**

- Pipeter lentement 1 ml d'échantillon.
- Pipeter lentement 0,2 ml de la solution LCK 339 A.
- Fermer la cuve et mélanger le contenu jusqu' à ce que le mélange soit complet.
- Attendre 15 minutes, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

3.4.3.5. Azote ammoniacal :

➤ **Matériels utilisés :**

- ❖ Kit mesure nitrite (LCK 302/303).
- ❖ Eau distillée (nettoyage ou dissolution).
- ❖ Espectro DR 5000.
- ❖ Pipette graduée 2ml.
- ❖ Aspirateur pipette 2ml

➤ **Mode opératoire :**

- Enlever délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable.
- Dévisser le DosiCap Zip.
- Pipeter 0,2 ml d'échantillon.
- Visser immédiatement le DosiCap Zip.
- Secouer énergétiquement jusqu'à dissolution du lyophilisat.
- Attendre 15 minutes, mélanger de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer

3.4.3.6. Nitrite NO₂- :

➤ **Principe :**

Les nitrites réagissent en solution acide avec les amines primaires et aromatiques pour donner des sels diazonium. Ceux-ci forment avec des composés aromatiques, contenant un aminogroupe ou un hydroxyle, un colorant azoïque de couleur intense.

➤ **Matériels utilisés :**

- ❖ Kit de mesure nitrite (LCK 341/342).
- ❖ Eau distillée.
- ❖ Colorimètre DR 5000.
- ❖ Pipette graduée 2 ml.
- ❖ Aspirateurs pipette 2 ml.

➤ **Mode opératoire :**

- ❖ Enlever délicatement la feuille de de la protection du DosiCap Zip détachable.
- ❖ Dévisser le DosiCap Zip. □ Pipeter 2 ml d'échantillon.
- ❖ Visser immédiatement le DosiCap Zip.
- ❖ Secouer énergétiquement jusqu'à dissolution du lyophilisat.
- ❖ Attendre 10 min, mélanger de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

3.4.3.7. Le phosphore :

Le phosphore est mesure sous forme de phosphore totale (Pt). La recherche des fractions minérales (phosphates issus des produits lessiviers) et organiques (d'origine humaine ou industrielle) permet de juger des conditions de traitement biologique de l'effluent et des risques liés à l'eutrophisation des eaux calmes.

➤ **Matériels utilisés :**

- Kit de mesure LCK 348.
- Eau distillée.
- Colorimètre DR 5000.
- Pipette graduée 2 ml.
- Aspirateurs pipette 2 ml.

➤ **Mode opératoire :**

- Enlever délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable.
- Dévisser le DosiCap Zip.
- Pipeter 0,5 ml d'échantillon.
- Visser immédiatement le DosiCap Zip.
- Secouer énergétiquement, puis chauffer dans le thermostat .H 200 si 15 min avec le programme standard H thermostat : 60 min à 100°C.
- Pipeter dans la cuve une fois refroidis : 0,2 ml de réactif B (LCK 348 B).Fermer le réactif B après emploi.
- Visser un DosiCap C (LCK 348 C) gris sur la cuve, puis mélanger le contenu de la cuve.
- Attendre 15 min, mélanger de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

3.4.3.8. Le test de décantation des boues (Bassin d'aération) :

➤ **Principe :**

Afin d'apprécier l'aptitude à la décantation, ou décantabilité des boues des tests de décantation sur les boues activées sont réalisés en éprouvette. Ces tests sont simples du point de vue théorique et technique : on mesure dans une éprouvette d'un litre le volume de boue décanté après un temps de 30 mn (V30) ce volume représente le volume de floc biologique présent dans un volume totale de un litre de boues activées le reste étant de l'eau interstitielle.

➤ **Le calcul de l'indice de Mohlman IM:**

L'indice de Mohlman est le volume en ml occupé par un litre de boues non diluées après 30 minutes de décantation divisé par la concentration de matières en suspension (MES) des boues.

$$\text{Indice de Mohlman} = \frac{V_{30} \text{ en ml/l}}{[MES] \text{ en mg/l}}$$

La valeur moyenne de cet indice se situe autour de 80 à 150 ml/g. Il peut y avoir des problèmes de décantation lorsqu'il dépasse 150 à 200 ml/g, pour des valeurs inférieurs à 80 ml/g, la boue décante trop rapidement et risque de former des dépôts dans les ouvrages et les canalisations.

➤ **le calcul de l'indice de boue IB:**

$$\text{IB (mg/l)} = V_{30} \text{ (ml/l)} * \frac{\text{facteur de dilution}}{MS \text{ eng/l}}$$

Une nouvelle dilution est nécessaire si le lecteur des boues décantées est supérieur à 250ml après 30 minutes de décantation (une lente décantation).



Figure 3.14 : Test de décantation

Conclusion :

Depuis les analyses des paramètres physicochimiques réalisés au niveau de notre laboratoire, on peut évaluer le rendement de chaque étape d'épuration, juger la performance de la nouvelle STEP de Guelma, et la qualité des eaux rejetées dans le milieu naturel pour les utiliser éventuellement dans le domaine agricole.

Chapitre IV : Résultats et discussion

Introduction :

Rappelons que cette étude a pour objectif la construction d'un modèle de prédiction du taux des nitrates des eaux usées de la STEP de Guelma, avant le rejet dans le milieu naturel. Ce chapitre regroupe en :

Un premier lieu les résultats des analyses effectuées lors du stage de fin d'études (du 24/04/2021 au 25/05/2021) dans le laboratoire d'analyses et de caractérisation des échantillons d'eau au niveau de la STEP de Guelma.

En second lieu afin de prévoir la teneur en nitrates à travers les résultats des analyses, nous avons opté un modèle basé le modèle de l'analyse en composantes principales suivis de discussions et interprétations des résultats obtenus. L'objectif de la présente étude est de faire une application de l'ACP sur les données physico-chimiques en vue d'une gestion et d'un contrôle de la qualité du traitement des effluents du station de traitement de Guelma , et de visualiser et analyser les corrélations existantes entre les différentes variables à travers leurs structurations et leurs orientations, d'identifier les principaux facteurs responsables de la qualité des effluents pendant les mois janvier, février , mars , avril , mai, juin , juillet , aout , septembre, octobre, novembre.

4.1. Présentation des résultats des analyses :

Notre base de données provient de la station d'épuration des eaux usées de Guelma. Le **Tableau 5** donne les résultats maximaux, minimaux, de quelques paramètres physico chimiques étudiés au niveau des effluents enregistrés à partir des prélèvements effectués entre janvier et novembre 2018.

Tableau 4. 1. Résultats physicochimiques des effluents de la STEP.

Paramètres	Eau brute				Eau traitée			
	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart type	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart type
Température (°C)	25,60	12,00	18,80	9,62	26,90	11,00	18,95	11,24
PH	7,70	7,30	7,50	0,28	7,50	7,20	7,35	0,21
CE (milli siemens)	1,50	1,06	1,28	0,31	1,20	1,07	1,14	0,09
MES (mg/L)	544,00	270,00	407,00	193,75	15,50	7,00	11,25	6,01
DBO ₅ (mg/l)	358,00	135,75	246,88	157,15	15,00	4,70	9,85	7,28
DCO (mg/L)	844,00	342,50	593,25	354,61	48,00	21,00	34,50	19,09
NH ₄ ⁺ (mg/L)	49,00	24,00	36,50	17,68	8,50	2,00	5,25	4,60
NO ₂ ⁻ (mg/l)	5,80	2,30	4,05	2,47	1,32	0,00	0,66	0,93
NO ₃ ⁻ (mg/L)	4,30	0,10	2,20	2,97	15,00	7,00	11,00	5,66
OPO ₄ ⁻ (mg/L)	1,80	0,30	1,05	1,06	1,60	0,10	0,85	1,06
EH (mv)	314,00	101,00	207,50	150,61	369,00	219,00	294,00	106,07

4.2. Evaluation des paramètres physico-chimiques :

4.2.1 Température de l'eau (T°C) :

En effet la température est un facteur écologique très important qui a une grande influence sur la propriété physicochimique des eaux usées, elle a tendance à augmenter avec les saisons. Un réchauffement ou bien un refroidissement peut perturber fortement le phénomène d'épuration de ces eaux usées, mais ce changement peut aussi être un facteur de croissance de la productivité microbienne.

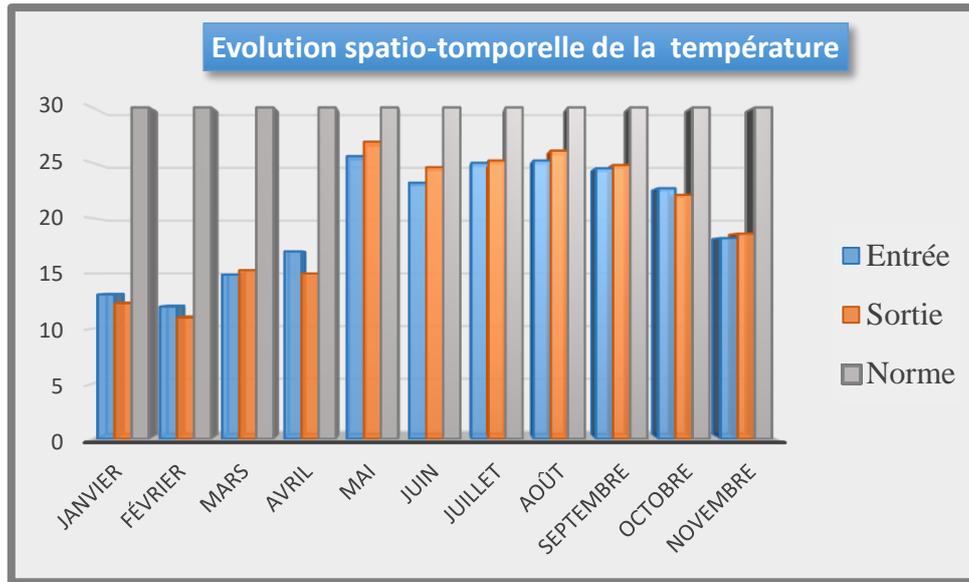


Figure 4.1 : Evolution spatio-temporelle de la température.

D'après les résultats présentés dans la **Figure 4.1**, on remarque que les valeurs de la température à l'entrée et celles de la sortie de la STEP sont très proches. Elles varient de 12 à 25.6 (soit une moyenne de 18.8°C) à l'entrée, et de 11°C à 26.9°C avec une moyenne de 18.95°C à la sortie de la STEP, Ces valeurs restent au-dessous de la norme de rejet (30°C).

4.2.2 Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H⁺ contenus dans l'eau. Il résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates. Le pH de l'eau dépend de l'équilibre En examinant les résultats obtenus dans la **Figure 4.2** :

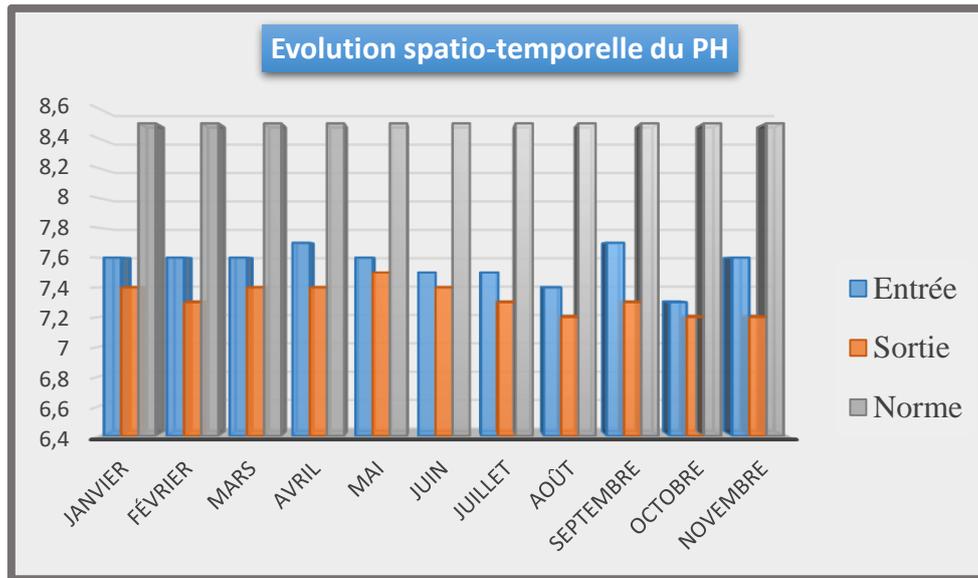


Figure 4.2 : Evolution spatio-temporelle du PH.

Les valeurs de pH des eaux usées avant le traitement sont comprises entre 7.7 et 7.3 avec une moyenne de 7.5. Le pH des eaux traitées oscille entre 7.5 et 7.2 avec une moyenne de 7.35, respectant la norme de rejet carbonique et de l'activité photosynthétique des écosystèmes délimitée entre 6.5 et 8.5.

4.2.3. Conductivité électrique :

La conductivité électrique est probablement l'une des plus simples et des plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux usées. Elle traduit le degré de minéralisation globale, elle nous renseigne sur le taux de salinité. La salinité de l'eau est un critère important pour la réutilisation et l'irrigation et doit être par conséquent un critère de choix pour évaluer l'opportunité d'un traitement.

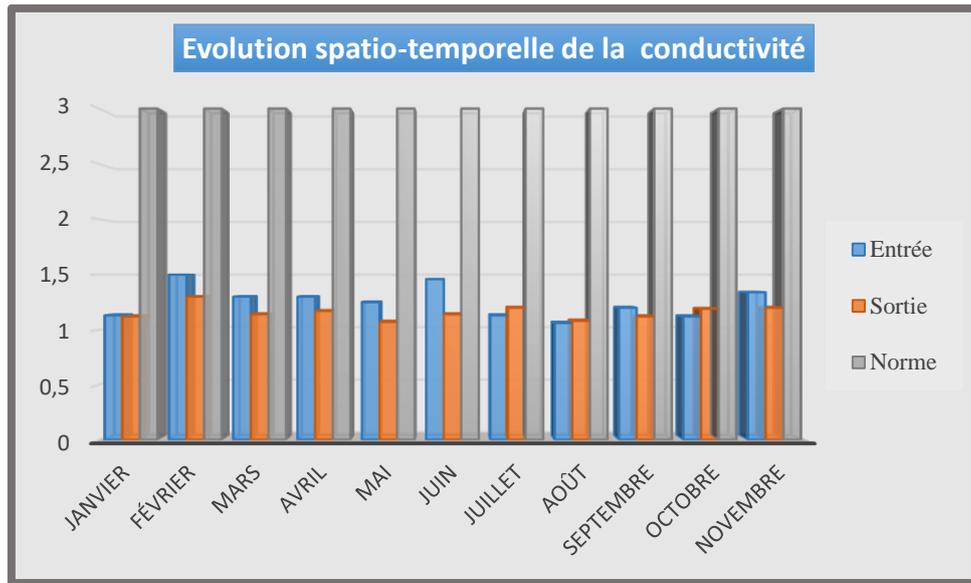


Figure 4.3 : Evolution spatio-temporelle de la conductivité.

Les teneurs en conductivité enregistrées au niveau des eaux étudiées **Figure 4.3** sont comprises entre 1.5 ms et 1.06 mS à l'entrée, et entre 1.16 ms et 1.4 mS à la sortie qui sont inférieures à 3 mS (Règlements algériens).

4.2.4. La Demande biochimique en Oxygène (DBO5) :

La Demande biochimique en Oxygène DBO₅ est la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée.

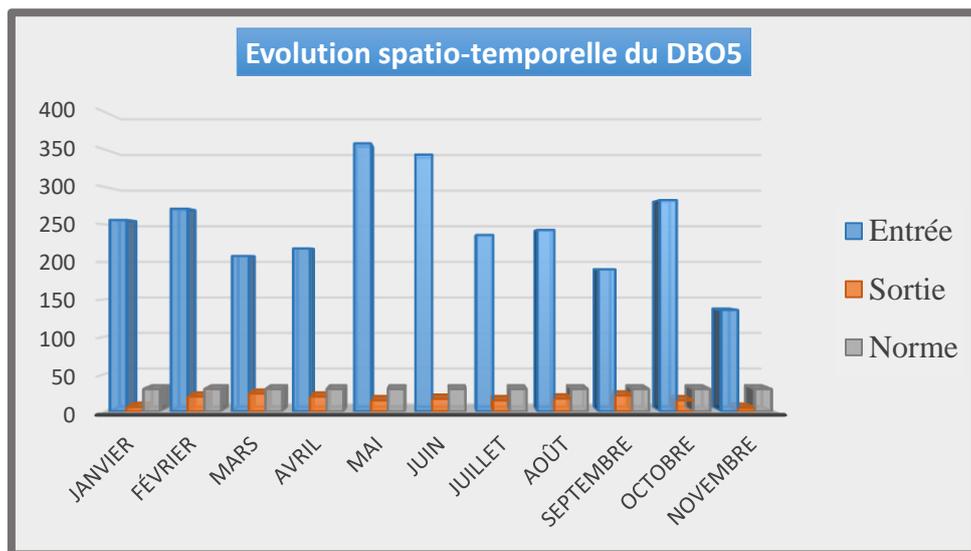


Figure 4.4 : Evolution spatio-temporelle de la DBO5.

En se référant aux résultats présentés dans la **Figure 4.4**, les concentrations de la DBO₅ à l'entrée de la STEP varient entre 135.75 mg/l et 358 mg/l avec une moyenne de 246.87 mg/l. cette augmentation est due à la charge de la matière organique et les substances nutritives dans les effluents.

Par contre Après épuration les teneurs diminuent de façon remarquable, ces valeurs varient entre 4.7 mg/l et 15 mg/l avec une moyenne de 9,85 mg/l, cette baisse de concentration est due à la consommation d'oxygène par les micro-organismes pour la dégradation de la matière organique.

4.2.5 La Demande Chimique en Oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène représente la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables chimiquement contenues dans l'eau. Elle représente la majeure partie des composés organiques mais également des sels minéraux oxydables (chlorures, sulfures).

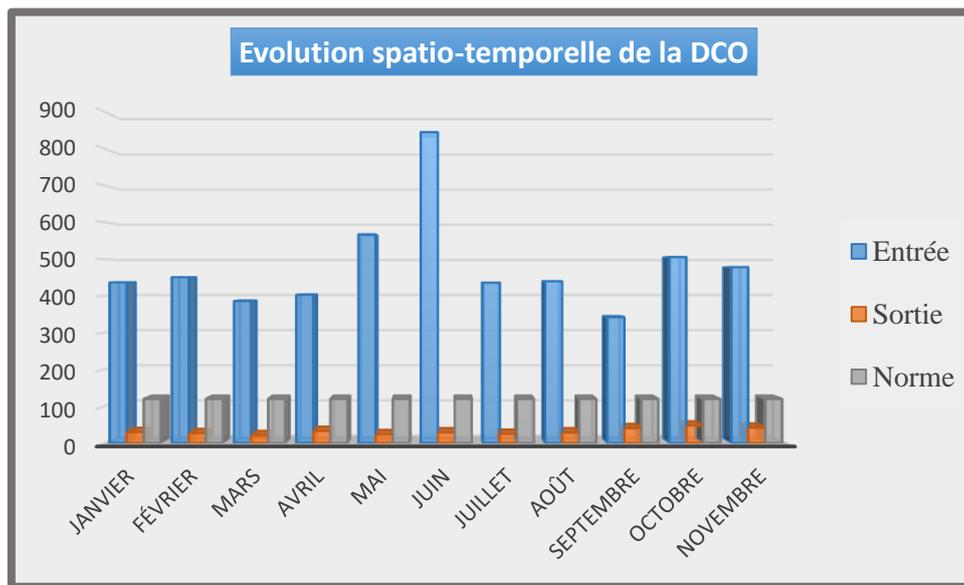


Figure 4.5 : Evolution spatio-temporelle de la DCO.

Les teneurs en DCO enregistrées au niveau des eaux étudiées sont comprises entre 342.5 mg/l et 844 mg/l à l'entrée et cela probablement dû à la surcharge des effluents par la matière organique et minérale. L'évolution de ce paramètre après épuration marque une chute des valeurs comprises entre 21 mg/l et 48 mg/l largement inférieure à 90 mg/l, **Figure 4.5** ceci est causée d'une part par l'élimination de la matière minérale lors des procédés de prétraitement et d'autre part de la dégradation de la matière organique par les microorganismes. La grille des normes algériennes permet alors de classer ces eaux d'excellente qualité.

Le rapport $\frac{DCO}{DBO5}$:

Le rapport $\frac{DCO}{DBO5}$ donne une estimation de la biodégradabilité des eaux usées. Par les micro-organismes (bactéries, champignons...) dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité) :

- Si $\frac{DCO}{DBO5} < \text{ou} = 2$: Le traitement se fait biologiquement.
- Si $2 < \frac{DCO}{DBO5} < 3$: Traitement biologique avec adaptation de souches.
- Si $\frac{DCO}{DBO5} > 3$: Traitement physico-chimique. L'eau est pratiquement non traitable par voie biologique

Tableau 4.2 : Rapport $\frac{DCO}{DBO5}$:

le rapport $\frac{DCO}{DBO5}$	
Entrée	Sortie
1,7	5,0
1,7	1,4
1,9	0,9
1,8	1,7
1,6	1,6
2,5	1,7
1,8	1,7
1,8	1,7
1,8	1,9
1,8	3,2
1,5	9,3

Sur la base de ces critères, une valeur seuil de 2.5 a été retenue pour étudier la biodégradabilité des substances organiques à la station d'épuration de Guelma. Le rapport $\frac{DCO}{DBO5}$ oscille entre 1,5 et 2,5 **Figure 4.6** ce qui indique que les polluants seraient facilement biodégradables.

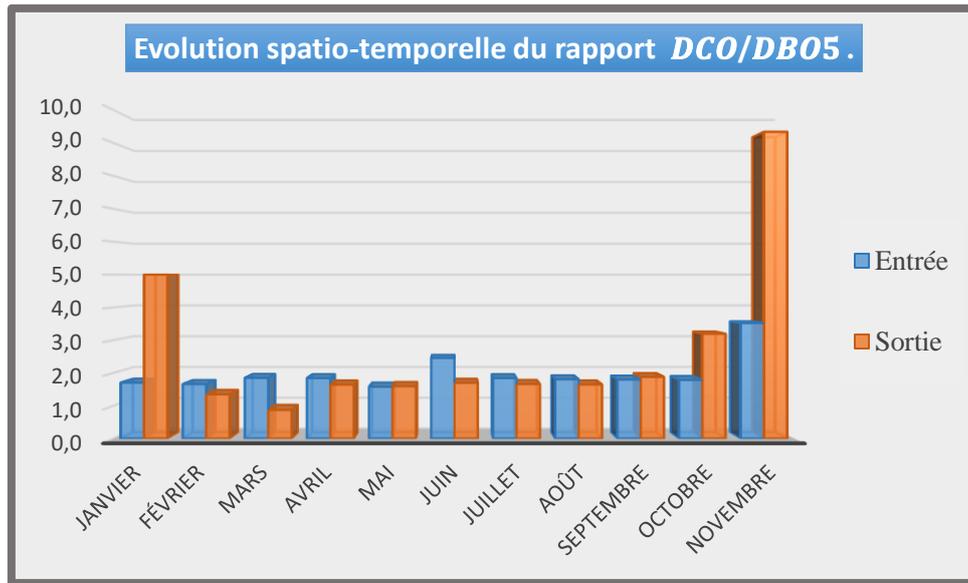


Figure 4.6 : Evolution spatio-temporelle du rapport $\frac{DCO}{DBO5}$.

4.2.6 Les matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la station, de la pluviométrie, du régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc.

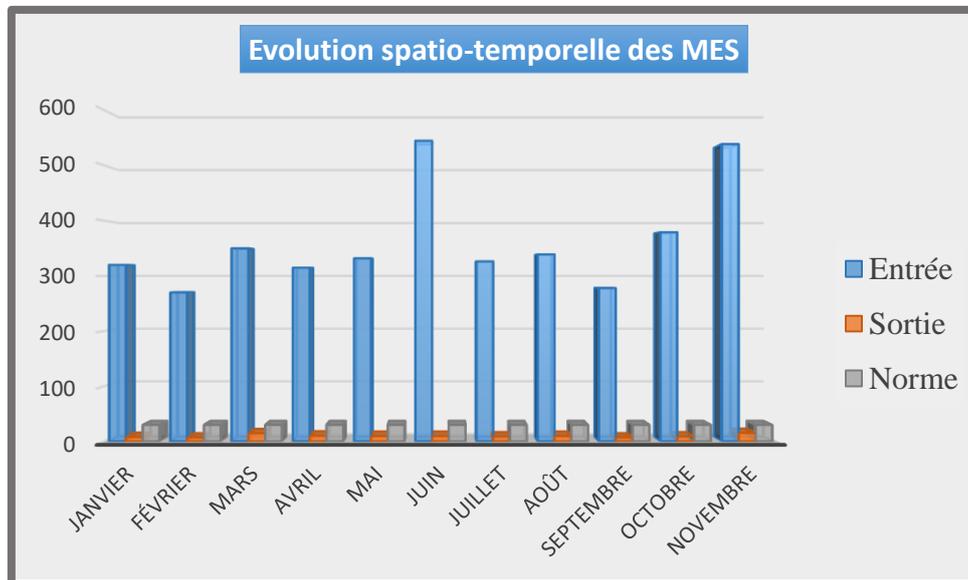


Figure 4.7 : Evolution spatio-temporelle de MES.

En examinant les résultats présentés dans la **Figure 4.7**, on remarque que les valeurs enregistrées révèlent une réduction importante de MES entre l'entrée et la sortie de la STEP, elles oscillent entre 270 mg/l et 544 mg/l avec une moyenne de 407 mg/l au niveau de l'entrée

de la STEP, ces valeurs sont probablement liées à un arrivage d'eau chargée en matière minérale.

En ce qui concerne les eaux épurées à la sortie de la STEP, les concentrations de MES varient entre 7 mg/l et 15.5 mg/l avec une moyenne de 11.25 mg/l, ces valeurs sont largement inférieures à celle de la norme de rejet (< 35 mg/l).

4.2.7 L'Ammonium (NH_4^+) :

L'azote ammoniacal constitue un des maillons du cycle complexe de l'azote dans son état primitif. C'est un gaz soluble dans l'eau. Il existe en faible proportion, inférieur à 0,1mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. Il constitue un bon indicateur de la pollution, et provient de la dégradation des protéines animales, des effluents domestiques (urée) et des ruissellements urbains.

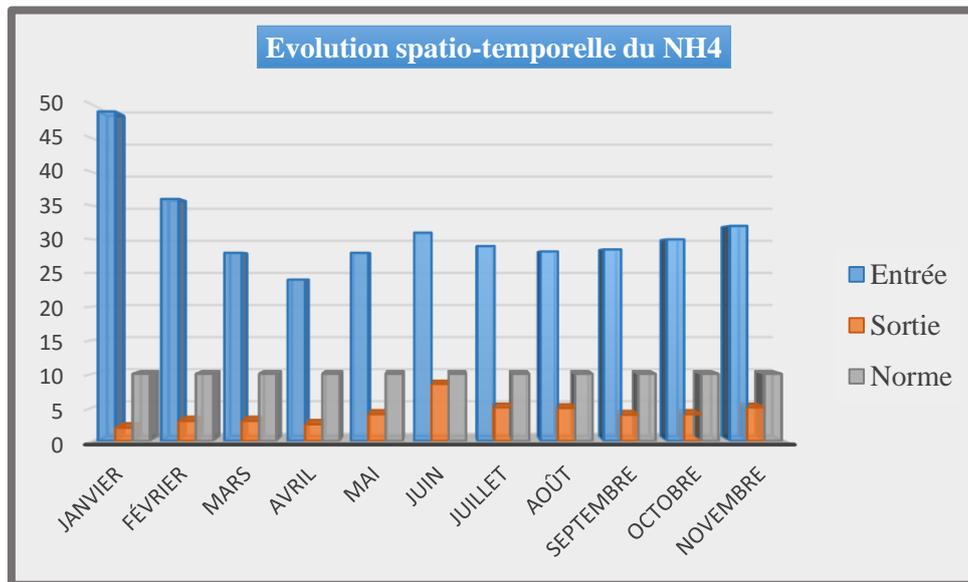


Figure 4.8 : Evolution spatio-temporelle de l'NH4.

L'analyse du profil de l'ammonium montre que les teneurs varient entre 24 mg/l et 49 mg/l à l'entrée, traduisent le processus de dégradation incomplète de la matière organique.

Les valeurs d'ammonium trouvées à la sortie de la station sont nettement très inférieures à celles de l'entrée qui oscillent entre 2 mg/L et 8.5 mg/L. (Normes Algériennes (3-10 mg/l) **Figure 4.8.**

4.2.8 Les Nitrites NO_2^- :

L'ion nitrite est la principale forme d'azote inorganique, trouvée dans les eaux. Il s'oxyde facilement en ion nitrate et se retrouve ainsi rarement en concentration importante dans

les eaux. Les nitrites instables ne se maintiennent que lorsque le milieu, n'est pas suffisamment oxydé, leur présence indique un état critique de pollution organique.

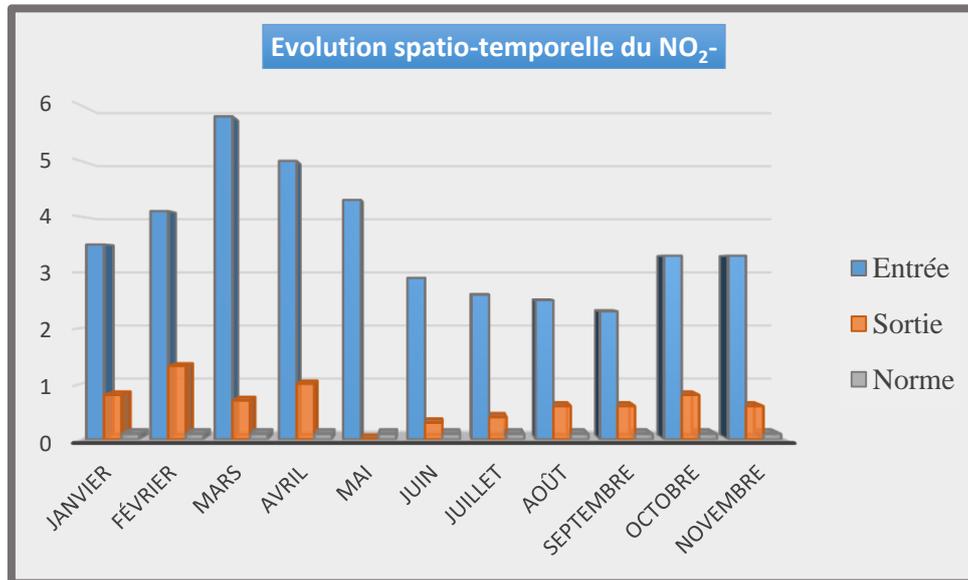


Figure 4.9 : Evolution spatio-temporelle de NO_2^- .

Les concentrations des nitrites sont très faibles **Figure 4.9** et elles varient entre 0 mg/l et 1.32 mg/L. Les faibles concentrations en nitrites rencontrées au niveau des eaux usées de l'effluent étudié, pourraient être expliquées par le fait que l'ion nitrite (NO_2^-) est un composé intermédiaire, instable en présence de l'oxygène, dont la concentration est généralement très inférieure à celle des deux formes qui lui sont liées, les ions nitrates et ammonium.

4.2.9 Les Nitrates NO_3^- :

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau.

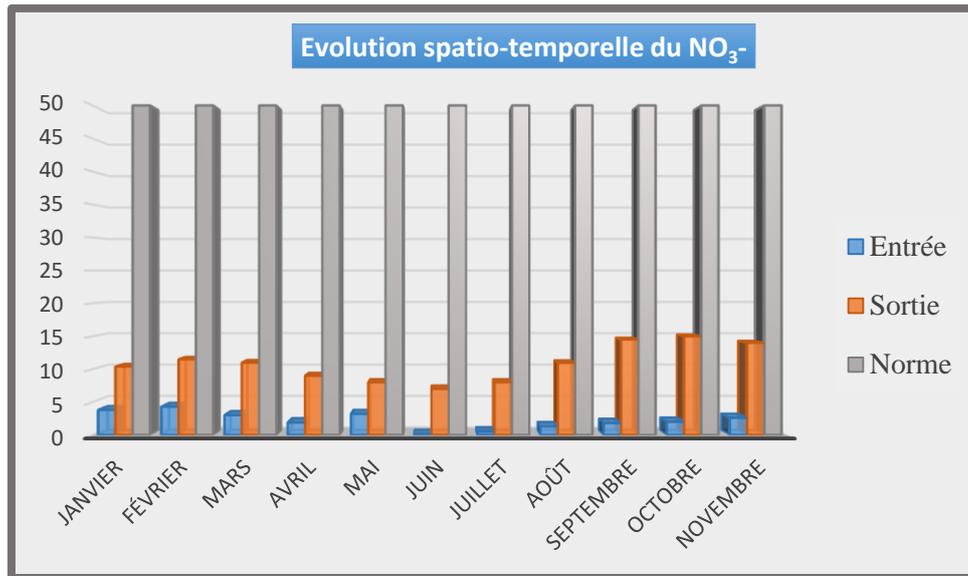


Figure 4.10 : Evolution spatio-temporelle de NO_3^- .

Les concentrations des nitrates oscillent entre 0.1 mg/L et 4.3 mg/L à l'entrée, à la sortie de la station et contrairement à l'entrée **Figure 4.10** les concentrations atteignent leur maximum et oscillent entre 7 mg/l et 15 mg/l, ce qui est dû au phénomène de nitrification sous l'action des micro-organismes.

4.2.10 L'ortho phosphates (OPO_4^-) :

Le phosphore, l'un des nutriments important, peut se trouver sous différentes formes oxydées. La grande partie de ce nutriment organique provient également des déchets du métabolisme des protéines et de son élimination sous forme de phosphates dans les urines par l'homme. Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux usées peuvent entraîner leur eutrophisation.

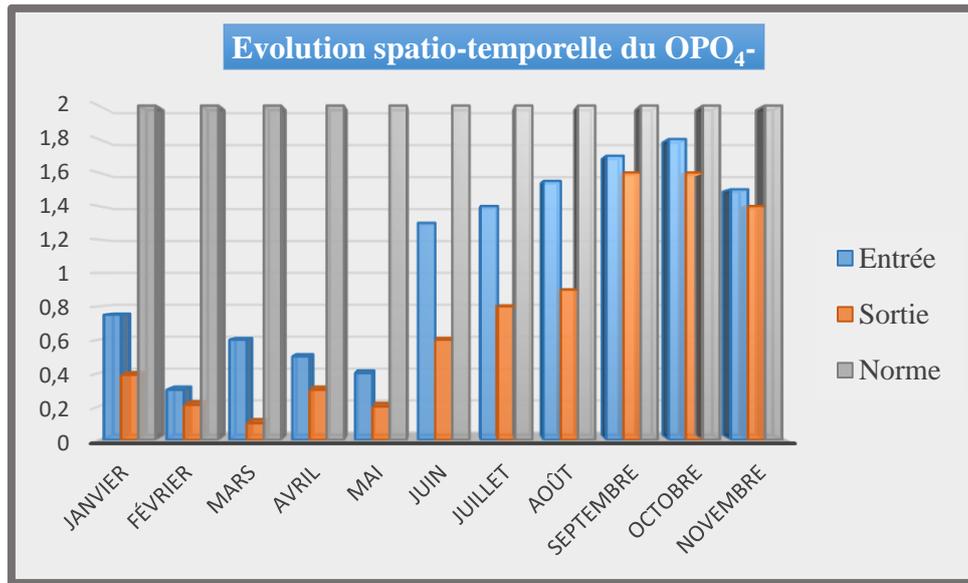
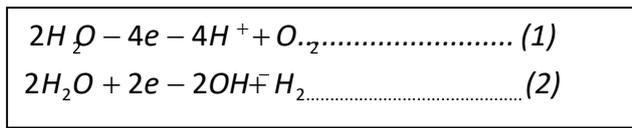


Figure 4.11 : Evolution spatio-temporelle d'OPO4-.

L'analyse des résultats **Figure 4.11** montre que la concentration en ortho phosphates dans les eaux usées de la station de Guelma varie entre 0.3 mg/l et 1.8 mg/l à l'entrée et entre 0.1 mg/l et 1.6 mg/l à la sortie, ces concentrations sont inférieures à la norme algérienne fixée à 2 mg/l.

4.2.11. Potentiel d'oxydo-réduction (EH) :

L'eau peut participer à des réactions d'oxydo-réduction, suivant les deux réactions :



Par définition, les phénomènes d'oxydo-réduction ont une importance aussi grande en chimie minérale qu'en chimie biologique. Tout comme le pH, le potentiel d'oxydo-réduction (exprimé en Volts ou millivolts) permet de mesurer l'état d'oxydo-réduction de l'eau. Connaissant cette valeur et le pH, il est possible de déterminer les formes chimiques présentes dans le milieu. Ce paramètre, nous permet de prévoir l'état des ions chimiques dans l'eau et la direction des réactions chimiques (oxydation ou réduction).

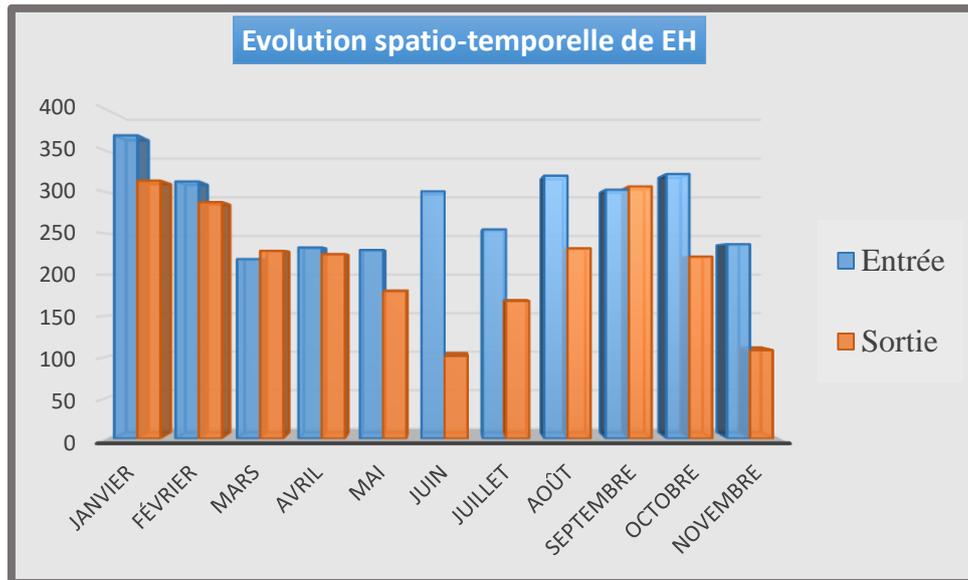


Figure 4.12 : Evolution spatio-temporelle d’EH.

L’analyse des résultats **Figure 4.12** montre que les valeurs d’EH dans les eaux usées de la station de Guelma varie entre 101 mv et 314 mv à l’entrée et entre 230 mv et 369 mv à la sortie, ces valeurs révèle un milieu oxydant anormal (forte entrée d’eau sur le réseau : pluies – eaux parasites)

4.3. Analyse statistique (application de l’ACP) :

4.3.1. Typologie spatio-temporelle :

Dans le souci de mieux comprendre et gérer la qualité des eaux usées, souvent de longues et fastidieuses campagnes d’analyses sont entreprises. Celles-ci génèrent généralement assez de données dont l’interprétation n’est pas toujours aisée. L’application de l’analyse en composantes principales (ACP) pour une telle tâche pourrait être salutaire. Dans le but d’établir une relation entre les différents paramètres physicochimiques et pour mieux apprécier les effluents de la STEP du Guelma , un traitement statistique ACP (Analyse en Composantes Principales) a été appliqué à l’ensemble des paramètres physicochimiques entre Janvier et novembre 2018 .Cette méthode est largement utilisée pour interpréter les données hydro chimiques.

Pour le traitement des données par l’analyse en composantes principales, nous avons utilisé 11 variables : la température, le pH, la conductivité électrique, l’ammonium, les nitrites, les nitrates, les Ortho phosphates et la DBO5, la DCO, EH et comme individus les 11 prélèvements effectués entre Janvier et novembre 2018.

4.3.2. Application de l'ACP en utilisant les paramètres physico-chimiques de l'eau :

L'analyse des résultats a permis de constater que la majeure partie des informations est expliquée par les quatre premiers axes factoriels.

L'examen de la matrice de corrélation entre les variables (**Tableau 4.3**) révèle la présence d'un premier ensemble de variables, constitué de variables bien corrélées entre elles. Il s'agit de :

- DCO avec les paramètres : Nitrates, Ortho phosphates, PH.
- Conductivité avec les NO_2^- et Température.
- Nitrates avec DCO , OPO_4 , PH .
- Nitrites avec NH_4^+ , la conductivité, Température.
- Ortho phosphates avec la DCO , NO_3^- et le PH .
- Température avec NH_4^+ , Conductivité et NO_2^- .
- NH_4^+ avec Température , NO_2^- .
- MES avec EH.
- PH avec les orthophosphates OPO_4 , DCO , NO_3^-

Tableau 4.3 : Matrice de corrélation entre les variables.

	DCO (mg/l)	DBO5 (mg/l)	MES (mg/l)	NH4 (mg/l)	NO3 (mg/l)	NO2 (mg/l)	OPO4 (mg/l)	T (°C)	PH	Cond (S/cm)	EH (mV)
DCO (mg/l)	1,0000	-0,3164	-0,0617	0,0326	0,7638	0,1951	0,8601	0,0861	-0,6199	0,1643	0,2672
DBO5 (mg/l)	-0,3164	1,0000	-0,1628	-0,0488	-0,1049	0,1702	-0,2511	0,0699	0,2013	0,0118	-0,2363
MES (mg/l)	-0,0617	-0,1628	1,0000	0,1186	0,0497	-0,1927	-0,0619	-0,0791	-0,0448	-0,0886	-0,6708
NH4 (mg/l)	0,0326	-0,0488	0,1186	1,0000	-0,2978	-0,5584	0,2669	0,6319	-0,1345	-0,1119	-0,0264
NO3 (mg/l)	0,7638	-0,1049	0,0497	-0,2978	1,0000	0,4056	0,7158	-0,1452	-0,6884	0,2258	0,2357
NO2 (mg/l)	0,1951	0,1702	-0,1927	-0,5584	0,4056	1,0000	-0,0816	-0,8052	-0,3222	0,6757	0,3051
OPO4 (mg/l)	0,8601	-0,2511	-0,0619	0,2669	0,7158	-0,0816	1,0000	0,4327	-0,7495	0,0186	0,2407
T (°C)	0,0861	0,0699	-0,0791	0,6319	-0,1452	-0,8052	0,4327	1,0000	-0,1059	-0,5417	-0,1169
PH	-0,6199	0,2013	-0,0448	-0,1345	-0,6884	-0,3222	-0,7495	-0,1059	1,0000	-0,3536	-0,2881
Cond (S/cm)	0,1643	0,0118	-0,0886	-0,1119	0,2258	0,6757	0,0186	-0,5417	-0,3536	1,0000	0,0116
EH (mV)	0,2672	-0,2363	-0,6708	-0,0264	0,2357	0,3051	0,2407	-0,1169	-0,2881	0,0116	1,0000

4.3.2.1. Cercle de contribution :

- La contribution de la 1^{ère} composante CP₁ (**Figure 4.13.a**) est 32.9 % , définie par DCO, NO₃⁻ , OPO₄⁻ représentés positivement et le PH négativement.
- La contribution de la 2^{ème} composante CP₂ (**Figure 4.13.b**) est 25.9 % est définie par ammonium NH₄⁺ , la temperature T° représentés positivement, et par Les nitrites NO₂⁻ et la conductivité négativement.
- La contribution de la 3^{ème} composante(**Figure 4.13.c**) est 14.4 % est définie par les MES représentés positivement , et EH négativement.
- La 4^{ème} composante (**Figure 4.13.d**) est contribuant de 9.88 % est définie par la DBO5 représentés positivement.

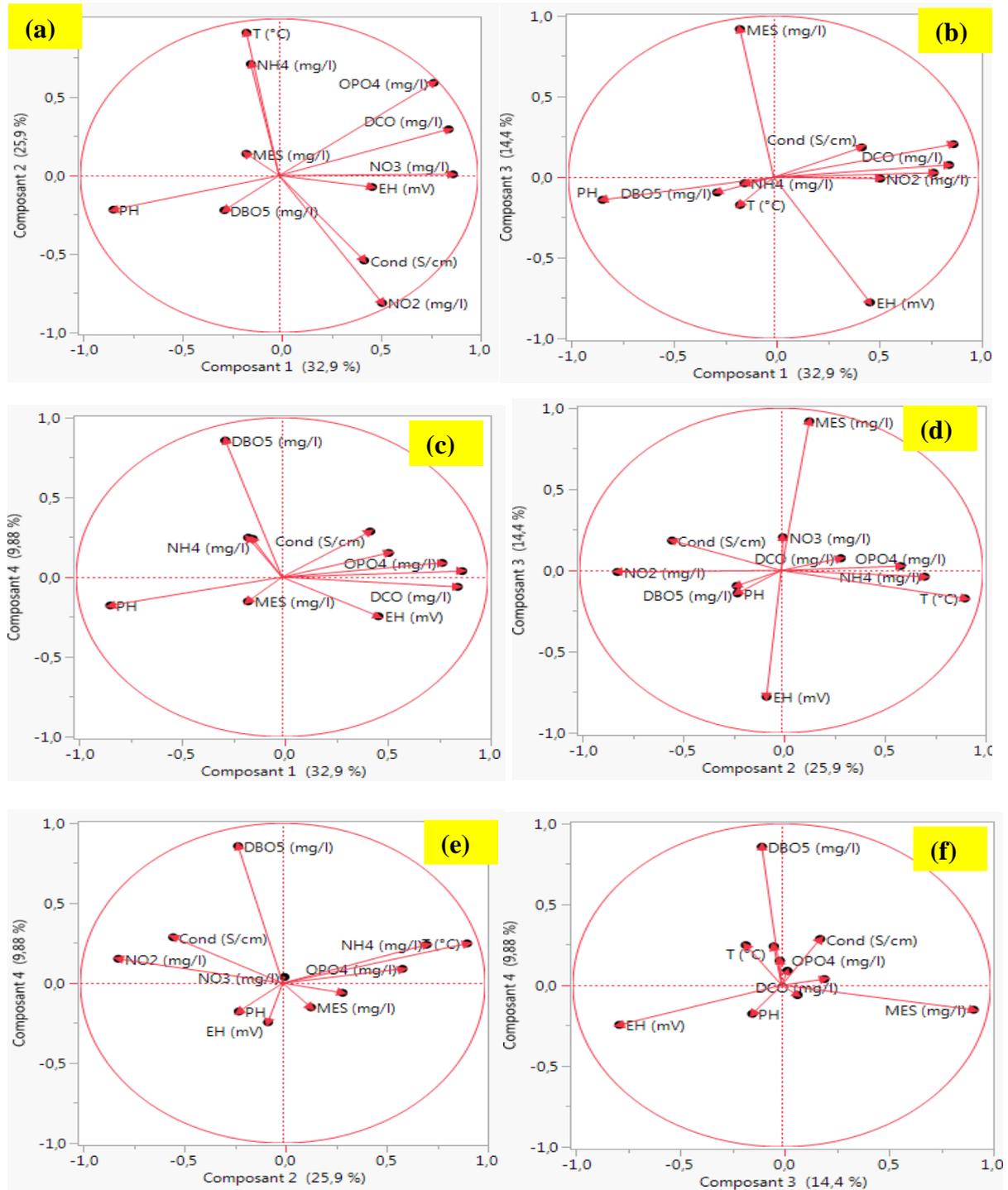


Figure 4.13: Projection des variables dans l'espace des axes CP₁, CP₂, CP₃ et CP₄

4.3.2.2. Matrice de corrélation des vecteurs propres :

Dans le cercle de corrélation **Figure 4.13 (a-f)**, la 1^{ère} composante (CP₁), contribuant avec 32.9 % d'inertie, est défini par les paramètres de pollution organique à savoir la DCO (0,4486), les NO₃⁻ (0,46016) et les OPO₄⁻ (0,40918) du coté positif et le PH (-0.43847). Avec une inertie de 25.9 % la 2^{ème} composante (CP₂) est définie par les paramètres : conductivité (0,32087) du côté négatif et les nitrites (0,48158) et du côté positif l'ammonium NH₄ (0.42153) et la temperature (0.53990) (Tableau). Dont la 3^{ème} composante (CP₃) est définie par les MES (0,72856) du côté positif et le EH (-0,61637) du côté négatif. Ainsi que la 4^{ème} composante (CP₄) est définie par le DBO₅ (0,82207).

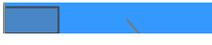
Tableau 4.4 : Matrice de corrélation des vecteurs propres .

	Principal 1	Principal 2	Principal 3	Principal 4	Principal 5	Principal 6	Principal 7	Principal 8	Principal 9	Principal 10
DCO (mg/l)	0,44863	0,17511	0,05989	-0,05797	-0,12440	0,39911	0,46974	-0,40610	0,34703	0,20779
DBO5 (mg/l)	-0,14486	-0,13086	-0,07518	0,82207	-0,32886	-0,16487	0,23072	0,01978	-0,05242	0,25388
MES (mg/l)	-0,08673	0,08250	0,72856	-0,14525	0,01809	-0,40503	0,21103	0,00773	0,01348	0,40298
NH4 (mg/l)	-0,07501	0,42153	-0,03014	0,23099	0,58900	-0,16898	0,47291	0,10728	0,02777	-0,38648
NO3 (mg/l)	0,46016	0,00495	0,16200	0,03670	-0,36598	-0,08848	0,04987	0,64831	0,27862	-0,33895
NO2 (mg/l)	0,27273	-0,48158	-0,00722	0,14585	0,05259	-0,17822	0,12547	-0,43268	-0,01430	-0,35815
OPO4 (mg/l)	0,40918	0,35056	0,02144	0,08597	-0,09119	0,14605	-0,00636	0,02805	-0,79442	0,07312
T (°C)	-0,08636	0,53990	-0,13647	0,23818	-0,08657	0,08350	-0,34560	-0,09353	0,38440	0,10920
PH	-0,43847	-0,12865	-0,11150	-0,16962	-0,18582	0,45172	0,50186	0,27606	-0,09465	0,01145
Cond (S/cm)	0,22519	-0,32087	0,14605	0,27523	0,57453	0,40232	-0,16660	0,31054	0,08617	0,33566
EH (mV)	0,24619	-0,04327	-0,61637	-0,23479	0,10954	-0,43257	0,20150	0,18281	0,05288	0,45539

4.3.2.3. Valeurs propres :

Le **Tableau 4.4** présente les valeurs des valeurs propres (VP) pour les différentes composantes. Chaque valeur propre représente la variance prise en compte par la composante principale correspondante. Pour les quatre 1^{ère} composantes les VP sont respectivement de 3,62, 2,85, 1,59 et 1,08 ce qui veut dire que les 11 variables peuvent être remplacées par les 4 1^{ère} composantes tout en préservant la quasi-totalité de l'information du fait que celles-ci rendent compte de $\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4}{\sum_1^4 \lambda_i} = 32,85 + 25,88 + 14,45 + 9,88 = 83,06\%$ de la variance totale.

Tableau 4.5 : Valeurs propres.

Numéro	Valeur propre	Pourcentage		Pourcentage cumulé
1	3,6136	32,851		32,851
2	2,8466	25,878		58,729
3	1,5894	14,449		73,178
4	1,0868	9,880		83,058
5	0,9534	8,667		91,725
6	0,4302	3,911		95,636
7	0,3019	2,745		98,381
8	0,1324	1,203		99,584
9	0,0302	0,275		99,859
10	0,0155	0,141		100,000

4.3.2.4. cosinus carrées :

Le **Tableau 4.6** et le graphique **Figure 4.14** montrent les valeurs des cosinus carrées qui représente l'angle entre deux variables, mesuré par son cosinus, est égal au coefficient de corrélation linéaire entre les deux variables $\cos(\text{angle}) = r(X_1, X_2)$

- si les points sont très proches (angle proche de 0) : $\cos(\text{angle}) = r(X_1, X_2) = 1$ donc X_1 et X_2 sont très fortement corrélés positivement
- si a est égal à 90° , $\cos(\text{angle}) = r(X_1, X_2) = 0$ alors pas de corrélation linéaire entre X_1 et X_2
- si les points sont opposés, a vaut 180° , $\cos(\text{angle}) = r(X_1, X_2) = -1$: X_1 et X_2 sont très fortement corrélés négativement.

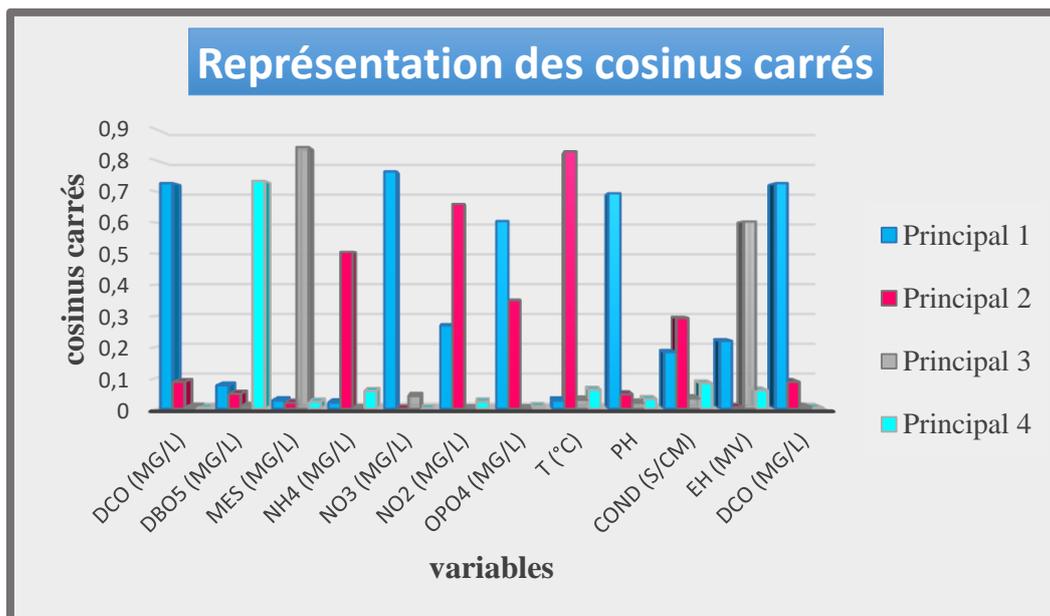


Figure 4.14: Représentation des cosinus carrés .

Tableau 4.6 : Cosinus carrés.

	Principal 1	Principal 2	Principal 3	Principal 4	Principal 5	Principal 6	Principal 7	Principal 8	Principal 9	Principal 10
DCO (mg/l)	0,72731	0,08729	0,00570	0,00365	0,01475	0,06853	0,06662	0,02183	0,00364	0,00067
DBO5 (mg/l)	0,07583	0,04875	0,00898	0,73443	0,10310	0,01169	0,01607	0,00005	0,00008	0,00100
MES (mg/l)	0,02718	0,01938	0,84364	0,02293	0,00031	0,07058	0,01345	0,00001	0,00001	0,00252
NH4 (mg/l)	0,02033	0,50582	0,00144	0,05798	0,33075	0,01228	0,06753	0,00152	0,00002	0,00232
NO3 (mg/l)	0,76517	0,00007	0,04171	0,00146	0,12769	0,00337	0,00075	0,05564	0,00235	0,00178
NO2 (mg/l)	0,26879	0,66018	0,00008	0,02312	0,00264	0,01367	0,00475	0,02478	0,00001	0,00199
OPO4 (mg/l)	0,60503	0,34983	0,00073	0,00803	0,00793	0,00918	0,00001	0,00010	0,01908	0,00008
T (°C)	0,02695	0,82978	0,02960	0,06165	0,00715	0,00300	0,03606	0,00116	0,00447	0,00019
PH	0,69474	0,04712	0,01976	0,03127	0,03292	0,08779	0,07604	0,01009	0,00027	0,00000
Cond (S/cm)	0,18324	0,29309	0,03390	0,08232	0,31469	0,06964	0,00838	0,01277	0,00022	0,00175
EH (mV)	0,21902	0,00533	0,60381	0,05991	0,01144	0,08050	0,01226	0,00442	0,00008	0,00322

4.3.2.5. Contribution des individus :

L'ACP permet aussi de calculer les coordonnées des individus sur les axes, leurs contributions à la dispersion selon chacun de ces axes et les cosinus carrés. Les coordonnées permettent de réaliser les graphiques des individus . La **Figure 4.15 a-f** présente la contribution à l'inertie des individus. La contribution des individus qui sont proches de l'origine est faible .

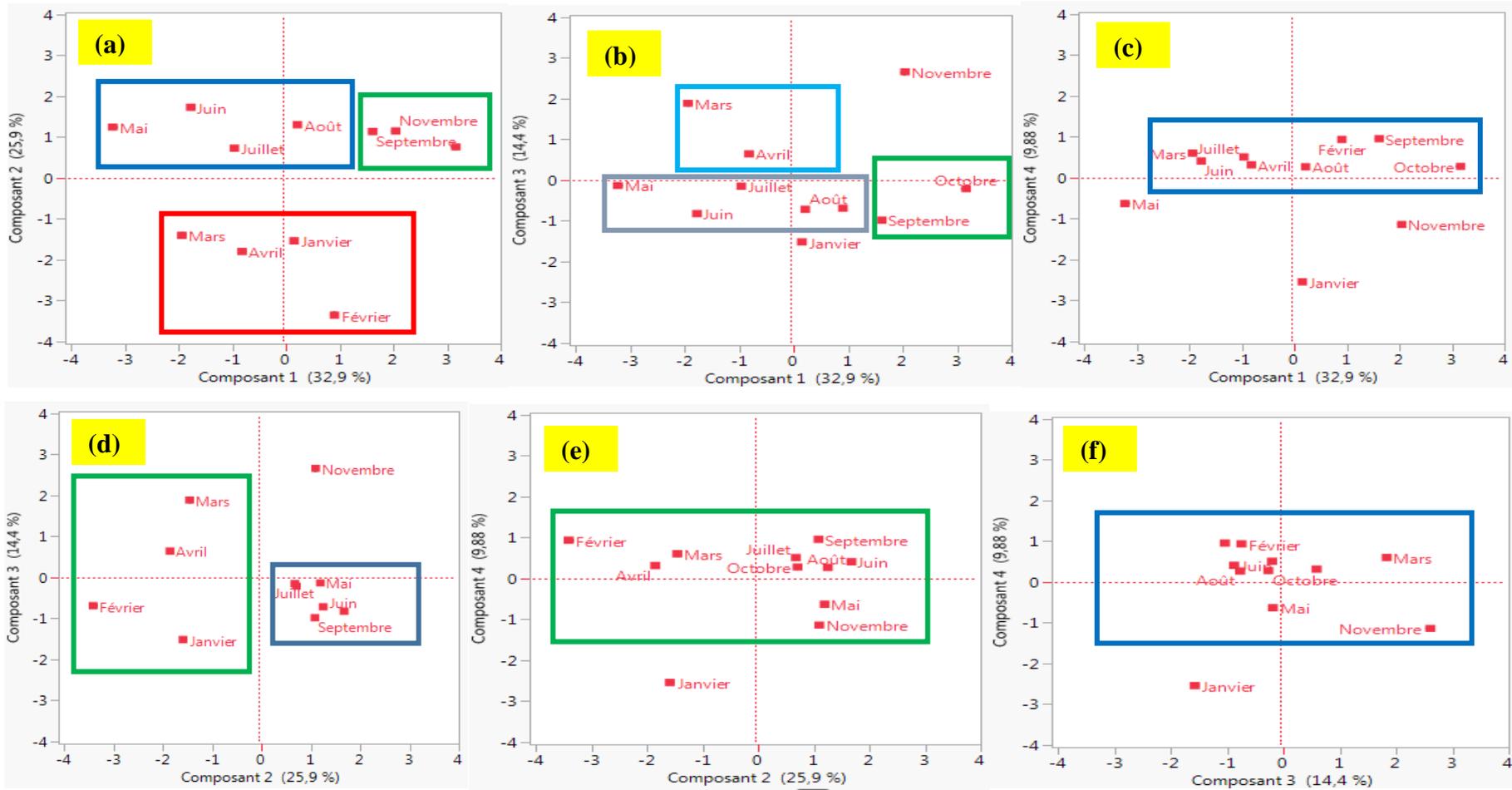


Figure 4.15: Groupement des individus.

La structure typologique dégagée par les plans 1,2,3,4 comme le montre la **Figure 4.15 (a-f)** montre l'individualisation de trois groupements différents selon leur qualité hydro-chimique :

- ✚ **Groupement I** : formé par les données des mois novembre et septembre relevés au niveau de la STEP de Guelma caractérisés par une forte charge organique (NO_3^- , OPO_4^- , DCO).
- ✚ **Groupement II** : intermédiaire, formé par les données des mois mai, juin, juillet et août relevés au niveau de la STEP de Guelma caractérisés par les MES. par les relevés du deuxième bassin (après décantation primaire).
- ✚ **Groupement III** : formé par les données des mois janvier, février, mars et avril relevés au niveau de la STEP de Guelma caractérisés par la DBO5, la conductivité par les relevés du bassin de décantation secondaire.

4.3.3. Modélisation de l'ACP :

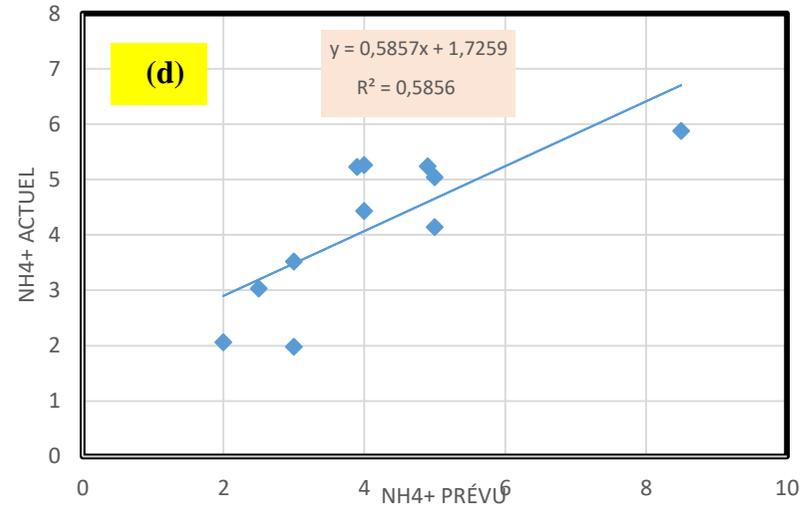
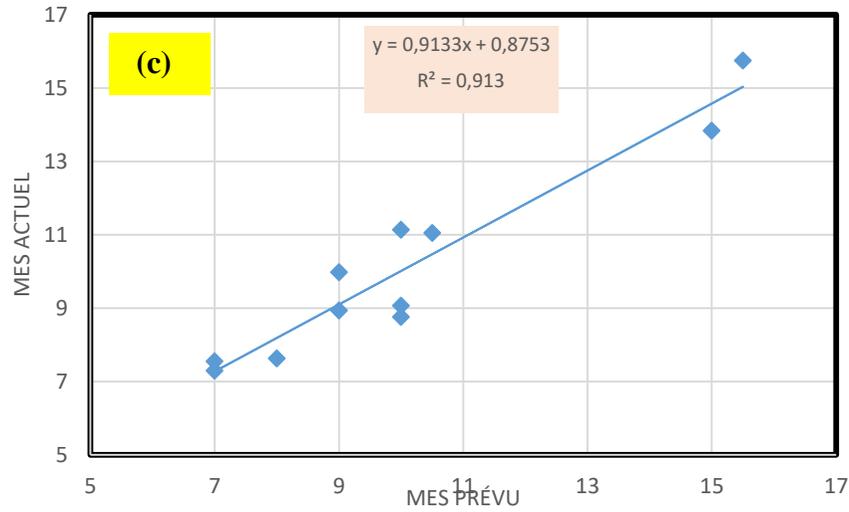
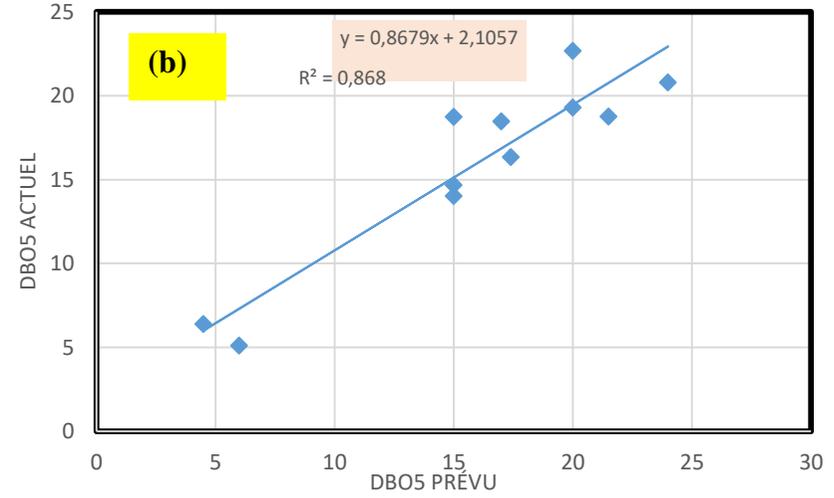
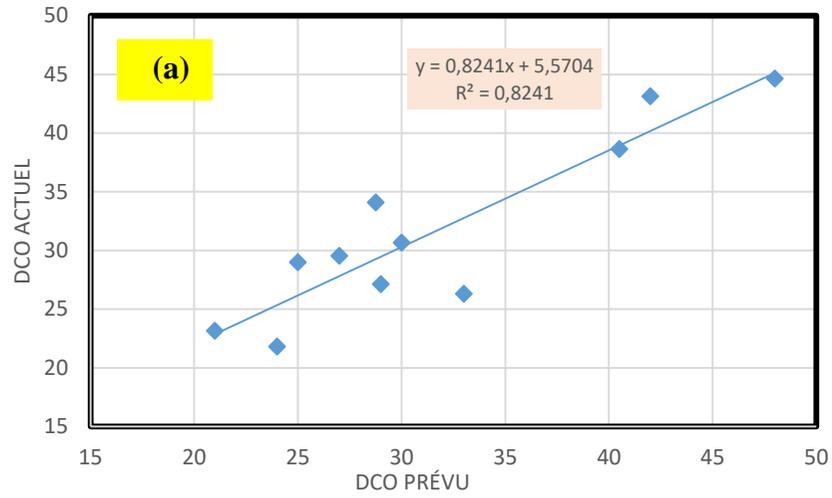
4.3.3.1. Validation du modèle :

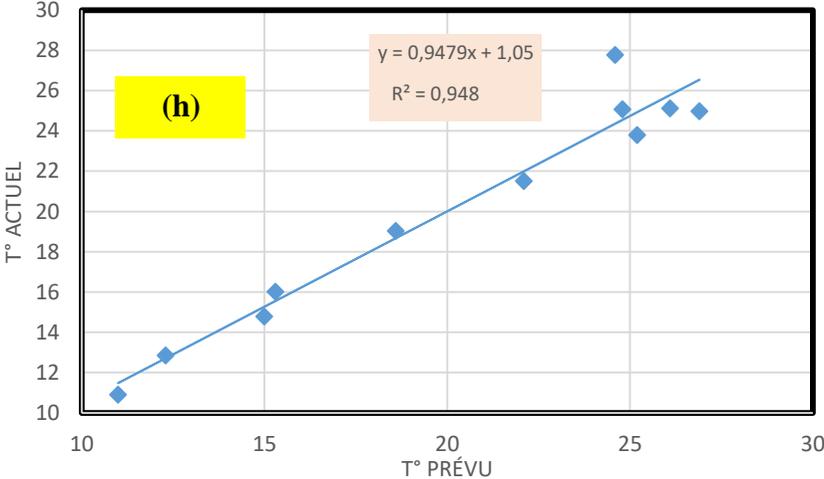
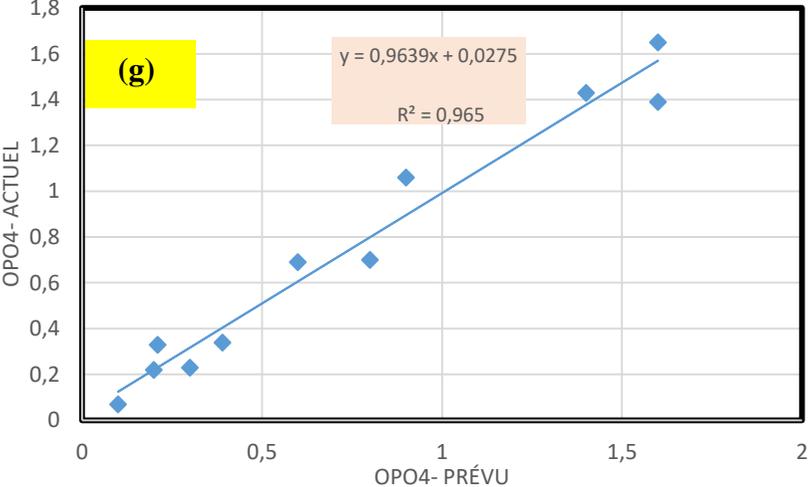
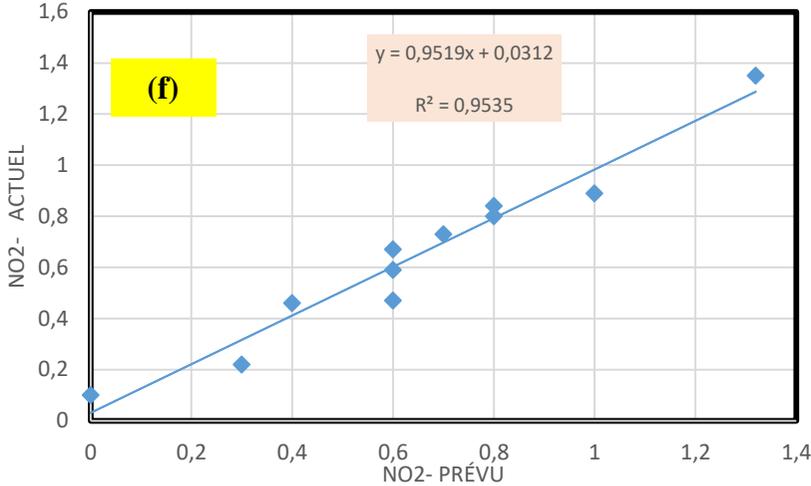
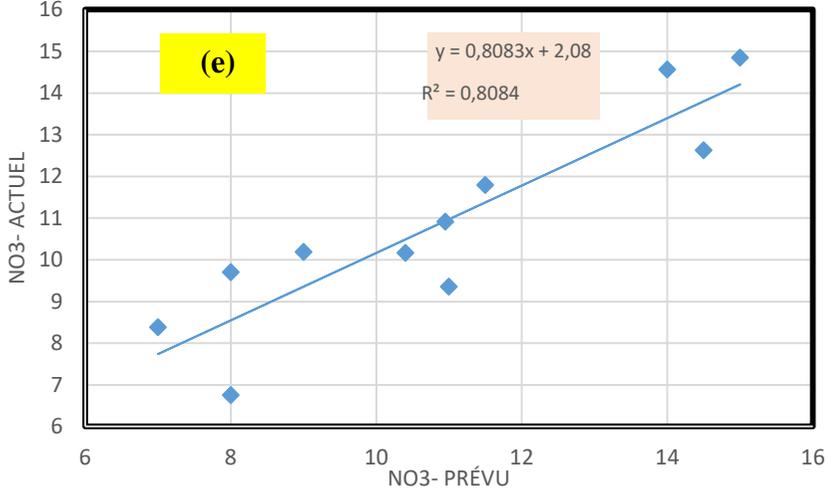
Le **Tableau 4.7** présente la comparaison des valeurs prévues avec ceux obtenus expérimentalement des 11 paramètres physicochimiques de la STEP de Guelma. Les résultats ainsi obtenus décrivent d'une manière satisfaisante ceux obtenus expérimentalement comme le montre la **Figure 4.16 (a-k)**.

Tableau 4.7 : Validation du modèle.

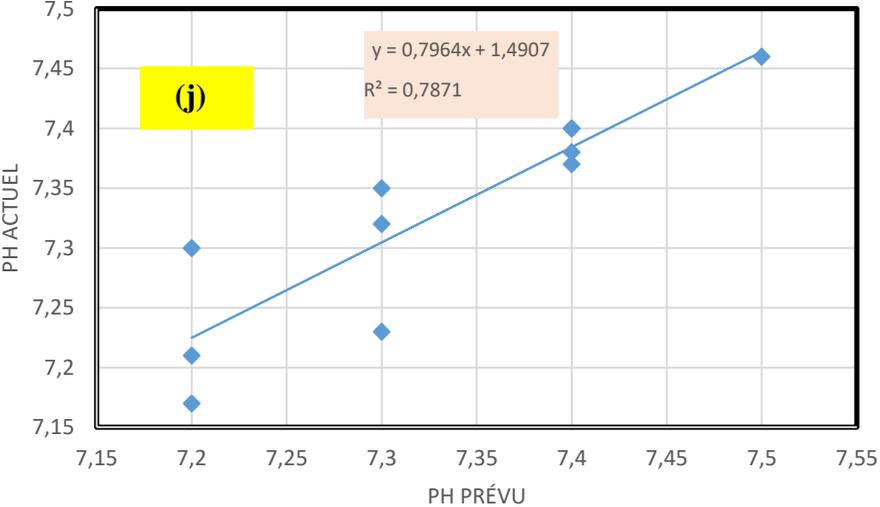
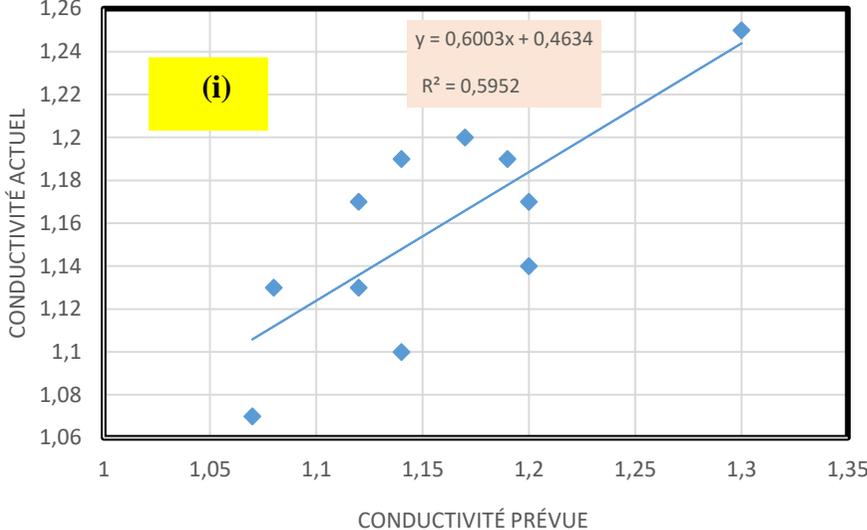
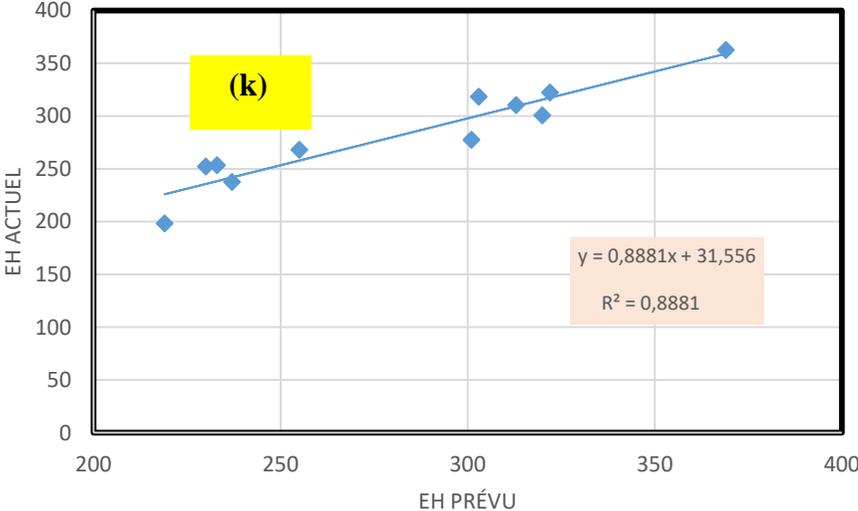
	DCO (mg/l)	DCO Prévu	DBO5 (mg/l)	DBO5 Prévu	MES (mg/l)	MES Prévu	NH4 (mg/l)	NH4 Prévu	NO3 (mg/l)	NO3 Prévu	NO2 (mg/l)	NO2 Prévu	OPO4 (mg/l)	OPO4 Prévu	T (°C)	T Prévu	PH	PH Prévu	Cond (S/cm)	Cond Prévu	EH (mV)	EH Prévu
Janvier	30	30,67	6	5,12	8	7,63	2	2,06	10,4	10,17	0,8	0,8	0,39	0,34	12,3	12,86	7,4	7,4	1,12	1,13	369	362,6 2
Février	27	29,55	20	22,68	7	7,3	3	1,98	11,5	11,8	1,32	1,35	0,21	0,33	11	10,91	7,3	7,32	1,3	1,25	313	310,6 3
Mars	21	23,18	24	20,81	15	13,84	3	3,52	11	9,36	0,7	0,73	0,1	0,07	15,3	16,02	7,4	7,4	1,14	1,19	219	198,3 4
Avril	33	26,33	20	19,3	10,5	11,05	2,5	3,03	9	10,19	1	0,89	0,3	0,23	15	14,79	7,4	7,37	1,17	1,2	233	253,4 9
Mai	24	21,82	15	14,69	10	11,14	4	5,26	8	6,76	0	0,1	0,2	0,22	26,9	24,98	7,5	7,46	1,07	1,07	230	252,2 8
Juin	29	27,14	17	18,49	10	9,07	8,5	5,88	7	8,39	0,3	0,22	0,6	0,69	24,6	27,78	7,4	7,38	1,14	1,1	301	277,6
Juillet	25	29,01	15	18,75	9	9,98	5	5,04	8	9,71	0,4	0,46	0,8	0,7	25,2	23,8	7,3	7,35	1,2	1,14	255	268,0 3
Août	28,75	34,1	17,4	16,35	10	8,76	4,9	5,24	10,95	10,92	0,6	0,47	0,9	1,06	26,1	25,13	7,2	7,3	1,08	1,13	320	300,8 3
Septem bre	40,5	38,66	21,5	18,77	7	7,55	3,9	5,23	14,5	12,63	0,6	0,67	1,6	1,39	24,8	25,07	7,3	7,23	1,12	1,17	303	318,3 2
Octobre	48	44,65	15	14,04	9	8,94	4	4,43	15	14,85	0,8	0,84	1,6	1,65	22,1	21,52	7,2	7,17	1,19	1,19	322	322,2 7
Novem bre	42	43,14	4,5	6,4	15,5	15,75	5	4,14	14	14,57	0,6	0,59	1,4	1,43	18,6	19,04	7,2	7,21	1,2	1,17	237	237,5 9

Chapitre IV : Résultats et discussion





Chapitre IV : Résultats et discussion



Par ailleurs, le **Tableau 4.8** illustre les valeurs obtenues des modèles des 4 composantes principales (CP₁, CP₂, CP₃ et CP₄) en fonction des différents paramètres de pollution mentionnés ci-dessous et le **Tableau 4.9** présente Coefficients de corrélation entre les variables et les 4 premières composantes (CP1, CP2, CP3 et CP4).

$$\text{CP}_1 = 23,0524302263909 + 3,46570741759567* \text{Cond} + -0,0239960817915854* \text{DBO5} + 0,0532226990264846* \text{DCO} + 0,00500415393078377* \text{EH} + -0,0307769829775364* \text{MES} + -0,0425839886304516* \text{NH4} + 0,776443339227849* \text{NO2} + 0,167342545445972* \text{NO3} + 0,716470877092337* \text{PO4} + -4,34540725229557* \text{PH} + -0,0146082593656449* \text{T} .$$

$$\text{CP}_2 = 12,2748407835732 + -4,9383721147743* \text{Cond} + -0,0216778972951248* \text{DBO5} + 0,0207743938693606* \text{DCO} + -0,000879506461544339* \text{EH} + 0,0292780042080492* \text{MES} + 0,239316950060157* \text{NH4} + -1,37100515848852* \text{NO2} + 0,0017994366876057* \text{NO3} + 0,61382474473169* \text{OPO4} + -1,27497970159419* \text{PH} + 0,0913279885630043* \text{T} .$$

$$\text{CP}_3 = 6,27637148283837 + 2,24771334515026* \text{Cond} + -0,0124533874087201* \text{DBO5} + 0,00710468586070913* \text{DCO} + -0,0125283801799229* \text{EH} + 0,258543156699916* \text{MES} + -0,0171089655708047* \text{NH4} + -0,0205493243550693* \text{NO2} + 0,0589125115260307* \text{NO3} + 0,0375484629375741* \text{OPO4} + -1,10498358367059* \text{PH} + -0,0230842141238533* \text{T} .$$

$$\text{CP}_4 = 5,44435338917143 + 4,235847065303* \text{Cond} + 0,136177025799063* \text{DBO5} + -0,00687749197102119* \text{DCO} + -0,00477238620820566* \text{EH} + -0,0515432516909369* \text{MES} + 0,131137114967183* \text{NH4} + 0,415216141231417* \text{NO2} + 0,0133448027356147* \text{NO3} + 0,150535617114771* \text{OPO4} + -1,68101887439064* \text{PH} + 0,0402898628517509* \text{T} .$$

Tableau 4.9 : Coefficients de corrélation entre les variables et les 4 premières composantes (CP1, CP2, CP3 et CP4).

Mois	CP1	CP2	CP3	CP4
Janvier	0,2071215024	-1,52486537	-1,506534075	-2,526149402
Février	0,9556900106	-3,332954958	-0,683802759	0,9325682325
Mars	-1,871984211	-1,390460593	1,8795279467	0,6015432431
Avril	-0,757585136	-1,785863893	0,6421872186	0,3168387179
Mai	-3,150491697	1,2434965432	-0,128927778	-0,621206258
Juin	-1,705785337	1,7226804966	-0,8139424	0,4114167141
Juillet	-0,899054838	0,7299649897	-0,143932755	0,5100659147
Août	0,2677957746	1,298807997	-0,707835117	0,2697631892
Septembre	1,6632968325	1,1341344749	-0,976108994	0,9536058251
Octobre	3,203250652	0,7585508816	-0,209028577	0,2817700197
Novembre	2,0877464478	1,1465094316	2,6483972879	-1,130216196

Conclusion :

A travers ces mesures, il est clair que le traitement des eaux usées à la STEP de Guelma est suffisant pour permettre d'abaisser les concentrations en polluants et d'atténuer donc le risque sanitaire à un niveau très acceptable.

En effet, les résultats obtenus par ces analyses au laboratoire sur ces différents paramètres physico-chimiques des eaux usées démontrent la conformité par rapport aux normes algériennes et la diminution de la concentration de l'ensemble de ces paramètres de l'entrée vers la sortie sauf les nitrates (phénomène de nitrification) ; qui croissent de l'entrée vers la sortie.

Ces résultats ont fait l'objet d'une Analyse en Composantes Principales dont l'objectif ultime est de faire une interprétation des résultats obtenus, de ressortir la corrélation existante entre les différents paramètres et la répartition des paramètres de pollution en groupe selon les mois. L'Analyse en Composantes Principales en utilisant les paramètres physico-chimiques sur l'ensemble des étapes de traitement des effluents la STEP de Guelma nous a permis de différencier la qualité de l'eau dans la station étudiée. La qualité de ces eaux varie en fonction de la saison et de l'étape de traitement.

Conclusion Générale

La réglementation algérienne en termes de rejet des STEP est devenue de plus en plus sévère, suite à une complexité des problèmes relatifs au dysfonctionnement biologique et la diversité des choix des options techniques qui peuvent être utilisées, dont les résultats sont très encourageants.

Notre étude a été axée sur le suivi de l'évolution mensuelle des effluents à l'entrée et à la sortie de la station d'étude (Guelma) à savoir les matières en suspension (MES), la demande biochimique en oxygène (DBO_5), la demande chimique en oxygène (DCO), les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-). En effet, les résultats obtenus par ces analyses au laboratoire sur ces différents paramètres physico-chimiques des eaux usées démontrent la conformité par rapport aux normes algériennes et la diminution de la concentration de l'ensemble de ces paramètres de l'entrée vers la sortie sauf les nitrates (phénomène de nitrification); qui croissent de l'entrée vers la sortie.

Afin d'évaluer les performances de fonctionnement de la station de Guelma et pour étudier l'aptitude de la biodégradabilité des effluents de la station de Guelma, on a calculé le rapport $\frac{DCO}{DBO_5}$ qui nous a montré que les effluents entrants dans la STEP sont biodégradables, $\frac{DCO}{DBO_5}$ est < 3.

Dans ce travail, on a également présenté l'analyse en composantes principales ACP comme une méthode de base en statistique exploratoire multidimensionnelle de manière à obtenir une représentation simple du nuage des données plus proche de la réalité dans un espace de dimension faible, permettant ainsi l'étude de la ressemblance entre les individus et la corrélation entre les variables. En utilisant les paramètres physico-chimiques sur l'ensemble des étapes de traitement des effluents la STEP de Guelma. L'Analyse en Composantes Principales nous a permis de différencier la qualité de l'eau qui varie en fonction de la saison et de l'étape de traitement dans la station étudiée.

A la croissance des eaux usées dans les prochaines années, une démarche pragmatique est nécessaire qui doit s'appuyer sur les données techniques recueillies dans le cadre d'une étude préalable, dont l'amélioration du fonctionnement des systèmes d'épuration passera par l'utilisation de la mesure en continu dans le contrôle, l'automatisation et la supervision des stations.

A travers ces mesures, il est clair que le traitement des eaux usées de la STEP de Guelma est suffisant pour permettre d'abaisser les concentrations en polluants et d'atténuer donc le

risque sanitaire à un niveau très acceptable. Cependant, il est nécessaire, pour évaluer d'avantage sa qualité de :

- Compléter les analyses physico-chimiques faites par le laboratoire de la station par des analyses microbiologiques, ainsi qu'un contrôle de la boue activée.
- Agrandir la STEP en la dotant d'un plus grand nombre de bassins d'aération afin de pallier l'impuissance du dispositif vis-à-vis de la grande charge polluante entrant quotidiennement dans la station.
- Suivre l'évolution des paramètres de l'eau rejetée par la station tout le long de son parcours au sein de oued seybose afin d'évaluer les conséquences de l'utilisation de ces eaux sur l'irrigation, sur l'environnement et la santé humaine et animale.

Références

- [1] S. Mouissi and H. Alayat, “Utilisation de l’ Analyse en Composantes Principales (ACP) pour la Caractérisation Physico- Chimique des Eaux d’ un Ecosystème Aquatique : Cas du Lac Oubéira (Extrême NE Algérien) Use of the Principal Component Analysis (PCA) for Physico-Chemical ,” vol. 7, no. 6, pp. 2214–2220, 2016.
- [2] W. Kherifi and H. Bousnoubra-Kherici, “Study of the influence of the physicochemical parameters on microbial abundance in various ambient conditions,” *Water Resour.*, vol. 43, no. 3, pp. 546–558, 2016, doi: 10.1134/S0097807816030180.
- [3] D. N. Abdoulaye, “Evaluation of levels in fecal coliforms by coupling with some physicochemical parameters in ACP: The case of the perimeter effluents from WWTP Maraicher from Sebkha,” *Nouakchott Cameroon J. Exp. Biol.*, vol. 7, 2011.
- [4] I. Chaouki *et al.*, “Application de l’ analyse en composantes principales (ACP) pour l’ évaluation de la qualité des eaux usées industrielles de Salam Gaz – Skhirat (Application of the principal component analysis (PCA) for the assessment of the wastewater industrial qu,” *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 455–464, 2015.
- [5] J. Gladitz, “Barnett, V. \& Lewis, T.: Outliers in Statistical Data, 2nd ed., John Wiley \& Sons, Chi-chester – New York – Brisbane – Toronto – Singapore, 1984, XIV, 463 S., 26 Abb., £ 29.95, ISBN 0471905070,” *Biometrical J.*, vol. 30, no. 7, pp. 866–867, 1988, doi: <https://doi.org/10.1002/bimj.4710300725>.
- [6] P. B. Aw S., N’GORAN E. B. Z., SIKA S., “Intérêt de l’ analyse multidimensionnelle pour l’ évaluation de la qualité physico-chimique de l’ eau d’ un système lacustre tropical : cas des lacs de Yamoussoukro (Côte d’ Ivoire),” *J. Appl. Biosci.*, vol. 38, pp. 2573–2585, 2011.
- [7] D. Malouche, “Cours Analyse des données : Analyse en Composantes Principales (ACP) Introduction et problématique Exemples de données ,” pp. 1–56, 2016.
- [8] F. Husson, S. Lê, and J. Pagès, “Analyse en Composantes Principales (ACP),” *Anal. données avec R*, pp. 27–28, 2016.