

Faculty of Sciences and Technology
Department of Process Engineering
Ref :...../U.M/F.S.T/2026

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم هندسة الطرائق
رقم :..... / ج.م.ك.ع.ت//2026

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : **GÉNIE DES PROCÉDÉS**

Option: **GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT**

THÈME

**Évaluation de la qualité des eaux usées industrielle
au niveau de la STEP au complexe GNL3Z**

Présenté par

- 1- M^{elle} Ahmed fouatih Sabrina
- 2- M^{elle} Bouhassoune Fatima Zohra

Soutenu le 16/06/ 2026 devant le jury composé de :

Présidente :	Mme ATTOUTI Salima	Professeur	Université de Mostaganem
Examineur :	Mr TERKHI Mohamed Cherif	MCA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Mr TERMOUL Mourad	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2025/2026

Remerciements

Nous remercions avant tout Allah, le Tout-Puissant, qui nous a guidées et aidées à accomplir ce travail. À Lui reviennent toute gratitude et toutes louanges pour Ses innombrables bienfaits.

Nous adressons nos sincères remerciements et notre profonde reconnaissance à notre encadrant Dr **TERMOUL Mourad** pour son soutien continu, ses orientations précieuses et ses conseils avisés qui ont largement contribué à la réalisation de ce mémoire. Il a été pour nous un véritable soutien tout au long de ce travail.

Nous exprimons également notre profond respect et nos vifs remerciements au président du jury **Pr ATTOUTI Salima** ainsi qu'à l'examineur **Dr TERKHI Mohamed Cherif** pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce mémoire, ainsi que pour leurs remarques constructives qui contribueront sans aucun doute à enrichir et améliorer ce travail.

Nous tenons aussi à adresser nos sincères remerciements et notre gratitude aux travailleurs du Complexe GLN3Z, en particulier aux employés et techniciens du département **HSE** ainsi qu'au personnel du **laboratoire**, pour leur accueil chaleureux, leur précieuse collaboration ainsi que les informations et orientations qu'ils nous ont fournies, lesquelles nous ont grandement aidées à réaliser ce travail dans les meilleures conditions.

Nous n'oublions pas également d'adresser nos remerciements à tous les enseignants qui nous ont accompagnées tout au long de notre parcours universitaire, ainsi qu'à toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire.

Enfin, nous dédions le fruit de nos efforts à nos familles ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont soutenues et encouragées tout au long de notre parcours universitaire, en leur souhaitant réussite et succès.

Dédicace

Je voudrais remercies tous d'abord, DIEU tout clément et miséricorde
DIEU pour
Être mon meilleur confident et pour me permettre de réaliser mes rêves
merci pour

Me guider et être toujours avec moi

Je dédie ce mémoire

A mon père **Lakhdar**, Tu es un pilier solide et incontournable pour ma
personne et mon parcours. Que DIEU te donne santé et longue vie.

A ma très chère mère, qui n'a cessé de donner d'elle-même pour que je
sois heureuse et qui m'a toujours encouragée dans les moments les plus
difficiles

A mes deux trésors frères et sœurs : **Saadia** et **Youcef** qui m'ont soutenu
tout au long de la réalisation de ce travail.

À celle qui a été mon soutien et ma compagne de route tout au long de
ce parcours : **Fatima Zohra**.

A mes chers grands –mères, A mes oncles et tantes, A mes cousins et
cousines, A mes petits princes "**Rimes** et **Habib**"

Au Monsieur **Termoul** pour leurs encouragements et leurs compréhensions.

Ma gratitude restera sans limites.

Sabrina

Dédicace

À ceux qui ont été, après Dieu, la raison de ma réussite...

Je dédie ce travail à mes chers parents, ma mère **Habiba** et mon père **Lakhdar**, que je remercie pour tout l'amour, le soutien et les sacrifices qu'ils m'ont offerts tout au long de mon parcours. Que Dieu les protège et leur accorde santé et bonheur.

À ma sœur **Rouaia** et à mes frères **Mohamed Amine** et **Youcef Chérif**, qui ont toujours été à mes côtés et ont été une source de force et de motivation.

À ma compagne de route, **Sabrina**, pour son soutien, sa patience et tous les moments que nous avons partagés durant cette aventure.

Et un grand merci à notre encadrant, **Dr Termoul Mourad**, pour ses précieux conseils, son accompagnement et son soutien tout au long de ce projet.

À vous tous, je dédie le fruit de mes efforts et de ma persévérance, avec toute ma gratitude et mon profond respect

Fatima Zohra

Résumé

L'objectif de ce travail, est d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux usées industrielles de la STEP d'Arzew en référence avec les normes mise en dispositions dans le journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire. A cet égard, le traitement des eaux usées à la Station d'épuration d'Arzew et (STEP) suit plusieurs étapes, à savoir le prétraitement, le traitement biologique, la clarification, la désinfection et le rejet.

LES paramètres physico-chimiques (pH, Température, DBO5, DCO, MES...) et les métaux lourds ont été suivis durant une année allant de mars jusqu'au mars ; les prélèvements ont été prise au niveau de deux points : l'entrée et la sortie vers mer. Les résultats des paramètres physico-chimiques obtenus à partir des mesures et des analyses effectuées ont montré que les valeurs sont conformes aux normes de rejet des eaux usées vers mers.

Abstract

The aim of this study is to evaluate the physicochemical quality of industrial wastewater at the Arzew Wastewater Treatment Plant, in accordance with the standards established by the Official Journal of the People's Democratic Republic of Algeria. In this context, the wastewater treatment process at the Arzew WWTP involves several stages, namely: pretreatment, biological treatment, clarification, disinfection, and final discharge. The physicochemical parameters (pH, temperature, BOD5, COD, TSS, etc.) as well as heavy metals were monitored over a one-year period, from March to March. Samples were collected from two different points: the inlet of the treatment plant and the final discharge point into the sea. The results obtained from the measurements and analyses showed that the physicochemical parameter values comply with the standards for wastewater discharge into the marine environment.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية للمياه المستعملة الصناعية بمحطة تطهير أرزيو، وذلك بالاعتماد على المعايير المنصوص عليها في الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية. وفي هذا الإطار، تمر عملية معالجة المياه المستعملة بمحطة التطهير بأرزيو بعدة مراحل تتمثل في: المعالجة الأولية، المعالجة البيولوجية، التوضيح، التطهير، ثم التصريف النهائي، تمت متابعة المعايير الفيزيائية والكيميائية (الرقم الهيدروجيني، درجة الحرارة، الطلب البيوكيميائي للأوكسجين، الطلب الكيميائي للأوكسجين، المواد العالقة، وغيرها) بالإضافة إلى المعادن الثقيلة، لمدة سنة كاملة من شهر مارس إلى غاية شهر مارس من السنة الموالية. وقد أخذت العينات من نقطتين أساسيتين: مدخل المحطة ونقطة التصريف نحو البحر. وأظهرت النتائج المتحصل عليها من القياسات والتحليلات المنجزة أن قيم المعايير الفيزيائية والكيميائية مطابقة لمعايير تصريف المياه المستعملة في الوسط البحري.

Sommaire

Remerciements	II
Dédicace.....	III
Résumé	V
Introduction général.....	1
Chapitre I :Présentation du complexe	3
1.1 Présentation su complexe GL3Z :	4
1.1.1 Description Générale :	4
1.1.2 Situation Géographique :	4
1.1.3 Organisation générale du complexe :	4
1.2 Procédé du Complexe :	5
1.2.1 Définition du gaz naturel :	5
1.2.2 Définition du gaz naturel liquéfié GNL :	5
1.2.3 Les différentes unités du procédé :	5
1.3 Capacité de stockage du complexe GL3Z :	7
Chapitre II :Les rejets liquides	10
2.1.1 Les substances polluantes peuvent avoir différentes origines :	11
2.2 Source d’approvisionnement en eau du Complexe GL3Z [20] :	12
Chapitre III :Matériels et method.....	21
3. Introduction :	22
3.1 Echantillonnage :	22
3.2 Prélèvement et transport des échantillons :	23
3.3 Paramètres de mesure de la pollution des eaux :	23
3.3.1 Paramètres organoleptiques :	24
3.3.2 Paramètres physiques :	24
3.3.3 Paramètres Chimiques :	24
3.4 Les Analyses physique :	25
3.4.1 Température :	25
3.4.2 Matière en suspension :	25
3.5 Les Analyses chimique :	26
3.5.1 Mesure de sure du pH selon la norme ASTM D 1293 :	26
3.5.2 Analyse de La Demande Chimique en Oxygène (DCO) SELON APHA 5220-C :	27
3.5.3 Analyse de la Demande Biologique en Oxygène (DBO5) SELON LA METHODE APHA 5210-B :	27
3.5.4. Analyse du Fer, Zinc, Chrome, Cuivre, Phosphore Total :	29
Chapitre IV :Résultats et discussions	32
4. Introduction	33

4.1 Résultats d'analyse de DCO :.....	33
4.2 Résultats d'analyse de DBO5 :.....	34
4.3 Résultats d'analyse de DCO et DBO5 :	35
4.4 Résultats d'analyse de pH :	36
4.5 Résultats d'analyse de La température :.....	38
4.6 Résultats d'analyse des matières en suspension (MES) :.....	39
4.7 Résultats d'analyse de Phosphore total (PO_4^{3-}) :.....	40
4.8 Résultats d'analyse des Métaux toxiques (Cr, CN) :	42
4.9 Résultats d'analyse des Métaux Lourds (Fe, Zn) :.....	43
4.10 Résultats d'analyse de cuivre :	44
4.11 Résultats d'analyse de teneur en huile et graisse :	45
Conclusion générale	48

Liste des figures

Figure I.1 : Carte Géographique de la plateforme industrielle d'Arzew.

Figure II.1 : l'unité 64 de complexe GL3Z.

Figure II.2 : Schéma simplifié de l'installation.

Figure II.3 : Bassin d'équilibrage (2026).

Figure II.4 : Plaques du CPI utilisées pour la séparation huile/eau.

Figure II.5 : Réservoir de collecte des huiles issues du séparateur CPI.

Figure II.6: CPI (Corrugated Plate Interceptor).

Figure II.7 : STEP garage mécanique et lavage véhicules (photo récente 2024).

Figure III.1 : Échantillonnage des eaux traitées.

Figure III.2 : Échantillons prélevés à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Figure III.3 : pH-mètre.

Figure III.4 : Spectrophotomètre.

Figure III.5 : L'incubateur.

Figure III.6 : Dispositif de chauffage et d'agitation en laboratoire.

Figure IV.1 : Variation de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux épurées en fonction de moins par rapport à la norme.

Figure IV.2 : Variation la Demande biologique (DBO5) des eaux épurées en fonction de moins par rapport à la norme.

Figure IV.3 : Variation (DCO) (DBO5) des eaux épurées en fonction de moins par rapport à la norme.

Figure IV.4 : Variation de la potentiel d'hydrogène des eaux épurées en fonction de moins par rapport à la norme.

Figure IV 6 : Variation des matières en suspension des eaux épurées en fonction de moins par rapport à la norme.

Figure IV.7: Variation de Phosphore total la des eaux épurées en fonction de moins par rapport à la norme.

Figure IV.8: Variation de la Métaux toxiques (Cr, CN) des eaux épurées en fonction de moins par rapport à la norme.

Figure IV.9: Variation de la Métaux Lourds (Fe, Zn) des eaux épurées en fonction de moins par rapport à la norme.

Figure IV.10 : Variation de cuivre des eaux épurées en fonction de mois par rapport à la norme.

Figure IV.11 : Variation de La teneur en huile et graisse des eaux épurées en fonction de mois par rapport à la norme.

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Capacité de production du complexe GL3Z.

Tableau II.1 : Source d’approvisionnement en eau du Complexe GL3Z.

Tableau II.2 : Rejets liquides du Complexe GL3Z.

Tableau II.3 : Analyses réalisées par le laboratoire du complexe GL3Z à la station 64.

Tableau III.1 : Volumes d'échantillons simplifiés.

Liste des abréviations

pH : Potentiel d'Hydrogène.

T : Température.

MES : Matières En Suspension.

DBO5 : Demande Biochimique en Oxygène.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

PO4 : Phosphore total.

CN : Cyanures.

Cr : Chrome total.

Cu : Cuivre total.

STEP : Station De Traitement des Eaux Polluées.

HSE : Santé, Sécurité et Environnement.

SONATRACH : Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures.

ONEDD : observatoire nationale de développement durable.

ONA : Office National d’Assainissement.

GNL : gaz naturel liquéfié.

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié.

CPI : corrugated plate interceptor.

Introduction générale

Au fil des siècles, la mer a été utilisée comme un réceptacle des déchets issus des activités humaines, ce qui a conduit à une surexploitation de sa capacité d'autoépuration et à des impacts négatifs sur la santé humaine et le milieu marin [1].

L'eau constitue un facteur limitant du développement agricole, et sa rareté se manifeste par un stress hydrique et une irrégularité des ressources. La croissance démographique, l'urbanisation et l'industrialisation accentuent la demande en eau [2].

En Algérie, cette ressource devient de plus en plus rare, avec un risque de pénurie durable. Les maladies à transmission hydrique représentent une charge importante, liée à l'insuffisance des ressources et au manque de traitement adéquat [3].

Les eaux usées, riches en polluants, constituent un danger pour la santé et l'environnement. Leur traitement dans des stations d'épuration, notamment au niveau de l'unité 64 du complexe GNL3Z d'Arzew, permet de réduire les substances nocives afin de respecter les normes et favoriser leur réutilisation [4].

La réglementation algérienne encadre cette réutilisation et impose le respect de seuils précis pour limiter les risques sanitaires et environnementaux, notamment à travers les décrets exécutifs n° 06-141 (2006) ainsi que l'arrêté interministériel du 2 janvier 2012 (Journal Officiel de la République Algérienne) [5].

Dans ce cadre, des analyses physico-chimiques sont réalisées sur les eaux usées à l'entrée et à la sortie de la station, notamment le pH, la DCO, la DBO5 et la température, afin de vérifier leur conformité aux normes [6].

Face à ces enjeux, l'Algérie a adopté un plan national de l'eau à l'horizon 2025 visant une gestion durable et une meilleure gouvernance des ressources hydriques [3].

Dans le domaine industriel, notamment pétrolier, le traitement des eaux produites est indispensable en raison de leur forte contamination. La station d'épuration du complexe GL3Z d'Arzew, mise en service en 2014, utilise le procédé des boues activées, reconnu pour son efficacité malgré certaines défaillances possibles [7].

Ce travail porte sur l'évaluation de la qualité des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration de l'unité 64, à travers une étude théorique et pratique basée sur l'analyse des paramètres physico-chimiques et la comparaison aux normes réglementaires.

Durant notre période de formation du 25 mars au 16 avril 2026 au Complexe GNL3Z, nous avons étudié les résultats des analyses d'eau traitée pour la station 64, comme détaillé dans notre recherche, qui comprend quatre chapitres :

Introduction Générale

- Le premier chapitre est consacré à la présentation du complexe « GNL3Z d'Arzew ».
- Le deuxième chapitre est destiné aux rejets liquides du complexe.
- Le troisième chapitre est réservé aux matériels et méthodes où on a exposé les analyses effectuées au sein du complexe.
- Le quatrième chapitre concerne les résultats et discussions sur les analyses effectuées.

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

Chapitre I :

Présentation du complexe

1.1 Présentation du complexe GL3Z :

Le complexe GL3Z est le plus récent site de liquéfaction de gaz naturel en Algérie, conçu par le groupement italo-japonais SAIPEM-CHIYODA, Il fait partie du projet GNL3/Z lancé par Sonatrach, visant à développer les ressources gazières du bassin de Berkine, Ce projet inclut également la construction de gazoducs et d'une usine de GNL dans la zone industrielle d'Arzew [8].

1.1.1 Description Générale :

Le Complexe GL3Z est une usine de GNL composée d'un méga-train de liquéfaction et des infrastructures associées (utilités, stockage et chargement). Elle traite le gaz naturel pour séparer ses composants (méthane, éthane, propane, butane et gazoline) et liquéfier le méthane avec une capacité annuelle de 4,7 millions de tonnes. Le GNL est destiné à l'exportation, tandis que les produits plus lourds comme le GPL et la gazoline sont récupérés séparément pour leur valeur ajoutée. Le propane et le butane sont également reliés aux installations de stockage du GP1Z [9]. Il est construit en Octobre 2009 et la date de production du GNL était en Juin 2014.

1.1.2 Situation Géographique :

Le Complexe GL3Z s'étend sur une superficie de 54.6 hectares, il se situe sur le long de la côte Méditerranéenne à Bethioua, à l'Est d'Arzew, dans la Plateforme de la zone industrielle d'Arzew (Figure I.1):

- À l'Est du site se trouve l'usine de GPL déjà existante, dénommée GP1Z ;
- À l'Ouest du site se trouve la station de dessalement d'eau de mer (Kahrama) ;
- La mer méditerranée borde le site au Nord ;
- Au sud se trouve la route principale de la zone Industrielle [9].

1.1.3 Organisation générale du complexe :

Le Complexe GL3Z est dirigé par une organisation très déterminée afin de maîtriser les tâches elle est composée principalement d'une direction, Trois sous-direction et des départements de contrôle.

- Département technique.
- Département inspection.
- Département finance et juridique.
- Département de ressources humaines.
- Département sécurité.
- Département Administration et social Installations existantes.
- Département ASI.

- Département production.
- Département maintenance.
- Département moyen généraux.
- Département travaux neufs.
- Département SIG.
- Département approvisionnement [10].

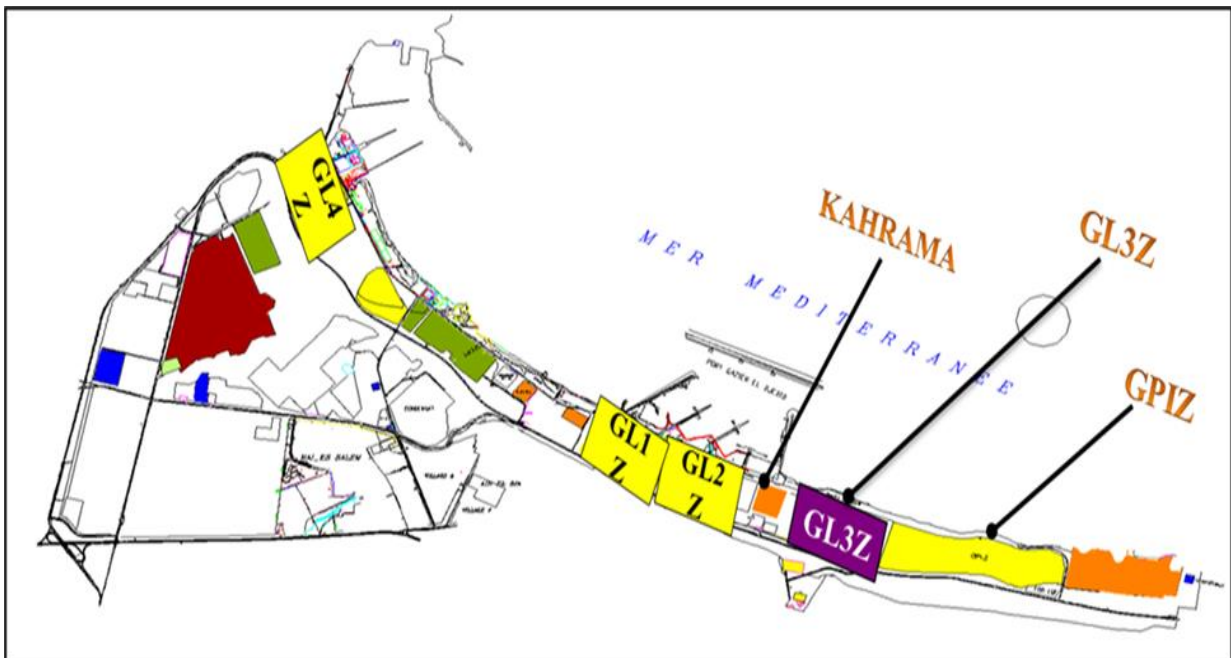


Figure I.1 : Carte Géographique de la plateforme industrielle d'Arzew.

1.2 Procédé du Complexe :

1.2.1 Définition du gaz naturel :

Le gaz naturel est un mélange d'hydrocarbures légers comprenant du méthane (CH_4) en grande proportion ainsi que d'autres hydrocarbures gazeux tels que l'éthane, le propane,

Le butane, le pentane et l'Hexane en proportion décroissante [11].

1.2.2 Définition du gaz naturel liquéfié GNL :

Le GNL est du gaz naturel transformé en liquide cryogénique après traitement. La liquéfaction réduit son volume d'environ 600 fois, facilitant son transport maritime. Il est composé principalement de méthane ($> 90 \%$) et est inodore, incolore, non corrosif et non toxique [11].

1.2.3 Les différentes unités du procédé :

D'une façon générale, l'implantation du complexe est divisée en trois parties bien distinctes :

- Les utilités.
- Le train de procédé.

- La zone terminale « Stockage et chargement ».

a) Service Utilité :

- **Unité 01** : L'arrivée du Gaz.
- **Unité 02** : Stockage d'Amine
- **Unité 08** : Stockage d'Huile
- **Unité 51** : Génération d'énergie « normale »
- **Unité 53** : Génération d'énergie « secours »
- **Unité 55** : Système Commun de Gaz Combustible
- **Unité 56** : Système d'Air Instrument et d'Air Service
- **Unité 57** : Système d'Azote :
- **Unité 59** : Système d'Eau Déminéralisée et de Service
- **Unité 58** : Système d'Eau Potable
- **Unité 64** : Traitement des Eaux Usées et des Effluents

b) Service fabrication :

- **Unité 11 : Unité de démercurisation** : Cette unité consiste à augmenter la pression et éliminer le mercure (démercurisation).

- **Unité 12 : Unité de décarbonatation du gaz naturel** : Unité d'élimination du Gaz Acide (Dioxyde de Carbone) en utilisant le 'aMDEA' l'amine méthyle diéthylamide activé.

- **Unité 13 : Unité de déshydratation du gaz naturel** : Le but de cette section est de retirer l'eau du gaz de charge afin d'éviter la formation de glace par des tamis moléculaire, notamment lors du passage du gaz dans les unités cryogéniques.

- **Unité 17** : L'objectif de cette section est de séparer les hydrocarbures les plus lourds (C2 et plus) du gaz résiduel (principalement du méthane) pour éviter la congélation.

Unité 15 : C'est l'unité de liquéfaction : L'objectif de cette unité est de produire du Gaz Naturel Liquéfié (GNL) répondant à une qualité de marché spécifique et un courant d'hélium brut.

- **Unité 16 : C'est l'Unité de Réfrigération** : l'objectif de cette unité est de fournir de l'énergie froide pour produire du GNL dans l'Unité 15.

- **Unité 14 : Système du Gaz Combustible** (Train 1).

- **Unité 18 : Système de l'Huile Chaude** : Unité de **chauffage** de l'huile stockée (Unité 08) et de distribution de l'huile chaude vers les utilisateurs.

- **Unité 19 : Système de Refroidissement** : L'élimination de la chaleur de la machinerie est obtenue en utilisant de l'eau de refroidissement tempérée.

c) Service stockage :

- **Unité 71** : Stockages et Chargement du GNL.
- **Unité 72** : Chargement et Stockage des Produits GPL : stockage et l'exportation des produits finis (Propane C3 et Butane C4).
- **Unité 73** : Stockage du Réfrigérant (Ethane) : utile dans le processus de l'liquéfaction du gaz naturel.
- **Unité 75** : Système de Torches : Le Système de Torches est conçu et dimensionné pour faire face à toute élimination des produits non utiles au processus, cette élimination se fait en brûlant les dits produits vers atmosphérique.
- **Unité 76** : Système de Stockage de la Gazoline : Cette unité comprend une sphère de stockage de la gazoline produite [12].

1.3 Capacité de stockage du complexe GL3Z :

Le complexe GL3Z dispose d'une importante capacité de stockage répartie sur plusieurs installations spécialisées. Il comprend deux bacs de 160000 m³ chacun destinés au stockage du GNL, un bac de 56000 m³ pour le propane, un bac de 12000 m³ pour le butane, ainsi qu'un bac de 1800 m³ réservé à la gazoline [13].

La capacité de production du complexe GL3Z est présentée ci-dessous :

Tableau.I.1 : Capacité de production du complexe GL3Z.

	Capacité de production
GNL	10,6 million m ³ /an (4,7 M tonne/an)
Ethane	300000 tonne/an
Propane	275000 tonne/an
Butane	58000 tonne/an
Gazoline	47000 tonne/an

Chapitre II : Les rejets liquides

2.Rejet liquide:

Le déchet liquide est un type de déchet qui se présente sous forme liquide. Il est généralement généré par des processus industriels, commerciaux ou domestiques. Les déchets liquides peuvent contenir diverses substances chimiques, contaminants ou polluants, ce qui les rend potentiellement dangereux pour l'environnement et la santé publique s'ils ne sont pas gérés correctement [14].

Voici quelques types principaux de déchets liquides :

- **Eaux usées** : Rejets domestiques et urbains contenant des matières organiques et des bactéries.
- **Effluents industriels** : Liquides de fabrication chargés de substances toxiques, métaux lourds et solvants [15].
- **Déchets médicaux** : Fluides biologiques ou solutions pharmaceutiques potentiellement infectieux [16].
- **Déchets chimiques** : Résidus de laboratoires et de production, souvent acides, corrosifs ou toxiques.
- **Huiles usagées** : Lubrifiants de moteurs et de machines contaminés par des impuretés et des métaux [17].

2.1 Pollution des eaux :

La pollution de l'eau est devenue un défi mondial majeur dû aux activités humaines (industrielles, agricoles et domestiques). L'industrie rejette plus de 85 % de l'eau qu'elle consomme sous forme d'eaux usées chargées de métaux lourds et de produits chimiques. Elle se définit comme toute altération humaine nuisible aux organismes vivants ou rendant l'eau impropre à son usage [18].

2.1.1 Les substances polluantes peuvent avoir différentes origines :

Elles peuvent être d'origine urbaine, liées aux activités domestiques telles que les eaux d'égout et les eaux de cuisine, d'origine agricole à travers l'utilisation des engrais et des pesticides, ou encore d'origine industrielle, notamment dans les secteurs de la chimie, de la pharmacie, de la pétrochimie et du raffinage [19].

2.2 Source d'approvisionnement en eau du Complexe GL3Z :

L'eau est une ressource essentielle au fonctionnement du complexe GL3Z, tant pour les besoins domestiques que pour les opérations industrielles. Afin d'assurer une exploitation efficace des installations, différentes sources d'approvisionnement sont utilisées selon les besoins. Le tableau II.1 présente les types d'eau utilisés, leurs provenances et leurs principales applications [20].

Tableau.II.1 : Source d'approvisionnement en eau du Complexe GL3Z.

Nature de l'eau	Provenance	Usage
Eau potable	KAHRAMA (UDE/DR IZ)	-Réseau d'eau domestique au niveau des bâtiments. -Consommation dans le process.
Eau distillée	Unité 59 (système d'eau déminéralisée et eau de service)	-Process (le remplissage et le nettoyage des réservoirs de GTC/GTG de l'usine ainsi que pour l'appoint de l'unité d'amine).

1. Rejets liquides du Complexe GL3Z [20] :

Le fonctionnement du complexe GL3Z engendre divers rejets liquides issus des activités industrielles et des installations de service. Ces effluents proviennent de plusieurs sources et nécessitent une gestion adaptée. Le tableau II.2 présente leur nature et leur provenance.

Tableau.II.2 : Rejets liquides du Complexe GL3Z.

Nature eaux usées	Provenance
Eaux sanitaires	-Les stations de lavage des différents bâtiments
Eaux huileuses (industrielles)	-Les eaux pluviales. -Les eaux accidentellement contaminées (AOC). -Les purges.

2. Réseau d'assainissement entrant/sortant du Complexe GL3Z :

Le réseau d'assainissement du Complexe GL3Z est un réseau séparatif qui déverse dans le canal de rejet commun du Complexe puis vers mer via une conduite sous- marine.

Il est constitué des réseaux suivants :

3. Réseau eaux sanitaires :

L'eau vidangée vers l'égout sanitaire est généralement constituée d'eaux usées provenant des toilettes, éviers, drains de sol des cabinets d'aisance et des vestiaires. Les liquides drainés provenant des cuisines seront également acheminés à travers un séparateur de graisses vers le système de traitement des eaux sanitaires. Les égouts sanitaires ne doivent recevoir aucune vidange provenant d'autres sources ; ni l'huile ni les déchets chimiques ne doivent y être évacués.

Les eaux sanitaires recueillies proviennent des bâtiments suivants :

- La Salle de Contrôle Centralisée/Laboratoire (80-AR01 et 80-AR06) ;
- Le Bâtiment Administration (80-AR02) ;
- Le Bâtiment Sécurité et Infirmerie (80-AR03) ;
- Le Bâtiment Atelier et Entrepôt (80-AR04) ;
- Le Poste de Garde de la Jetée (70-AR05).

L'égout sanitaire est acheminé sous l'effet de la gravité vers les Stations de Levage (64-ML03, 64-ML04, 64-ML05, 64-ML06) puis vers l'unité de Traitement Biologique 64-ML01. Celle-ci consiste en un réservoir d'égalisation (64-ML01-MF01) où les eaux sanitaires sont recueillies dans un premier temps pendant 23 heures, cette eau est acheminée par la suite vers deux réservoirs (64-ML01-MF03-A/B), chacun équipé de trois (03) sections (une section d'aération, une section de décantation et une section de chloration) [20].

4. Définition de la station d'épuration :

La station d'épuration de complexe GL3Z d'Arzew réalisée par l'entreprise Saipem (IDRO-CONSULTING SEWAGE TREATMENT) – ITALY est mise en service en 2014.

Cette station a été conçue initialement pour traiter un débit journalier nominal de 70 m³/j, soit une capacité de 348 EH, avec un procédé épuratoire de boue activée à faible charge, actuellement l'effectif du complexe est passé à près de 640 personnes et sera atteindre les 1000 personnes prochainement.

La conception du système d'assainissement du complexe GL3Z est composée de 04 stations de relevage et une STEP [21].



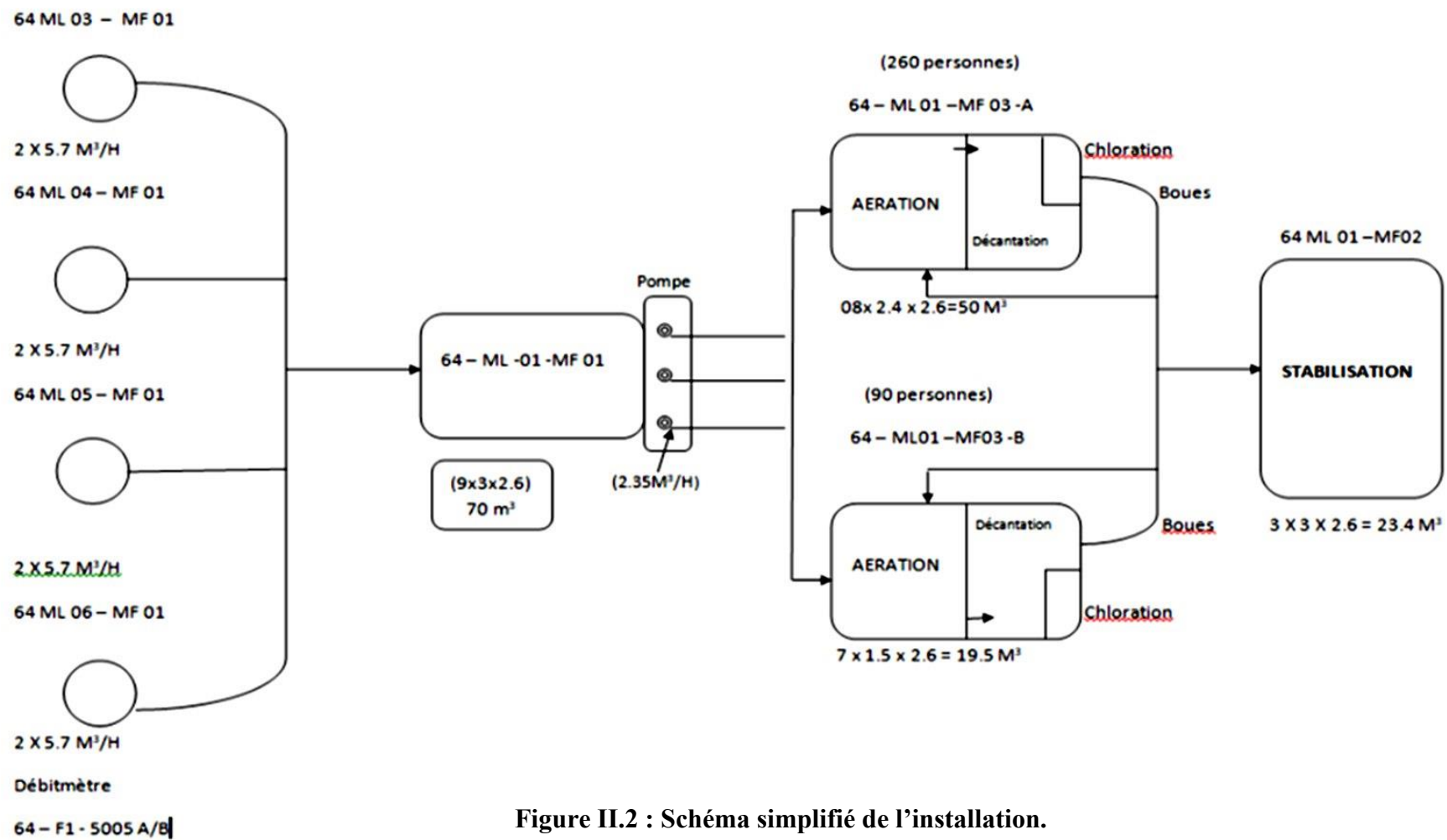


Figure II.2 : Schéma simplifié de l'installation.

5. **La STEP** : est composée de un bassin d'arrivé tampon aéré, un poste de relevage composé de deux pompes en service et une pompe secours, deux compartiments biologiques aérés par le fond en fin bulle et deux compartiments de décantation, l'extraction de la boue ce fait par succion a l'aide de l'air lift, compartiment stabilisation des boues aéré avec poste de pompage des eaux traitées composé de deux pompes [21].

6. Station de traitement des eaux ML64-01 (Monobloc) :

L'unité de traitement est constitué de :

- **Bassin d'équilibrage** : 64-ML01-MF01



Figure II.3 : Bassin d'équilibrage (2026).

- **Poste de relevage** : Constitué de trois pompes immergées, pour alimenter les deux compartiments (64-ML01-MF03A) (260Eq/Hab) et (64-ML01-MF03B) (90Eq/Hab),

- Il est utile de signaler la défaillance des manomètres de pression

- **Bassin de stabilisation** : 64-ML01-MF02

- **Bassins biologique** : 64-ML01-MF03 A/B Deux (02) bassins, chaque bassin est constitué par trois compartiments (aération, décantation, boue, chloration).

- Aération des compartiments se fait via trois (03) surpresseurs d'air « A l'arrêt » [22].

7. Description générale du procédé boues activées :

Le traitement par **boues activées** repose sur une épuration biologique en culture libre. Les micro-organismes (la biomasse) sont mélangés aux eaux usées pour former ce qu'on appelle la **liqueur mixte**.

- **Le Réacteur (Bassin d'aération)** : Grâce à un apport constant d'oxygène et un brassage permanent, les bactéries "consomment" les polluants pour se multiplier. Il faut environ deux semaines pour stabiliser la concentration de la biomasse (3-4 g/l).
- **La Clarification** : Le mélange passe dans un décanteur secondaire où la biomasse se sépare de l'eau épurée par gravité

- **Le Cycle** : Pour maintenir le système actif, une partie de la biomasse décantée est renvoyée dans le réacteur (recirculation), tandis que le surplus est extrait sous forme de boues secondaires [22].

En résumé :



8. Traitement des eaux dans l'unité 64 : Il comprend trois sections :

1.Section d'aération :

La section d'aération est la partie la plus importante de l'unité de traitement, car il s'agit de la chambre où la majeure partie du traitement se déroule. Ce processus fonctionne selon la théorie suivante : les déchets contenus dans les eaux usées domestiques sont généralement de nature organique (déchets biodégradables), ce qui signifie qu'en présence d'oxygène les micro-organismes aérobies peuvent utiliser la matière organique comme source d'alimentation. Les bactéries sont cultivées pour alimenter les eaux sanitaires en entrée provenant des bâtiments.

Les bactéries présentes dans le réservoir d'aération décomposent les eaux sanitaires, formant ainsi de la boue en suspension. Dans les bassins d'aération, l'eau est oxygénée à l'aide de soufflantes d'air et chaque bassin est équipé d'une série de diffuseurs de petites bulles d'air, alimentées par la distribution d'air mélangé.

2.Section de décantation :

Dans la section de décantation, la boue produite par l'activité biologique se coagule par la suite de dépose au fond du réservoir en formant des floccs. Elle est ensuite éliminée à l'aide d'émulseurs, qui envoie la boue vers le Réservoir de Stabilisation des Boues (64-ML01-MF02).

3.Section de chloration :

Dans la section de chloration l'eau est désinfectée aux moyens de tablettes de chlore et envoyée sous l'effet de la gravité vers les Pompes des Eaux Traitées (64-ML01-MJ02-A/B) [23].

9. Le Réservoir de Stabilisation des Boues :

Le réservoir d'accumulation des boues doit être vidé périodiquement en envoyant les boues stabilisées vers une entreprise d'élimination dédiée hors site. Les boues activées présentes dans la section d'aération permettent l'oxydation et la digestion des matières organiques ; la section de décantation est dimensionnée de façon à filtrer l'eau en entrée et à permettre aux boues générées de décanter. Ces dernières sont ensuite pompées vers le réservoir d'accumulation des boues [20].

a. Réseau eaux huileuses :

L'eau contaminée à l'huile est acheminée vers un séparateur (Corrugated Plate Interceptor

CPI) 64-ML02 afin d'éliminer l'huile avant le rejet vers mer [20].



Figure II.4 : Plaques du CPI utilisées pour la séparation huile/eau.



Figure II.5 : Réservoir de collecte des huiles issues du séparateur CPI.

- **CPI (Corrugated Plate Interceptor) :** est un séparateur à plaque ondulées appliquée pour la séparation des huiles, graisses et hydrocarbures véhiculée par les eaux de pluie, déversement accidentel... [23].

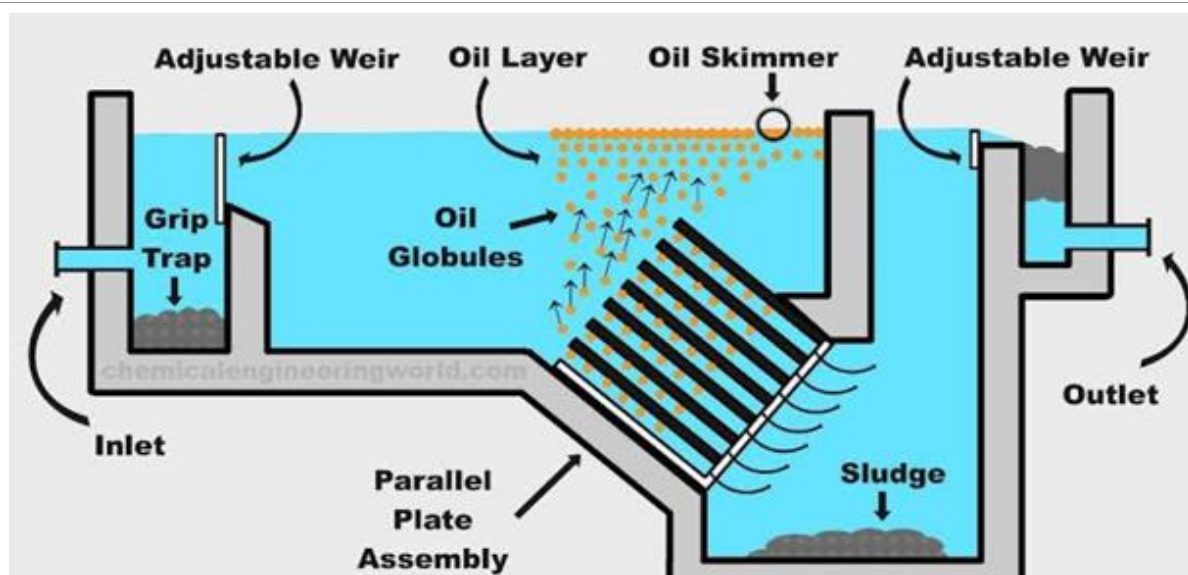


Figure II.6: CPI (Corrugated Plate Interceptor).

b. Les mini-stations :

Le Complexe a adopté les systèmes ENVIRO-SEPTIC pour soulager son unité principale (Unité 64). Ces mini-stations offrent une solution de traitement biologique et durable qui permet de Recycler 100 % des eaux usées, réduisant ainsi la consommation d'eau potable et Éliminer le polluants efficacement avant leur rejet dans la nature [20].



Figure II.7 : STEP garage mécanique et lavage véhicules (photo récente 2024).

10. Contrôle des rejets liquides :

a. Auto contrôle : Le Complexe GL3Z assure l'autocontrôle de ses rejets liquides par la réalisation des analyses mensuelles au niveau du laboratoire, en se référant au Décret exécutif n° 06-141, daté du 19 avril 2006, qui définit les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels en Algérie [20].

b. Contrôle externe par l'ONEDD : Le laboratoire externe ONEDD « observatoire nationale de développement durable » agréé par le ministère de l'environnement et de l'énergie effectuée quatre (04) analyses organiques et inorganiques par année (soit une analyse par trimestre) ; sur les échantillons des effluents liquides industriels au profit du complexe GL3Z et ce conformément au décret exécutif N° 06-141 [20].

11. Principaux polluants rencontre dans les effluents industriels [24] :

- **Matières en suspension (MES) :** Particules visibles ($>100 \mu\text{m}$) qui bloquent la lumière (freinant la photosynthèse) et peuvent étouffer la faune aquatique en colmatant leurs branchies.
- **Matières colloïdales :** Particules ultra-fines et stables, pratiquement impossibles à éliminer par simple gravité.
- **Matières dissoutes :** Éléments invisibles (métaux, azote, phosphore). Ils sont préoccupants car certains sont non biodégradables ou provoquent l'eutrophisation des eaux.

- **Matières non-miscibles** : Substances comme les huiles et hydrocarbures qui refusent de se mélanger à l'eau [24].

-Normes de rejets :

Les principaux lois et règlements où se trouvent les dispositions en matière de rejets des eaux usées par des entreprises sont les suivants (liste non exhaustive) :

- LQE et des règlements qui en découlent.
- Règlement sur l'application de l'article 32 de la Loi sur la qualité de l'environnement.
- Règlement relatif à l'application de la Loi sur la qualité de l'environnement.
- Règlement sur les attestations d'assainissement en milieu industriel.
- Règlement sur les effluents liquides des raffineries de pétrole. □ Règlement sur les déchets biomédicaux.
- Règlement sur les matières dangereuses. Du côté fédéral, deux lois s'y ajoutent également :
- Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) et plusieurs règlements qui en découlent.
- Loi sur les pêches et plusieurs règlements qui en découlent [24].
- Les normes de rejet sont des valeurs des paramètres polluants d'une eau usées à ne pas dépasser.

Tableau.II.3 : Analyses réalisées par le laboratoire du complexe GLN3Z à la station 64 :
Date :15/03/2026.

Echantillon	Heure de prélèvement	pH	Température	MES	COD	BOD ₅	Cu	Fe	Zinc	Cr6+	CN	PO4 total	Teneur en huile et graisse
Specifications	10:00	6.5-8.5	30C	≤35	≤120	≤35	≤0,5	≤3	≤3		≤0,1	≤10	≤20
Rejets vers mer			°C	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
(jetée)		7.47	19.50	30.00	70.00	32.00	0.39	0.29	0.65	0.040	0.004	0.85	4.50

- Les analyses effectuées par ONA (Office National d'Assainissement)

12. L'impact de rejets liquides industriels en mer : Les rejets industriels chargés de métaux lourds et de marganiques menacent gravement la biodiversité marine et dégradent durablement les écosystèmes côtiers en dépassant les normes de sécurité. Voici les principaux impacts identifiés :

- **Toxicité et mortalité** : Les métaux lourds et produits chimiques tuent directement les espèces marines (poissons, invertébrés).
- **Eutrophisation** : L'excès de nutriments provoque une prolifération d'algues qui asphyxie le milieu par manque d'oxygène.
- **Chaîne alimentaire** : Les polluants s'accumulent dans les organismes (bioaccumulation), posant un risque sanitaire pour l'homme.
- **Pollution thermique et physique** : L'eau chaude et les matières en suspension dégradent les habitats et créent des "zones mortes".
- **Altération du milieu** : Les rejets, souvent non conformes, dégradent durablement la qualité des eaux côtière [25].

. **L'utilisation de l'eau traitée** : L'utilisation de l'eau après traitement dépend de la nature du traitement reçu (eaux traitées : potabilisation ou épuration) et de sa qualité finale. Principales utilisations des eaux traitées :

- **Réutilisation des Eaux Usées Traitées (REUT/REUSE)** : Après une épuration poussée, l'eau peut être réutilisée pour des usages ne nécessitant pas d'eau potable :
 - **Irrigation agricole** : Arrosage de cultures, y compris le maraîchage, grâce à la richesse en matières organiques et minérales.
 - **Arrosage d'espaces verts** : Golfs, parcs publics, terrains de sport.
 - **Usages industriels** : Nettoyage de cuves/équipements, processus de refroidissement, eau de process (notamment en pharmacie).
 - **Nettoyage urbain** : Lavage de voiries, nettoyage des réseaux d'assainissement.
 - **Recharge de nappes phréatiques** : Dans les zones en stress hydrique.
- **Rejet dans le milieu naturel** : Après traitement en station d'épuration (STEU), l'eau épurée est généralement rejetée dans les cours d'eau, rivières, mers ou océans, contribuant au débit des cours d'eau en période de sécheresse.
- **Production d'eau potable** : Après des traitements spécifiques (filtration, désinfection UV, ozonation, chloration), l'eau devient potable et est distribuée pour la consommation humaine.
- **Enjeux** : Le traitement vise à protéger les milieux récepteurs et à limiter les prélèvements dans les ressources naturelles, particulièrement dans les zones soumises au stress hydrique ou à la sécheresse [26].

Chapitre III : Matériels et méthode

3. Introduction :

L'eau est une ressource vitale, un patrimoine universel et un élément moteur de l'activité industrielle, notamment au sein des complexes de Sonatrach (comme le complexe GL3Z ou la raffinerie d'Arzew). Dans l'industrie pétrolière et gazière, l'eau est utilisée à grande échelle pour le refroidissement, le lavage et divers processus de transformation. Afin de garantir une utilisation sûre et un rejet respectueux de l'écosystème, il est indispensable de soumettre ces eaux à un contrôle rigoureux basé sur l'analyse des paramètres physico-chimiques.

L'évaluation de la qualité d'une eau ne peut se limiter à une simple observation visuelle. Elle repose sur des mesures de laboratoire précises qui permettent de définir l'état de l'eau, de détecter d'éventuelles pollutions et de vérifier sa conformité avec les normes environnementales. La relation entre ces paramètres et la qualité de l'eau est d'ordre systémique : toute variation anormale ou dépassement des seuils fixés par la loi est le signe direct d'une dégradation ou d'une pollution de l'eau, les paramètres physico-chimiques sont des indicateurs essentiels pour évaluer l'état et la pollution de l'eau.

En Algérie, le Décret exécutif n° 06-141 encadre rigoureusement ces rejets en définissant des valeurs limites Décret exécutif n° 06-141 afin de protéger les écosystèmes récepteurs et la santé publique Normes de rejet des effluents industriels [26].

3.1 Echantillonnage :

L'échantillonnage joue un rôle prépondérant dans l'analyse scientifique et l'échantillonneur doit tenir des recommandations suivantes :

L'échantillon doit être représentatif de la masse d'eau considéré, Donner une grande importance pour le transport pour qu'il ne s'altère pas et aboutir à de mauvais résultats, entre le moment du prélèvement et celui de l'analyse, Remplir les bouteilles en ras, Laisser l'eau écouler pendant quelques minutes puis on prélève [27].



Figure III.1 : Échantillonnage des eaux traitées.



Figure III.2 : Échantillons prélevés à l'entrée et à la sortie de la STEP.

3.2 Prélèvement et transport des échantillons :

Les prélèvements sont effectués une fois par mois aux points suivants : A l'entrée et à la sortie caractérisation de eaux usées.

3.3 Paramètres de mesure de la pollution des eaux :

Dans le domaine du traitement des eaux, divers paramètres sont utilisés pour mesurer la qualité d'une eau. Ces paramètres sont essentiels dans la conception d'une station d'épuration, dans le choix d'un procédé de traitement, dans le dosage de réactifs et/ou dans la mesure de l'abattement des polluants. On peut citer :

3.3.1 Paramètres organoleptiques :

Couleur : La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle, soit associée à sa pollution (composés organiques colorés). La coloration d'une eau est très souvent synonyme de la présence de composés dissous et corrélativement la présence de solutés induisant une coloration qui ne se limite pas au seul du domaine du visible [28].

Odeur : Les eaux résiduaires se caractérisent par une odeur de moisi. Toute odeur est signe de pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition [29].

Turbidité : C'est la réduction de la transparence d'une eau. Cette réduction revient à la présence des matières en suspension. Elle se mesure à l'aide d'un turbidimètre [28].

3.3.2 Paramètres physiques :

-Température : Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels...etc [30].

- La matière en suspension (MES) : sont des particules solides présentes dans l'eau, généralement de taille supérieure à 10 µm. Elles restent en suspension lorsque la vitesse d'écoulement est suffisante (environ 0,5 m/s). Selon leur taille, on distingue les matières grossières décantables (>100 µm), les MES et les matières colloïdales plus fines situées entre la phase solide et dissoute. [30].

3.3.3 Paramètres Chimiques :

- Le Potentiel Hydrogène (pH) : permet de mesurer l'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse à partir de la concentration en ions H⁺. Il est défini comme le logarithme décimal inverse de cette concentration. [30].

$$pH = \log \left(\frac{1}{[H^+]} \right)$$

-L'Oxygène Dissous : L'oxygène dissous est indispensable à la vie aquatique et aux réactions biologiques des écosystèmes. Sa solubilité dans l'eau varie selon la température, la pression et la composition ionique du milieu. Sa concentration est exprimée en mg/L. [30].

- La Demande Chimique en Oxygène (DCO) : La demande chimique en oxygène représente la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques et minérales présentes dans l'eau. Elle permet d'estimer la pollution oxydable dissoute ou en suspension et s'exprime en mg/L d'oxygène consommé [30].

- **La Demande Biologique en Oxygène (DBO) :** La demande biologique en oxygène mesure la quantité d'oxygène consommée en 5 jours par les microorganismes aérobies pour dégrader les matières organiques et inorganiques présentes dans l'eau. Elle permet d'évaluer la pollution biodégradable et le pouvoir auto-épurateur du milieu. [30].

-**Les Métaux lourds :** Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/l}$). Les plus abondants sont le fer (Fe), le zinc (Zn), le cuivre (Cu) et le chrome (Cr) et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel) sont présents à l'état de traces [31].

-**Phosphore Total :** Le phosphore (PO_4) peut être présent dans l'eau sous forme dissoute ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés détectés directement par le test spectrophotométrique sont appelés orthophosphates [32].

- **La teneur en huile et graisse :** La teneur en huiles et graisses représente la quantité de substances hydrophobes extractibles par solvant, comme les huiles minérales et les graisses animales ou végétales. Ce paramètre indique le niveau de pollution des eaux industrielles, notamment pétrolières, et s'exprime en mg/L . Des concentrations élevées peuvent perturber les échanges gazeux et les écosystèmes aquatiques [33].

3.4 Les Analyses physique :

3.4.1 Température : La température des eaux traitées est mesurée à l'aide d'un pH-mètre muni d'un capteur thermique. La sonde est immergée dans l'échantillon après nettoyage et étalonnage de l'appareil, puis la valeur se stabilise et est enregistrée en $^{\circ}\text{C}$. Ce paramètre est important car il influence le pH et la précision des analyses chimiques. L'appareil est couramment utilisé en stations de traitement et en laboratoires pour sa précision et sa rapidité.

3.4.2 Matière en suspension :

La Séparation des matières en suspension s'effectue par filtration. Un séchage dans une étuve à 105°C permettra l'évaporation de l'eau. (Office de National l'Assainissement 2012).

Mode opératoire :

Dans un premier temps, le filtre a été pesé à l'aide d'une balance munie d'une coupelle en verre, puis sa masse a été notée M_0 . Le filtre a ensuite été placé sur le dispositif de filtration, et 100 mL de l'échantillon ont été filtrés. À la fin de l'opération, le filtre a été retiré à l'aide d'une pince et replacé dans la coupelle en verre. L'ensemble a ensuite été introduit dans une étuve à 105°C pendant 24 heures afin d'assurer le séchage complet. Après refroidissement, la coupelle

contenant le filtre a été de nouveau pesée et la masse obtenue a été notée **M₁** (Office National de l'Assainissement, 2012).

$$MES \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{(m_1 - m_0)}{V} \times 1000$$

M₀ : la masse de filtre vide (mg).

M₁ : la masse de filtre après la filtration (mg).

V : volume de la prise d'essai (L).

3.5 Les Analyses chimique :

3.5.1 Mesure de sure du pH selon la norme ASTM D 1293 :

But : Le potentiel d'hydrogène ou pH est le facteur d'intensité de l'acidité, il est utilisé dans les équilibres acide-base. A une température donnée, l'intensité du caractère acide ou basique d'une solution est indiquée par le pH ou par l'activité de l'ion hydrogène.

Principe : Le principe de fonctionnement est basé sur le rapport qui existe entre la concentration en ion H_3O^+ (définition du pH) et la différence de potentiel électrochimique qui s'établit dans le pH-mètre une fois plongé dans la solution étudiée.

Appareillage et réactifs : pH-mètre, Becher, Eau déminéralisée.

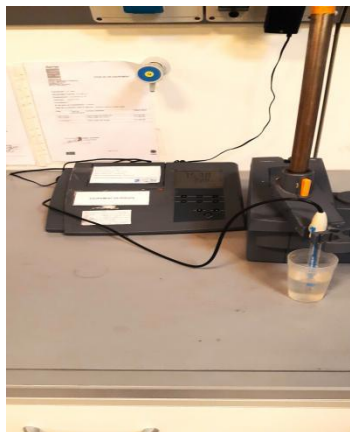


Figure III.3 : pH-mètre.

Conservation de la chaine de mesure (Electrode) :

Après chaque mesure, la sonde de pH est rincée un court instant à l'eau déminéralisé.

Mode opératoire :

- ✓ Connecter la chaîne de mesure à l'appareil.
- ✓ Allumer l'appareil.

- ✓ Plonger la chaîne de mesure dans le milieu de mesure.
- ✓ Sélectionner le mode de mesure avec M.
- ✓ A l'écran apparait la valeur de pH ou le potentiel Redox (mV) de la solution de mesure.
- ✓

3.5.2 Analyse de La Demande Chimique en Oxygène (DCO) SELON APHA 5220-C :

But : La demande chimique en oxygène "DCO" est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques minérales de l'eau. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux usées.

Principe : L'échantillon est digéré dans un tube scellé contenant de l'acide sulfurique et du dichromate de potassium avec un catalyseur de sulfate d'argent. La quantité de dichromate réduite est proportionnelle à la DCO. La mesure est réalisée au spectrophotomètre et exprimée en mg/L d'oxygène consommé.

Appareillage et réactifs : Pipette graduée, Tube pré-dosé, Réacteur LT 200 et Spectrophotomètre.



Figure III.4 : Spectrophotomètre.

- **Mode opératoire :**

L'appareil est préchauffé à 149°C. Ensuite, 2 mL d'échantillon sont introduits dans les tubes pré-dosés avec réalisation d'un blanc en parallèle. Les tubes sont fermés, agités puis chauffés pendant 2 heures à 149°C dans le réacteur LT 200. Après refroidissement et agitation, le blanc est utilisé pour calibrer le spectrophotomètre avec la méthode 814. Enfin, l'échantillon est analysé afin d'obtenir la concentration de la DCO exprimée en mg/L.

3.5.3 Analyse de la Demande Biologique en Oxygène (DBO5) SELON LA METHODE APHA 5210-B :

But : L'analyse de la DBO₅ permet d'évaluer la quantité de matière organique biodégradable présente dans les eaux usées et de contrôler l'efficacité des procédés de traitement appliqués dans les stations d'épuration.

Principe : La DBO₅ correspond à la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes lors de la dégradation biologique de la matière organique contenue dans un échantillon d'eau. Cette consommation est déterminée après une incubation de 5 jours à une température de 20 °C dans l'obscurité.

Appareillage et réactifs : L'analyse nécessite des bouteilles BODTrak II, une éprouvette graduée, un thermomètre, des barreaux magnétiques, de l'eau déminéralisée, un sachet de solution nutritive tampon, des pastilles d'hydroxyde de potassium (KOH) ainsi qu'une spatule.



Figure III.5 : L'incubateur.

Mode opératoire : La température de l'échantillon est d'abord vérifiée afin qu'elle soit comprise entre 19 et 21 °C. Le volume d'échantillon à analyser est ensuite choisi selon la plage estimée de la DBO. Après mesure du volume requis, une solution nutritive tampon est ajoutée puis le mélange est transféré dans une bouteille BODTrak contenant un barreau magnétique. Deux pastilles de KOH sont placées dans une nacelle hermétique afin d'absorber le dioxyde de carbone produit durant l'oxydation biologique.

Les bouteilles sont ensuite installées sur le système BOD-Trak II et raccordées aux tubes correspondants avant d'être placées dans un incubateur maintenu à 20 ± 1 °C. Après vérification du fonctionnement des agitateurs, les paramètres du test (durée et plage de mesure) sont programmés sur l'appareil. Enfin, l'analyse est lancée en sélectionnant le canal correspondant à chaque échantillon.

-Choisir le volume adéquat pour la plage de l'échantillon, pour cela utiliser le tableau.

Tableau.III.1 : Volumes d'échantillons simplifiés.

Plage de la DBO (mg/L)	Volume de l'échantillon (mL)
0 à 35	420
0 à 70	355
0 à 350	160
0 à 700	95

3.5.4. Analyse du Fer, Zinc, Chrome, Cuivre, Phosphore Total :

Principe :

La méthode se repose sur la spectrométrie UV-VIS. L'appareil mesure l'absorbance qui résulte de l'interaction rayonnement-matière à une longueur d'onde précise. Cette absorbance est convertie en concentration à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

Appareillage : Le spectrophotomètre portatif DR 2800 (fabriqué par HACH) comprend des réactifs et des méthodes pour assurer l'exécution de 100 déterminations de différents paramètres.

Le Phosphore Total :

-Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test Spectrophotométrique sont considérés comme étant des ortho phosphates (Rodier, 2005).

Mode opératoire :

-Dans un tube d'essai nous avons mis 10 ml d'échantillon +0.1ml de Persulfate d'ammonium +2 goutte d'Acide sulfurique 35%, puis on a placé le tube dans le thermo-réacteur pendant 30 min. On a laissé refroidir à température ambiante puis on a ajouté 2ml de réactive combiné qui est composé de (25ml d'acide sulfurique, 2,5ml de tartrate, 7,5ml de molybdate, 15 ml d'acide ascorbique). Puis on a fait la lecture sur spectrophotomètre.

- ✓ **Le Chrome (Cr) :** Le Chrome est un métal généralement obtenu à partir du minerai de chromite (FeCr_2O_4), car il n'existe pas à l'état naturel sous forme métallique. Il est principalement utilisé dans l'industrie sidérurgique afin d'améliorer la résistance de l'acier à la corrosion et à la décoloration.

✓ **Mode opératoire :**

L'analyse consiste à introduire 25 mL d'échantillon dans une cellule d'analyse, puis à ajouter successivement les réactifs Chrome 1, Chrome 2, Acid et ChromaVer 3 Chromium avec agitation après chaque ajout afin d'assurer une bonne homogénéisation. L'échantillon est chauffé dans un bain d'eau bouillante puis refroidi à 25 °C avant la poursuite de l'analyse. Après un temps de réaction de cinq minutes, une partie du mélange est transférée dans une cellule adaptée à la lecture spectrophotométrique. La concentration en chrome est ensuite déterminée au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 540 nm (Office National de l'Assainissement, 2012).

- ✓ **Le Fer (Fe^{2+}) :** Le fer figure parmi les métaux les plus abondants dans la croûte terrestre, ce qui explique sa présence naturelle dans les eaux. Il peut se trouver sous forme dissoute de fer ferreux (Fe^{2+} ou $\text{Fe}(\text{OH})^+$) ou sous forme de fer ferrique (Fe^{3+}), généralement présent sous forme précipitée telle que $\text{Fe}(\text{OH})_3$. La présence du fer dans les eaux peut également être liée aux activités industrielles, notamment l'exploitation minière, les industries sidérurgiques ainsi que la corrosion des matériaux métalliques.

- ✓ **Mode opératoire :** L'analyse est réalisée en introduisant 25 mL d'échantillon dans une éprouvette graduée propre. Ensuite, le contenu d'un sachet du réactif FerroZine est ajouté à l'échantillon, puis le mélange est homogénéisé par agitation. Après le déclenchement d'un temps de réaction de cinq minutes, l'apparition d'une coloration violette indique la présence de fer dans l'échantillon.



Figure III.6 : Dispositif de chauffage et d'agitation en laboratoire.

Préparation du blanc :

On a rempli une cellule d'échantillonnage carrée avec 10 ml d'échantillon. Et Lorsque la minuterie est écoulee, verser 10 ml de l'échantillon préparé dans une deuxième cellule carrée propre. Puis on a fait le lecteur sur le spectrophotomètre à longueur d'onde 510nm ((Office de National l'Assainissement 2012)).

✓ **Le Zinc (Zn^{2+}) :**

Le zinc est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol, avec une concentration qui varie de 10 et 300 mg/kg pour la croûte terrestre pour une valeur moyenne de 70 mg/kg (de matière sèche).

✓ **Mode opératoire :**

Remplisse une éprouvette graduée de 25 ml avec 20 ml d'échantillon. On a ajouté le contenu d'un sachet de poudre de réactif ZincoVer 5 dans l'éprouvette. Boucher. On a Inversé plusieurs fois pour dissoudre complètement la poudre. Puis Diluez l'échantillon et recommencez le test.

Chapitre IV : Résultats et discussions

4. Introduction

Afin de garantir la qualité des eaux traitées au niveau du complexe, les membres du laboratoire effectuent des analyses de manière périodique, à raison d'une fois par mois, portant sur un ensemble de paramètres principaux, dans le but d'évaluer leur conformité aux normes réglementaires et d'assurer la protection de l'environnement.

Au cours de notre période de stage, nous avons étudié les résultats des analyses s'étendant de mars 2025 à mars 2026, comme présenté dans ce chapitre.

4.1 Résultats d'analyse de DCO :

L'évaluation qualitative et quantitative des eaux résiduelles industrielles du complexe GLN3Z s'étend sur la période allant du 27 mars 2025 jusqu'à 15 mars 2026. Les résultats des analyses de DCO sont reportés sur la figure IV.1 et comparés par rapport aux normes de déversement d'effluents liquides industriel préconisés par la législation nationale en vigueur.

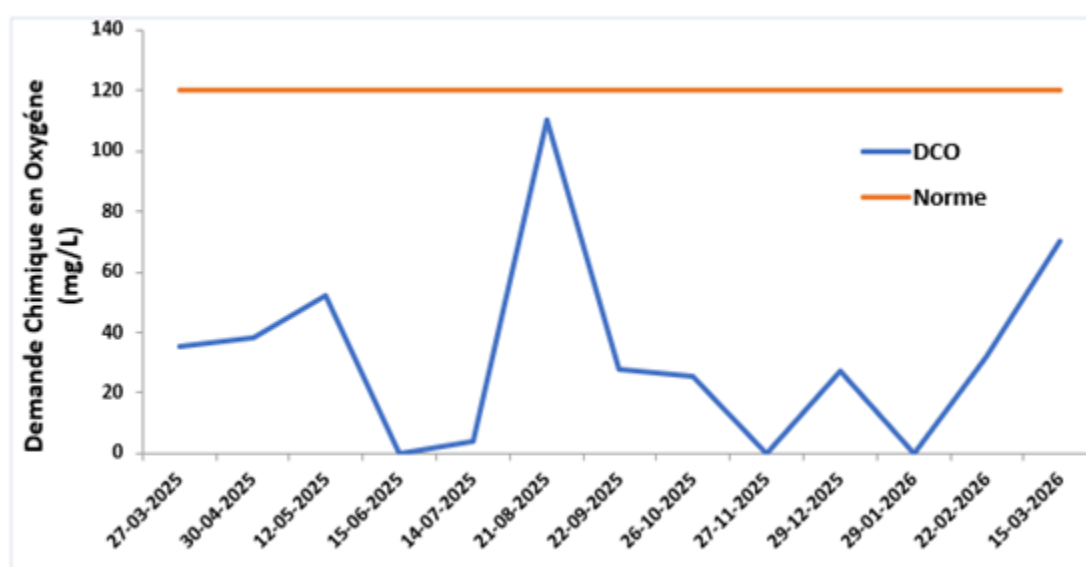


Figure IV.1 : Variation de la demande chimique en oxygène (DCO) des eaux épurées en fonction des mois de l'année par rapport à la norme.

La courbe présente l'évolution de la demande chimique en oxygène (DCO) au cours des différents mois. Comme le montre la figure, les valeurs enregistrées demeurent globalement inférieures à la limite réglementaire fixée à 120 mg/L. Un pic notable est toutefois observé le 21/08/2025, avec une valeur avoisinante 110 mg/L, tout en restant conforme à la norme en vigueur.

Cette augmentation ponctuelle de la DCO pourrait être attribuée à une concentration plus élevée des effluents durant la période estivale, en raison des températures élevées et de la diminution

du débit. Elle pourrait également être liée à des rejets industriels occasionnels associés à des opérations de production ou de nettoyage. Malgré cette hausse, la valeur mesurée reste conforme puisqu'elle ne dépasse pas la limite réglementaire de 120 mg/L.

4.2 Résultats d'analyse de DBO₅ :

La demande biologique en oxygène sur cinq jours DBO₅ constitue un paramètre essentiel pour l'évaluation de la charge organique biodégradable des eaux usées. Des analyses qualitatives et quantitatives des eaux usées issues de la zone industrielle ont été réalisées. Les résultats des mesures de la DBO₅ à la sortie ont été enregistrés entre mars 2025 et mars 2026, comme illustré sur la figure IV.2, puis comparés aux normes réglementaires relatives aux rejets des eaux usées industrielles.

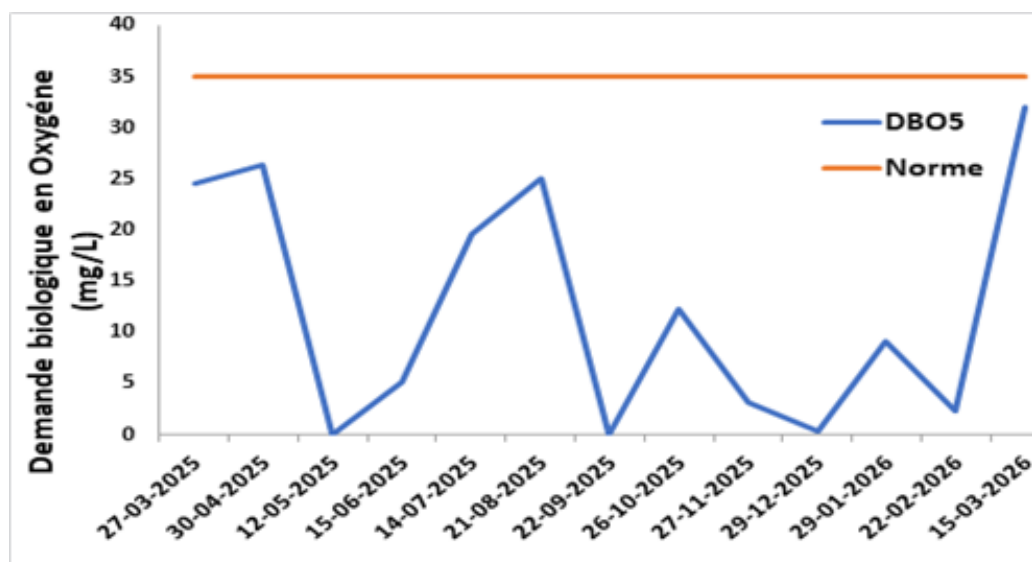


Figure IV.2 : Variation la Demande biologique (DBO₅) des eaux épurées en fonction des mois de l'année par rapport à la norme.

Ce paramètre, représentant la fraction biodégradable de la pollution organique, est demeuré inférieur à la limite réglementaire fixée à 35 mg/L durant toute la période d'étude. Une augmentation notable a toutefois été observée le 15 mars 2026, avec une valeur atteignant 32 mg/L, ce qui pourrait traduire une diminution de l'efficacité du traitement biologique en fin de cycle. Par ailleurs, à certaines périodes, les valeurs de la DBO₅ se sont rapprochées de la norme réglementaire, atteignant environ 25 à 30 mg/L, indiquant une augmentation de la charge organique biodégradable des effluents, sans toutefois dépasser la limite autorisée.

4.3 Résultats d'analyse de DCO et DBO₅:

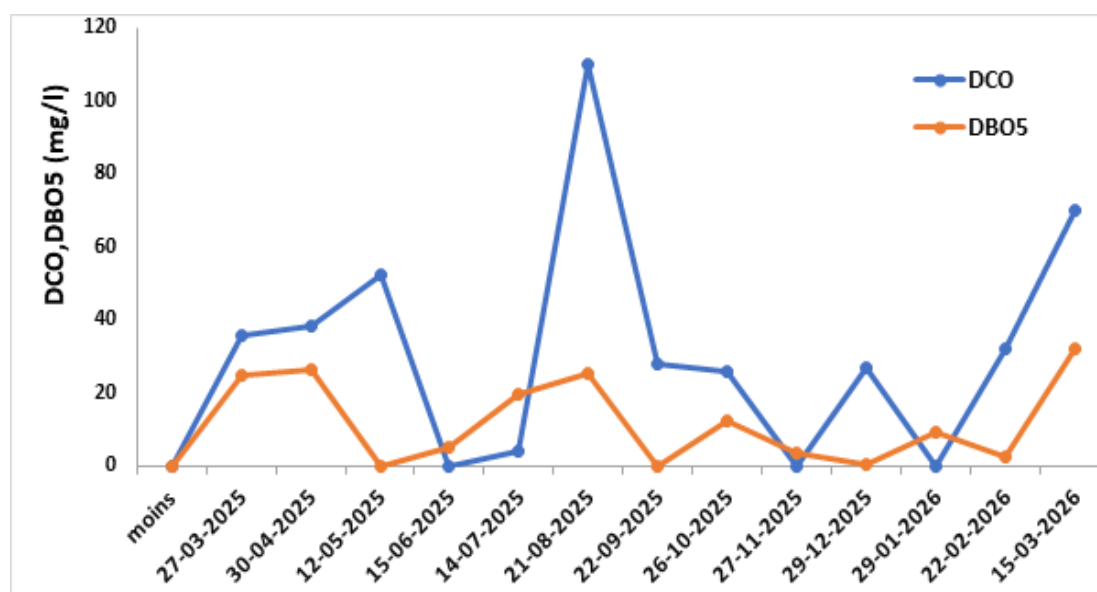


Figure IV.3 : Variation de la DCO et DBO₅ des eaux épurées en fonction des mois de l'année par rapport à la norme.

La figure ci-dessus présente l'évolution de la DCO et de la DBO₅ des eaux traitées entre mars 2025 et mars 2026. Globalement, les deux paramètres montrent des fluctuations importantes au cours de l'année, traduisant des variations de la charge organique et de l'efficacité du traitement appliqué.

La DCO varie de manière plus marquée que la DBO₅, avec plusieurs pics importants. Après une augmentation progressive entre mars et mai 2025, atteignant environ 52 mg/L, une chute presque totale est observée en juin 2025, indiquant une amélioration temporaire du rendement épuratoire. Cependant, un pic très élevé apparaît le 21-08-2025 avec une valeur avoisinante 110 mg/L, ce qui traduit probablement une surcharge organique exceptionnelle ou une perturbation du procédé de traitement. Après cette période, la DCO diminue de nouveau durant l'automne 2025 avant de présenter quelques fluctuations modérées jusqu'en mars 2026, où une nouvelle augmentation importante (~70 mg/L) est enregistrée.

Concernant la DBO₅, les variations restent globalement plus faibles que celles de la DCO, ce qui indique que la fraction biodégradable de la pollution demeure relativement maîtrisée. Des valeurs élevées sont observées au printemps 2025 (environ 24-26 mg/L), puis une diminution notable apparaît en mai-juin 2025. Une nouvelle augmentation est enregistrée en été 2025 avec un maximum proche de 25 mg/L en août, coïncidant avec le pic de DCO. Cette

évolution suggère une augmentation simultanée de la pollution organique biodégradable durant cette période. Ensuite, la DBO₅ fluctue à de faibles valeurs durant l'automne et l'hiver, avant d'augmenter de nouveau en mars 2026 pour atteindre environ 32 mg/L.

L'écart généralement important entre la DCO et la DBO₅ indique la présence d'une fraction non biodégradable relativement significative dans les eaux traitées. Le rapport (DCO/DBO₅) semble variable selon les périodes, traduisant des changements dans la nature de la pollution influente. Lorsque ce rapport augmente fortement, cela peut indiquer la présence accrue de composés difficilement biodégradables.

D'une manière générale, les résultats montrent que :

- Le traitement reste globalement efficace durant plusieurs périodes de l'année ;
- Certaines dates présentent toutefois des perturbations importantes, notamment en août 2025 et mars 2026 ;
- Les hausses simultanées de la DCO et de la DBO₅ traduisent probablement des surcharges organiques temporaires ou une baisse de performance du traitement biologique.

Enfin, malgré certaines augmentations, la DBO₅ demeure dans plusieurs périodes proches des normes usuelles de rejet, ce qui indique une élimination relativement satisfaisante de la pollution biodégradable, bien que des optimisations du procédé puissent être nécessaires pour stabiliser les performances de traitement.

4.4 Résultats d'analyse de pH :

L'évaluation qualitative et quantitative des eaux résiduaires industrielles du complexe GLN3Z s'étend sur la période allant du 27 mars 2025 au 15 mars 2026. Les résultats des analyses du pH sont présentés dans la figure IV.4 et comparés aux normes de déversement des effluents liquides industriels préconisées par la législation nationale en vigueur (voir annexe 1).

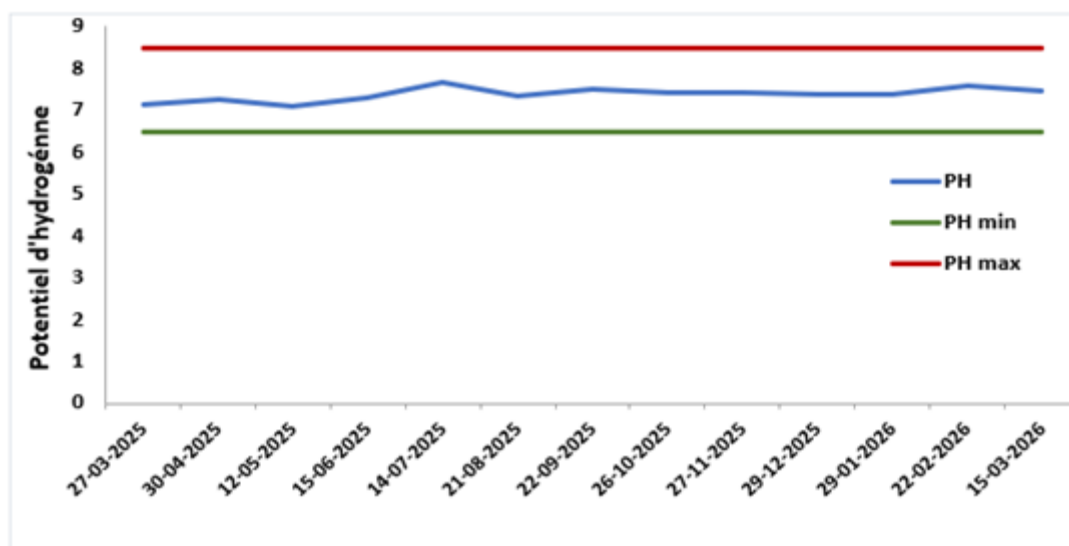


Figure IV.4 : Variation du potentiel d'hydrogène des eaux épurées en fonction des mois de l'année par rapport à la norme.

Le graphe présente l'évolution du pH des eaux résiduaires industrielles traitées du complexe GLN3Z durant la période allant du 27 mars 2025 au 15 mars 2026. Les valeurs enregistrées restent relativement stables au cours de toute la période d'étude, avec de faibles fluctuations comprises approximativement entre 7,08 et 7,67. Il est donc conforme aux normes de rejets « 6,5 à 8,5 ».

Globalement, les valeurs du pH demeurent comprises entre les limites minimale et maximale fixées par la réglementation nationale de rejet des effluents liquides industriels, représentées respectivement par les seuils de pH minimum et pH maximum. Cette stabilité traduit un bon contrôle du procédé de traitement ainsi qu'une neutralisation efficace des eaux résiduaires avant leur rejet.

Cette hausse peut être liée à une augmentation de la concentration en composés basiques ou à des variations dans les conditions opératoires du traitement. À l'inverse, de faibles diminutions sont observées en mai 2025 et août 2025, sans toutefois descendre en dessous de la limite réglementaire minimale. Dans l'ensemble, le pH reste proche de la neutralité : ce qui constitue un indicateur favorable de la qualité des eaux traitées. En effet, un pH neutre ou légèrement basique favorise la stabilité chimique des effluents et limite les risques de corrosion des installations ainsi que les impacts négatifs sur le milieu récepteur. Ainsi, les résultats obtenus montrent que le traitement appliqué au niveau du complexe GLN3Z permet de maintenir le pH des eaux traitées dans les normes admissibles tout au long de l'année, traduisant une bonne efficacité du système de traitement vis-à-vis de ce paramètre.

4.5 Résultats d'analyse de La température :

La période des prélèvements s'étend du 27 mars 2025 au 15 mars 2026. Les résultats des analyses de la température (°C) sont présentés dans la figure IV.5 et comparés aux normes de déversement des effluents liquides industriels préconisées par la législation nationale en vigueur.

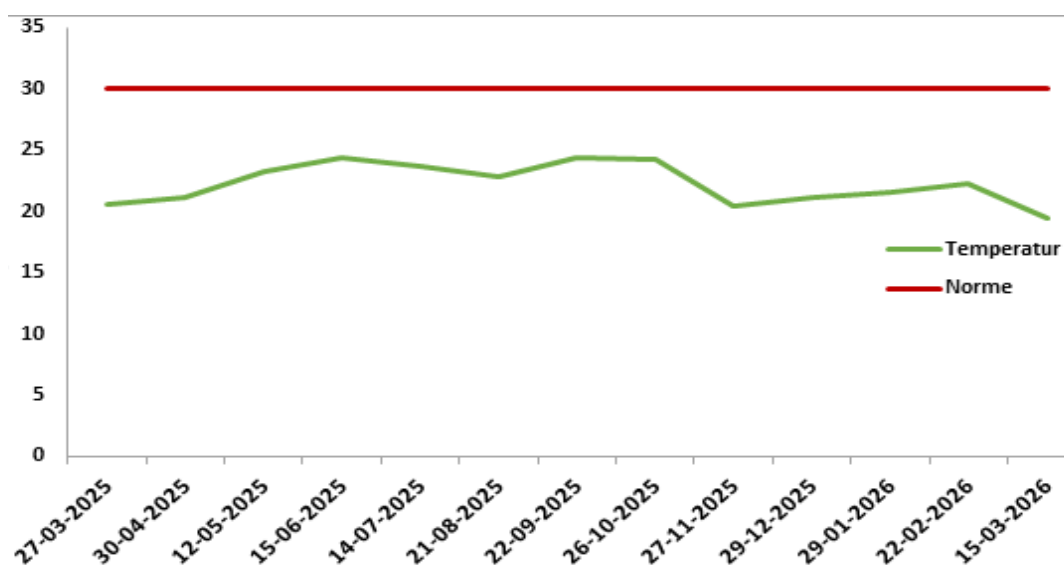


Figure IV.5 : Variation de la Température des eaux épurées en fonction des mois de l'année par rapport à la norme.

Le graphe présente l'évolution de la température des eaux résiduaires industrielles traitées du complexe GLN3Z durant la période allant du 27 mars 2025 au 15 mars 2026. Les valeurs mesurées varient globalement entre 19 °C et 24 °C, restant largement inférieures à la limite réglementaire fixée à 30 °C. Au début de la période d'étude, la température est d'environ 20 °C en mars 2025, puis elle augmente progressivement au printemps et en été pour atteindre des valeurs maximales proches de 24 °C entre juin et octobre 2025. Cette augmentation peut être attribuée aux variations climatiques saisonnières ainsi qu'à l'élévation de la température ambiante durant les périodes chaudes de l'année. Par la suite, une diminution de la température est observée à partir de novembre 2025, avec une valeur minimale proche de 20 °C enregistrée en mars 2026. Cette baisse est probablement liée aux conditions climatiques hivernales et au refroidissement naturel des effluents.

4.6 Résultats d'analyse des matières en suspension (MES) :

Des évaluations qualitatives et quantitatives des eaux usées de la zone industrielle ont été réalisées. Les résultats des analyses des matières en suspension (MES) à la sortie du traitement ont été enregistrés durant la période allant de mars 2025 à mars 2026, comme illustré sur la figure IV.6, puis comparés aux normes de rejet des effluents liquides industriels en vigueur.

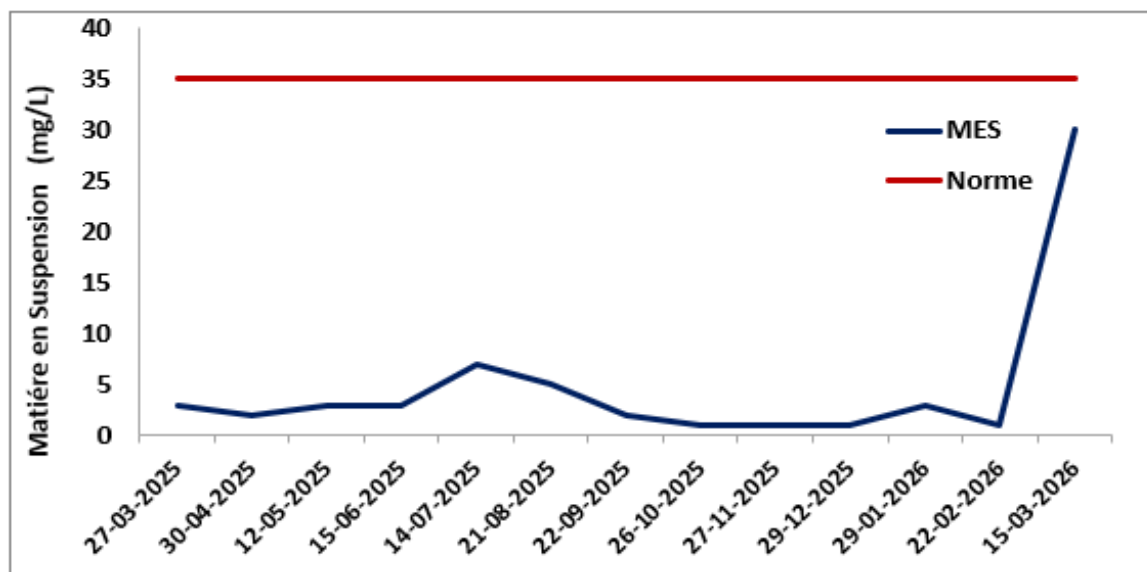


Figure IV.6 : Variation des matières en suspension des eaux épurées en fonction des mois de l'année par rapport à la norme.

Le graphe présente l'évolution des matières en suspension (MES) dans les eaux usées traitées de la zone industrielle durant la période allant du 27 mars 2025 au 15 mars 2026. Les concentrations enregistrées restent globalement faibles tout au long de la période d'étude, avec des valeurs variantes approximativement entre 1 et 7 mg/L, à l'exception du dernier prélèvement où une augmentation importante est observée. Au début de la période de suivi, les valeurs de MES sont faibles et relativement stables, oscillant entre 2 et 3 mg/L entre mars et juin 2025. Une légère augmentation est enregistrée en juillet 2025 avec une valeur proche de 7 mg/L, suivie d'une diminution progressive jusqu'à atteindre des valeurs minimales d'environ 1 mg/L entre octobre 2025 et février 2026. Cette faible concentration traduit une bonne efficacité du procédé de traitement dans l'élimination des particules solides en suspension. Cependant, une augmentation notable des MES est observée le 15 mars 2026, atteignant envi-

ron 30 mg/L. Cette hausse peut être liée à une perturbation temporaire du système de traitement peut être à une surcharge hydraulique ou à un dysfonctionnement au niveau de la décantation ou encore à une remise en suspension des boues ou activité biologique a normale (Développement de bactéries qui font flotter la boue au lieu de la faire couler) ou l'apport hydrolique : Une forte pluie ou un débit excessif qui "soulève" les matières solides au fond des bassins.

Malgré cette augmentation, les concentrations mesurées demeurent inférieures à la limite réglementaire fixée à 35 mg/L : $MES < 35 \text{ mg/L}$ ce qui indique que les eaux traitées respectent globalement les normes nationales de rejet relatives aux matières en suspension.

4.7 Résultats d'analyse de Phosphore total (PO_4^{3-}) :

Le phosphore est considéré comme un polluant important car sa présence excessive dans les milieux aquatiques favorise le phénomène d'eutrophisation, caractérisé par une prolifération excessive des algues et des microorganismes. Les résultats des analyses du phosphore total sont présentés sur la figure correspondante et comparés aux normes de déversement des effluents liquides industriels préconisées par la législation nationale en vigueur.

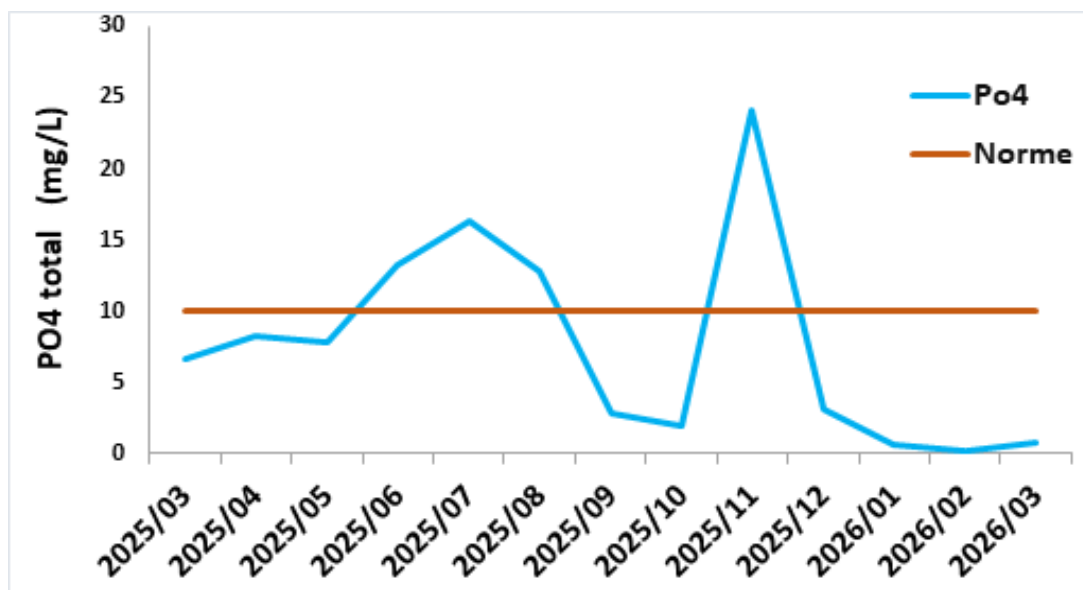


Figure IV.7: Variation du Phosphore total la des eaux épurées en fonction des mois de l'année par rapport à la norme.

La figure présente l'évolution de la concentration en phosphore total exprimé sous forme de phosphate (PO_4^{3-}) dans les eaux usées traitées entre mars 2025 et mars 2026. Les valeurs mesurées montrent des fluctuations importantes au cours de l'année, avec des périodes de dépassement de la norme réglementaire fixée à 10 mg/L.

Au début de la période d'étude, les concentrations en phosphore restent modérées, variant entre 6 et 8 mg/L de mars à mai 2025, ce qui indique un rejet conforme aux normes de déversement. Cependant, une augmentation progressive est observée entre juin et août 2025, avec des concentrations atteignant environ 13 à 16 mg/L. Ces valeurs dépassent la norme réglementaire, traduisant une augmentation de la charge phosphorée dans les eaux usées ou une diminution de l'efficacité du traitement d'élimination du phosphore.

Après cette période, une diminution importante est enregistrée en septembre et octobre 2025, où les concentrations chutent à des valeurs inférieures à 3 mg/L, indiquant une amélioration notable du traitement. Toutefois, un pic très élevé apparaît en novembre 2025 avec une concentration avoisinante 24 mg/L. Ces pics de phosphates favorisent l'eutrophisation des milieux récepteurs et suggèrent un manque de traitement tertiaire (déphosphatation chimique ou biologique) efficace lors de fortes charge

Parmi les problèmes de l'augmentation de PO_4^{3-} :

- Rejets industriels : Utilisation massive de produits de nettoyage et de désinfection dans l'agroalimentaire (laiteries, abattoirs) ou traitements de surface des métaux (phosphatation).
- Détergents : Utilisation de lessives et produits de lavage riches en phosphates, qu'ils soient domestiques ou professionnels.
- Origine humaine & agricole : Rejets naturels du métabolisme humain et ruissellement d'engrais phosphatés provenant des zones agricoles.

Défaut de traitement : Absence ou mauvais réglage de la déphosphatation chimique (injection de sels de fer) au niveau de la station d'épuration.

Par la suite, les concentrations diminuent fortement à partir de décembre 2025 pour atteindre des valeurs très faibles au début de l'année 2026, proches de zéro, ce qui traduit une très bonne élimination du phosphore dans les eaux traitées. La comparaison avec la norme montre que plusieurs périodes dépassent la limite autorisée ($\text{PO}_4^{3-} > 10 \text{ mg/L}$), notamment entre juin-août 2025 et en novembre 2025, alors que les autres périodes restent conformes à la réglementation nationale. La présence du phosphore dans les eaux usées est principalement liée aux détergents et aux produits de nettoyage industriels, aux matières organiques biodégradables, aux rejets agroalimentaires et industriels, ainsi qu'aux fertilisants et aux composés chimiques phosphatés.

Dans l'ensemble, les résultats montrent que le système de traitement présente une efficacité variable vis-à-vis de l'élimination du phosphore, avec certaines périodes de dépassement nécessitant un contrôle plus rigoureux du procédé de traitement afin de garantir le respect permanent des normes environnementales.

4.8 Résultats d'analyse des Métaux toxiques (Cr, CN) :

Les résultats des analyses des Métaux toxiques (Cr, CN) sont reportés sur la figure et comparés aux normes de déversement d'effluents liquides industriels préconisés par la législation nationale.

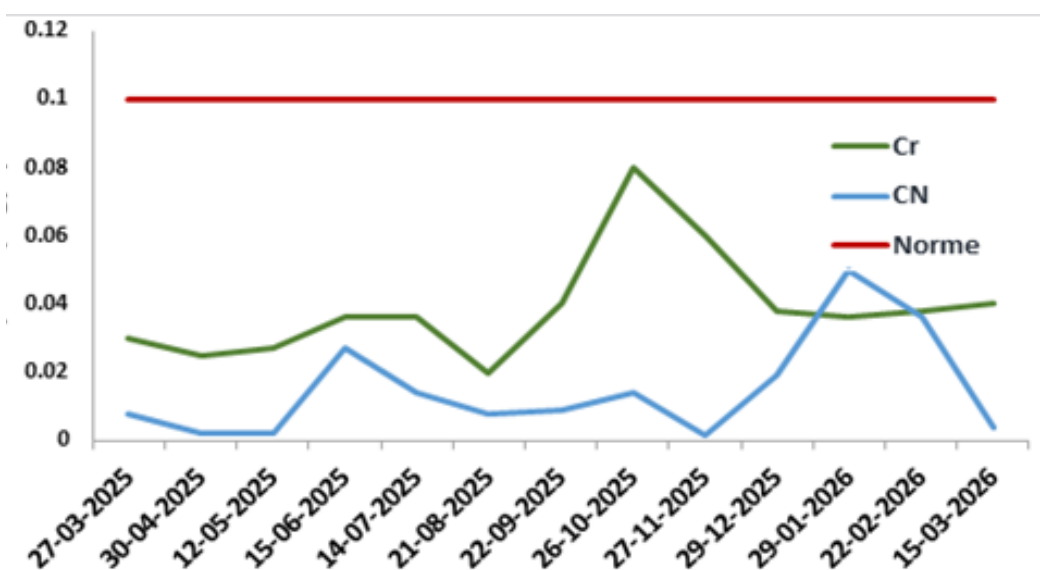


Figure IV.8: Variation de la Métaux toxiques (Cr, CN) des eaux épurées en fonction des mois de l'année par rapport à la norme.

Le graphique représente l'évolution des concentrations de Chrome Cr et Cyanure CN en fonction des mois de l'année. On observe que d'après les données du graphique, le pic de Chrome (Cr) observé le 26-10-2025 atteint une valeur d'environ 0,08 mg/L. Voici l'analyse détaillée de cette augmentation :

- Une hausse relative mais sous contrôle : Bien que le Chrome atteigne son niveau le plus élevé de l'année à cette date, il reste strictement conforme, car il demeure en dessous de la norme fixée à 0,1 mg/L.

- Comparaison avec les autres mois : Avant cette date, les niveaux oscillaient généralement entre 0,02 et 0,04 mg/L. L'augmentation enregistrée le 26-10-2025 représente donc un doublement de la concentration habituelle.
- Corrélation avec les Cyanures (CN) : On remarque qu'à cette même période, le taux de Cyanures est relativement bas (environ 0,015 mg/L), ce qui suggère que la pollution au Chrome ce jour-là n'était pas forcément liée à un rejet complexe de type traitement de surface impliquant les deux composés simultanément.
- Causes potentielles (Hypothèses techniques).
 - Origine industrielle : Ce pic ponctuel peut provenir d'un rejet spécifique d'une industrie de tannerie, de traitement de métaux ou de fabrication de pigments située sur le réseau.
 - Lessivage ou entretien : Il pourrait également résulter d'une opération ponctuelle d'entretien de cuves ou de conduits en acier chromé dans les installations raccordées.
 - Concentration de l'effluent : Une baisse du débit d'eau global dans le réseau pourrait mécaniquement augmenter la concentration des métaux lourds sans que la masse de polluant rejetée n'ait changé.
 - Inhibiteur de corrosion.

En résumé, bien que ce soit le point culminant du graphique pour le Chrome, la situation ne présente pas de danger réglementaire immédiat au regard de la norme de 0,1 mg/L. Ces polluants toxiques sont maintenus à des niveaux très bas bien en dessous de la norme 0.1 mg/L.

4.9 Résultats d'analyse des Métaux Lourds (Fe, Zn) :

Les résultats des analyses des métaux lourds (Fe, Zn) sont reportés sur la figure et comparés aux normes de déversement des effluents liquides industriels préconisées par la législation nationale.

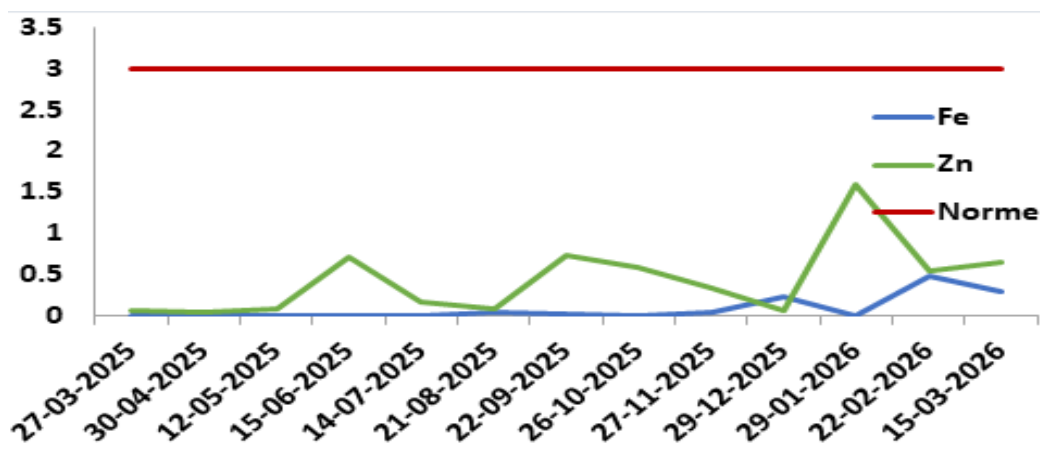


Figure IV.9: Variation de la Métaux Lourds (Fe, Zn) des eaux épurées en fonction de mois de l'année par rapport à la norme.

Le suivi des concentrations en Fe et Zn au cours des différents mois montre que les valeurs enregistrées restent inférieures aux limites réglementaires fixées pour les rejets d'effluents liquides industriels. Toutefois, une élévation ponctuelle de la concentration en zinc (Zn) a été observée durant la période du 29/01/2026, comparativement au fer (Fe).

Cette augmentation peut être attribuée à plusieurs facteurs, notamment les conditions hivernales favorisant la corrosion des conduites galvanisées et le lessivage des surfaces contenant du zinc sous l'effet des précipitations. Elle peut également résulter des opérations de maintenance industrielle, telles que le nettoyage chimique des installations et la vidange des circuits de refroidissements réalisés en début d'année. Par ailleurs, certaines activités industrielles, notamment celles liées au traitement de surface, aux peintures ou au caoutchouc, peuvent contribuer aux rejets de zinc dans les eaux usées.

Ainsi, cette variation temporaire de la concentration en Zn semble principalement liée aux effets combinés des conditions climatiques hivernales et des activités de maintenance industrielle.

4.10 Résultats d'analyse de cuivre :

- Effet du cuivre dissous :

La figure ci-dessous représente l'évolution de cuivre en fonction des mois de l'année ;



Figure IV.10 : Variation de cuivre des eaux épurées en fonction des mois de l'année par rapport à la norme.

D'après les données du graphique, le cuivre (Cu) apparaît comme le paramètre le plus préoccupant, puisque sa concentration dépasse la norme réglementaire de 0,5 mg/L durant la majeure partie de l'année, avec un maximum atteignant 2,8 mg/L au mois de juillet 2025. La limite réglementaire a ainsi été continuellement dépassée entre mai 2025 et février 2026. Le pic enregistré en juillet 2025 correspond à une concentration supérieure à cinq fois la valeur autorisée, ce qui traduit probablement l'existence d'une source de pollution industrielle insuffisamment maîtrisée en amont du rejet. L'augmentation des teneurs en cuivre dans les eaux usées peut être liée à plusieurs facteurs, notamment les rejets issus des activités industrielles utilisant le cuivre, la corrosion des canalisations métalliques, les opérations de maintenance et de nettoyage des équipements industriels, ainsi que les effluents provenant des secteurs de traitement de surface, de la métallurgie ou encore des industries chimiques. Les causes probables de ce dépassement et de l'augmentation des taux de cuivre dans les eaux usées sont :

- Rejets industriels : Activités de traitement de surface, galvanoplastie ou fabrication de composants électroniques (circuits imprimés).
- Corrosion : Usure et dégradation des tuyauteries en cuivre ou des échangeurs thermiques dans les réseaux de distribution.

Produits chimiques : Utilisation d'algicides dans les tours de refroidissement ou de fongicides agricoles (bouillie bordelaise) par ruissellement.

- Échec du traitement : Mauvais réglage du pH de la station ou présence d'agents nettoyants (EDTA) empêchant le cuivre d'être capturé par le traitement.

Le pic de juillet suggère une vidange ponctuelle, tandis que le dépassement annuel indique une pollution industrielle continue ou un défaut de traitement permanent.

4.11 Résultats d'analyse de teneur en huile et graisse :

La présence des huiles dans les eaux usées peut avoir des effets importants sur la qualité des eaux traitées et sur l'environnement. La teneur réglementaire en huiles et graisses dans les eaux traitées est fixée à 20 mg/L. La figure ci-dessous présente l'évolution de la concentration des huiles et graisses dissoutes au cours de l'année.

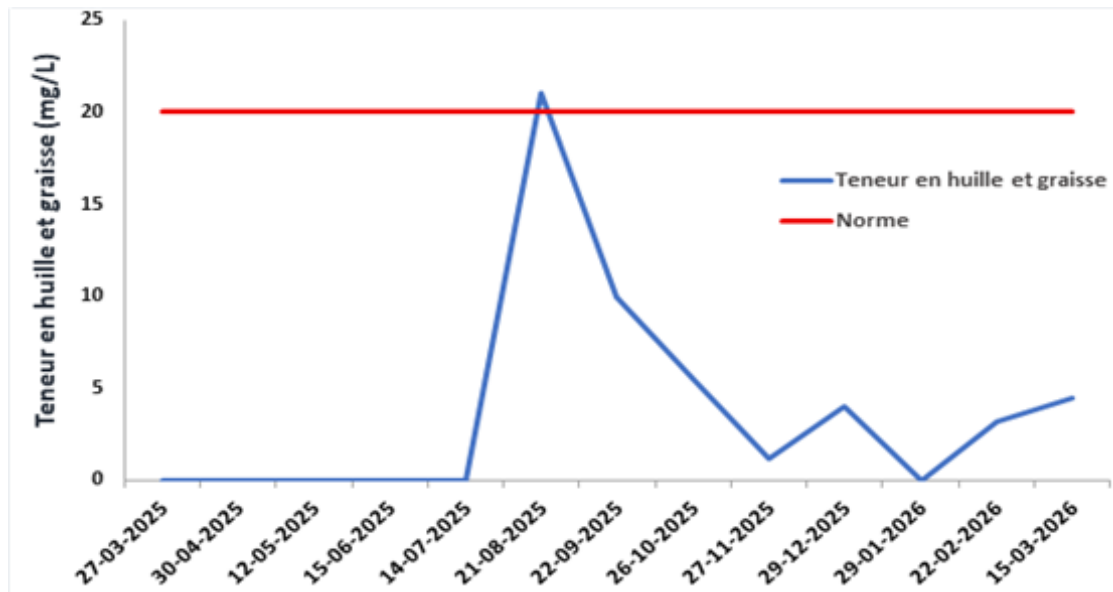


Figure IV.11 : Variation de La teneur en huile et graisse des eaux épurées en fonction des mois de l'année par rapport à la norme.

On observe une bonne stabilité des concentrations en huiles et graisses entre mars et juillet 2025, avec des valeurs quasi nulles. Cela traduit une maîtrise efficace des rejets de matières grasses durant cette période.

On note un pic ponctuel le 21/08/2025, où la concentration atteint environ 21 mg/L. Il s'agit du seul dépassement de la norme fixée à 20 mg/L au cours de l'année. Ce dépassement peut s'expliquer par plusieurs facteurs probables :

- Un apport ponctuel et important en matières grasses, lié à une activité industrielle accrue ou à un nettoyage des installations ;
- Une diminution du débit en période estivale, entraînant une concentration des polluants
- Un dysfonctionnement temporaire du système de dégraissage ou du séparateur à graisses de la station.

À partir de septembre 2025, on observe une diminution rapide de la concentration, qui passe à environ 10 mg/L, puis continue de décroître progressivement jusqu'à atteindre des valeurs très faibles en fin d'année, proches de 1 mg/L en novembre.

En début d'année 2026, une légère augmentation est observée autour de mars (≈ 5 mg/L), mais celle-ci reste largement inférieure au seuil réglementaire de 20 mg/L et ne présente pas de risque de non-conformité.

Conclusion générale

Ce travail de mémoire a été consacré à l'étude et à l'analyse du système de traitement des rejets liquides de complexe GNL3Z. L'objectif principal était d'évaluer l'efficacité de la station d'épuration actuelle afin de garantir la conformité des eaux rejetées avec les normes environnementales en vigueur, notamment (algérienne 06-141).

Les analyses physico-chimiques et biologiques effectuées sur les eaux [brutes et traitées] ont mis en évidence les points clés suivants :

Les rejets liquides étudiés présentent une charge polluante importante en matières organiques et métaux lourds, avec des valeurs de DCO (Demande Chimique en Oxygène) et DBO₅ (Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours) et De plus, nous avons observé que les valeurs du pH et de la température sont stables. Cependant, il existe un problème concernant le cuivre (Cu), dont la concentration dépasse la valeur limite autorisée tout au long de l'année. Quant aux autres métaux lourds, leurs valeurs sont irrégulières mais restent conformes aux normes et ne dépassent pas les seuils fixés. Cependant, malgré toutes ces variations, l'ensemble des paramètres reste conforme aux seuils réglementaires, à l'exception du cuivre, qui dépasse la valeur limite fixée par la réglementation algérienne (Décret exécutif n° 06-141). Ceci témoigne d'un traitement adéquat et rigoureux des eaux usées sanitaires et industrielles. Toutefois, il est impératif de trouver une solution au problème du cuivre ; ce dépassement pourrait résulter d'un dysfonctionnement au niveau de l'une des étapes du processus de traitement.

Le système de traitement actuel, basé principalement sur (prétraitement, floculation, décantation, traitement biologique traitement tertiaire], a montré une efficacité notable, prouvant ainsi sa capacité à réduire la charge toxique.

Bien que des améliorations significatives soient constatées, il a été observé que [répond de manière inégale] aux exigences réglementaires. Cela implique un impact résiduel sur le milieu récepteur, soulignant la nécessité d'une surveillance continue.

En Conclusion, la gestion des rejets liquides est un enjeu environnemental et économique crucial. Cette étude démontre que le traitement en place est essentiel, mais doit être optimisé. Pour améliorer la qualité des eaux traitées, il est recommandé de renforcer l'étape de décantation ou ajuster le dosage des coagulants ou moderniser le traitement biologique.

Conclusion Générale

Enfin, l'avenir du traitement des eaux résiduaires réside dans le développement de techniques de réutilisation des eaux usées traitées permettant de transformer ces rejets en une ressource alternative pour l'irrigation ou les usages industriels, réduisant ainsi la pression sur les ressources en eau douce

Références bibliographiques

- [1] World Health Organization. (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater in agriculture and aquaculture. WHO Press.
- [2] UNESCO. (2019). Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2019 : Ne laisser personne pour compte. UNESCO Publishing..
- [3] Ministère des Ressources en Eau. (2010). Plan national de l'eau à l'horizon 2025. Alger, Algérie : Ministère des Ressources en Eau.
- [4] Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. (2014). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- [5] Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire. (2006). Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Alger, Algérie.
- [6] Rodier, J. (2009). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (9e éd.). Dunod.
- [7] Bitton, G. (2005). Wastewater microbiology (3rd ed.). Wiley.
- [8] Benmoussa, A., & Bouchikhi, M. (2024). Étude du complexe GL3/Z et analyse des procédés de liquéfaction du gaz naturel (Mémoire de master, Université M'Hamed Bougara de Boumerdès). Université de Boumerdès. <https://dspace.univ-boumerdes.dz/>
- [9] Sonatrach. (2024). Complexe GL3Z. SONATRACH. <https://sonatrach.com/fr/liquifaction-separation/complex-gl3z/>
- [10] Sonatrach. (S.d.). Manuel opératoire – Organisation générale et exploitation du complexe GL3Z (Document technique interne No. 318800-GNL3Z-TP-PR-00-04000). Complexe GL3Z, Arzew.
- [11] U.S. Energy Information Administration. (2023). Liquefied natural gas (LNG). <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/liquefied-natural-gas.php>
- [12] Sonatrach. (S.d.). GNL3Z – Systèmes utilités et procédés de liquéfaction (Document technique interne No. 318800-GNL3Z-MO-SY-00-86829). Complexe GL3Z, Arzew.
- [13] Sonatrach. (S.d.). GNL3Z – Informations techniques sur les capacités de stockage et de production du complexe GL3Z (Document technique interne No. 318800-GNL3Z-RT-LP-00-85601). Complexe GL3Z, Arzew.

Références bibliographiques

- [14] Laforest, V., Bourgois, J., & Hausler, R. (2023). Traitements chimiques et physico-chimiques des rejets industriels dangereux liquides. Techniques de l'Ingénieur.
- [15] World Health Organization. (2018). *Guidelines on sanitation and health*. Geneva: WHO.
- [16] Organisation mondiale de la Santé. (2024, 24 octobre). *Déchets d'activités de soins*. OMS. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste>
- [17] United Nations Environment Programme & International Solid Waste Association. (2015). Global Waste Management Outlook.UNEP. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9672>
- [18] UNESCO. (2017, March 22). *Les eaux usées : nouvel or noir ?* Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture. <https://www.unesco.org/fr/articles/les-eaux-usees-nouvel-or-noir>
- [19] BOUSSAID, E. (2015). *Caractérisation de la pollution des eaux résiduaires issus d'une zone industrielle* (Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie). Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [20] HAMMOU, Dounia. (2026). *Étude du système d'approvisionnement en eau au niveau du complexe GL3Z* (Rapport de Gestion de traitement des rejets industriel au niveau du complexe GL3Z /Licence). Université Abdelhamid Ibn Badis- Mostaganem, Algérie.
- [21] Université d'Oran 1 Ahmed Ben Bella. (S.d.). *Étude de la station d'épuration du complexe GL3Z d'Arzew*. Université d'Oran 1 Ahmed Ben Bella, Algérie et Manuel d'exploitation U64 Sonatrach (ONA)2019.
- [22] Université Oran 2 Mohamed Ben Ahmed. (S.d.). Diagnostic et évaluation d'une station de traitement des eaux usées au complexe GL3Z. Université Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, Algérie Manuel d'exploitation Unité 64 (ONA)2019.
- [23] Manuel opératoire 318800-GNL3Z-MO-SY-64-86819-A_FR “D’après Metcalf & Eddy (2014) et la documentation technique du complexe GL3Z (Sonatrach)...”
- [24] MENIAI IMEN, Évaluation de la toxicité des effluents industriels en utilisant Daphniamagna, Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master, Filière : Sciences Biologiques, Spécialité : Pollution des écosystèmes et éco toxicologie, Université des HrfresMentouri Constantine, p05,2016.
- [25] Selon Clark (2001) et l'UNEP (2006), les rejets liquides industriels peuvent provoquer une toxicité directe, une eutrophisation et une dégradation des écosystèmes côtiers.
- [26] Journal Officiel de la République Algérienne. (2006). Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. Journal Officiel de la République Algérienne, n°26.

- [27] Merabet, S. (2010). Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun (Mémoire de magister, Université Frères Mentouri Constantine, Algérie).
- [28] Dahou, A. et Brek, A., 2013-lagunage aère en zone aride performance épuratoires cas de (région d'Ouargla). Université d'Ouargla.06, 07p
- [29] Mekhalif, F. 2009- réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement. Université de Skikda.07, 03, 04p
- [30] Université KASDI-MERBAH Ouargla Mémoire Master (2020) CARACTERISATION ET TRAITEMENT DES REJETS DES EAUX RESIDUAIRES DUNE ZONE INDUSTRIELLE.
- [31] S. Gupta, S. Nayek, R. N. Saha, & S. Satpati. (2008). Assessment of heavy metal accumulation in macrophyte, agricultural soil, and crop plants adjacent to discharge zone of sponge iron factory. *Environmental Geology*, 55(4), 731–739. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-1034-y>.
- [32] Jean Rodier. (2005). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer (8e éd.). Dunod.
