

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد تلمسان

Université Abou Bakr Belkaid - Tlemcen

Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique



MEMOIRE

Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de master en **Hydraulique**

Option : Hydraulique urbain

THEME

**Etude des performances épuratoires d'une station
d'épuration des eaux usées par la méthode d'analyse
des composantes principales (ACP), cas de station
d'épuration de complexe de Sebdou**

Soutenu le :

Présenté par :

✍ **M^{er} : MEZERAI Fayçal**

Devant les membres de jury :

Mme GUASMI IMAN

Président

Mme ABDELBAKI CHÉRIFA

Examineur

Mme LALLAM FAIZA

Encadreur

Mr BESSADIK MADANI

CO - Encadreur

Année universitaire : 2022/2023



Remerciements

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de mon mémoire. Je voudrais tout particulièrement remercier mes encadreurs madame LALAM FAIZA et Monsieur madani bessedik pour leur précieux soutien et leurs conseils avisés. Leur expertise a été d'une grande aide tout au long du processus.

Je tiens également à remercier les membres du jury madame GUASMI IMAN et madame ABDELBAKI CHÉRIFA pour leur temps et leur évaluation attentive de mon travail. Leurs commentaires constructifs m'ont permis d'améliorer la qualité de mon mémoire.

Enfin, je souhaite exprimer ma reconnaissance envers ma famille, mes amis et tous ceux qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de cette aventure. Leur soutien moral a été une source d'inspiration et de motivation.

Merci encore à tous pour votre contribution précieuse.

Dédicace

Je dédie ce travail :

A ma mère qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études.

Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes frères, mes grands-parents et Ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime

Résumé :

Notre mémoire porte sur la mise en œuvre de la méthode « Analyse en composantes principales, ACP » de l'analyse multi variée appliquées à la station d'épuration des eaux usées de l'usine textile SEBDOU. Cette étude est basée sur l'exploitation d'une série d'analyses physico-chimiques (datée de 2012 à 2020) effectuée sur quatre paramètres de pollution de l'eau (température, PH, DBO5 et DCO) à la sortie de cette STEP.

Notre modeste travail nous a permis de dégager les conclusions suivantes:

Tout d'abord, l'application de la méthode ACP s'adapte très bien à ce problème et donne un taux très acceptable de compression des informations.

Après, nous constatons une bonne corrélation linéaire entre les quatre paramètres sur toute la durée d'étude sauf pour le cas du paramètre « DCO » qui n'est pas corrélé avec les autres variables durant les années 2018 et 2019.

Mots clés : DENITEXT, SEBDOU, eaux usées, station d'épuration, Analyse en composantes principales, température, DBO5, DCO, PH.

Abstract:

Our dissertation deals with the implementation of the method "Principal Component Analysis, PCA" of the multivariate analysis applied to the wastewater treatment plant of the textile factory SEBDOU. This study is based on the exploitation of a series of physico-chemical analyses (dated from 2012 to 2020) carried out on four parameters of water pollution (temperature, PH, BOD5 and COD) at the outlet of this WWTP.

Our modest work has allowed us to draw the following conclusions:

First of all, the application of the PCA method adapts very well to this problem and gives a very acceptable rate of information compression.

After, we find a good linear correlation between the four parameters over the entire study period except for the case of the parameter "COD" which is not correlated with the other variables during the years 2018 and 2019.

Key words: DENITEXT, SEBDOU, wastewater, wastewater treatment plant, principal component analysis, temperature, BOD5, COD, PH.

الملخص:

تتناول دراستنا تنفيذ "طريقة تحليل المكونات الرئيسية، ACP" للتحليل المتعدد المتغيرات المطبقة على محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمصنع النسيج سبدو. تستند هذه الدراسة إلى استخدام سلسلة من التحاليل الفيزيوكيميائية (من عام 2012 إلى 2020) التي تم إجراؤها على أربعة معايير تلوث المياه (درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني و BOD5 و DCO) عند مخرج محطة معالجة مياه الصرف الصحي هذه.

عملنا المتواضع سمح لنا بالوصول إلى الاستنتاجات التالية:

أولاً، تتكيف طريقة ACP بشكل جيد جداً مع هذه المشكلة وتوفر معدل ضغط للمعلومات قابل للقبول جداً.

علاوة على ذلك، نلاحظ وجود ارتباط خطي جيد بين العوامل الأربعة طوال فترة الدراسة، باستثناء المعامل "DCO" الذي لا يترابط مع المتغيرات الأخرى خلال السنوات 2018 و 2019.

الكلمات المفتاحية: DENITE XT، سبدو، مياه الصرف الصحي، محطة معالجة مياه الصرف الصحي، تحليل المكونات الرئيسية، درجة الحرارة، BOD5، DCO، الرقم الهيدروجيني (PH)

Table de matières

Remerciements

Dédicace

Résumé

Table de matières

LISTE DE FIGURE

LISTE TABLEAUX

Liste des Abréviations

Introduction générale.....	2
Chapitre I Généralités sur les eaux usées industrielles	5
I.1. Définition	5
I.2. Différents types de polluants.....	6
I.2.1 La pollution physique	6
I.2.2 La pollution mécanique.....	6
I.2.3 La pollution thermique.....	6
I.2.4 La pollution radioactive	6
I.2.5 La pollution chimique	7
I.2.6 Pollution organique.....	7
I.2.7 Pollution minérale	8
I.2.8 Pollution azotée	8
I.2.9 Pollution phosphorée	8
I.2.10 La pollution microbiologique	8
I.3. Origine de la pollution des eaux usées industrielles	9
I.3.1 Eaux des circuits de refroidissement	9
I.3.2 Eaux de lavage des sols et machines	9
I.3.3 Eaux de fabrication	9
I.4. Les eaux usées de l'industrie textile	9
I.4.1. Introduction	9

I.4.2. Les colorants textiles	10
I.4.3. Impact des rejets de l'industrie textile sur l'environnement	16
I.4.4. Législation sur L'environnement	18
Chapitre II Procédés de traitement des eaux usées de l'industrie textile	21
II.1.Introduction.....	21
II.2.Le prétraitement	21
II.3.Procédés physiques	22
II.3.1 Coagulation/floculation	22
II.3.2 Adsorption sur charbon actif	24
II.4.Procédés biologiques	24
II.5.Le traitement de clarification et désinfection	26
II.6.Le traitement des boues	27
II.7.Les paramètres de mesure de la pollution des eaux résiduaires	28
II.7.1. Les paramètres physiques	28
II.7.2. Les paramètres chimiques	29
II.8.Conclusion	29
Chapitre III Présentation et description du Complexe textile de Sebdou	32
III.1 Situation géographique.....	32
III.2 Caractéristiques du complexe	32
III.3 Types de pollution générées par le complexe	33
III.3.1 Pollution industrielle	33
III.3.2 Pollution biologique	33
III.4 Caractéristiques de la STEP du complexe	33
III.4.1 Situation géographique de la STEP par rapport du complexe	33
III.4.2 Description des étapes de traitement	35
CHAPITRE IV Analyse en composantes principales.....	53
IV.1. Introduction	53
IV.2. Concepts et terminologies	54
IV.2.1. Condition d'application de l'ACP	55

IV.2.2. Définitions	57
IV.2.3. Le principe de l'ACP	57
IV.2.4. La solution du problème	59
IV.2.5. Paramètres et propriétés	60
IV.3. Conclusion	64
CHAPITRE V APPLICATION DE L'ACP	66
V.1. Introduction	66
V.2. Résultats et discussion	66
V.3. Conclusion	78
Conclusion générale	80
Bibliographie	83

LISTE DE FIGURE

Figure I.1 : Exemple de colorant anthraquinonique	12
Figure I.2 : Exemple de colorant indigoïdes	12
Figure I.3 : Exemple de colorant xanthènes	13
Figure I.4 : Exemple de colorant nitré	13
Figure I.5 : Colorant Azoïque insoluble	16
Figure I.6 : Conséquences de la bio-accumulation après déversement de substances toxiques (insecticides) dans un cours d'eau	18
Figure II.1 : Un DBO mètre	29
La figure III.1 donne un schéma général de la filière de traitement utilisée dans cette STEP	34
Figure III.2 : Bassin de collecte des eaux usées industrielles	35
Figure III.3 : Photo du bassin de collecte des eaux usées sanitaires	37
Figure III.4 : Photo du bassin de mélange et d'égalisation N°1	39
Figure III.5 : Photo du flocculateur clarificateur	42
Figure III.6 : Photo du bassin de mélange et de neutralisation et d'égalisation N°2	43
Figure III.7 : Photo du bassin biologique (bassin d'aération)	45
Figure III.8 : Photo du bassin de clarification finale	47
Figure III.9 : Photo de la station de recyclage de boues	48
Figure III.10 : Photo du bassin de post chloration	49
Figure III.11 : Photo de l'épaississeur des boues	50
Figure III.12 : Photo de la presse tamiseuse	51
FigureIV.1 : Extrait de l'article de Pearson de 1901 sur la recherche de la « droite du meilleur ajustement ».	53
Figure IV.2 : le concept de l'ACP	54
Figure IV.3 : Meilleure approximation des données par projection.	55
Figure IV.4 : représentation de deux variables en fonction de leurs unités.	56
Figure IV.5 : Normalisation des données.	56
Figure IV.6 : Le principe de l'ACP	58

Figure IV.7 : la qualité de représentation d'un individu par rapport à un axe principale	61
Figure IV.8 : Cercle de corrélation.	63
Figure 9 : éboulis des valeurs propres.	64
Figure V.1 : le cercle de corrélation de l'année 2012.	68
Figure V.2 : le cercle de corrélation de l'année 2013.	69
Figure V.3 : le cercle de corrélation de l'année 2014.	70
Figure V.4 : le cercle de corrélation de l'année 2015.	72
Figure V.5 : le cercle de corrélation de l'année 2016.	73
Figure V.6 : le cercle de corrélation de l'année 2017.	74
Figure V.7 : le cercle de corrélation de l'année 2018.	75
Figure V.8 : le cercle de corrélation de l'année 2019.	76
Figure V.9 : le cercle de corrélation de l'année 2020.	78

LISTE TABLEAUX

Tableau I.1: Principaux groupes chromophores et auxochromes classés par intensité croissante	11
Tableau I.2 : Limites des valeurs des paramètres de rejets d'effluents textiles	19
Tableau II.1 : expose les principaux bénéfices et désavantages des procédés de purification des eaux usées de l'industrie textile	25
Tableau IV.1: tableau des données.	55
Tableau IV.2 : donnée de trois variables centrées réduites.	57
Tableau 3: Les composantes principales.	60
Tableau IV.4 : la corrélation entre les variables et les composantes principales.	62
Tableau V.1 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2012.	66
Tableau V.2: La qualité d'estimation des axes de l'année 2013.	68
Tableau V.3: La qualité d'estimation des axes de l'année 2014.	70
Tableau V.4 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2015.	71
Tableau V.5 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2016.	72
Tableau V.6 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2017.	73
Tableau V.7 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2018.	75
Tableau V.8 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2019.	76
Tableau V.9 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2020.	77

Liste des Abréviations

DBO5	Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours (mg/l).
DCO	Demande Chimique en Oxygène (mg/l)
STEP	Station d'Épuration
DENITEXT	DENI-DENIM.TEX-TEXTILE
SPA	Sociétés par action
T	Température
PH	Potentiel d'hydrogène
KMnO4	Permanganate de potassium
H2SO4	Acide sulfurique
Hg	Mercure
Cr	Chrome
Ti	Titane
Cu	Cuivre
Co	Cobalt
Pb	Plomb
Zn	Zinc
NH3	Ammoniac
NH4+	Ammonium
NO2-	Dioxyde d'azote
NO3-	Nitrate

Introduction général e

Introduction générale :

L'eau, essentielle à la vie, est une ressource très recherchée. Ainsi, les collectivités locales sont contraintes de prendre en compte cette ressource dans leurs plans d'aménagement et d'amélioration des structures d'épuration existantes.

La pollution de l'eau est la détérioration physique, chimique, biologique ou bactériologique de ses qualités naturelles, causée par l'homme et ses activités. Elle affecte les conditions de vie de la flore et de la faune aquatiques [30].

Dans l'industrie textile en particulier, les eaux résiduaires sont l'une des plus importantes causes de pollution des eaux de surface et des nappes souterraines, Notamment vis-à-vis les terres agricoles, en termes de qualité de la récolte agricole [31].

L'industrie textile est l'une des industries la plus consommatrice en eau et génère des rejets composés de molécules organiques récalcitrantes qui présentent généralement des problèmes de couleur, des concentrations élevées de DCO, de DBO5 et de solides en suspension, ainsi qu'une toxicité et une conductivité élevées [32].

Les rejets de l'industrie textile provoquent d'énormes nuisances pour la santé humaine et l'environnement. En effet, les différents colorants utilisés causent de sérieux problèmes à cause de leur stabilité et de leur faible biodégradabilité. Ainsi, il est nécessaire de traiter ces rejets avant de les déverser dans le réseau d'assainissement [33].

L'objectif de ce travail consiste à utiliser la méthode en composantes principales (ACP) pour analyser les performances d'une station d'épuration des eaux usées du complexe textile DENITEXT de Sebdou situé dans la wilaya de Tlemcen (Ouest d'Algérie). Le but est d'analyser les performances de la STEP en termes de décontamination des effluents à travers plusieurs séries de mesures de paramètres indicateurs de pollution.

Pour faire ce travail, nous avons structuré notre mémoire en cinq chapitres :

- Le premier chapitre donne des généralités sur les eaux usées industrielles où nous avons décrit les différents types de polluants qui s'y trouvent (pollution physique, chimique et microbiologique), ainsi que leurs origines.
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons l'ensemble des procédés appliqués pour le traitement des eaux usées industrielle.
- Le troisième chapitre est consacré à la description du complexe textile DENITEXT de Sebdou et le fonctionnement de sa STEP.
- Le quatrième chapitre expose la méthode « Analyse en composantes principales « ACP » après un bref historique en partant du principe, en passant par les différentes étapes, ainsi que l'application de l'ACP pour la régression et la classification de données.
- Dans le cinquième chapitre nous présenterons la simulation de la technique ACP sur une série des données et nous exposerons les résultats obtenus.

En fin, nous achèverons ce manuscrit par une conclusion générale qui résumera les principaux résultats obtenus, ainsi que les perspectives envisagées pour d'éventuelles améliorations.

Chapitre I

Généralités sur les eaux usées industrielles

Chapitre I
Généralités sur les eaux usées industrielles

I.1. Définition :

Les eaux usées d'origine industrielle, commerciale, artisanale ou de services, ainsi que les eaux de refroidissement de pompes à chaleur et de climatisation, sont considérées comme des eaux usées industrielles. Avant d'être rejetées dans le réseau public, ces eaux doivent être traitées de manière appropriée en fonction de leur nature, afin de préserver l'environnement récepteur [3].

Les eaux résiduaires industrielles sont d'une grande variété, certaines pouvant être toxiques pour la faune et la flore aquatiques, ainsi que pour les humains. Il est important de distinguer entre les eaux résiduaires et les liquides résiduaires provenant de certaines industries. Les eaux résiduaires sont celles qui ont été utilisées dans des circuits de réfrigération, pour nettoyer des machines, des matières premières ou des produits finis, ou pour capturer des poussières de fumée. Elles peuvent contenir des produits chimiques utilisés lors du processus de fabrication. Les liquides résiduaires, quant à eux, sont des liquides produits lors de la fabrication, tels que des solutions de produits chimiques ou de sous-produits, ou des liquides acides provenant du décapage des métaux. Certaines usines ont encore tendance à mélanger ces deux types de liquides, ce qui produit des liquides très chargés et difficiles à traiter de manière économiquement viable [4].

La composition des eaux usées industrielles dépend de l'activité industrielle, qui peut être classée en neuf secteurs selon la classification SIC (Standard Industrial Classification) [3]:

- ✓ Les fabriques de pâtes et papiers ;
- ✓ Les raffineries de pétrole ;
- ✓ Les industries de la métallurgie primaire ;
- ✓ Les industries chimiques (organiques et inorganiques, à l'exception des raffineries de pétrole) ;
- ✓ Les industries de transformation des métaux (métallurgie secondaire, machines, équipements électroniques, matériel de transport, instruments de mesure, etc.) ;
- ✓ Les industries agro-alimentaires ;
- ✓ Les industries textiles et de l'habillement ;

- ✓ Les industries de transformation du bois (scieries, fabrication de meubles, etc.) ;
- ✓ Les industries diverses qui ne sont pas classées dans les secteurs précédents, comme la transformation de la pierre, de l'argile, de l'imprimerie, etc..

I.2. Différents types de polluants :

I.2.1 La pollution physique :

Ce type de pollution résulte de la présence d'agents physiques (c'est-à-dire tout élément solide transporté par l'eau) et provient principalement de sources domestiques et industrielles. On peut la classer en trois types : mécanique, thermique et radioactive [5].

I.2.2 La pollution mécanique :

Cette pollution est causée par les déchets et les particules solides qui sont déversés dans les ERI et emportés par les eaux de ruissellement. Ces polluants peuvent être des éléments grossiers, du sable ou des matières en suspension telles que les MES [5].

I.2.3 La pollution thermique :

Les installations industrielles telles que les centrales thermiques, les raffineries, les aciéries et les centrales nucléaires utilisent un circuit de refroidissement qui rejette de l'eau à une température élevée, généralement entre 70 et 80°C. Cette température diminue lorsqu'elle entre en contact avec l'eau des milieux aquatiques, entraînant un réchauffement de l'eau qui peut affecter la solubilité de l'oxygène. Les organismes aquatiques sont également sensibles à tout changement de température. Une baisse significative de la température ralentit la plupart des réactions chimiques vitales, voire les arrête, tandis qu'une augmentation peut tuer certaines espèces et favoriser le développement d'autres, entraînant ainsi un déséquilibre écologique [5].

I.2.4 La pollution radioactive :

Cette forme de pollution est causée par une éventuelle présence de radioactivité dans les rejets issus de l'utilisation de l'énergie nucléaire, sous toutes ses formes (centrales nucléaires, installations d'exploitation de mines d'uranium, traitement des déchets radioactifs). Les éléments radioactifs se fixent aux molécules des organismes vivants, et leur toxicité augmente au fur et à mesure

qu'on monte dans la chaîne alimentaire, les organismes supérieurs étant plus sensibles aux radiations [5].

I.2.5 La pollution chimique :

Elle est due aux déversements de produits chimiques, principalement issus de l'industrie. La pollution chimique des eaux peut être classée en deux catégories :

- ✓ Organique (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols...)
- ✓ Minérale (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...) [6].

I.2.6 Pollution organique :

Il s'agit des eaux usées produites par les industries agroalimentaires, telles que les laiteries, les abattoirs et les sucreries, contenant des matières organiques facilement dégradables. Ces eaux usées consomment l'oxygène dissous dans les cours d'eau, provoquant l'asphyxie des poissons et la formation de dépôts de matières organiques au fond de la rivière. Les processus de fermentation anaérobie qui en résultent sont responsables de nuisances olfactives [6].

➤ Hydrocarbures :

Les hydrocarbures sont une source importante de pollution qui provient de différentes activités telles que l'extraction de pétrole, le transport et l'utilisation de carburants et de lubrifiants. Les rejets de navires peuvent également causer des marées noires. Les effets de cette pollution sur l'environnement marin sont importants et dépendent de la composition des hydrocarbures. Les effets peuvent se manifester de différentes manières et peuvent avoir des conséquences graves sur la faune et la flore marines [6].

➤ Phénols :

Les phénols sont des composés hydroxylés du benzène que l'on retrouve dans l'eau à cause de la pollution industrielle (usines chimiques, cokeries, raffineries...), mais aussi à cause de la décomposition de matières végétales et de pesticides. Bien qu'ils soient biodégradables, les phénols peuvent être dangereux pour les poissons qui les accumulent jusqu'à 30 mg/kg, les rendant impropres à la consommation. En plus de leur mauvais goût persistant, leur présence peut être marquée de chlorophénol lorsque de l'eau chlorée est utilisée. Heureusement, les phénols peuvent être éliminés des eaux usées par différents moyens, tels que

l'extraction liquide-liquide, l'oxydation par le chlore ou l'ozone, ou encore le traitement biologique [6].

I.2.7 Pollution minérale :

➤ Métaux lourds :

Les métaux lourds présents dans l'eau, l'air et donc dans la chaîne alimentaire, sont un problème majeur en matière de pollution. Selon leur toxicité spécifique, les métaux sont classés dans l'ordre décroissant suivant : Hg < Cr < Ti < Cu < Co < Ni < Pb < Zn. Les organismes vivants ont la capacité de métaboliser et de concentrer les métaux lourds, ce qui les rend plus toxiques en se propageant dans la chaîne alimentaire. Cette pollution est irréversible et préoccupante, car il est impossible de récupérer les métaux lourds une fois qu'ils ont été dispersés dans la nature [6].

I.2.8 Pollution azotée :

Les industries ont la capacité de rejeter dans l'environnement des quantités variables d'azote, élément nutritif, qui provient de la production d'engrais, de la chimie, des cokeries et de l'agroalimentaire [4]. L'azote existe sous différentes formes, notamment la forme réduite qui inclut l'azote ammoniacal (NH₃ ou NH₄⁺) et l'azote organique (protéine, créatine, acide urique), ainsi qu'une forme oxydée en ions nitrites (NO₂⁻) et nitrates (NO₃⁻) [5].

I.2.9 Pollution phosphorée :

Les activités industrielles telles que le traitement de surfaces des métaux, les laverie industrielles et la fabrication d'engrais agroalimentaires sont une source potentielle de pollution par le phosphore [7]. Le phosphore est également un élément nutritif, comme l'azote, qui peut entraîner une eutrophisation des milieux aquatiques, provoquant la prolifération excessive d'algues et de plancton [5].

I.2.10 La pollution microbiologique :

La présence de microorganismes pathogènes tels que des virus, des bactéries ou des parasites dans l'eau peut entraîner des risques sanitaires pour l'homme. Cela a un impact sur les usages possibles de l'eau, qu'il s'agisse d'une utilisation domestique ou industrielle [8].

I.3. Origine de la pollution des eaux usées industrielles :

Selon l'utilisation de l'eau dans l'usine, nous distinguons trois types des eaux résiduaires industrielles :

I.3.1 Eaux des circuits de refroidissement :

Les eaux qui ne sont pas en contact avec les produits utilisés dans l'usine sont souvent très abondantes et peu polluées. Elles peuvent être recyclées, mais le problème de pollution se pose lorsqu'il y a des rejets des purges des circuits d'eau de refroidissement. Ces rejets peuvent être très minéralisés et contenir des produits chimiques utilisés pour le traitement de l'eau, ce qui peut poser un risque pour l'environnement [8].

I.3.2 Eaux de lavage des sols et machines :

La qualité et la quantité de ces eaux sont très instables. Elles peuvent contenir des matières premières ou des liquides de fabrication, des hydrocarbures, des huiles de machines, des produits détergents, etc. Cette pollution est souvent plus importante en fin de période de travail et lors des opérations de nettoyage. [8]

I.3.3 Eaux de fabrication :

Les eaux issues des industries présentent une grande variabilité de composition. Les procédés industriels entraînent des rejets polluants dus au contact de l'eau avec des solides, des liquides ou des gaz. Dans certaines industries telles que l'industrie alimentaire, chimique ou textile, la pollution se présente sous forme dissoute, pouvant être biodégradable, mais parfois contenant des produits toxiques qui masquent la valeur réelle de la pollution biodégradable. Les rejets polluants peuvent être continus ou discontinus et leur production peut être saisonnière, par exemple pendant la campagne de production dans l'industrie agroalimentaire, comme c'est le cas dans l'industrie du sucre. [8]

I.4. Les eaux usées de l'industrie textile

I.4.1. Introduction :

Les colorants synthétiques font partie d'un groupe important de composés chimiques organiques qui sont omniprésents dans notre vie quotidienne.

On estime que la production mondiale de colorants s'élève à 700 000 tonnes par an, dont 140 000 tonnes sont rejetées dans les effluents au cours des différentes

étapes de production et d'application [9]. Ces rejets contiennent des surfactants, des composés biocides, des suspensions solides, des agents de dispersion et de mouillage, des colorants et des métaux traces, et sont toxiques pour la plupart des organismes vivants. La composition hétérogène des rejets rend difficile, voire pratiquement impossible, l'atteinte de seuils de pollution conformes aux normes environnementales, même après traitement par des techniques traditionnelles [9].

I.4.2. Les colorants textiles :

I.4.2.1 Généralités :

Les colorants sont des substances colorées capables de se fixer sur un support. La coloration est déterminée par la composition chimique des différentes substances. Les colorants sont des composés organiques comportant trois groupes essentiels dans leurs molécules : le chromophore, l'auxochrome et la matrice. Le chromophore est le site actif du colorant, il est constitué de groupes d'atomes absorbant l'énergie lumineuse tels que le nitro ($-\text{NO}_2$), l'azo ($-\text{N}=\text{N}-$), le nitroso ($-\text{N}=\text{O}$), le thiocarbonyl ($-\text{C}=\text{S}$), le carbonyl ($-\text{C}=\text{O}$), ainsi que les alcènes ($-\text{C}=\text{C}-$) [10].

Pendant longtemps, les colorants ont été extraits de sources naturelles telles que des plantes, des animaux ou des minéraux. Cependant, ce processus était coûteux et fastidieux, et les résultats n'étaient pas toujours reproductibles. Toutefois, au milieu du XIX^{ème} siècle, l'industrie des colorants a connu un tournant avec l'introduction des premiers colorants synthétiques. Depuis lors, l'industrie des colorants a connu une évolution étroitement liée au développement de la chimie et de la teinture synthétique. Ainsi, un colorant est défini comme une substance possédant deux propriétés spécifiques : une couleur et une aptitude à se fixer sur un support tel qu'un textile.

L'industrie des colorants est un marché économique considérable en raison de la variété de produits industriels qui peuvent être colorés. Voici les principales industries qui utilisent les colorants :

- ✓ L'industrie textile, fourrure et cuir, pour les textiles à usage vestimentaire, de décoration du bâtiment, du transport, les textiles à usage médical, etc.
- ✓ L'industrie des matières plastiques, pour les pigments.
- ✓ L'industrie du bâtiment, pour les peintures (pigments), les matériaux de construction, les céramiques, etc.
- ✓ L'imprimerie, pour les encres et le papier.
- ✓ L'industrie pharmaceutique, pour les colorants.

- ✓ L'industrie des cosmétiques, pour les colorations capillaires et autres produits cosmétiques.
- ✓ L'industrie agroalimentaire, pour les colorants et les additifs alimentaires.

Depuis les temps les plus anciens, les textiles ont été teints en utilisant uniquement des colorants naturels. Cependant, ces composés ont presque entièrement été remplacés par des colorants synthétiques. La teinture des textiles implique l'absorption et la diffusion de colorants dans les fibres textiles, suivies de leur fixation à l'intérieur de celles-ci [11].

I.4.2.2 Classification :

Chaque colorant présent dans l'index des couleurs est identifié par un numéro de référence. Dans l'industrie textile, les méthodes de classification des colorants synthétiques se basent principalement sur leur structure chimique et leur application sur différents substrats tels que les textiles, le cuir et les matières plastiques. Les chromophores sont les groupes fonctionnels responsables de la couleur du colorant tandis que les auxochromes sont les groupes fonctionnels qui facilitent la fixation du colorant [11].

Tableau I.1 : Principaux groupes chromophores et auxochromes classés par intensité croissante [12]

Groupes chromophores	Groupe auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH ₂)
Nitroso (-NO ou -N-OH)	Méthylamino (-NHCH ₃)
Carbonyl (=C=O)	Diméthylamino (-N(CH ₃) ₂)
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyl (-HO)
Nitro (-NO ₂ ou =NO-OH)	Alkoxy (-OR)
Sulfure (>C=S)	Groupes donneurs d'électrons

A. Classification chimique :

- **Les colorants anthraquinoniques :** sont des colorants commercialement importants, ayant un noyau quinonique comme chromophore et pouvant être modifiés avec des groupes hydroxyles ou amino.

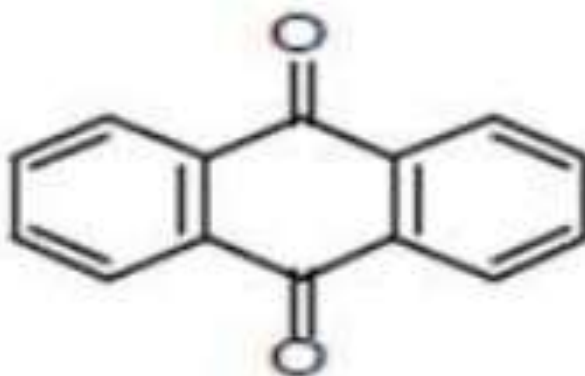


Figure I.1 : Exemple de colorant anthraquinonique

- **Les colorants indigoïdes :** comme leur nom l'indique, sont dérivés de l'indigo. Les différents homologues sélénié, soufré et oxygéné de ce colorant bleu présentent des propriétés hypsochromes marquées et peuvent ainsi produire des couleurs allant de l'orange au turquoise.

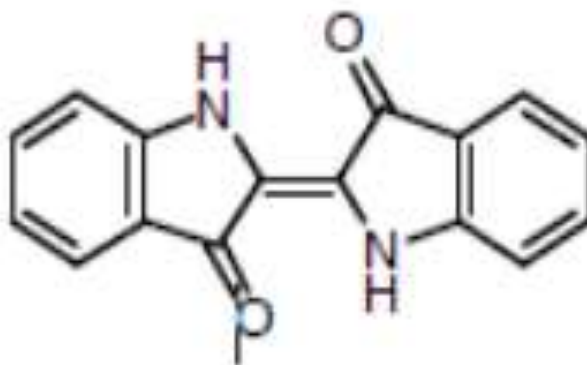


Figure I.2 : Exemple de colorant indigoïdes

- **Les colorants des xanthènes :** dont la fluorescéine est le composé le plus célèbre, présentent une fluorescence intense. Bien qu'ils ne soient pas beaucoup utilisés pour la teinture, leur capacité à servir de marqueurs en cas d'accident maritime ou de traceurs d'écoulement pour les rivières souterraines est bien établie.

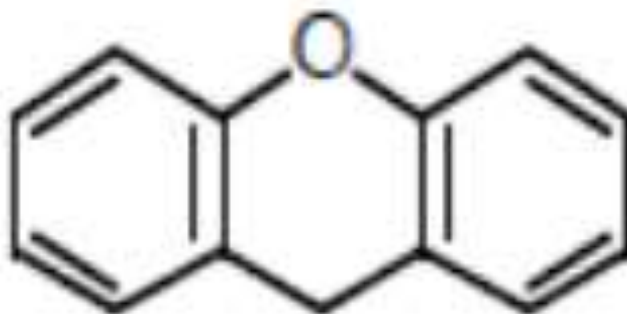


Figure I.3 : Exemple de colorant xanthènes

- **Les phtalocyanines** : sont un groupe de colorants obtenus à partir d'une structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. Pour les obtenir, on utilise la réaction du dicyano-benzène en présence d'un halogénure métallique comme le cuivre, le nickel, le cobalt ou le platine.
- **Les colorants nitrosés et nitrés** : sont une catégorie restreinte et ancienne de colorants, caractérisée par la présence d'un groupe nitro (-NO₂) en position ortho par rapport à un groupement électro-donneur tel que l'hydroxyle ou un groupe aminé. Malgré leur faible nombre, ces colorants sont encore utilisés de nos jours en raison de leur coût peu élevé, lié à la simplicité de leur structure moléculaire.

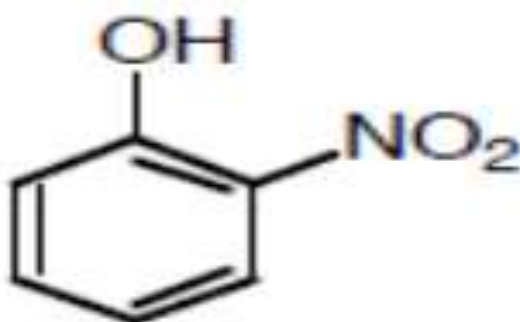


Figure I.4 : Exemple de colorant nitré

B. Classification tinctoriale (ou par domaine d'application)

Bien que la classification chimique soit utile pour les fabricants de colorants, les teinturiers préfèrent souvent une classification basée sur les domaines d'application. Cette classification leur permet de mieux comprendre la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les différentes

fibres et le type de fixation nécessaire. Les teinturiers sont également conscients que la force de la liaison entre le colorant et le substrat peut varier en fonction du type de liaison, que ce soit ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente.

On distingue différents types tinctoriaux définies cette fois par les auxochromes.

- ❖ **Les colorants acides ou anioniques** : sont nommés ainsi car ils sont solubles dans l'eau grâce à leurs groupes acides sulfoniques ou carboxyliques. Ils permettent de teindre les fibres animales telles que la laine et la soie, ainsi que certaines fibres acryliques modifiées telles que le nylon et le polyamide, dans un bain légèrement acide. L'affinité entre le colorant et la fibre est due aux liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupes amino des fibres textiles.
- ❖ **Les colorants basiques ou cationiques** : sont caractérisés par leur solubilité dans l'eau grâce à leur nature de sels d'amines organiques. Ces colorants sont capables de former des liaisons avec les sites anioniques des fibres textiles. Bien que leur utilisation dans la teinture de la laine et de la soie soit en déclin, leur popularité a augmenté avec l'introduction de fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent d'obtenir des nuances très brillantes et durables.
- ❖ **Les colorants de cuve** : Les colorants les plus anciennement connus sont basés sur une technique de teinture particulière. Leur utilisation implique une réduction de la matière colorante à l'état incolore, en milieu alcalin dans une cuve. Cette technique explique pourquoi ces colorants sont appelés « colorants de cuve ». Le dérivé incolore ainsi obtenu présente une grande affinité pour les fibres textiles, ce qui permet de les imprégner facilement. Une fois les fibres imprégnées, elles sont laissées à l'air libre et leur « -dérivé se réoxyde lentement, régénérant ainsi le colorant. Ce dernier est emprisonné au sein de la fibre et devient insoluble, donnant des teintures très solides. L'indigo est un exemple bien connu de ce type de colorant.

Les colorants de cuve sont souvent déviser en plusieurs groupe :

- **Indigoïdes** : Ce groupe doit son nom à l'indigo. Tous les indigoïdes présentent la même disposition de groupement d'atomes entre deux noyaux hétérocycliques.
- **Anthraquinoniques** : Dérivé d'un hydrocarbure (l'anthracène constitué de trois noyaux benzéniques accolés), c'est le plus important sous-groupe de colorants de cuve.
- **Au soufre** : Même principe de préparation : action du soufre ou du sulfure de sodium sur diverses molécules organiques, d'où leur nom d'origine
- **Phtalocyanines** : Assimilables aux colorants de cuve, ils s'en différencient par leur application en milieu neutre [10].
- **Les colorants directs** : sont caractérisés par leur capacité à former des charges électrostatiques positives ou négatives, qui sont attirées par les charges des fibres textiles. Contrairement à d'autres types de colorants, ils peuvent être utilisés sans l'ajout d'un mordant pour fixer la couleur. Cette propriété est due à la structure plate de leur molécule, qui leur permet de se lier facilement aux fibres cellulosiques.
- **Les colorants à mordants** : Contiennent souvent un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel de métaux tels que l'aluminium, le chrome, le cobalt, le cuivre, le nickel ou le fer pour donner différents complexes colorés avec le textile.
- **Les colorants réactifs** : contiennent généralement des groupes chromophores provenant des familles azoïque, anthraquinonique et phtalocyanine. Leur nom fait référence à la présence d'une fonction chimique réactive, telle que la triazine, qui permet la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres textiles. Ces colorants, solubles dans l'eau, sont de plus en plus utilisés pour la teinture du coton ainsi que pour la laine et les polyamides.
- **Les colorants développés ou azoïques insolubles** : ont produits directement sur la fibre textile. Dans un premier temps, le textile est imprégné d'une solution de naphthol ou de copulant. Ensuite, des précurseurs moléculaires suffisamment petits pour pénétrer dans les fibres et les pores sont traités avec une solution de sel de diazonium. La réaction de copulation qui en résulte entraîne immédiatement la formation du colorant azoïque.

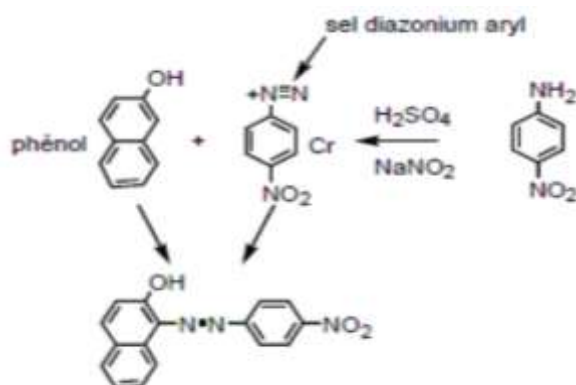


Figure I.5 : Colorant Azoïque insoluble

- **Les colorants dispersés :** sont généralement peu solubles dans l'eau et sont utilisés sous forme de fines particules dispersées dans le bain de teinture. À haute température, ces particules peuvent pénétrer dans les fibres synthétiques et s'y fixer solidement.

I.4.3. Impact des rejets de l'industrie textile sur l'environnement :

I.4.3.1 Les dangers évidents :

A. Eutrophisation :

Lorsque les microorganismes entrent en action, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans l'environnement naturel. Cependant, une quantité excessive de ces ions minéraux peut être nocive pour les poissons et affecter la qualité de l'eau potable. En outre, leur absorption par les plantes aquatiques encourage leur croissance excessive et peut entraîner une réduction de l'oxygène disponible en empêchant la photosynthèse dans les profondeurs des cours d'eau et des étendues d'eau stagnante.

B. Sous-oxygénation :

Si des quantités massives de matière organique sont rejetées dans l'environnement de façon ponctuelle, les processus naturels de régulation ne peuvent plus compenser la consommation bactérienne d'oxygène [13]. Selon les estimations, la décomposition de 7 à 8 mg de matière organique par des microorganismes peut suffire à épuiser l'oxygène présent dans un litre d'eau.

C. Couleur, turbidité, odeur :

L'accumulation de matière organique dans les cours d'eau peut entraîner des effets néfastes tels que des goûts désagréables, une prolifération bactérienne, des odeurs nauséabondes et des colorations anormales [14]. Des études ont montré que la coloration peut être détectée par l'œil humain à partir de $5 \cdot 10^{-6}$ g/L. Outre l'aspect esthétique, les colorants peuvent perturber la transmission de la lumière dans l'eau, ce qui peut bloquer la photosynthèse des plantes aquatiques.

I.4.3.2 Les dangers à long terme :

A. La persistance :

Les colorants organiques artificiels sont des composés impossibles à purifier par processus de dégradation biologique naturelle [15]. Cette persistance est étroitement liée à leur réactivité chimique :

- ✓ Les composés saturés sont plus persistants que les insaturés,
- ✓ Les aromatiques sont plus persistantes que les alcanes,
- ✓ La persistance des colorants aromatiques augmente avec le nombre de substituants,
- ✓ Les groupes halogènes augmentent davantage la persistance des colorants que les groupes alkyles.

B. Bio-accumulation :

Lorsqu'un organisme n'a pas de mécanismes spécifiques pour empêcher l'absorption ou pour éliminer une substance, cette dernière s'accumule dans le corps. Les espèces situées en haut de la chaîne alimentaire, y compris l'être humain, sont exposées à des concentrations de substances toxiques pouvant être jusqu'à mille fois supérieures à celles initialement présentes dans l'eau.

Une illustration du phénomène de bio-accumulation de pesticides est présentée en figure I.6.

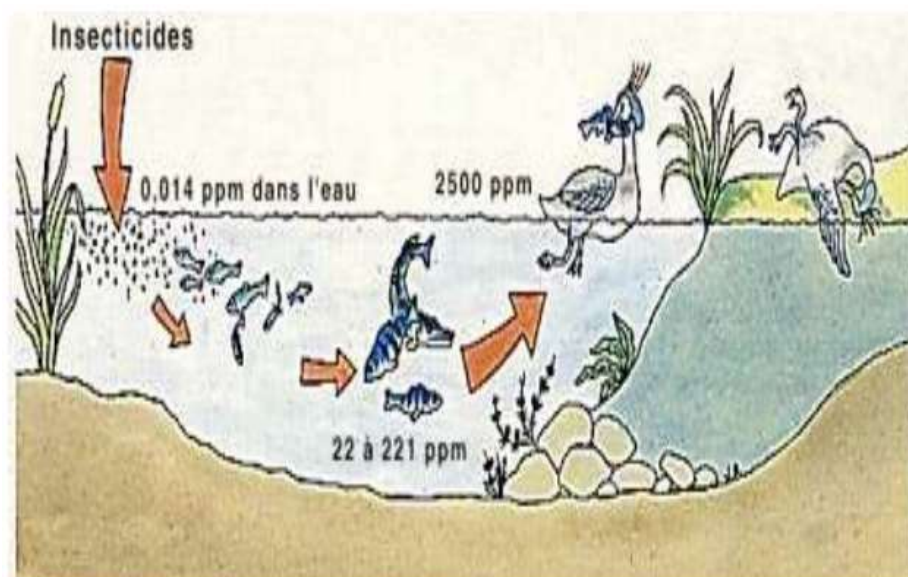


Figure I.6 : Conséquences de la bio-accumulation après déversement de substances toxiques (insecticides) dans un cours d'eau [16]

C. Cancer :

Bien que la majorité des colorants ne soient pas toxiques directement, une proportion importante de leurs métabolites peut l'être [17]. Leurs effets mutagènes, tératogènes ou cancérigènes se manifestent après la dégradation de la molécule d'origine en sous-produits d'oxydation tels que des amines cancérigènes pour les azoïques et des dérivés leuco pour les triphénylméthanes [18].

I.4.4. Législation sur L'environnement :

A législation relative aux rejets d'eaux usées devient de plus en plus rigoureuse dans notre pays. En effet, l'Algérie dispose d'une réglementation 06-141 concernant les rejets d'effluents issus de l'industrie textile dans le milieu hydrique. Le tableau II.2 fournit des informations détaillées sur les limites réglementaires applicables à ces rejets.

Tableau I.2 : Limites des valeurs des paramètres de rejets d'effluents textiles [19]

Paramètres	Unité	Valeurs limites	Tolérances aux valeurs limites Anciennes installation
Température	°C	30	35
PH	-	6,5-8,5	6,5-9
DBO5	Mg/l	150	200
DCO	Mg/l	250	300
Matière décantable	Mg/l	0,4	0,5
Matière non dissoute	Mg/l	30	40
Oxydabilité	Mg/l	100	120
Permanganate	Mg/l	20	25

Face au problème de pollution, des mesures environnementales courantes ont été mises en place au sein des entreprises du secteur textile en Algérie, visant à prévenir la pollution (voir annexe 4).

Chapitre II

Procédés de traitement des eaux usées de
L'INDUSTRIE TEXTILE

Chapitre II

PROCÉDÉS DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES DE L'INDUSTRIE textile

II.1. Introduction

L'épuration consiste à éliminer les matières minérales et organiques en suspension et en solution, ainsi que divers déchets afin de produire une eau épurée conforme aux normes de rejet. La plupart des polluants sont transférés de la phase liquide vers une phase boueuse concentrée. Une station d'épuration comprend donc des installations de traitement des eaux et des dispositifs pour le traitement des boues produites [20].

De nombreux procédés physiques, chimiques, photochimiques et électrochimiques ont été utilisés pour traiter les eaux polluées par des composés organiques réfractaires, toxiques et non biodégradables, générés par diverses activités industrielles produisant des rejets polluants continus ou discontinus d'une grande variété. La finalité de ces traitements est essentiellement de protéger l'environnement naturel en obtenant une eau épurée conforme aux normes légales de rejet, ainsi que de gérer efficacement l'eau dans le milieu industriel. Dans ce contexte, des techniques de traitement rapides, économiques et mieux adaptées à ce type de pollution ont été développées. Parmi ces techniques, on peut citer :

II.2. Le prétraitement :

Le prétraitement des eaux usées de l'industrie textile peut être réalisé en plusieurs étapes en fonction de la composition des eaux usées et des exigences réglementaires locales. Les principales étapes sont la séparation solide-liquide, la neutralisation, la décoloration, la clarification et la filtration [24].

- **Le dégrillage :** Le dégrillage est la première étape du prétraitement des eaux usées. Il consiste à éliminer les gros débris solides tels que les branches, les feuilles, les papiers, les plastiques, etc. présents dans les eaux usées. Cela se fait en faisant passer l'eau à travers une grille à barreaux ou à mailles fines. Les débris plus gros que la taille des ouvertures de la grille sont retenus, tandis que l'eau et les débris plus petits passent à travers. Les débris retenus sont ensuite collectés et éliminés de manière appropriée [24].

- **Le dessablage** : Après le dégrillage, l'eau usée passe par l'étape du dessablage. Cette étape vise à éliminer les sables et les particules minérales lourdes présentes dans l'eau. Pour ce faire, l'eau est dirigée vers un bassin de dessablage où elle est ralentie. En raison de la décélération de l'écoulement, les particules de sable et d'autres matières lourdes se déposent au fond du bassin. Un système de raclage ou d'aspiration est utilisé pour retirer ces sédiments accumulés au fond du bassin [24].
- **Le déshuilage** : Le déshuilage est l'étape suivante du prétraitement et vise à éliminer les huiles et les graisses présentes dans l'eau usée. Les huiles et les graisses ont tendance à flotter à la surface de l'eau. Pour les séparer, on utilise généralement un dispositif appelé déshuileur ou dégraisseur. L'eau usée est dirigée dans un compartiment où elle est maintenue immobile ou à un écoulement très lent. Cela permet aux huiles et aux graisses de remonter à la surface, formant une couche qui est ensuite retirée à l'aide de racleurs ou d'écumeurs [24].

II.3. Procédés physiques :

II.3.1 Coagulation/floculation :

La coagulation/floculation est souvent employée dans le traitement des eaux usées provenant de l'industrie textile pour éliminer la demande chimique en oxygène (DCO) et la coloration avant d'appliquer un traitement biologique. Elle peut également servir de traitement principal. Ce processus repose sur l'ajout d'un coagulant qui va former des agrégats avec les polluants organiques. Ces agrégats sont ensuite éliminés par décantation et filtration.

La coagulation floculation est considérée comme étant le résultat de deux mécanismes :

- **La coagulation** : L'une des méthodes couramment utilisées pour le traitement des effluents consiste à ajouter un produit qui peut décharger les colloïdes généralement électronégatifs présents dans l'effluent. Ce processus de décharge neutralise les charges électriques répulsives et provoque la déstabilisation de l'équilibre électrocinétique des particules en suspension. Il est donc nécessaire de neutraliser ou même d'inverser les charges de surface des matières en suspension, ce qui entraîne une diminution ou une inversion du potentiel zêta.
- **La floculation** : est un processus où les colloïdes déchargés sont regroupés (coalescence) en raison de collisions successives sous l'effet d'une agitation

mécanique. Pour favoriser ce processus, des flocculants sont utilisés. Ils ont une action de pontage inter-particulaire et augmentent la vitesse de formation, la cohésion et la densité des floccs, qui deviennent facilement décantables grâce à la réticulation et l'adsorption. Au cours de ce processus, les particules colloïdales sont éliminées tandis que les matières dissoutes sont adsorbées. Il est important de noter qu'il n'y a pas de dosage universel optimal pour le précipitant et le pH correspondant. Chaque type d'eaux usées a un comportement spécifique à l'égard de la précipitation et de la floculation, et le processus optimal doit être déterminé en fonction des résultats des essais obtenus en laboratoire.

Les principaux agents utilisés pour déstabiliser les particules en suspension et favoriser la formation de floccs sont :

- ✓ Pour la coagulation, des électrolytes minéraux à polycations tels que le sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), le sulfate et le chlorure ferrique ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), le sulfate ferreux ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), etc.
- ✓ Pour la floculation, des polymères organiques de synthèse qui sont des macromolécules possédant des groupes anioniques ou cationiques, tels que le polyacrylamide, le polyvinylsulfonate, le polyoxyde d'éthylène, le polyéthylène [21].

Cependant, l'utilisation de ce procédé peut entraîner une production importante de boues en fin de traitement, nécessitant ainsi des investissements supplémentaires pour leur traitement et leur valorisation [2]

II.3.2 Adsorption sur charbon actif :

Différents matériaux adsorbants tels que le charbon actif peut être employés pour éliminer certains colorants des eaux usées. Cependant, étant donné que tous les colorants ne sont pas ioniques, la plupart des adsorbants ne sont pas en mesure de réduire l'ensemble des colorants. Bien que le charbon actif soit l'adsorbant le plus couramment utilisé pour réduire la couleur en raison de sa capacité d'adsorption élevée, il ne peut pas éliminer tous les colorants. Cette technique n'est pas une solution définitive, elle transfère simplement la pollution de l'état liquide à l'état solide. De plus, ces méthodes non destructives nécessitent des étapes postérieures coûteuses de régénération et de traitement des déchets solides.

II.4. Procédés biologiques :

Les techniques d'épuration des eaux usées contaminées par des colorants peuvent être réalisées grâce à la biotransformation microbienne. Toutefois, cette méthode peut se révéler inefficace face à des polluants organiques concentrés, peu biodégradables ou très toxiques pour les microorganismes. Malgré cela, la biodégradation partielle ou complète des colorants par voie biologique a été prouvée. Les procédés anaérobies ou aérobies sont applicables selon la biodégradabilité des polluants. Le degré de dégradation biochimique, évalué grâce au rapport DBO5/DCO, est un indicateur important pour mesurer l'efficacité de la dégradation des polluants dans les eaux usées. Cependant, le traitement par voie biologique produit une grande quantité de boues biologiques qui doivent être traitées par la suite.

➤ Traitement aérobie :

Les réacteurs à lit bactérien sont souvent utilisés dans le traitement des eaux usées. Ces réacteurs comprennent une unité de boue activée où les polluants sont dégradés par des bactéries aérobies et d'autres microorganismes. Après l'épuration, la boue est séparée des eaux usées par sédimentation dans un décanteur, une partie est recyclée et l'excédent est éliminé après pressage ou centrifugation. Cette technique a longtemps été utilisée pour dégrader un grand nombre de polluants organiques, mais elle a ses limites en ce qui concerne certains types de colorants, tels que les colorants azoïques, acides et réactifs, qui sont persistants dans ce mode de traitement. Dans ces cas, la décoloration observée est attribuée à l'adsorption des polluants sur la boue activée et non à leur dégradation.

➤ Traitement anaérobie :

En l'absence d'oxygène, les composés organiques peuvent être dégradés par digestion anaérobie pour produire du dioxyde de carbone, du méthane et de l'eau. Ce processus est très efficace pour le traitement des effluents industriels hautement chargés avec une DCO élevée. En utilisant ce processus dans les stations d'épuration, il est possible de produire de grandes quantités de méthane qui peut être utilisé comme source d'énergie pour le chauffage ou l'éclairage. Cependant, des études ont montré que la décoloration des effluents n'est pas toujours accompagnée de la minéralisation des colorants. Des composés intermédiaires plus toxiques, tels que des amines, peuvent se former pendant le traitement anaérobie [22].

Les méthodes biologiques peuvent réduire la coloration de seulement 10 à 20 %, ce qui suggère la nécessité d'utiliser d'autres techniques pour réduire la réfractarité des polluants en association avec les méthodes biologiques [1].

Le tableau II.1 : expose les principaux bénéfices et désavantages des procédés de purification des eaux usées de l'industrie textile.

Technologie	Exemples	Avantages	Inconvénients
Coagulation/ Floculation	Chaux, $FeCl^3$, Polyélectrolyte.	- Equipement simple - Décoloration relativement rapide - Réduction significative de la DCO	- Formation de boues - Adjonction de produits chimiques nécessaires - Fonctionnement onéreux - Coagulants non réutilisables - Réduction spécifique de la couleur - Peu d'informations sur la réduction de DBO et DCO
Filtration sur membranes	Osmose inverse, Nano- filtration, Microfiltration, Ultrafiltration.	- Pas d'addition de produits chimiques - Faible consommation énergétique - Réduction de la couleur	- Investissement important - Encrassement rapide des membranes - Pré et post traitement Nécessaires

		- Grands volumes traités	
Adsorption	Carbone activé, Silice,	- Réduction efficace de la couleur - Technologie simple - Faible coût d'utilisation pour certains adsorbants	- Investissement et coût de fonctionnement élevés - Régénération des adsorbant son éreuse voire impossible - Formation de boue
Procédés biologiques	Aérobie	- Approprié pour les colorants Insolubles	- Spécifique à certains colorants - Décoloration variable - Grandes quantités de boues générées - Besoins énergétiques Importants
	Anaérobie	- Décolore la plupart des colorants par un mécanisme de réduction - Réutilisation du méthane produit comme source d'énergie sur le site	- Produits de dégradation inconnus - Beaucoup de produits toxiques non dégradés - Nécessite de grands réservoirs d'aération

II.5. Le traitement de clarification et désinfection

La clarification des eaux usées consiste à éliminer les matières en suspension telles que les particules de fibres, les sels et les métaux lourds présents dans les eaux usées de l'industrie textile. Cette étape est généralement réalisée après le prétraitement, qui vise à éliminer les matières solides grossières [24].

Il existe plusieurs techniques pour la désinfection des eaux usées, chacune avec des avantages et des inconvénients. Voici les trois techniques les plus couramment utilisées pour la désinfection des eaux usées de l'industrie textile :

- **Désinfection chimique** : Cette technique utilise des produits chimiques pour éliminer les microorganismes présents dans les eaux usées. Le chlore est le produit chimique le plus couramment utilisé pour la désinfection des eaux usées, mais d'autres produits chimiques tels que le dioxyde de chlore, l'ozone et le peroxyde d'hydrogène peuvent également être utilisés. Le chlore est généralement ajouté à l'eau à la sortie de la station de traitement et peut être dosé en fonction du niveau de désinfection souhaité [24].
- **Désinfection par rayonnement UV** : Cette technique utilise des lampes UV pour éliminer les microorganismes présents dans les eaux usées. Les eaux usées sont exposées à des rayons UV de haute intensité qui détruisent les microorganismes en les endommageant génétiquement. Cette technique est très efficace pour éliminer les bactéries et les virus présents dans les eaux usées [24].
- **Filtration sur charbon actif** : Cette technique est utilisée pour éliminer les composés organiques présents dans les eaux usées clarifiées. Le charbon actif est un matériau poreux avec une grande surface spécifique qui adsorbe les composés organiques. Les eaux usées clarifiées sont filtrées à travers des lits de charbon actif pour éliminer les composés organiques résiduels, les odeurs et les couleurs [24].

II.6. Le traitement des boues :

Le traitement des boues peut être effectué selon différentes méthodes, en fonction de la quantité et de la qualité des boues produites, ainsi que des réglementations environnementales locales. Voici quelques-unes des méthodes de traitement des boues les plus courantes : [24]

- **Traitement biologique** : Cette méthode de traitement utilise des microorganismes pour décomposer les matières organiques contenues dans les boues. Les boues sont placées dans des cuves de digestion anaérobie où les microorganismes décomposent les matières organiques, produisant du biogaz et des boues stabilisées. Les boues stabilisées sont plus faciles à manipuler et à stocker et peuvent être utilisées comme engrais pour les sols agricoles [24].
- **Traitement thermique** : Cette méthode de traitement utilise la chaleur pour décomposer les matières organiques contenues dans les boues. Les boues sont chauffées à haute température pendant une période de temps déterminée pour tuer les bactéries et les virus présents. Les boues sont ensuite refroidies et séchées pour réduire leur volume. Cette méthode est souvent utilisée pour les boues qui contiennent des métaux lourds ou d'autres substances toxiques [24].

- **Traitement chimique** : Cette méthode de traitement utilise des produits chimiques pour déshydrater les boues et les stabiliser. Les boues sont mélangées avec des produits chimiques tels que des flocculants pour agglomérer les particules solides et former des flocons. Les flocons sont ensuite séparés de l'eau pour réduire le volume des boues. Cette méthode est souvent utilisée pour les boues qui contiennent des métaux lourds ou des produits chimiques toxiques [24].
- **Traitement par séchage** : Cette méthode de traitement utilise l'air chaud pour sécher les boues et les rendre plus stables. Les boues sont pompées dans un sécheur à lit fluidisé où elles sont séchées à l'aide d'air chaud. Cette méthode peut réduire le volume des boues jusqu'à 90 % et peut également réduire les odeurs et les risques environnementaux [24].

II.7. Les paramètres de mesure de la pollution des eaux résiduaires:

II.7.1. Les paramètres physiques :

A. La température :

La température est une mesure physique qui indique le niveau de chaleur ou de froid. Elle est généralement mesurée à l'aide d'un thermomètre. La température joue un rôle essentiel dans des phénomènes tels que l'évaporation et la congélation de l'eau, la solubilité des sels et la vitesse des réactions chimiques. De plus, elle influence le développement des micro-organismes présents dans l'eau.

B. Les matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension (MES) sont des substances qui ne se dissolvent ni ne forment de colloïdes, ce qui les rend capturables par un filtre. Les MES, qui comprennent à la fois des substances organiques et minérales, constituent un paramètre crucial pour évaluer le degré de contamination des eaux usées, qu'elles soient d'origine urbaine ou industrielle. Les techniques analytiques couramment utilisées comprennent la séparation directe par filtration ou centrifugation.

C. La turbidité :

La turbidité est une mesure de l'opacité d'un milieu trouble, qui correspond à la diminution de la transparence d'un liquide en raison de la présence de substances non dissoutes. Dans le cas de l'eau, cela se produit lorsque des particules fines en suspension (MES), telles que l'argile, les grains de silice et les micro-organismes, sont présentes. Une petite partie de la turbidité peut également être attribuée à la présence de substances colloïdales d'origine organique ou minérale[5].

II.7.2. Les paramètres chimiques :

A. Le potentiel d'hydrogène (PH) :

Le pH, abréviation de "potentiel d'hydrogène", est une valeur sans unité qui sert d'indicateur pour mesurer la concentration des ions d'hydrogène (H^+) dans une solution. Lorsque la concentration en H^+ est élevée (faible), le pH est bas (élevé), ce qui indique que la solution est acide (alcaline).

B. La demande chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène (DCO) est une mesure qui permet d'évaluer la quantité d'oxygène requise pour dégrader chimiquement la matière organique présente dans les eaux usées. La DCO est déterminée en utilisant un puissant oxydant (comme le bicarbonate de potassium) dans un milieu chaud et acide pendant une durée de 2 heures.

C. La demande biochimique en oxygène (DBO5) :

Le DBO (Demande Biochimique en Oxygène) est une mesure qui indique la quantité d'oxygène consommée par les bactéries présentes dans les eaux usées après une période de 5 jours. Pour évaluer ce paramètre, on utilise un instrument appelé un DBO mètre (voir figure II.1).



Figure (II.1) : Un DBO mètre [23]

II.8. Conclusion :

La gestion des effluents de l'industrie textile est complexe en raison de la variété de leur composition. Il est donc nécessaire de concevoir une chaîne de

traitement adaptée, afin de garantir l'élimination de toutes les substances polluantes présentes dans les eaux usées.

Chapitre III

Présentation et description du
Complexe textile de Sebdou

Chapitre III

Présentation et description du Complexe textile de Sebdou

III.1 Situation géographique

Le complexe textile de Sebdou qui est affilié à l'entreprise DENITEX, spécialisée dans la fabrication de textiles DENIM (utilisé dans la production de jeans), est localisé à Sebdou dans l'ouest Algérien, à environ 37 Km au sud de Tlemcen. Cette entreprise, qui est une SPA économique et publique opérant sous la forme juridique d'une « société par action », a pour objectif la production et la vente de différents types de tissus, tels que le bleu jean, la gabardine, et bien d'autres encore. Les travaux de construction ont commencé en 1976, et le complexe a été mis en service en 1979.

III.2 Caractéristiques du complexe :

- **Surface totale** : Le complexe s'étend sur une superficie totale de 16.9 hectares, dont 6.09 hectares sont couverts.
- **Bâtiments** : Les installations du complexe comprennent les bâtiments suivants : filature, tissage et finissage, ainsi que des annexes techniques, une station d'épuration des eaux et un poste d'énergie électrique.
- **Capacité de production** : Le complexe a une capacité de production qui se résume ainsi : pour la filature, il dispose d'un modèle classique de 19800 broches pour le nouveau modèle et de 432 ROMS pour l'ancien modèle en open-end. Pour le tissage, il dispose de 360 métiers à tisser MAT, le finissage permet le traitement de toute la production.
- **Production** :
 - Filature = 2000 T/Ans
 - Tissage = 6 000 000 M.L/Ans
 - Finissage = traitement de toute la production
- **Gamme de production** : Le complexe est spécialisé dans la production du bleu jean et de la gabardine

III.3 Types de pollution générées par le complexe :

III.3.1 Pollution industrielle :

L'industrie textile, qui implique le raffinage de flocons de laine, de fils et de tissus à partir de matières fibreuses naturelles et synthétiques, fait partie des branches industrielles les plus consommatrices d'eau. Les eaux usées des industries textiles font partie des eaux les plus souillées en raison de leur forte teneur en colorants, en agents auxiliaires, en moyens d'apprêtage et en sels minéraux. Les eaux usées souillées par les industries sont caractérisées exclusivement par des matières organiques ou minérales, des colorations et des températures élevées.

Bien que de nombreuses matières colorantes facilement solubles perdent rapidement leur danger, les eaux usées colorées sont toujours considérées comme souillées, car les bains de teinture ne permettent jamais de retenir entièrement les résidus de couleur dans les eaux usées textiles. En plus des matières consommables réagissant de façon alcaline, telles que la lessive de soude pour le mercerisage et le sodium sulfuré pour la teinture des matières colorantes sulfurées, les matières fibreuses sont souvent teintées dans des bains plus ou moins alcalins, lessivées de façon alcaline, débouillies de façon alcaline, puis finalement lavées de façon alcaline également.

Les eaux usées textiles s'ajoutent à d'autres eaux usées industrielles, telles que les eaux usées de la production de vapeur et les eaux de service.

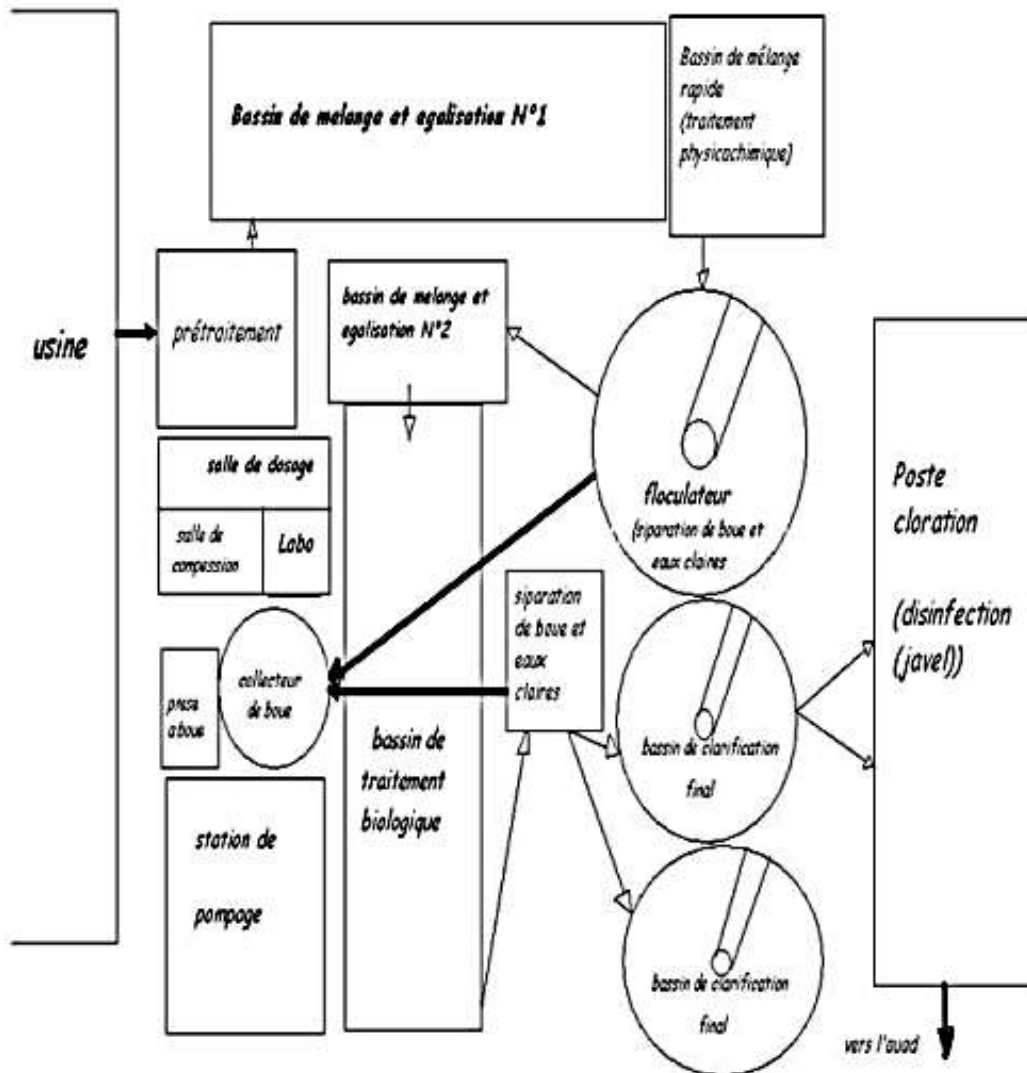
III.3.2 Pollution biologique :

Les eaux usées sanitaires sont principalement constituées des eaux fécales, des eaux provenant des installations sanitaires (douches et lavabos) et des eaux ménagères. Elles se caractérisent par une forte charge en matières organiques dissoutes. Les eaux usées des installations de conditionnement d'air sont également évacuées avec les eaux sanitaires.

III.4 Caractéristiques de la STEP du complexe :

III.4.1 Situation géographique de la STEP par rapport du complexe :

Le choix de l'emplacement de la STEP a été déterminé en fonction de la proximité de l'usine afin de rejeter les effluents liquides dans l'oued Tafna qui se trouve à proximité.



La figure III.1 donne un schéma général de la filière de traitement utilisée dans cette STEP.

La STEP a été conçu sur la base d'une qualité d'eau brute dont la composition est la suivante :

- ✓ Valeur de PH 8,5 à 12.
- ✓ Température normale 30 à 40°C.
- ✓ Température de pointe à court terme environ 70°C.
- ✓ Matières sédimentaires $\leq 5\text{m}^3/\text{l}$.
- ✓ Proportion en fibres environ $10\text{m}^3/\text{l}$.
- ✓ Teneur totale en sels jusqu'à $4000\text{m}^3/\text{l}$ (calculer comme Na CL).
- ✓ DBO5 environ 400 mg /l d'eau. DCO ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 800-1400 mg/1 d'eau.
- ✓ Oxydabilité au KMnO_4 600-1000 mg/1 d'eau.
- ✓ Coefficient de biodégradabilité $2 < k < 3,5$

III.4.2 Description des étapes de traitement :

III.4.2.1 Filière traitement des eaux :

A. Arrivée des eaux usées industrielles et sanitaires et prétraitement :

❖ Eaux usées industrielles :

Les eaux usées industrielles comprennent principalement les eaux issues de la production textile, qui représentent une grande part de cette catégorie. Ces eaux sont fortement polluées par les produits chimiques utilisés pendant la fabrication, composés à la fois de matières organiques et inorganiques, ainsi que de matières potentiellement toxiques telles que les sulfures. Les eaux usées textiles contiennent également des matières en suspension en plus des matières dissoutes. Les eaux usées provenant du rinçage des filtres et de la régénération contiennent des matières en suspension telles que de l'hydroxyde ferrique et de l'hydroxyde manganique issues de l'eau brute, ainsi qu'une concentration élevée en chlore de sodium et en acide chlorhydrique issus de la régénération des filtres de décantation et d'adoucissement.

Dans l'usine de SEBDOU, les débits des eaux usées industrielles sont les suivants : 86 m³/h en débit normal et 165 m³/h en débit de pointe. Les eaux usées industrielles de l'usine textile s'écoulent en chute libre dans le bassin dédié à cet effet depuis le réseau de canalisation.



Figure III.2 : Bassin de collecte des eaux usées industrielles.

Pour transférer l'eau brute non traitée vers le bassin de mélange et d'égalisation (1), on utilise deux pompes immergées qui sont régulées par un système de niveau. En temps normal, une seule pompe fonctionne, mais lors de pics de demande, la deuxième pompe se met en marche de façon semi-automatique.

**Données techniques :*

- Dimensions : 4 mètres x 3 mètres
- Volume : 40 m³
- 02 pompes immersibles (Q= 150m³/h, H=14m d'eau), 2 soupapes de retenue.
- 02 Armateurs d'arrêt (Robinet, Vanne plat à coins),

❖ **Eaux usées sanitaire :**

Les eaux usées sanitaires sont générées par les installations domestiques telles que les salles de bain, les douches, les toilettes et autres. Elles sont composées principalement d'eau usagée domestique avec des éléments inorganiques dissous et en suspension. Les éléments organiques sont facilement dégradables par voie biologique. Les éléments en suspension peuvent inclure des particules plus grosses ainsi que du sable transporté par les eaux.

Les eaux usées sanitaires s'écoulent en chute libre depuis les canalisations jusqu'au bassin de l'installation de relevage. Deux pompes immergées sont utilisées pour pomper les eaux usées sanitaires non traitées à travers un crible à grosses mailles et un dispositif de dessablage, vers le bassin de mélange et d'égalisation (2). En temps normal, une seule pompe est en fonctionnement, mais en cas de demande élevée, la deuxième pompe se met automatiquement en marche.



Figure III.3: Photo du bassin de collecte des eaux usées sanitaires

<i>*Données techniques :</i>	Pour le cas des eaux usées prétraitées réunies :	- Débit de pointe 190 m ³ /h
- Dimensions : 4 m x 3m	- Débit normale 101 m ³ /h	- Lors d'une production de pointe simultanée de 2 eaux usées
- Volume : 40 m ³		

B. Dégrillage- dessablage :

La première étape du traitement des eaux usées sanitaires consiste en un processus de pré-nettoyage qui implique l'utilisation d'un système de râteaux et d'un dispositif de dessablage. Le système de râteaux fonctionne de manière entièrement automatique et est équipé d'une armoire de commande indépendante. Il est conçu pour retenir les matières grossières présentes dans les eaux usées sanitaires. La pression différentielle mesurée avant et après les tiges de râteaux déclenche automatiquement le processus de râteaux, qui se désactive lorsque la pression différentielle diminue. Les matières retenues par le système de râteaux sont collectées dans un petit conteneur. Le dessableur est utilisé pour séparer le sable provenant des douches, des salles de bains et des installations domestiques. Le sable est séparé dans un dispositif de dessablage circulaire où il est entraîné

par un courant circulaire vers un entonnoir, afin de maintenir le pourcentage de boue très bas. Le sable est ensuite rincé avec de l'air comprimé avant d'être évacué, tandis que la soupape de décharge reste fermée. Enfin, le sable est acheminé vers le bassin récepteur pour être stocké.

**Données techniques :*

Récepteur :

Dessableur :

- Dimension : 3,5 mètres x 3,5 mètres

- Diamètre : 2 mètres
- Capacité : 6 m³ Bassin

C. Bassin de mélange et égalisation N° 1 :

Le bassin en question joue un rôle important dans le traitement des eaux usées en égalisant et en mélangeant les différents flux entrants. Pour prévenir l'accumulation de matières grossières telles que les fibres et les morceaux de tissu, un crible spécial a été installé dans le bassin (hydrater) avec une capacité de 200 m³/h. Quatre aérateurs immergés assurent le mélange et l'oxygénation de l'eau avant que les pompes immergées ne la transportent vers le bassin de neutralisation (1), avec une capacité et une hauteur de refoulement identiques. Cette aération permet de prévenir les processus de putréfaction anaérobie en cas de durée de séjour prolongée ou d'alimentation insuffisante en eaux usées. Le niveau d'eau est contrôlé par des contacts, qui sont réglés de manière à ce que les aérateurs immergés soient couverts par au moins 1 mètre d'eau. Pendant le fonctionnement normal, une seule pompe est activée, mais en cas de surcharge, la deuxième pompe se met en marche à un niveau supérieur.

**Donnée technique du bassin*

- Dimensions : 28 m x 14 m
- Volume : 1200 m³

Durée de séjour théorique :

- Débit normal 14 h

04 aérateurs immersibles : transfère d'oxygène environ 12,5 Kg/h

- Débit de point 7.3 m³

02 pompes immersibles :

Q = 119 m³ H = 4,4 m d'eau



Figure III.4 : Photo du bassin de mélange et d'égalisation N°1

D. Bassin de mélange rapide et de neutralisation (traitement physico-chimique) :

Le rôle du bassin de neutralisation consiste à ajuster la valeur du pH et à la maintenir à un niveau défini (réglé via le centre de commande). Pour maintenir cette valeur, de l'acide sulfurique (H_2SO_4) ou de l'hydrate calcaire ($Ca(OH)_2$), une solution inerte de $Ph=7$, sont ajoutés. Les solutions acides ont un pH inférieur à 7. Pour neutraliser ces solutions, on utilise une lessive, en l'occurrence un lit de chaux dosé à 5%. Les solutions basiques ont un pH supérieur à 7 et sont neutralisées à l'aide d'un acide (acide sulfurique à 10%). Le bassin de neutralisation est équipé d'un système de mesure en continu de la valeur de pH pour assurer un contrôle constant de cette valeur.

Si la valeur de pH mesurée diffère de la valeur de pH théorique souhaitée, une pompe de dosage est activée en fonction de cette différence pour réajuster le pH.

- Pompe de dosage d'acide sulfurique.
 - Pompe de dosage de lait de chaux
- Lorsque la valeur de pH théorique est atteinte, les pompes de dosage qui étaient en marche retournent à un débit nul grâce à un moteur de levage.

Deux agitateurs rapides maintiennent en permanence un mélange intensif dans le bassin de mélange rapide, où la valeur de pH théorique est déterminée lors du réglage de l'installation en fonction des résultats de la floculation. Dans ce bassin communiquant, du chlorure ferrique est ajouté en solution à l'aide de pompes de dosage, proportionnellement à la quantité d'eaux usées mesurée à la sortie. Ce dosage automatique est réglé dans le centre de commande en fonction des résultats de la floculation, avec une proportionnalité déterminée par le régleur. Pour un démarrage ou un redémarrage, le régleur doit être positionné manuellement jusqu'à ce que le débit puisse être mesuré à la fin de l'installation. Ensuite, le régleur est mis en position automatique et un mélange rapide est obtenu grâce à l'agitateur. Les eaux usées floculées et à la valeur de pH régularisée s'écoulent en chute par le puits d'alimentation vers le bassin de clarificateur-floculation.

**Données techniques*

Bassin de neutralisation :

- Dimensions : 7,5 m x 4 m
- Volume : 96 m³
- Temps de séjour : Débit normal 1 h 10 m / Débit de point 36 min

E. Floculateur-clarificateur (séparation de boues et eaux claires) :

Au moyen de la floculation chimique qui se produit dans le clarificateur-floculateur, les eaux usées voient leur teneur en colorants et en autres polluants considérablement réduite. Les particules fines en suspension ainsi que les particules colloïdales se déposent au fond. En même temps, les ions de sulfite potentiellement toxiques réagissent avec les ions de fer présents dans le chlorure ferrique pour former du sulfure ferrique insoluble, qui se dépose également dans les flocons. Les ions de métaux lourds, s'il y en a, sont réduits en hydroxyde insoluble et éliminés avec les flocons d'hydrate d'oxyde ferrique. Grâce à ces deux procédés, une élimination pratiquement complète de ces éléments toxiques est obtenue.

Le pH des eaux usées à traiter joue un rôle déterminant pour l'effet de floculation. La valeur de pH théorique dépend des matières et des bains de teinture présents dans les eaux usées. Dans une plage de pH neutre, seules de faibles concentrations de matières colorantes peuvent être floculées avec des quantités relativement importantes de fer. Les meilleurs résultats sont obtenus dans une plage légèrement acide de pH 5,5-8,5 ou légèrement alcaline de pH 7,5-8,5.

Pour renforcer l'effet de séparation, une partie des boues déposées est réinjectée dans le clarificateur-floculateur équipé de deux agitateurs. Le liquide surnageant est échangé radialement par une paroi circulaire dans le compartiment de clarification du floculateur, où la boue se dépose. La boue déposée est ensuite évacuée par un racleur dans une rigole collectrice, qui entoure l'intérieur du clarificateur-floculateur. De là, elle est en partie transportée dans le puits récepteur de boues par une pompe immergée circulant avec le racleur.

La plus grande partie des boues (environ 80% en pratique) est recyclée et retournée dans le compartiment de contact, grâce à un réglage approprié des vannes. Le réglage précis dépend de la concentration en boues dans le floculateur, il est donc surveillé et ajusté pendant le fonctionnement. Une pompe évacue les boues en excès du puits récepteur de boues vers le bassin collecteur, où le processus de déshydratation des boues commence. Cette pompe est contrôlée par le niveau de boues dans le puits récepteur.

**Données techniques*

- Diamètre : 18 m
- Volume : 840 m³
- Surface de clarificateur : 210 m²
- Vitesse de montée :
 - Débit normal 0.41 m/h
 - Débit de pointe 0.79 m/h



Figure III.5 : Photo du flocculateur clarificateur.

Remarque : Tous les 3 mois environ, il faut vider complètement le flocculateur clarificateur, le nettoyer et contrôler les installations intérieures

F. Bassin de mélange de neutralisation et d'égalisation N° 2 :

Dans ce bassin, les deux courants des eaux usées (sanitaires et industrielles) sont combinés et mélangés. La neutralisation, qui se produit au même niveau que le bassin de mélange et d'égalisation (2) en amont, vise à régler la valeur finale de pH avant que les eaux usées n'entrent dans le traitement biologique. Le but est de maintenir les eaux dans une plage de pH inerte, comme suite à l'aération à l'oxygène dans le traitement biologique. Le dioxyde de carbone libre s'échappe en partie, ce qui peut entraîner une élévation du pH dans la plage basique d'environ 8 après le traitement biologique si l'entrée est neutre avec un pH de 7. La valeur de pH théorique est donc fixée à $\text{pH} = 6,5-7$.

Les micro-organismes du traitement biologique sont sensibles aux acides et aux lessives, donc la valeur de pH ne devrait différer que très peu de 7. Cette valeur de pH est enregistrée dans le centre de commande par un enregistreur de pH. Cela sert à vérifier la valeur de pH des eaux usées entrant dans le traitement

biologique. Un appareil de mesure de pH est installé dans le bassin de neutralisation (2) et mesure en continu la valeur de pH.

Si la valeur de pH diffère de la valeur théorique fixée

- Pompe de dosage de lait de chaux entre en jeu.
- Pompe de dosage d'acide sulfurique entre en jeu.

Si la valeur de pH théorique est atteinte, les débits des pompes de dosage continuent de fonctionner jusqu'à ce qu'un servomoteur de levage ramène leur débit à zéro.

L'eau provenant du bassin de neutralisation (2) s'écoule en chute libre dans le bassin d'activation de la biologie.



Figure III.6 : Photo du bassin de mélange et de neutralisation et d'égalisation N°2

**Données techniques*

- Dimension : 10 m x 4 m
- Volume : 150 m³
- Temps de séjour :
 - Avec débit normal 1h 30 min
 - Avec débit de pointe 47 min

G. Bassin de traitement biologique :

Le traitement biologique est un traitement complet qui permet une réduction de 90% de la DBO, avec une charge libre qui est proportionnelle à la masse des boues activées dans la biologie.

Pendant le processus d'épuration par boues activées, les eaux usées traitées et préalablement clarifiées chimiquement sont intensément mélangées avec les boues de recyclage dans le bassin de boues activées et aérées. Les biozones, qui sont des flocons de boue flottant, éliminent les matières organiques polluantes des eaux usées et se déposent dans les bassins de post-clarification. Les boues activées, qui sont formées de façon biologique, contiennent de nombreux petits organismes, principalement des bactéries, d'où leur nom.

Pour que les bactéries biozones puissent réduire les matières polluantes, elles ont besoin d'oxygène qui leur est fourni en continu par des souffleries d'air comprimé à travers un système de bougies d'aération réparties sur tout le bassin. Le nettoyage biologique repose sur l'apport d'oxygène. Si l'oxygène manque ou si la concentration minimale de 1 mg/l d'O₂ n'est pas atteinte dans le bassin, l'efficacité du nettoyage est considérablement réduite. La teneur en oxygène est donc constamment surveillée et enregistrée par un appareil d'enregistrement dans le centre de commande.

Si la concentration minimale n'est pas atteinte, un signal acoustique retentit et un voyant lumineux s'allume dans le centre de commande.



Figure III.7 : Photo du bassin biologique (bassin d'aération)

**Données techniques*

- Dimensions : 40 m x 8,4 m
- Volume : 100 m³
- Densité de volume :
 - Densité de volume $521/1000 = 0,521 \text{ Kg DBO5/m}^3$ /Volume d'aération par jour
 - Densité de boue : Quantité de boue dans le bassin d'aération 5 Kg de matière sèche par m³ de volume du bassin de boue.

$0,52/5 = 0,10 \text{ Kg DBO5/Kg de matière sèche}$ et par jour complet peu chargé. L'offre en matières nutritives pour le traitement biologique des eaux usées industrielles, spécialement dans la fabrication textile, est unilatérale. C'est pour cette raison que les cultures de bactéries manquent souvent de matières nutritives importantes. Pour compenser le manque de matières nutritives, l'installation est munie d'une station de dosage de sels nutritifs, qui selon besoin dose de l'azote (N) et du phosphore (P). La dose est fixée d'après la formule suivante et dépend de l'entrée DBO et de la teneur en « N » et en « P » des eaux usées :

DBO : N : P : = 100 : 5 : 1.

N : est dosé comme urée ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$); P : est dosé comme acide phosphorique (H_3PO_4)

H. Bassin de clarification finale (1) et (2) :

La méthode utilisée pour la clarification finale repose sur l'application de la loi de la pesanteur. En effet, les matières plus lourdes que l'eau, comme les flocons de boue, tombent vers le fond. Ce processus est mis en œuvre dans deux bassins de clarification circulaires où un mélange d'eau et de boue activée est amené à couler en chute libre centralement par le bas. Ce mélange est ensuite acheminé vers la zone de clarification où la boue se dépose au fond tandis que l'eau clarifiée s'écoule par un bord déversoir à dentelures. Une lame racleur tournante est ensuite utilisée pour transporter la boue déposée dans une rigole collectrice de boue reliée à la station de pompage de boue, tandis qu'un racleur fixé au pont racleur est utilisé pour collecter la boue flottante dans un puits collecteur de boue également relié à la station de pompage de boue. Il est important de ne pas laisser la boue dans le bassin de clarification finale pendant une longue période de temps, car des processus microbiologiques peuvent provoquer la formation de petites bulles d'azote qui favorisent la montée des boues. Les flocons de boue de l'installation de boue activée ont tendance à flotter car leur poids spécifique est légèrement supérieur à celui de l'eau. En revanche, la vitesse de sédimentation ne peut pas être mesurée précisément en laboratoire, car les observations effectuées dans le tube de décantation ne permettent pas de tirer des conclusions sur le comportement de sédimentation qui dépend de l'agglutinement des flocons.



Figure III.8 : Photo du bassin de clarification finale

**Données techniques*

- 02 Bassins de clarification circulaires :

- Diamètre : 18 m/unité
- Volume : 540 m³
- Surface de clarification chacun 250 m²

- Recyclage des boues :

Les boues qui ont été sédimentées dans les bassins de clarification finale sont transportées en chute libre par deux pompes jusqu'à la station de pompage de boue. Les boues de recyclage sont quant à elles renvoyées dans l'entrée du bassin de boue activée. L'une des deux pompes fonctionne en continu tandis que l'autre est en position de réserve. La quantité de boue recyclée est déterminée par le débit de chacune des pompes, évalué à 100 m³/h. Si une quantité de boues en excès est détectée, elle est transportée dans le bassin collecteur de boues dont les dimensions sont de 6 m x 3,5 m pour un volume de 35 m³. Une des pompes est active tandis que l'autre est en réserve. Le traitement biologique doit être réalisé avec une forte concentration de boue. Les boues en excès ne sont évacuées que si la quantité prévue est atteinte. Le niveau de l'eau clarifiée dans les bassins de clarification finale détermine le volume de boue. Plus le lit de boue activée dans les clarifications finale se laisse déplacer vers le haut sans que des particules de boue s'écoulent par le bord déversoir avec l'eau clarifiée, plus la clarification

finale est effective. Ce niveau est déterminé de manière très simple au moyen d'un voyant, une fois que ce point a été déterminé lors d'essais préliminaires. Le volume de boue mesuré dans l'entonnoir IMHOFF est désormais la référence pour la quantité de boue en excès à réguler.



Figure III.9 : Photo de la station de recyclage de boues.

Remarque

L'une des pompes de recyclage de boue est toujours en fonctionnement tandis que l'autre est en mode de réserve. Ces pompes sont activées ou désactivées en fonction du volume de boue déterminé par des indicateurs de temps. Par conséquent, la quantité de boue à éliminer est transportée automatiquement à un débit prédéterminé vers le bassin collecteur de boue.

I. Bassin de post chloration :

Pour des raisons d'hygiène, les eaux usées industrielles et sanitaires sont soumises à une post-chloration avant leur rejet dans le cours d'eau récepteur, même après avoir été traitées chimiquement, biologiquement et mécaniquement pour en éliminer toutes les matières polluantes. Pour ce faire, de l'eau inoculée avec du chlore (Cl_2) est ajoutée à l'eau clarifiée s'écoulant en chute libre hors du bassin de clarification finale, le tout étant mélangé à l'aide d'un agitateur. L'eau traverse ensuite une chicane dans le bassin de post-chloration avant son rejet dans

le cours d'eau, où le chlore agit comme un microbicide pour éliminer les bactéries présentes dans l'eau clarifiée. La teneur en chlore est surveillée et régulée automatiquement dans la station de chlore, tandis qu'un mesurage inductif à la fin de l'installation indique le débit momentané et enregistre la quantité totale des eaux traitées dans le centre de commande.



Figure III.10 : Photo du bassin de post chloration

**Données techniques*

- Bassin de post chloration Dimensions : 10 m x 4 m,

➤ Volume : 121 m³

➤ Temps de séjour : Débit normal : 1h 12 min

Quantité maximale ajustable : 9 g/m³

Installation de chlore sous vide avec 4 bouteilles en service.

III.4.2.2 Filière traitement des boues :

A. Epaisseur de boue :

Il n'est pas économique de transporter des boues contenant une grande quantité d'eau sur une décharge, en raison des dommages inévitables qu'elles causeront aux sols de la décharge. C'est pourquoi la station d'épuration est équipée

d'un processus de traitement continu des boues, qui commence par une étape d'épaississement statique utilisant un mécanisme de raclage tournant dans un épaisseur. Comme décrit dans le traitement des eaux usées industrielles et le traitement commun des eaux usées sanitaires et industrielles, environ 100 m³ de boues avec une teneur en matières solides d'environ 1,6% doivent être traitées chaque jour.



Figure III.11 : Photo de l'épaississeur des boues.

**Données techniques*

- Diamètre 12 m
- Surface 113 m²
- Capacité 590 m³

Alimentation journalière en boues fraîches. Le pré clarificateur avec 2 % de matières solides.

B. Presse tamiseuse :

Les boues épaissies subissent un processus de déshydratation mécanique dans une presse tamiseuse. Cette technique a été sélectionnée pour produire des boues finales ayant une teneur en matières consistantes plus élevée que les filtres sous vide, tout en étant moins coûteuse que les filtres presse.

Grâce à la presse tamiseuse, les boues sont déshydratées mécaniquement jusqu'à ce qu'elles atteignent une densité en matières solides de 25 %. Ainsi, la production quotidienne de boues solides s'élève à 6,4 m³.



Figure III.12 : Photo de la presse tamiseuse

Après le traitement mécanique des boues dans la presse tamiseuse, leur teneur en matières consistantes est de 25 %. Ainsi, chaque jour, environ 6,4 m³ de boues sont produits et peuvent être collectés dans un conteneur pour être éliminés.

CHAPITRE IV

Analyse en composantes
principales

CHAPITRE IV

Analyse en composantes principales

IV.1. Introduction :

L'analyse en composantes principales (ACP) ou PCA en anglais (principal component analysis) appartient à un groupe de méthodes statistiques multivariées appelées méthodes factorielles.

Cette technique a été développée par Karl Pearson en 1901 [25] où il travaillait sur la régression et les corrélations entre plusieurs variables et il a utilisé ces corrélations pour décrire et résumer les informations contenues dans ces variables.

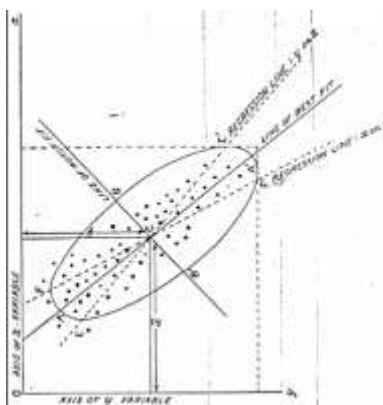


Figure IV.1 : Extrait de l'article de Pearson de 1901 sur la recherche de la « droite du meilleur ajustement » [26].

Cependant, dans les années 1930, l'ACP a été formalisée par l'économiste et statisticien américain Harold Hotelling [27]. Il a ensuite développé l'analyse canonique des corrélations, une généralisation des analyses factorielles dont l'ACP fait partie.

En France, ces méthodes ont été principalement développées dans les années 1960, notamment par Jean-Paul Benzécri qui a largement utilisé les aspects géométriques et les représentations graphiques [28].

Les domaines d'application de l'ACP sont aujourd'hui multiples, allant de la biologie à la recherche économique et sociale, et plus récemment au traitement d'images et à l'apprentissage automatique.

IV.2. Concepts et terminologies :

L'ACP consiste à convertir des variables liées entre elles (Var i) (corrélées en statistique) en de nouvelles variables (Y_j) non corrélées entre elles. Ces nouvelles variables sont appelées "composantes principales" ou axes principaux et permettent au statisticien de résumer les informations en réduisant le nombre de variables (figure 2).

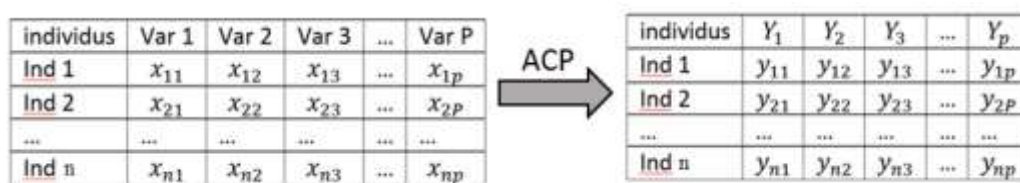


Figure IV.2 : le concept de l'ACP

$Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_p$ sont des variables aléatoires indépendantes.

L'ACP est en générale utilisé pour :

- Décrire et visualiser des données ;
- Les dés corrélés ; la nouvelle base est constituée d'axes qui ne sont pas corrélés entre eux ;
- La réduction de la dimension des variables (compression) en gardant un maximum d'information : la première variable (Y_1) dans la nouvelle base, va contenir le pourcentage le plus élevée des informations. (Au lieu de considérer p variables on peut travailler avec 2 ou 3 nouveaux variables).

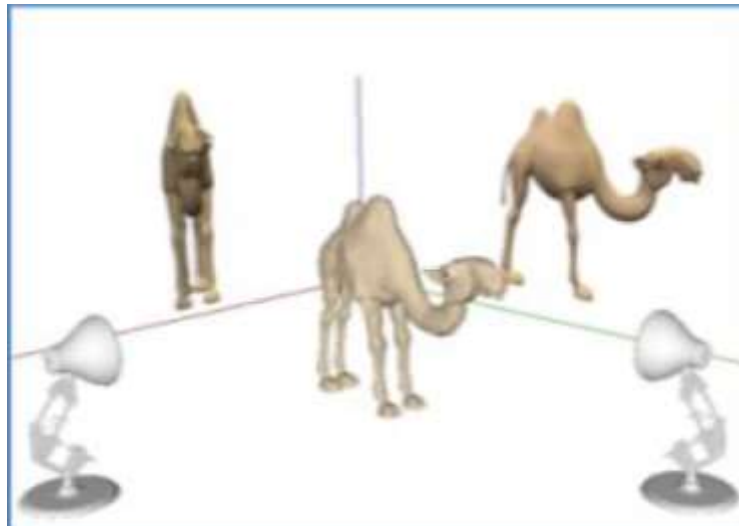


Figure IV.3: Meilleure approximation des données par projection [29].

Distinguer des groupes dans l'ensemble des individus en regardant ceux qui se ressemblent et qui se distinguent des autres.

- La représentation graphique des variables dans un nouvel espace en explicitant au mieux la corrélation et non corrélation entre ces variables.

IV.2.1. Condition d'application de l'ACP :

Avant d'appliquer cette méthode, on doit prendre en considération ces hypothèses :

- Les variables ne sont pas toutes indépendantes.
 - Les variables sont quantitatives.
 - Un pré traitement ;
- a) **Une étude statistique :** (moyenne, écart type, max, min, ...) et surtout la covariance entre les variables (si deux variables sont corrélé linéairement, on garde une seule).

Tableau IV.1: tableau des données.

Individus	X_1	X_2	X_3	...	X_p
Ind 1	x_{11}	x_{12}	x_{13}	...	x_{1p}

Ind 2	x_{21}	x_{22}	x_{23}	...	x_{2p}
...
Ind n	x_{n1}	x_{n2}	x_{n3}	...	x_{np}
moyenne	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	...	\bar{X}_p
Ecart type	σ_{X_1}	σ_{X_2}	σ_{X_3}	...	σ_{X_p}

b) Normaliser les variables :

Pour avoir une représentation graphique du nuage des points indépendante de l'unité des variables (figure 4), On normalise ces variables.

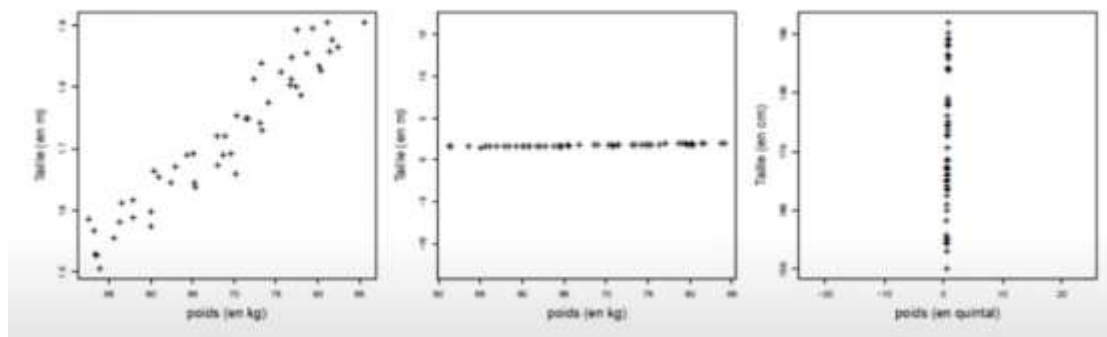


Figure IV.4 : représentation de deux variables en fonction de leurs unités.

Pour cela, on considère le changement de variable suivant ;

$$X_i^* = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma_{X_i}} \text{ (ou } x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{X}_i}{\sigma_{X_i}} \text{)} \quad (1)$$

individus	X_1	X_2	X_3	...	X_p
Ind 1	x_{11}	x_{12}	x_{13}	...	x_{1p}
Ind 2	x_{21}	x_{22}	x_{23}	...	x_{2p}
...
Ind n	x_{n1}	x_{n2}	x_{n3}	...	x_{np}
moyenne	\bar{X}_1	\bar{X}_2	\bar{X}_3	...	\bar{X}_p
Ecart type	σ_{X_1}	σ_{X_2}	σ_{X_3}	...	σ_{X_p}

➔

individus	X_1^*	X_2^*	X_3^*	...	X_p^*
Ind 1	x_{11}^*	x_{12}^*	x_{13}^*	...	x_{1p}^*
Ind 2	x_{21}^*	x_{22}^*	x_{23}^*	...	x_{2p}^*
...
Ind n	x_{n1}^*	x_{n2}^*	x_{n3}^*	...	x_{np}^*
Moyenne	0	0	0	...	0
Ecart type	1	1	1	...	1

Figure IV.5 : Normalisation des données.

IV.2.2. Définitions :

Centre de gravité :

C'est le point de coordonnée $g = (\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_p)$

Dans le cas des variables centrées réduites ; $g^* = (0,0, \dots, 0)$

Inertie totale :

L'inertie mesure la dispersion totale du nuage des points et qui est donné par la formule suivante :

$$I_{totale}(g) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d^2(g, ind_i) \tag{2}$$

$$\text{Où } d^2(g, ind_i) = \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \bar{X}_j)^2 \tag{3}$$

Ainsi

$$I_{totale}(g) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \bar{X}_j)^2 = \sum_{j=1}^p \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{X}_j)^2 = \sum_{j=1}^p V(X_j) \tag{4}$$

Dans le cas des variables centrées réduites

$(g^* = (0,0, \dots, 0)$ et $V(X_j) = 1$ pour tout j)

On a $I_{totale}(g^*) = \sum_{j=1}^p 1 = p$

IV.2.3. Le principe de l'ACP :

On prend le cas de trois variables (centrées réduites)

Tableau IV.2 : donnée de trois variables centrées réduites.

Individus	X^*_1	X^*_2	X^*_3
Ind 1	x^*_{11}	x^*_{12}	x^*_{13}
Ind 2	x^*_{21}	x^*_{22}	x^*_{23}
...
Ind n	x^*_{n1}	x^*_{n2}	x^*_{n3}
Moyenne	0	0	0
Ecart type	1	1	1

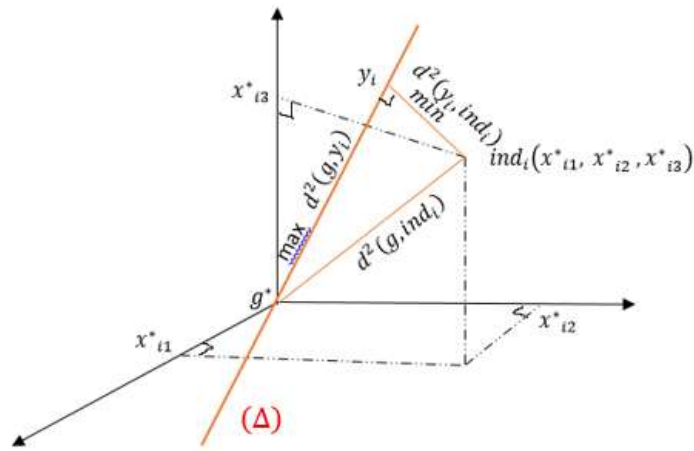


Figure IV.6 : Le principe de l'ACP

Soit (Δ) une droite qui passe par g^* , en projetant le point $ind_i = (x^*_{i1}, x^*_{i2}, x^*_{i3})$ sur cette droite on a alors (relation de Pythagore):

$$d^2(g^*, ind_i) = d^2(y_i, ind_i) + d^2(g^*, y_i) \quad (5)$$

Et pour l'ensemble des points on a ;

$$\sum_{i=1}^n d^2(g^*, ind_i) = \sum_{i=1}^n d^2(y_i, ind_i) + \sum_{i=1}^n d^2(g^*, y_i) \quad (6)$$

$$D'où \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d^2(g^*, ind_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d^2(y_i, ind_i) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d^2(g^*, y_i) \quad (7)$$

$$Ainsi I_{totale}(g^*) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d^2(y_i, ind_i) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d^2(g^*, y_i) \quad (8)$$

$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d^2(y_i, ind_i)$: est appelé inertie résiduelle.

$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d^2(g^*, y_i)$: est appelé inertie expliquée.

Le principe de l'ACP est de trouver une droite (Δ) (un axe) telle que l'inertie résiduelle soit minimale et l'inertie expliquée soit maximale.

On cherche ensuite un deuxième axe orthogonal au premier et d'inertie totale maximale. En procédant ainsi, on définit « p » axes.

La recherche d'axes portant le maximum d'inertie revient à construire de nouvelles variables (auxquelles sont associés ces axes) de variance maximale. Autrement dit, on effectue un changement de base de façon à se placer dans un nouveau système de représentation où le premier axe apporte au nuage le maximum possible de l'inertie totale du nuage, le deuxième axe le plus possible de l'inertie non prise en compte par le premier axe, et ainsi de suite.

IV.2.4. La solution du problème :

Cette réorganisation se base sur la diagonalisation de la matrice de corrélation « R » définie comme suit :

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r(X^*_1, X^*_2) & \dots & r(X^*_1, X^*_p) \\ r(X^*_1, X^*_2) & 1 & \dots & r(X^*_2, X^*_p) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r(X^*_1, X^*_p) & r(X^*_2, X^*_p) & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Où $r(X, Y) = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$ et $cov(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{X} \bar{Y}$

Dans le cas de la matrice centrée réduite on a :

$$r(X^*_k, X^*_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x^*_{ik} x^*_{ij} \tag{9}$$

On cherche les valeurs propres de « R » ; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \dots, \lambda_p$ telle que $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \lambda_4 > \dots > \lambda_p$.

On détermine ensuite les vecteurs propres associés, $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_3, \dots, \vec{u}_p$

- Le premier axe principal est dirigé par le vecteur propre \vec{u}_1 (normé) associé à la plus grande valeur propre λ_1 .
- Le deuxième axe principal est orthogonal au premier axe et dirigé par le vecteur propre \vec{u}_2 (normé) associé à la valeur propre λ_2 ...

Remarque :

Ces vecteurs propres sont orthogonaux entre eux.

C'est-à-dire $\vec{u}_i \perp \vec{u}_j$ ou $\vec{u}_i \cdot \vec{u}_j = 0$

IV.2.5. Paramètres et propriétés :

IV.2.5.1. Les composantes principales :

La première composante (Y_1) est la projection de l'individu « i » sur le premier axe et qui est donnée par : $Y_1 = (\vec{u}_1 \cdot \overrightarrow{ind}_i)_i$

La deuxième composante (Y_2) est la projection de l'individu « i » sur le deuxième axe où $Y_2 = (\vec{u}_2 \cdot \overrightarrow{ind}_i)_i$

Et en générale, la $j^{\text{ième}}$ composante (Y_j) est la projection de l'individu « i » sur le $j^{\text{ième}}$ axe où $Y_j = (\vec{u}_j \cdot \overrightarrow{ind}_i)_i$

Tableau 3: Les composantes principales.

Individus	$comp Y_1$	$comp Y_2$	$comp Y_3$...	$comp Y_p$
Ind 1	$\vec{u}_1 \cdot \overrightarrow{ind}_1$	$\vec{u}_2 \cdot \overrightarrow{ind}_1$	$\vec{u}_3 \cdot \overrightarrow{ind}_1$...	$\vec{u}_p \cdot \overrightarrow{ind}_1$
Ind 2	$\vec{u}_1 \cdot \overrightarrow{ind}_2$	$\vec{u}_2 \cdot \overrightarrow{ind}_2$	$\vec{u}_3 \cdot \overrightarrow{ind}_2$...	$\vec{u}_p \cdot \overrightarrow{ind}_2$
...
Ind n	$\vec{u}_1 \cdot \overrightarrow{ind}_n$	$\vec{u}_2 \cdot \overrightarrow{ind}_n$	$\vec{u}_3 \cdot \overrightarrow{ind}_n$...	$\vec{u}_p \cdot \overrightarrow{ind}_n$
Moyenne	0	0	0	...	0
$Var(Y_i)$	λ_1	λ_2	λ_3	...	λ_p

Propriétés :

- $\bar{Y}_i = 0$, les variables sont centrées.
- $Var(Y_i) = \lambda_i$; les variables ne sont pas réduites.
- Pour chaque Y_i , on définit un pourcentage $\frac{\lambda_i}{p}$ qui définit l'inertie expliqué par Y_i

IV.2.5.2. La contribution d'un individu à l'information d'un axe principale :

La contribution d'un individu (ind_i) à l'information d'un axe principale Y_j est illustrée par la formule suivante :

$$ctr_{ij} = \frac{\frac{1}{n}(\overline{u}_j \cdot \overline{ind}_i)^2}{\lambda_j} \quad (10)$$

IV.2.5.3. La qualité de représentation d'un individu par rapport à un axe principale :

On se base sur la valeur de θ qui est donnée par la formule :

$$(\cos \theta)^2 = \frac{(\overline{u}_j \cdot \overline{ind}_i)^2}{\|\overline{ind}_i\|^2}$$

Si θ est petit Y_j représente bien l'individu(i) (figure 7)

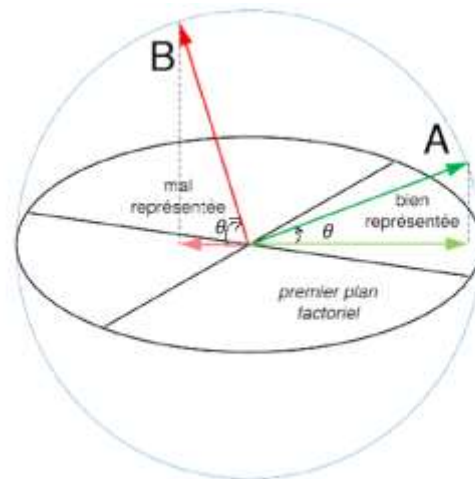


Figure IV.7 : la qualité de représentation d'un individu par rapport à un axe principale

IV.2.5.4. La corrélation entre variable et composante principale :

Le coefficient de corrélation entre une variable X_i et une composante principale Y_j est donné par :

$$r(Y_j, X_i) = a_i \sqrt{\lambda_j} \tag{11}$$

Où a_i est la $i^{\text{ième}}$ composante du vecteur propre \vec{u}_j .

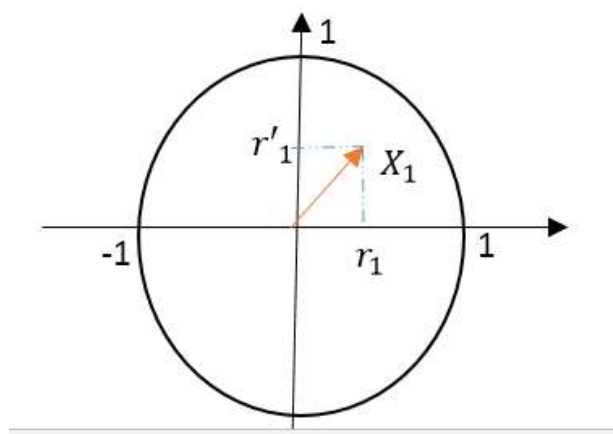
IV.2.5.5. Le cercle de corrélation :

Les corrélations entre les variables X_i et les composantes principale Y_1 et Y_2 sont représentées par des vecteurs de coordonnées $(r(Y_1, X_i), r(Y_2, X_i))$ dans un cercle de centre (0,0) et de rayon 1 (figure 8).

Aussi, plus le vecteur est proche de ce cercle, meilleure est la qualité de sa représentation.

Tableau IV.4 : la corrélation entre les variables et les composantes principales.

	$r(Y_1, X_i)$	$r(Y_2, X_i)$
X_1	r_1	r'_1
X_2	r_2	r'_2
...
X_p	r_p	r'_p



FigureIV.8 : Cercle de corrélation.

IV.2.5.6. Nombre d'axe à retenir :

La qualité des estimations faites par l'ACP dépend du choix du nombre q de composantes retenues pour représenter les données.

De nombreux critères de choix pour q ont été proposés dans la littérature. Nous présentons ici les deux méthodes les plus fréquemment utilisées.

Part d'inertie :

La qualité globale des représentations est mesurée par la formule suivante :

$$r_q = \frac{\sum_{k=1}^q \lambda_k}{\sum_{k=1}^p \lambda_k} \quad (12)$$

Où la valeur de q est choisie de sorte que cette part expliquée r_q soit supérieure à une valeur seuil fixée par l'utilisateur.

Eboulis :

C'est le graphique (figure 9) présentant la décroissance des valeurs propres.

Le principe consiste à chercher, s'il existe, un « coude » (ou une cassure) dans la courbe et de ne conserver que les valeurs propres jusqu'à ce coude.

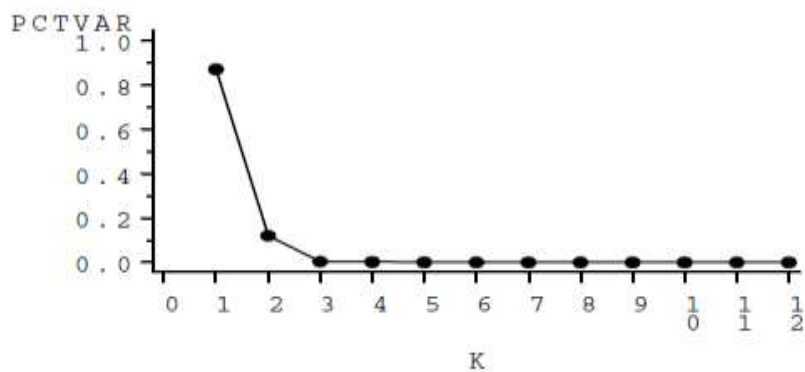


Figure 9 : éboulis des valeurs propres.

IV.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons parlé sur l'analyse en composantes principales qui est choisie dans notre approche. L'ACP est une méthode de traitement statistique de données dont le but est de représenter et d'expliquer les liens statistiques entre les phénomènes. Elle permet d'identifier des variables liées, ou facteurs expliquant des corrélations à l'intérieur d'un ensemble de variables observées. Elle est également utilisée pour réduire l'ensemble de données et pour agréger les informations en identifiant un petit nombre de facteurs qui expliquent la plupart des variances observées dans le plus grand nombre de variables étudiées.

CHAPITRE V

APPLICATION DE L'ACP

CHAPITRE V

APPLICATION DE L'ACP

V.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous étudierons les performances épuratoires de la station d'épuration du complexe textile de SEBDOU (DENITEXT). Cette étude a été menée sur une série de mesure journalières sur les paramètres de pollution de l'eau pour une période allant de 2012 jusqu'au 2020. Ces analyses ont été effectuées en laboratoire par prélèvement d'échantillons au niveau de la sortie des eaux traitées. Les résultats obtenus sont consignés manuellement dans une fiche technique pour faciliter le travail du comité de suivi.

Les paramètres ayant fait l'objet de notre travail sont : la température « T », le « pH », la demande biochimique en oxygène « DBO5 » et le permanganate « MNO4 » la demande chimique de l'oxygène « DCO ». En premier lieu, nous avons appliqué la méthode ACP sur chaque année séparément moyennant le logiciel XL-STATE. Ceci nous a permis de faire une synthèse sur une variation de ces paramètres le long des neuf années d'étude.

V.2. Résultats et discussion :

Année 2012:

Tableau V.1 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2012.

Axe	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	1,4311	1,0017	0,9796	0,5876
Variabilité (%)	35,7778	25,0430	24,4895	14,6897
% cumulé	35,7778	60,8208	85,3103	100,0000

A travers le tableau 1, on constate que le premier axe ou première composante (F1) permet d'expliquer 35,7778% de la variance totale du nuage de points et le second axe ou seconde composante (F2) permet d'expliquer 25,0430% de la variance totale.

En projetant chaque variable sur le plan (F1 F2), on conserve donc 60,8208 % de la variance totale et on a une acceptable qualité de représentation.

A partir de la figure 1, on constate que :

- Les points PH, DCO et DBO5 sont proches du cercle ce qui signifie que les trois variables sont bien présentées.
- Le point « T », un peu plus éloigné du cercle signifie plutôt qu'il est moins bien représenté par l'ACP.
- Les points «DCO» et « DBO5 » sont très proches donc les 2 variables sont corrélées.
- Le point DCO est proche de F1 ce qui explique que F1 est DCO sont très corrélés positivement et on observe la même chose pour le point Ph et l'axe F2. Ainsi on peut déduire que les variables DCO et Ph sont indépendantes.

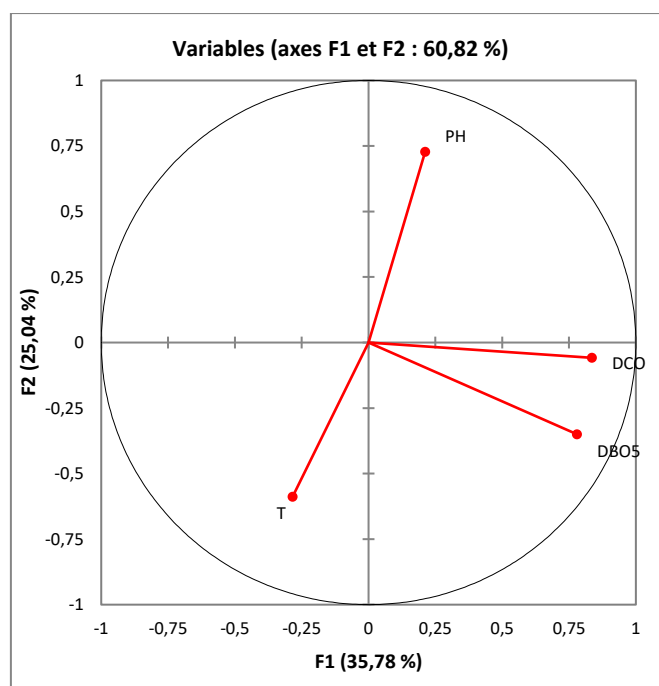


Figure V.1 : le cercle de corrélation de l'année 2012.

Année 2013 :

La compression des informations sur le plan (F1 F2) conserve 63,5475% (tableau 2) de la variance totale du nuage de points où le premier axe F1 permet d'expliquer 35,3256% et le deuxième axe F2 28,2219% de l'ensemble des informations. On a dans ce cas une acceptable qualité de représentation par l'ACP.

Tableau V.2: La qualité d'estimation des axes de l'année 2013.

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	1,4130	1,1289	0,8555	0,6026
Variabilité (%)	35,3256	28,2219	21,3871	15,0655
% cumulé	35,3256	63,5475	84,9345	100,0000

De la figure 2 on remarque que :

- Les points « DCO » et « DBO5 » sont très proches d'où la corrélation linéaire des deux variables.

- Les trois points « DCO », « T » et « PH » sont très proches du cercle ce qui signifie qu'ils sont bien représentés par l'ACP.
- Le point « PH » est proche de « F1 » ce qui explique que « F1 » et « PH » sont linéairement corrélés. On constate la même observation pour le point « DCO » et l'axe F2. Ainsi on peut déduire que les variables « DCO » et « PH » sont indépendantes.
- Le point « DBO5 » est un peu plus éloigné du cercle signifie plutôt et cela indique qu'il est moins bien représenté par l'ACP.

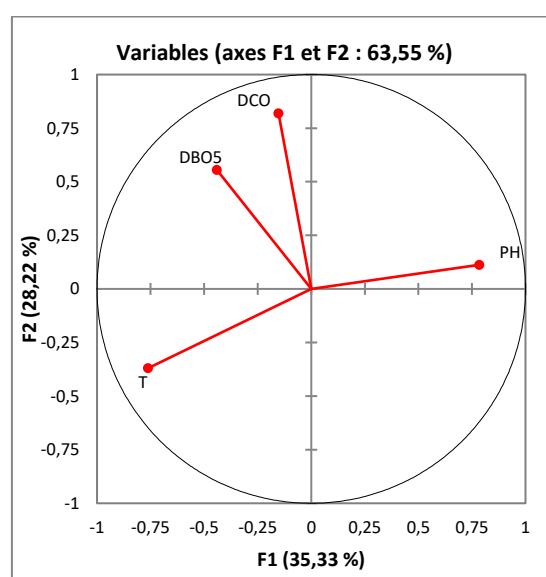


Figure V.2: le cercle de corrélation de l'année 2013.

Année 2014 :

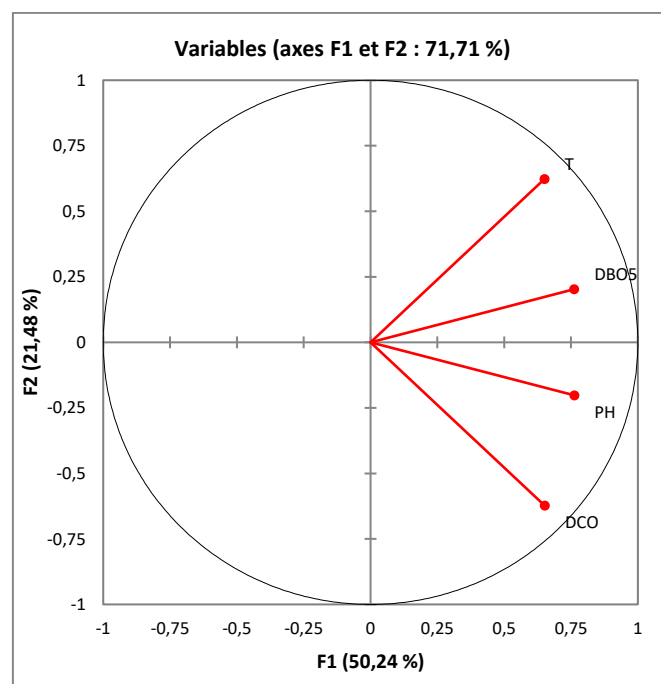
La compression des variables sur le plan (F1 F2) conserve 71,7112% de la variance totale du nuage de points où le premier axe F1 permet d'expliquer 50,2358% et le deuxième axe F2, 21,4754% de l'ensemble des informations (tableau 3). On a donc une bonne qualité de représentation de l'ACP.

Tableau V.3: La qualité d'estimation des axes de l'année 2014.

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	2,0094	0,8590	0,5791	0,5525
Variabilité(%)	50,2358	21,4754	14,4771	13,8117
% cumulé	50,2358	71,7112	86,1883	100,0000

De la figure 3, on constate que :

- Les quatre points « DCO », « T », « PH » et « T » sont proches du cercle ce qui signifie que les quatre variables sont bien représentées par l'ACP.
- Ces variables sont corrélées positivement par rapport à l'axe F1.
- Les variables « PH » et « DCO » sont corrélés négativement par rapport à F2. Et les variables « DCO » et « T » sont corrélés positivement par rapport à F2.
- Il y a une dépendance entre les quatre variables.

**Figure V.3:** le cercle de corrélation de l'année 2014.

Année 2015 :

Tableau V.4 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2015.

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	1,4799	1,0505	0,8174	0,6522
Variabilité (%)	36,9968	26,2627	20,4348	16,3058
% cumulé	36,9968	63,2594	83,6942	100,0000

A travers le tableau 4, on constate que le premier axe ou première composante (F1) permet d'expliquer 37% de la variance totale du nuage de points et le second axe ou seconde composante (F2) permet d'expliquer 26,26% de la variance totale.

En projetant chaque variable sur le plan (F1 F2), on retient 63,26% de la variance totale ce qui indique une acceptable qualité de représentation.

A partir de la figure 4, on remarque que :

- Les quatre points « DCO », « T », « PH » et « T » ne sont pas très proches du cercle ce qui signifie que les quatre variables ne sont pas bien représentées par l'ACP.
- Les points « Ph » et « DBO5 » sont très proches donc les deux variables sont très corrélées.
- « Ph », « DBO5 » et « DCO » sont corrélés positivement par rapport à F1 en outre « T » est corrélé négativement par rapport au premier axe.
- « Ph », « DBO5 » et « T » sont corrélés positivement par rapport à F2 par contre « DCO » est corrélé négativement par rapport à celle-ci.

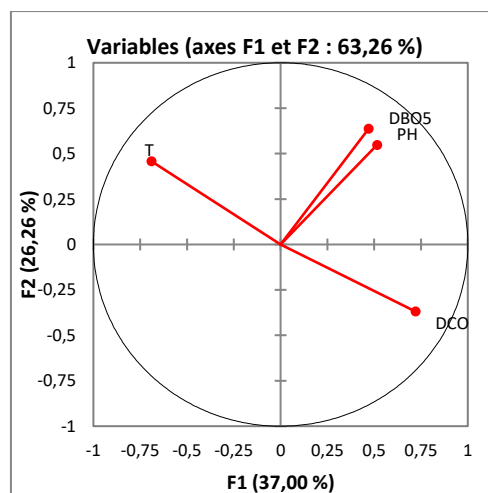


Figure V.4 : le cercle de corrélation de l'année 2015.

Année 2016 :

Tableau V.5 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2016.

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	1,4383	1,1945	0,8201	0,5471
Variabilité (%)	35,9581	29,8616	20,5026	13,6777
% cumulé	35,9581	65,8197	86,3223	100,0000

La compression des informations sur le plan (F1 F2) conserve 65,82% (tableau 5) de la variance totale du nuage de points où le premier axe F1 permet d'expliquer 36% (tableau 5) et le deuxième axe F2 29,86% (tableau 5) de l'ensemble des informations. Ce qui indique une acceptable qualité de représentation ce qui explique une acceptable qualité de représentation par l'ACP.

De la figure 5, on constate que :

- Les points «Ph », « DBO5 », « DCO » et « T » sont très proches du cercle ce qui signifie qu'elles sont bien présentées par l'ACP.
- Le point «Ph » est très proche de l'axe F1 ce qui montre une forte corrélation entre ces deux variables. On remarque le même résultat

entre le point « DBO5 » et l'axe F2

- Les variables « Ph » et « DBO5 » et « DCO » sont corrélés positivement par rapport à F1 en outre « T » est corrélé négativement par au premier axe.
- Les variables « Ph », « DBO5 » et « T » sont corrélés positivement par rapport à F2 par contre la variables « DCO » est corrélé négativement par rapport au deuxième axe.

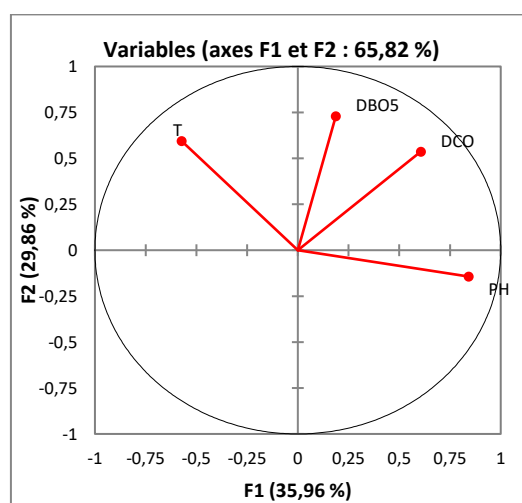


Figure V.5: le cercle de corrélation de l'année 2016.

Année 2017 :

Tableau V.6 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2017.

	F1	F2	F3
Valeur propre	1,6619	0,9796	0,3586
Variabilité (%)	55,3950	32,6531	11,9519
% cumulé	55,3950	88,0481	100,0000

Le tableau 6 montre que la compression des informations sur le plan (F1 F2) conserve 88% de la variance totale du nuage de points où le premier axe F1 permet d'expliquer 55,4 % et le deuxième axe F2 32,65 %

de l'ensemble des informations. On a donc une bonne qualité de représentation.

De la figure 6, on remarque que :

- Les trois points sont très proches du cercle ce qui signifie que l'ACP a bien présentée ces variables.
- Le point «T » est sur l'axe F1 ce qui montre une forte corrélation linéaire entre la variable «T » et le premier axe.
- Les trois variables sont corrélés positivement par rapport à F1 en plus «DBO5 » est corrélé positivement par rapport à F2 et «Ph » est corrélé négativement par rapport à celle-ci.

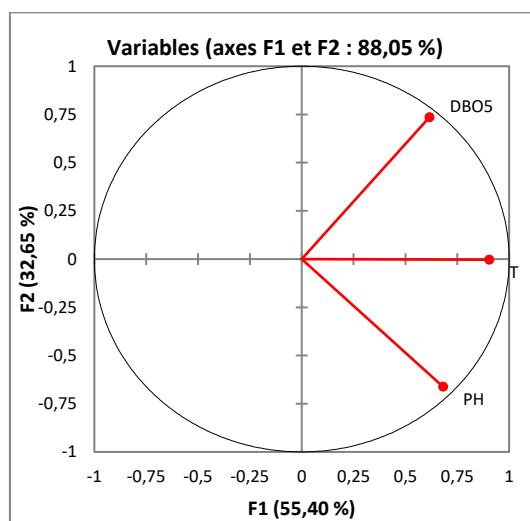


Figure V.6 : le cercle de corrélation de l'année 2017.

Année 2018 :

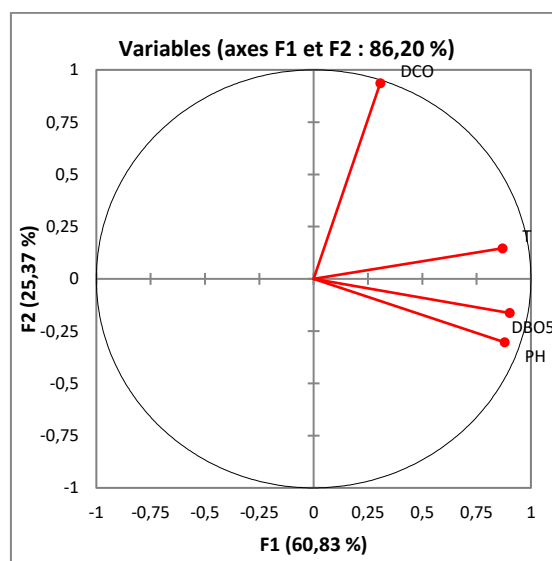
La projection des données sur le plan (F1 F2) conserve 86,1962% de la variance totale du nuage de points dont le premier axe F1 permet d'expliquer 60,8261% et le deuxième axe F2 25,3701% de l'ensemble des informations. On a donc une bonne qualité de représentation par ce plan (tableau 7).

Tableau V.7 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2018.

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	2,4330	1,0148	0,3362	0,2159
Variabilité (%)	60,8261	25,3701	8,4053	5,3985
Cumulé%	60,8261	86,1962	94,6015	100,0000

On constate de la figure 7 que :

- Les quatre points sont très proches du cercle ce qui signifie que l'ACP a bien présentée ces variables.
- Les variables « DBO5 », « T » et « Ph » sont corrélées entre eux et une forte corrélation de ces variables avec F1.
- La variable « DCO » est très corrélée linéairement avec l'axe F2.

**Figure V.7** : le cercle de corrélation de l'année 2018.

Année 2019 :

La compression des informations sur le plan (F1 F2) conserve 87,3768% de la variance totale du nuage de points où le premier axe F1 permet d'expliquer 62,8630% et le deuxième axe F2 24,5138% de

l'ensemble des informations. On a donc une très bonne qualité de représentation par cette projection (tableau 8).

Tableau V.8 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2019.

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	2,5145	0,9806	0,3260	0,1789
Variabilité (%)	62,8630	24,5138	8,1495	4,4737
% cumulé	62,8630	87,3768	95,5263	100,0000

De la figure 8 on remarque que :

- Les quatre points sont très proches du cercle ce qui signifie la bonne représentation de ces variables.
- Les variables « DBO5 », « T » et « Ph » sont fortement corrélées entre eux et aussi avec l'axe F1.
- La variable « DCO » est fortement corrélée avec l'axe F2.

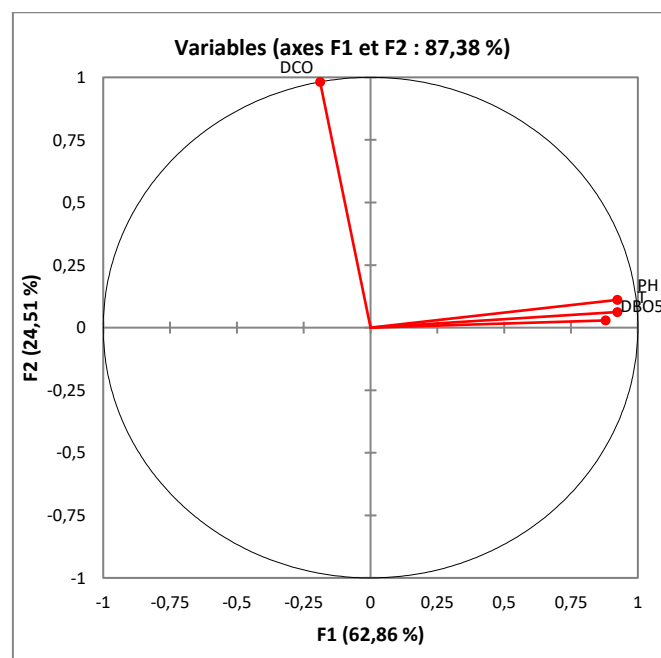


Figure V.8 : le cercle de corrélation de l'année 2019.

Année 2020 :

La compression des informations sur le plan (F1 F2) conserve 87,2401% de la variance totale du nuage de points où le premier axe F1 permet d'expliquer 56,6672% et le deuxième axe F2 30,5729% de l'ensemble des informations. On a donc une très bonne qualité de représentation (tableau 9).

Tableau V.9 : La qualité d'estimation des axes de l'année 2020.

	F1	F2	F3
Valeur propre	1,7000	0,9172	0,3828
Variabilité (%)	56,6672	30,5729	12,7599
% cumulé	56,6672	87,2401	100,0000

De la figure 9, on remarque que :

- Les trois points sont très proches du cercle ce qui signifie la bonne représentation de ces variables par cette projection.
- La variable « Ph » est fortement corrélé avec l'axe F1.
- La variable « DBO5 » est corrélée négativement avec les deux axes.
- La variable « T » est corrélé négativement avec l'axe F1 et positivement avec le deuxième axe.

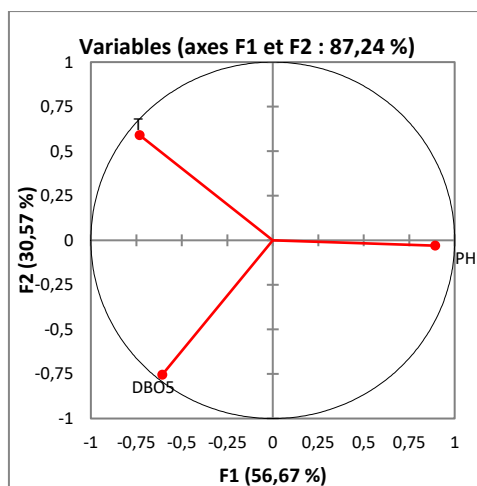


Figure V.9 : le cercle de corrélation de l'année 2020.

V.3. Conclusion :

L'application de la méthode ACP a donné une très bonne qualité de projection sur le plan (F1 F2) pendant les années 2014, 2017, 2018, 2019 et 2020 où la compression des informations varie entre 71,71% et 88%. Mais cette qualité de projection est acceptable durant les années 2012, 2013, 2015, 2016 où la compression des informations est entre 60,82% et 65,81. On constate aussi que le paramètre « DCO » n'est pas corrélé avec les autres variables durant les deux années 2018 et 2019. Cependant, tous les paramètres restent corrélés pendant les autres années.

Conclusion général e

Conclusion générale :

L'industrie textile est l'une des sources les plus dramatiques de pollution de l'eau, car divers colorants causent de graves dommages à l'environnement et à la santé humaine. Ainsi, il est important de disposer d'une station d'épuration pour éliminer le maximum de contamination présente dans les eaux usées tout en respectant les normes de drainage imposées par la réglementation algérienne.

Les méthodes de traitement utilisées diffèrent d'une station à l'autre, et dépendent de la nature des polluants présents dans l'eau.

Le travail présenté dans ce mémoire a été consacré à la mise en œuvre de la méthode « Analyse en composantes principales, ACP » de l'analyse multi variée appliquées à la station d'épuration des eaux usées de l'usine textile SEBDOU, cette étude est basée sur l'exploitation d'une série d'analyses physico-chimiques (datée de 2012 à 2020) effectuée sur quatre paramètres de pollution de l'eau (T, PH, DBO5, DCO) à la sortie de cette STEP.

Notre modeste travail nous a permis de dégager les conclusions suivantes :

Tout d'abord, l'application de la méthode ACP s'adapte très bien à ce problème et donne un taux très acceptable de compression des informations.

Après, nous constatons une bonne corrélation linéaire entre les quatre paramètres sur toute la durée d'étude sauf pour le cas du paramètre « DCO » qui n'est pas corrélé avec les autres variables durant les années 2018 et 2019.

Conclusion Générale

Il est à noter qu'au départ, l'objectif de ce sujet consistait à utiliser l'ACP pour analyser les performances d'une station d'épuration en termes de décontamination des effluents à travers plusieurs séries de mesures de paramètres d'indice de pollution. A cet effet, nous avons utilisé les années comme variables pour étudier l'évolution des paramètres de pollutions à travers les neuf années, mais il est à noter que la série des données utilisée contient de nombreuses lacunes d'une part, et d'autre part, nous n'avons pas constaté une importante variation des paramètres à l'entrée de la STEP vu que dans le cas des eaux usées industrielles, les rejets sont relativement homogènes pas comme dans le cas des STEP des eaux usées domestiques. Ce qui a entravé le bon déroulement de notre travail.

Par conséquent, nous recommandons de ;

- Travailler sur une station d'épuration des eaux usées domestiques ou il y a une variabilité des eaux usées à l'entrée de la STEP.
- Prendre en considération les variables étudiés à l'entrée et sortie de la station.
- Étudier l'évolution de chaque paramètre en fonction des années considérées (corrélations).

Bibliographie

Bibliographie :

[1] Nait Merzoug Nesrine ; 2014 ; Application des tiges de dattes dans l'adsorption de polluants organiques ; Mémoire de Magister ; Université Mohamed Cherif Massaadia de Souk-ahras; 72p ;

[2] A.Boulal, M.Bouachema; 2014; étude cinétique de la dégradation d'un colorant par oxydation; Mémoire fin d'études de master; Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Faculté de Chimie, Département de génie chimique; 60p.

[3] Directive Européenne du 21 mai 1991(91/271/CEE) relative au traitement des eaux urbaines résiduaires.

[4] J-R.vailant ; 1974 ; Perfectionnement et nouveautés pour des eaux résiduaires, eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles, Edition Eyrolles, 2863 p.

[5] IKHLEF Rachida et GHERRAS Houria (11/06/2017), Amélioration de la qualité de l'eau rejetée de la SOITEX de Sebdou.

[6] A.Boukredimi ; M.Berrahal; 2014; Suivi des analyses des eaux sanitaires de complexe gp2/z ; mémoire de Master ; Université des Sciences et de la Technologie d'Oran; 75 p

[7] S. Bouafia ; 2010 ; dégradation des colorants textiles par procédés d'oxydation avancée basée sur la réaction de fenton ; Thèse de doctorat; Université Saad Dahleb de Blida; 160p

[8] Boeglin J.C; 1997; Analyse des eaux résiduaires, Pollution industrielle de l'eau caractérisation, classification, mesure, technique de l'ingénieur, traite du génie industriel ; p1210-1

[9] Elodie ZAWLOTZKI GUIVARCH; 2004 ; Traitement des polluants organiques en milieux aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée "Electro-Fenton". Application à la minéralisation des colorants synthétiques. ; Thèse de doctorat; Université de Marne-La-Vallée France, septembre; 234 p

[10] S.M.Fentous; A.Belhadj; 2014; Etude des interactions colorant tensioactif : application à la dépollution; Mémoire de master; Université des sciences et de la technologie d'Oran; 51p

[11] W.Lemlikchi; 2012; élimination de la pollution des eaux industrielles par différents procédés d'oxydation et de co-précipitation; Thèse de doctorat; Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou; 172p

[12] S.Hammami; 2008;Etude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application a la dépollution des rejets industriels; Université de Marne la Vallée –France; 175p

[13] Manahan S.E; 1994; Lewis publishing; 6e edition; Atlanta; GA; USA. 62

[14] Willmott N.J., J.T. Guthrie et G. Nelson; 1998;The biotechnology approach to colour removal from textile effluent; J. Soc. Dyers Colour; 114, 38-41

[15] Pagga U. et D. Brown; 1986; The degradation of dyestuffs part II: behaviour of dyestuffs in aerobic biodegradation tests; Chemosphere; 15; 479-491

[16] Servais P ; octobre 1999 ; La matière organique dans les milieux naturels. Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées français, p 49.

Bibliographie

[17] Ganesh R; 1992; Thèse de doctorat; Chimie; Virginia Polytechnic Institute and State University; Blacksburg, VA, USA; 193 p.

[18] Brown M.A eT S.C. Devito; 1993; Predicting azo dye toxicity; Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 12, 405-414

[19] Décret exécutif no 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427, correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Journal officiel de la république Algérienne no 26.

[20] R. SALGHI; Différents filières de traitement des eaux, Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir, Université Ibn Zohr Maroc, 22p

[21] Emilain koller ; juin 2009 ; Traitement des pollutions industrielles ; Edition dunod; deuxième édition; 570p

[22] XU Y., LANGFORD C H; 2000; J. Photochem. Photobiol. A: Chem. 133, p67-71.

[23] BENAÏSSA Ammaria et BERRACHED Karima (Juin 2019), Quantification de la pollution des rejets de textile de Sebdou, Mémoire pour obtenir le diplôme de licence en hydraulique, Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, Faculté des Technologie.

[24] Wastewater Engineering ; Treatment and reuse de Metcalf & Eddy, "Principales of water treatment" de MWH, et "Water and wastewater Engineering" de Mackenzie Davis et Susan Masten.

[25] Pearson, K., « On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space », Philosophical Magazine, vol. 2, no 6, 1901, p. 559–572 (lire en ligne [archive] [PDF] ou Pearson, K. 1901. On lines and planes of

closest fit to systems of points in space. Philosophical Magazine [2:559-572]

[26] https://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_en_composantes_principales#/media/Fichier:Karl_Pearson_line_of_best_fit_diagramm_from_philosophical_magazine_1901_2_559-572.jpg

[27] « Analysis of a Complex of Statistical Variables with Principal Components », 1933, Journal of Educational Psychology.

[28] Analyse en Composantes Principales C. Duby, S. Robin.

[29] https://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_en_composantes_principales.

[30] Zeghoud Mohamed S ; 2014 ; Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra ; Mémoire fin d'études de master ; Université des Sciences et de la Technologie d'El – Oued.

[31] H. Zoughuir, H. Khalef, O. Bouras, N. Chenouf, D. Belkaiss, «Traitement des eaux résiduaires colorées de l'unité de SOITEX de Boufarik par adsorption sur argiles modifiées».Proceeding de la 3èmeconférence Maghrébine de Génie des Procédés, Tome 3, 1998, 296-299.

[32] Nait Merzoug Nesrine; 2014 ; Application des tiges de dattes dans l'adsorption de polluants Organiques ; Mémoire de Magister ; Université Mohamed Cherif Massaadia de Souk-Ahras.

[33] M. Elkassimi, D. Meziane, S. Abouarnadasse, H. Azizi, «Elimination des colorants de l'industrie de textile par le charbon de bois». Proceeding de la 2èmeconférence Maghrébine de Génie des Procédés, 1998, 555-558.