

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة
التعليم العالي والبحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR
HYDRAULICS



المدرسة الوطنية العليا للري

"المجاهد عبد هلا عرباوي"

ⵓⵎⵓⵎⵓⵔ ⵏ ⵓⵎⵓⵎⵓⵔ ⵏ ⵓⵎⵓⵎⵓⵔ ⵏ ⵓⵎⵓⵎⵓⵔ

"The Mujahid Abdellah ARBAOUI"

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Hydraulique

Option : Réutilisation des Eaux Non Conventionnelles

THEME :

Dimensionnement d'une STEP des eaux résiduaires d'une industrie pétrolière (Naftal, wilaya de Blida) en vue de leur réutilisation

Présenté par :

ELMATMATI Zhour

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
HACHEMI Abdelkader	MAA	Président
KHALED HOULI Samia	MAA	Examineur
YAHIAOUI Samir	MAA	Examineur
TAFAT Leila	MAA	Examineur
BETATACHE Hayat	MCB	Promoteur

Session Septembre 2023

Remerciement

J'aimerais exprimer ma gratitude envers tous l'ensemble du personnel ENSH , avec une attention particulière à Mme BETATACHE Hayat , pour votre expertise, votre soutien inestimable, et vos conseils éclairés ont été essentiels pour la réussite de ce projet et je suis honorée d'avoir eu la chance de travailler à vos côtés.

Mes vifs remerciements a M. ZAIDAT Nazim , directeur du District Carburants BLIDA pour m'avoir accueillie au sein du l'organisme et M . BOUHASSENA Amine , Responsable de laboratoire centrale du district et M . MELIANI pour sa disponibilité et sa précieuse générosité.

J'adresse mes remerciements aux membres de jurys pour votre contribution et extermination de mon travail .

Chère famille , Je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour votre soutien indéfectible tout au long de mon parcours , votre encouragement et votre constante présence à mes côtés.

Je tiens à exprimer mon remerciement à tout le personnel de la NAFTAL et à toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de mon mémoire .

"La connaissance commence par la merveille." - Socrate

Résumé :

L'industrie pétrolière NAFTAL est connue pour sa consommation intensive d'eau et la génération de rejets contenant des substances nocives pour les écosystèmes.

Ce mémoire met en évidence l'importance de la gestion des rejets d'eau dans l'industrie de Naftal et propose des solutions pour la réutilisation des eaux issues des carburants.

Il existe divers étapes et procédés de traitement des eaux industrielles, selon la qualité, la composition ou encore le pH des eaux à traiter.

Dans notre industrie on distingue : Un prétraitement, un traitement primaire, un traitement biologique

La mise en œuvre de pratiques de gestion appropriées permettra à Naftal de réduire son impact environnemental, d'optimiser l'utilisation des ressources en eau et de contribuer au développement durable de l'industrie pétrolière dans son ensemble.

La réutilisation des eaux des carburants offre des opportunités prometteuses pour une gestion plus responsable des ressources en eau, tout en répondant aux exigences réglementaires et en renforçant la durabilité de l'entreprise.

Abstract:

The NAFTAL oil industry is known for its intensive consumption of water and the generation of discharges containing substances harmful to ecosystems.

This thesis highlights the importance of water discharge management in the Naftal industry and proposes solutions for the reuse of water from fuels.

There are various stages and processes for treating industrial water, depending on the quality, composition or pH of the water to be treated.

In our industry we distinguish in particular:

Pretreatments ; Physico-chemical treatment; Biological treatment using the membrane technique.

The implementation of appropriate management practices will allow Naftal to reduce its environmental impact, optimize the use of water resources and contribute to the sustainable development of the oil industry as a whole.

The reuse of fuel water offers promising opportunities for a more responsible management of water resources, while meeting regulatory requirements and strengthening the sustainability of the company.

ملخص

تُشترى صناعات الزنط باستهالكها المكثف للمياه و توليد تصريفات تحتوي على مواد ضارة بالانظم البيئية.

تسلط هذه الأطروحة الضوء على أهمية إدارة تصريف المياه في مؤسسة زنتال و تُنرح حلول إعادة استخدام المياه، و الموارد المائية و المساهمة في التنمية المستدامة لصناعة الزنط ككل.

توفر إعادة استخدام مياه المستخلصة من الوقود نرصا واعدة لإدارة أكثر مسؤولية للموارد المائية مع تلبية المتطلبات التنظيمية و تعزيز إستدامة الشركة .

Sommaire

Introduction générale

Présentation de la zone d'étude

Introduction	2
I.1 Naissance de SONATRACH.....	2
I.2 Aperçu Historique de NAFTAL.....	3
I.3 La distribution des produits pétrolières.....	4
I.4 Présentation du centre de distribution des carburants Chiffa, Blida.....	4
I.5 Séparateur à hydrocarbures	7
Conclusion.....	9

Généralités sur les hydrocarbures

Introduction	10
II.1 Les hydrocarbures	10
II.2 La famille des hydrocarbures.....	10
II.3 Le raffinage de pétrole brut.....	11
II.4 Propriétés physiques des hydrocarbures.....	17
II.5 Résultats et discussions.....	22
Conclusion.....	23

Caractéristique des eaux usées industrielles

Introduction	25
III.1 La pollution.....	25
III.2 Pollution par les hydrocarbures.....	26
III.3 Nature des rejets liquides dans le district carburant.....	28
III.4 Caractérisation des effluents liquides.....	29
III.5 Caractérisation des effluents liquides.....	30
Conclusion.....	34

Procédés des traitements des eaux usées industrielles

Introduction	36
IV.1 Procédés des traitements.....	36
IV.2 Traitement des boues.....	57
Conclusion.....	60

La réutilisation des eaux usées épurées61

Introduction	61
V.1 Réutilisation des eaux usées	61
V.2 Catégories d'utilisation	61
V.3 Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie	64
V.4 Risques Lies A La Réutilisation Des Eaux Usées	65

Conclusion	67
-------------------------	----

Dimensionnement des ouvrages de la STEP

Introduction	68
VI.1 Caractéristiques des eaux usées de centre carburant	68
les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels	69
VI.2 Évaluation des charges polluantes	69
VI.3 Dimensionnement des ouvrages de la Station d'épuration	71

Calcul hydraulique

Introduction	88
VII.2 Calcul du diamètre de la conduite de refoulement	89
VII.3 Choix de la pompe	91
VII.4 Profil hydraulique	91
VII.5 Dimensionnement des conduites reliant les différents ouvrages	92
VII.6 Calcul des diamètres des conduites reliant les ouvrages et les côtes piézométriques.....	93
Conclusion	95

Gestion et entretien de la STEP

Introduction	97
VIII.1 La gestion de la station d'épuration	97
VIII.2 Fonctionnement et contrôle des processus	98

Conclusion	
-------------------------	--

Conclusion Générale	
----------------------------------	--

Bibliographie	
----------------------------	--

Liste des tableaux

Tableau 1 : La capacité des bacs de stockage (4).....	5
Tableau 2 : Les pompes du centre carburants (4).....	7
Tableau 3:Les families des hydrocarbures	10
Tableau 4: Résultats de distillation de gasoil	21
Tableau 5 : Caractéristique des eaux usées de centre carburant NAFTAL.....	68
Tableau 6 : paramètres de base du dimensionnement de la STEP	70
Tableau 7: Les résultats de dimensionnement de bassin d'homogénéisation.....	72
Tableau 8: Espacement et épaisseurs des barreaux.....	72
Tableau 9: Dimensionnement de dégrilleur fin.....	73
Tableau 10:Dimensionnement du réacteur de coagulation	75
Tableau 11 : Dimensionnement du réacteur de floculation	76
Tableau 12: les résultats de dimensionnement du traitement physico-chimique	77
Tableau 13: Caractéristiques du module membranaire (ZW-1).....	81
Tableau 14:Fonctionnement et régénération dans les bioréacteurs immergés....	81
Tableau 15: les résultats de dimensionnement de Bioréacteur à membrane.....	84
Tableau 16 : Les valeurs de K, m et β	90
Tableau 17 : cotes moyennes du terrain naturel d'implantation des différents ouvrages de la station	91
Tableau 18 : longueurs théoriques supposées des conduites entre les ouvrages de la STEP.....	92
Tableau 19 : récapitulatif des différentes cotes des ouvrages de la STEP	94

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Géolocalisation de site	5
Figure 2: Bac de Gasoil 25000 m ³ (4)	6
Figure 3: Poste de chargement des hydrocarbures (4).....	7
Figure 3: Séparateur a hydrocarbures	8
Figure 4: Principe de fonctionnement du séparateur a hydrocarbure	9
Figure 5: Les procédés de raffinage	12
Figure 6 : Procédé de dessalage.....	12
Figure 7:Procédé de distillation atmosphérique	13
Figure 8:Schéma de procédé distillation atmosphérique.....	14
Figure 9:Procédé de distillation sous vide.....	15
Figure 10:Schéma de procédé de distillation sous vide.....	15
Figure 11:Appareil de point d'écoulement (13).....	18
Figure 12:Appareil de point éclairé PENSKY MARTENS (13).....	21
Figure 13:Bain d'huile de viscosité (13).....	22
Figure 14 : le dégrilleur courbe	37
Figure 15 Séparateur rectangulaire.....	38
Figure 16 Séparateur lamellaire coalecent	39
Figure 17 : Schéma de fonctionnement du séparateur d'huile en mode discontinu	40
Figure 18 : Procédé de Flottation	45
Figure 19: Principe de fonctionnement du procédé de traitement par boues activées	52
Figure 20 : a - Bioréacteur a membranes externes ;.....	54
Figure 21 : Enchaînement des opérations unitaire du traitement des boues (38)	60

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La gestion efficace des eaux usées dans les industries pétrolières revêt une importance capitale tant d'un point de vue environnemental que d'un point de vue économique. Les eaux usées générées par ces installations industrielles contiennent souvent des contaminants spécifiques, tels que les hydrocarbures, les produits chimiques et les métaux lourds, qui nécessitent un traitement approprié avant d'être rejetées dans l'environnement ou réutilisées.

Dans ce contexte, le dimensionnement des stations d'épuration (STEP) adaptées aux besoins spécifiques des industries pétrolières revêt une importance primordiale. Ces STEP doivent être conçues de manière à traiter efficacement les eaux usées, en éliminant les contaminants indésirables tout en préservant la qualité des ressources hydriques et en favorisant leur réutilisation.

Le présent mémoire se propose d'étudier et de détailler le processus de dimensionnement d'une STEP pour une industrie pétrolière District carburant Naftal Blida en vue de la réutilisation de ses eaux usées. Cette étude implique l'analyse des caractéristiques des eaux usées générées, la sélection des technologies de traitement appropriées, la détermination des paramètres de conception optimaux, ainsi que l'évaluation des performances environnementales et économiques de la STEP proposée.

L'objectif principal de ce mémoire est de fournir des recommandations pratiques et des outils d'aide à la décision pour le dimensionnement efficace des STEP dans le contexte spécifique. En mettant l'accent sur la réutilisation des eaux usées traitées, nous visons à contribuer à une meilleure gestion des ressources hydriques dans ces industries, en réduisant leur empreinte environnementale et en favorisant une utilisation durable des ressources en eau.

Le mémoire est structuré en plusieurs sections qui aborderont successivement les aspects théoriques du traitement des eaux usées dans les industries pétrolières, les méthodologies de dimensionnement des STEP, les technologies de traitement appropriées, les critères de conception et d'évaluation des performances, ainsi que des études de cas et des recommandations spécifiques pour le dimensionnement des STEP dans les industries pétrolières.

Ce mémoire vise à fournir une base solide pour le dimensionnement optimal des STEP en mettant l'accent sur la réutilisation des eaux usées traitées. En intégrant les aspects techniques, environnementaux et économiques, nous aspirons à contribuer à une gestion durable des ressources hydriques dans ces industries, en favorisant la préservation de l'environnement et la promotion d'une utilisation responsable de l'eau.

Chapitre I

Présentation de la zone d'étude

Introduction

Le district de carburant de Naftal est une entité stratégique qui assure l'approvisionnement en carburants dans cette zone géographique spécifique.

La première partie présente une vue d'ensemble de l'entreprise d'accueil, NAFTAL.

Le présent chapitre est dédié à la présentation de la zone d'étude, à savoir le district de carburant de la société Naftal. Ce district joue un rôle crucial dans la distribution de carburants et la gestion des infrastructures pétrolières dans la région considérée.

L'objectif de ce chapitre est de présenter de manière détaillée les caractéristiques et les spécificités du district de carburant de Naftal, en mettant l'accent sur les infrastructures clés, les activités opérationnelles et les enjeux liés à la gestion des carburants dans la zone étudiée.

I.1 Naissance de SONATRACH

La Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures « SONATRACH » a été créée par décret N°63/491, Le 31 décembre 1963. (1)

Et en 1985, SONATRACH s'est remaniée et s'est mise sur de nouvelles bases que constituent les nouvelles activités que sont :

- ✓ Exploitation et recherche
- ✓ Exploitation des systèmes d'hydrocarbures
- ✓ Exploitation des systèmes et transformation de gaz
- ✓ Le transport par canalisation
- ✓ La commercialisation.

À travers cette transformation structurelle et fonctionnelle, un nouvel organigramme du groupe s'est constitué mettant en relief les quatre activités principales, à savoir (Figure 1)

:

- ✓ Transport par Canalisation :
 - Stockage d'hydrocarbures liquides en amont et en aval.
 - Transport par canalisation d'hydrocarbures liquides gazeux, depuis les lieux de la production primaires, à travers le réseau secondaire et principal
 - Le chargement des navires pétroliers.
- ✓ Amont :
 - Exploration.
 - Recherches et développement. ○ Production.

- Forage.
- Engineering ET construction.
- ✓ Aval :
 - Liquéfaction du gaz naturel. - Séparation des GPL.
 - Raffinage du pétrole.
 - Péโตรchimie. : activité de la SONATRACH
 - Études et développement de nouvelle technologie.

I.2 Aperçu Historique de NAFTAL :

Depuis le 18/04/1998, NAFTAL est devenue une société par action (SPA).

Son capital social est fixé à 6 650 000 000 de dinars algériens (DA) et est détenu entièrement par l'entreprise mère SONATRACH à 12 650 000 000.00 DA en aout 2002. Son chiffre d'affaire : 363,7 milliards de dinars (2018).

I.2.1 Missions de NAFTAL

NAFTAL a pour mission principale, la commercialisation et la distribution des produits

Pétroliers sur le marché national, comme elle intervient dans les domaines suivants :

- **Les essences** : Normal, Super, Sans plomb, GPL,... etc.
- **Les carburéacteurs** : Jet A1 ...etc. □ **Les huiles, Lubrifiants.**
- **Fioul, Gasoil,...etc.**

Ses principales activités sont :

- L'enfûtage des GPL.
- La formulation des bitumes.
- La distribution, le stockage et la commercialisation des carburants, GPL, lubrifiants, Bitumes, pneumatiques, GPL/carburant, produits spéciaux.
- Le transport des produits pétroliers.

Pour assurer la disponibilité des produits sur tout le territoire, Naftal met à contribution

Plusieurs modes de transport :

- Le cabotage et les pipes, pour l'approvisionnement des entrepôts à partir des raffineries.
- Le rail pour le ravitaillement des dépôts à partir des entrepôts.
- La route pour livraison des clients et le ravitaillement des dépôts non desservis par le Rail.

I.3 La distribution des produits pétrolières

I.3.1 Définitions de la distribution

On peut définir un circuit de distribution comme une structure constituée de partenaires impliqués dans le processus concurrentiel d'échange, avec pour objectif de rendre les biens et services accessibles aux consommateurs ou utilisateurs industriels. Les partenaires impliqués sont les producteurs, les intermédiaires et les consommateurs-acheteurs, et chaque circuit de distribution remplit différentes tâches ou fonctions essentielles à l'exercice de l'échange. De manière générale, la distribution a pour rôle de réduire les différences entre les lieux, les moments et les modes de production et de consommation, en créant des utilités de lieu, de temps et d'état, qui contribuent à la valeur ajoutée de la distribution. (2)

I.3.2 Contribution à l'étude des relations entre les règles juridiques et la politique commerciale des entreprises

La distribution des produits pétroliers implique l'analyse des transactions effectuées sur le marché ainsi que les relations commerciales et juridiques entre les différents intervenants pour acheminer le produit de la raffinerie jusqu'au consommateur final via des canaux de distribution multiples. Les relations juridiques varient en fonction du canal de distribution choisi, tout comme l'organisation de la distribution diffère selon les différents produits pétroliers. Les réseaux de distribution des opérateurs économiques reflètent cette diversité de techniques juridiques, avec le droit de la distribution pouvant être considéré comme un moyen de réguler le marché selon la politique économique de l'État ou de protéger certains intermédiaires, ou encore comme un instrument au service des objectifs économiques.

Au fil des cinquante dernières années, l'évolution de la stratégie des entreprises pétrolières a entraîné une concentration accrue des moyens de distribution et une plus grande subordination économique et juridique des intermédiaires pétroliers. (3)

I.4 Présentation du centre de distribution des carburants Chiffa, Blida

Le district carburant est situé à la Route d'Oran, la Chiffra

Coordonnées géographique : Le centre est limité par :

- **Au nord** : par la voie de chemin de fer Alger - Oran □ **Au sud** : par la route nationale n° 42.
- **À l'Est** : par le département technique.
- **À l'ouest** : par l'unité pneumatique et lubrifiante

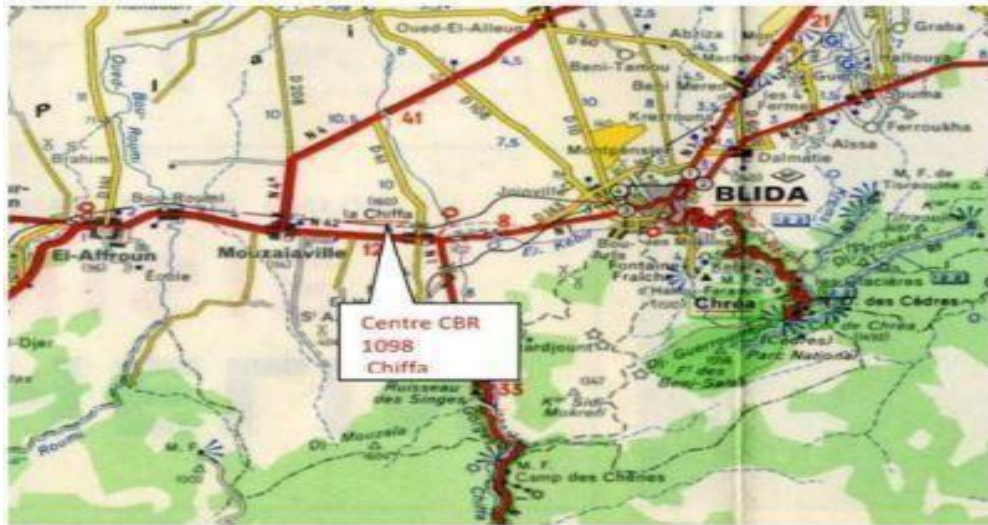


Figure 1: Géolocalisation de site

Le district est chargé des activités liées aux transports, stockages distribution, commercialisation, promotion et développement des produits pétroliers de la société NAFTAL.

La structure qui assure la distribution des carburants (essence super, essence sans plomb et gasoil). Il couvre une zone d'influence composée de la totalité de la wilaya Blida, Tipaza, Médéa, Chleff, Djelfa, Ain Oussara. (4)

I.4.1 La capacité de stockage

La capacité totale de stockage du CBR, tous produits confondus, est de 33.600 m³ répartis dans le parc de stockage.

Le parc de stockage :

Le parc de stockage se réfère à une zone généralement de grande surface, où se trouvent un ensemble de bacs de stockage, de différentes ou de mêmes capacités, connectés à une canalisation d'entrée et une autre de sortie, et éventuellement connectés entre eux.

Les bacs de stockage du pétrole sont des réservoirs généralement cylindriques constitués par

:

- Un fond généralement bombé et purgé.
- une virole.
- Un toit fixe ou flottant

Les bacs peuvent être divisés en trois groupes en fonction de leur état et dans lesquels les hydrocarbures sont stockés comme suite :

Tableau 1: La capacité des bacs de stockage (4)

Bacs	produits	Capacité m³	Capacité Totale m³
R100	Gasoil	10.000	22.400
R110	Gasoil	1.200	
R120	Gasoil	10.000	
R130	Gasoil	1.200	
R140	Essence super	2.000	7.200
R150	Essence super	2.000	
R160	Essence super	2.000	
R170	Essence super	1.200	
R180	Essence normal	2.000	4.000
R190	Essence normal	2.000	



Figure 2: Bac de Gasoil 25000 m³(4)

I.4.1.1 station de pompage :

Tableau 2: Les pompes du centre carburants (4)

Produit	Chargement camion	Déchargement
GO	04 pompes avec un débit de 4* 120 m ³ /h	01 pompe avec un débit de 30 m ³ /h
CA	01 pompe avec un débit de 120 m ³ /h	01 pompe avec un débit de 30 m ³ /h
SCA	02 pompes avec un débit de 2* 120 m ³ /h	



Figure 3: Poste de chargement des hydrocarbures (4)

I.4.1.2 Poste des déchargements :

Le CBR est doté de deux (02) postes de déchargement camions citernes de deux (02) bras de déchargement (GO, Essence (SCA, CA)).

I.4.1.3 Salle contrôle : C'est une salle qui regroupe des dispositifs permettant de surveiller les activités d'installation et de réguler le fonctionnement du centre.

I.5 Séparateur à hydrocarbures :

Définition :

Le terme "séparateur à graisses" se réfère à une unité ou un ensemble d'unités conçu pour séparer les graisses des eaux usées et les retenir dans une chambre de séparation dédiée. Cette unité comprend généralement un débourbeur pour éliminer les débris solides, une chambre de

séparation pour isoler les graisses et, le cas échéant, un point d'échantillonnage pour prélever des échantillons de graisses séparées. (5)

I.5.1 Le principe de fonctionnement :

Des bassins de décantation résident dans la déférence de masse volumique des matières huileuse et de l'eau.

L'huile écrémé en surface est recueillie dans une citerne d'où elle est pompée dans deux petits réservoirs munis de serpentins de vapeur et destinés à éliminer la majeure partie de l'eau collectée avec l'huile.

Cette dernière ne contenant plus qu'un faible pourcentage d'eau est alors pompée dans les réservoirs à déchets (sloop) avant d'être redistillée (6).

Le décanteur reçoit simultanément les eaux accidentelles et les eaux de ruissellement du poste de chargement ainsi que les eaux de purges des bacs de stockages. (6)

Actuellement au niveau de Naftal structure. Existe deux dispositifs de traitement d'effluents liquides industriels soient un Séparateur Eau/Hydrocarbures de **classe II** ou une Unité de traitement doté d'un séparateur Eau/Hydrocarbure de **classe I**.

Le séparateur de centre carburant Chiffa est de **classe II (sans filtre coalescent)**

Il s'agit généralement d'un ouvrage rectangulaire conçu en génie civil compartimenté en trois compartiments. (7)



Figure 4: Séparateur a hydrocarbures

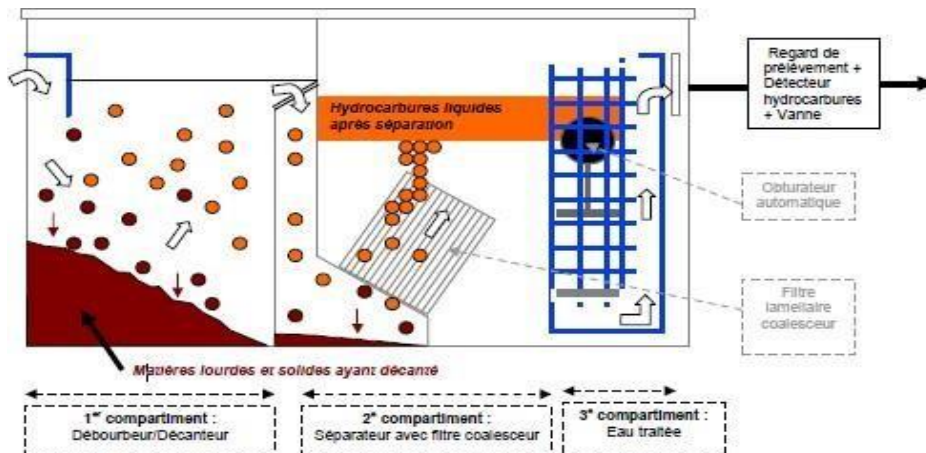


Figure 5: Principe de fonctionnement du séparateur à hydrocarbure

L'entretien régulier des séparateurs est plus que nécessaire.

Les huiles et graisses collectées sont récupérées, incinérées ou brûlées. (7)

Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis de présenter de manière détaillée le district de carburant de Naftal, en mettant en évidence son importance dans la distribution de carburants et la gestion des infrastructures pétrolières dans la zone étudiée.

Cependant, il est important de souligner que le district de carburant de Naftal fait face à des défis significatifs, tels que la sécurité des infrastructures, la conformité environnementale et la gestion des stocks.

Les prochains chapitres exploreront plus en détail les aspects spécifiques des hydrocarbures

Chapitre II

Notions Générales Sur Les

Hydrocarbures

Introduction

La production de pétrole engendre souvent une consommation importante d'eau pour différentes applications, ainsi que la production de grands volumes d'eau en parallèle.

Ce chapitre jettera les bases nécessaires pour une compréhension approfondie des hydrocarbures et servira de fondement pour les chapitres ultérieurs.

I.6 Les hydrocarbures

Les hydrocarbures sont des molécules organiques simples composées d'atomes de carbone et d'hydrogène, qui servent de base à d'autres composés organiques. Ils sont formés par des réactions chimiques impliquant des produits fossiles tels que le pétrole, le gaz naturel et le charbon, ainsi que par des combustions incomplètes de matières organiques. Les hydrocarbures sont principalement utilisés comme carburants, bien que leur utilisation s'étende également aux huiles, graisses, plastiques, revêtements routiers, solvants pour peintures et colles. (9)

I.7 La famille des hydrocarbures :

Différentes catégories d'hydrocarbures existent en fonction de la structure moléculaire, qui peut comprendre des liaisons simples (alcane, cyclane), doubles (alcène, polyène) ou triples (alcynes et hydrocarbures aromatiques), ainsi que des structures linéaires ou cycliques (cyclane et hydrocarbures aromatiques).

Tableau 3: Les familles des hydrocarbures

	Sous-familles	Substances (liste non exhaustive)
les hydrocarbures saturés	Alcane	Méthane Éthane Propane Butane et isobutane Pentane Hexane ...
	Cyclane	Cyclopropane Cyclobutane Cyclopentane...
les hydrocarbures	Alcène	Éthylène Propylène Butène

insaturés		Butadiènes
		Isoprène...
	Cyclènes	Cyclopentane
		Cyclohexane...
	Alcynes	Acétylène
		Méthylcétylène...
Monocycliques (HAM :BTEX)	Benzène	
	Toluène	
Les hydrocarbures aromatiques		Ethylbenzène
		Xylènes
	Polycycliques(HAP)	Naphtalène
		Anthracène
		Phénanthrène
		Pyrène...

I.8 Le raffinage de pétrole brut

Le processus de raffinage du pétrole brut consiste à convertir le pétrole brut en différents types de carburants, combustibles, matières premières pour la pétrochimie, ainsi que des produits spécifiques tels que les huiles lubrifiantes et les bitumes. Cette transformation est effectuée en respectant strictement les spécifications propres à chaque produit, qui doivent constamment s'adapter aux évolutions des marchés et des normes environnementales. (10)

Voici une représentation schématique du processus de raffinage du pétrole brut, illustrée dans la Figure .

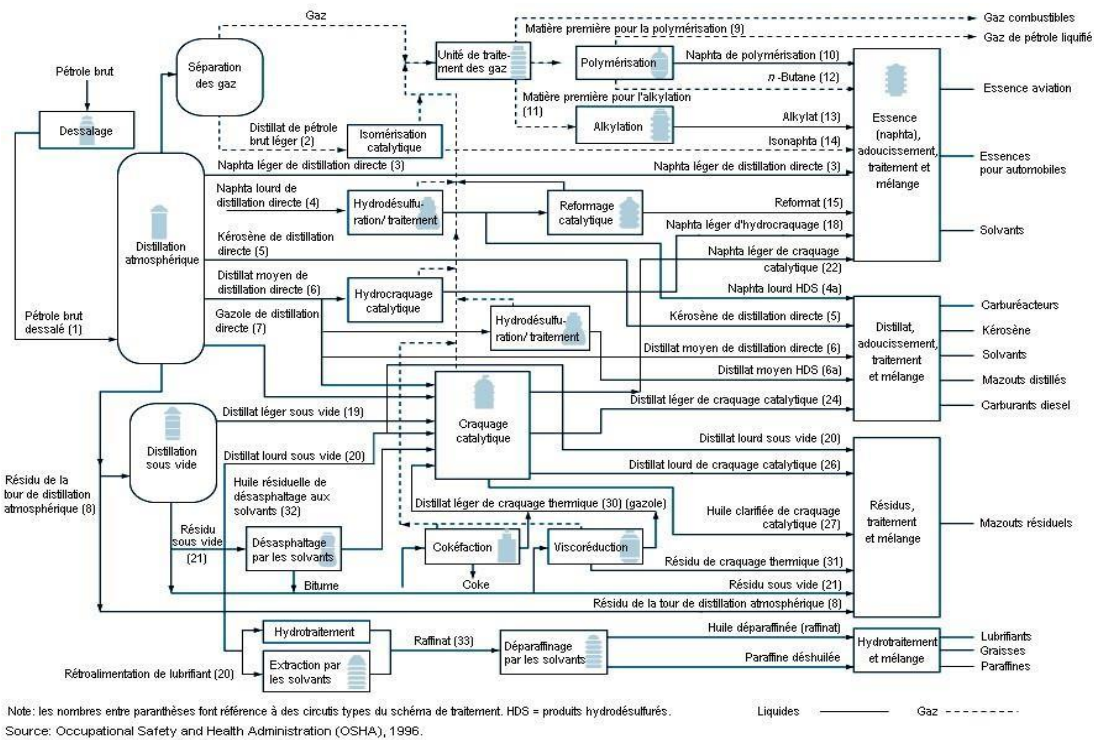
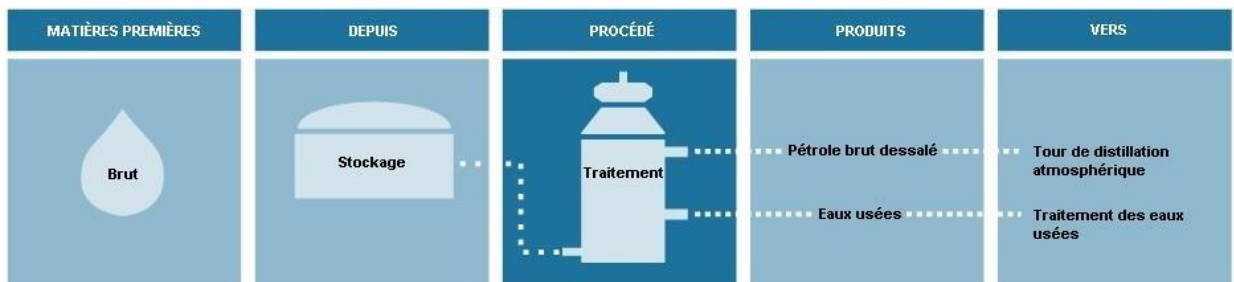


Figure 6: Les procédés de raffinage

1.8.1 Les diverses étapes du processus de raffinage du pétrole brut Le processus de dessalage :

Est la première étape de traitement lors de son entrée dans la raffinerie. Cette opération vise à éliminer les contaminants présents dans le pétrole brut afin de réduire la corrosion, le colmatage et l'encrassement des installations, ainsi que pour prévenir l'empoisonnement des catalyseurs dans les unités de production. Pour ce faire, de l'eau est ajoutée au pétrole brut chauffé à une température de 70-90°C, permettant de dissoudre ou de fixer les sels et autres impuretés à l'eau. Cette opération comprend également la séparation de l'eau du mélange en utilisant un décanteur soumis à un champ électrique qui favorise la coalescence des gouttes d'eau. (11)



Source: d'après Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 1996.

Figure 7 : Procédé de dessalage

Le processus de distillation atmosphérique :

Commence par le pompage du pétrole brut depuis le réservoir de stockage. Après avoir été dessalé, le pétrole est chauffé, d'abord à travers un système d'échangeurs, puis dans un four. Il entre ensuite dans une colonne de distillation verticale, où il est maintenu à une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique et à une température d'environ 370°C. Les fractions gazeuses s'élèvent dans la colonne à cette température.

Pour permettre une séparation efficace des différentes coupes, un système de refroidissement en tête de colonne facilite l'échange entre les vapeurs qui montent et les fractions condensées qui descendent. Les différentes coupes sont prélevées à différents niveaux de la colonne en fonction de leurs températures d'ébullition respectives. Les gaz et les fractions légères sont extraits en tête de colonne. Ensuite, une série de petites colonnes est utilisée pour séparer les gaz incondensables tels que le méthane et l'éthane, ainsi que le propane, le butane, une essence légère utilisable comme naphta pétrochimique ou comme composant d'essence automobile, et une essence lourde qui, après transformation ultérieure, sera principalement incorporée dans l'essence automobile.

De la colonne, on extrait directement une coupe de kérosène et une coupe de gazole. Les fractions les plus lourdes du pétrole brut qui ne se vaporisent pas à l'entrée de la colonne descendent et restent au fond, formant un résidu qui ne peut être distillé même à des températures très élevées. (12)

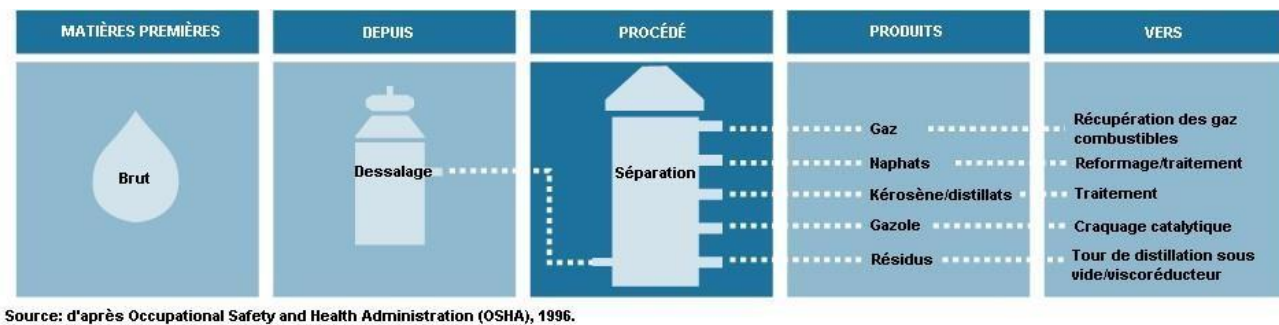


Figure 8: Procédé de distillation atmosphérique

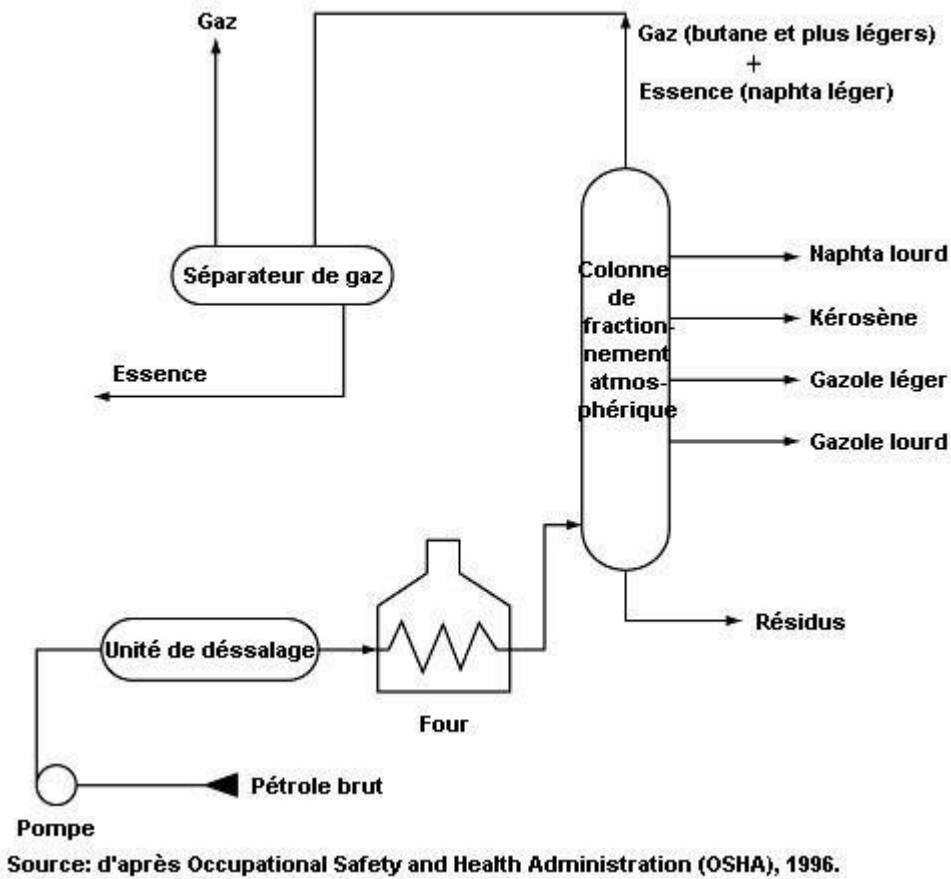
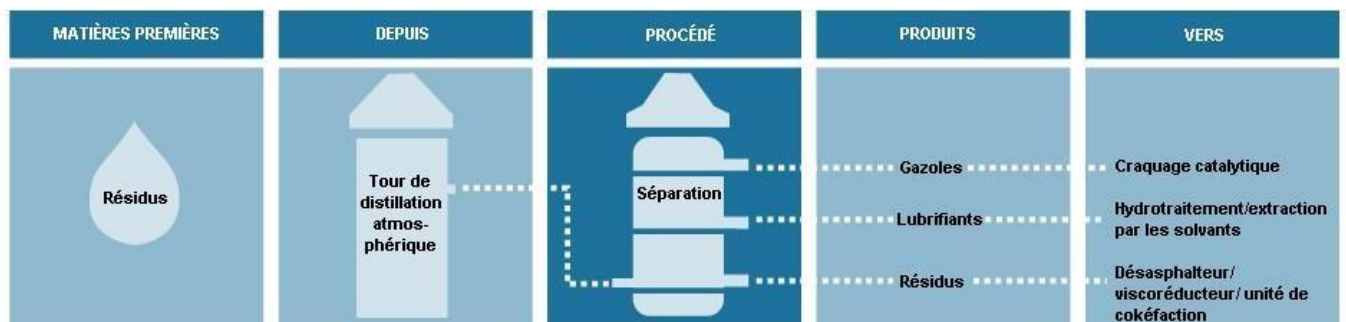


Figure 9:Schéma de procédé distillation atmosphérique

La distillation sous vide :

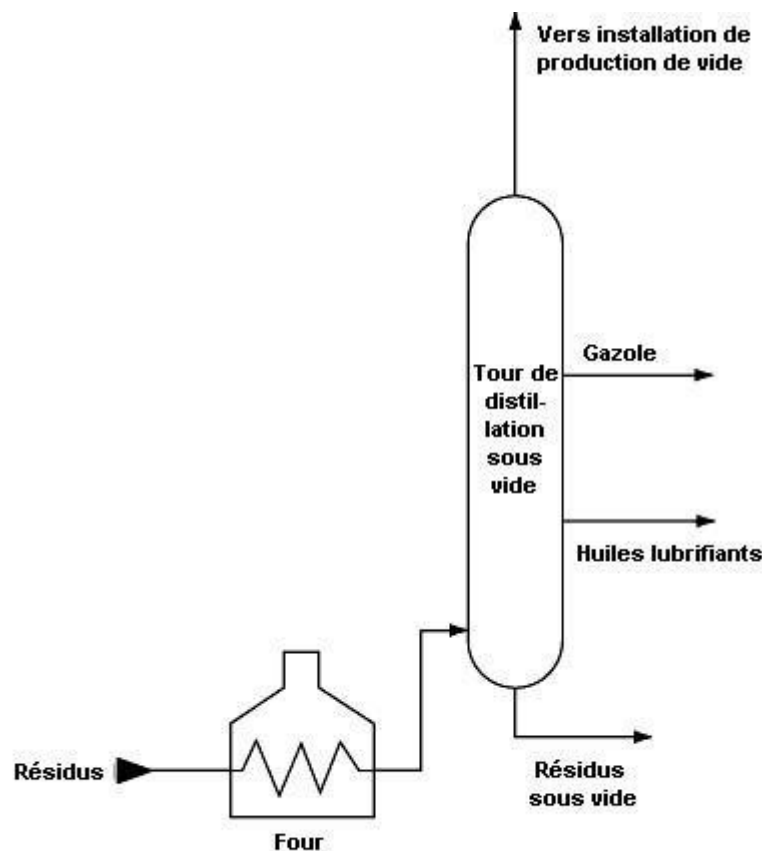
Le résidu obtenu est dirigé vers une deuxième colonne de distillation sous vide afin de poursuivre le processus de fractionnement. Cette colonne fonctionne à une pression inférieure à la pression atmosphérique, ce qui permet de réduire les températures d'ébullition, qui varient de 70 à 350°C. Tout comme dans la distillation atmosphérique, plusieurs fractions sont collectées à différents niveaux de la colonne.

En tête de colonne, on récupère le gazole lourd qui peut ensuite être converti en produits plus légers, notamment en essence, par une opération de craquage catalytique. Le résidu obtenu sous vide peut être utilisé comme base pour la fabrication de fuel lourd ou pour la production d'huiles lubrifiantes et de bitumes. (12)



Source: d'après Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 1996.

Figure 10: Procédé de distillation sous vide



Source: d'après Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 1996.

Figure 11: Schéma de procédé de distillation sous vide

Amélioration de la qualité des coupes fabrication des bases :

Le processus de raffinage comprend plusieurs étapes distinctes, notamment la distillation permettant de séparer le pétrole en différentes coupes. De plus, il implique l'amélioration de la qualité de certaines fractions, la conversion des coupes les plus lourdes en produits plus légers valorisables par rupture des liaisons C-C, et enfin, la préparation des produits finaux en optimisant les mélanges appropriés.

I.8.2 Les dérivés du pétrole :

Gaz de pétrole liquéfié (GPL)

Est composé principalement de propane et de butane, ou d'un mélange des deux hydrocarbures. Il est stocké à l'état liquide sous une faible pression et peut être utilisé soit à l'état gazeux après avoir été détendu à la pression atmosphérique, soit à l'état liquide via un système d'injection approprié. Le GPL provient à la fois des opérations de purification du gaz naturel lors de son extraction et des différentes unités de raffinage du pétrole brut. Il est principalement utilisé comme combustible domestique ou industriel, mais il est également considéré comme un

carburant intéressant en raison de son faible impact environnemental. (9) **L'essence automobile** est un carburant à base d'hydrocarbures légers utilisé dans les moteurs à allumage commandé. Elle a une plage de distillation comprise entre 35 et 200°C. L'essence est soumise à un traitement afin d'atteindre un indice d'octane élevé, généralement entre 80 et 100 IOR. Ce traitement peut inclure des processus tels que le reformage, le craquage catalytique et le mélange avec une fraction aromatique. (9) **Il existe trois types d'essence :**

- **L'essence ordinaire** est principalement composée d'un mélange d'hydrocarbures de structures variées (paraffinées, oléfiniques, naphténiques, aromatiques avec une teneur d'environ 4% de benzène) distillant à moins de 205°C. Elle est également mélangée avec un additif antidétonant à base de plomb. Son efficacité de combustion est caractérisée par un indice d'octane situé entre 89 et 92.

- **Le super** est similaire à l'essence ordinaire, mais il est obtenu par un processus de raffinage spécial pour améliorer l'indice d'octane, qui se situe entre 97 et 99. Sa composition diffère de l'essence ordinaire avec une teneur plus élevée en benzène (entre 4 et 6%) due à la diminution du taux de plomb, ainsi qu'une teneur plus élevée en soufre (0,5%).

- **Le super sans plomb** : complètement remplacé le carburant au plomb. Les additifs couramment utilisés sont le MTBE (méthyltertiobutyléther), qui est l'additif le plus répandu, et le benzène, ajouté pour améliorer l'indice d'octane. **Kérosène**

est principalement utilisé comme carburant pour les avions à réaction. Il est composé d'un mélange d'hydrocarbures qui distillent entre 140 et 300 °C. Les principaux composants du kérosène sont des hydrocarbures de C9 à C16, comprenant des paraffines, des iso-paraffines, des naphténiques et des composés aromatiques. (9)

Le gasoil

Le gasoil est un carburant diesel constitué d'un mélange d'hydrocarbures comprenant des paraffines, des naphténiques, des composés aromatiques et des oléfines. Il est utilisé comme carburant dans les moteurs diesel. Sa plage de distillation se situe entre 200 et 380 °C, et son point d'éclair est toujours supérieur à 50 °C. De plus, sa densité est supérieure à 0,82. **Le fioul domestique** est un combustible couramment utilisé dans les chaudières résidentielles. Il est composé d'un mélange d'hydrocarbures allant de C9 à C20, avec un point d'ébullition compris entre 163 et 357 °C. Le fioul domestique est classé parmi les fiouls légers et sa composition est très similaire à celle du gazole. **Le fioul lourd** est obtenu à partir de différentes fractions plus lourdes du processus de raffinage. Sa composition est complexe et varie en fonction de l'origine du pétrole brut. Le fioul lourd est composé de produits d'origine paraffinées, naphténiques et aromatique. Il peut contenir des dérivés de soufre et des acides organiques. Les fiouls lourds sont classés en fonction de leur teneur en soufre.

Les lubrifiants : jouent un rôle essentiel dans la réduction des frottements et de l'usure des pièces mobiles des moteurs et des machines. Ils sont composés d'un mélange d'hydrocarbures liquides et visqueux, riches en paraffines. Leur processus de production implique la distillation sous vide des résidus provenant de la distillation atmosphérique du pétrole. Les lubrifiants se déclinent en différents types, tels que les huiles blanches, les huiles isolantes et les graisses lubrifiantes. Leurs températures de distillation se situent généralement entre 380 et 500 °C. (9)

Le bitume : est un mélange d'hydrocarbures à l'état solide ou visqueux, avec une couleur brune ou noire. Il est obtenu comme résidu lors du processus de distillation sous vide des résidus issus de la distillation atmosphérique du pétrole. Le bitume est principalement utilisé dans la construction des routes. (9)

I.9 Propriétés physiques des hydrocarbures

Les caractéristiques physicochimique des diverses familles d'hydrocarbures sont variables, ce qui détermine leur réaction lorsqu'ils sont déversés dans un environnement aquatique.

I.9.1 La densité

Définition : Dans l'industrie pétrolière, elle est utilisée pour différencier les hydrocarbures légers des lourds et pour déterminer leur flottabilité en cas de déversement dans l'eau. La plupart des hydrocarbures flottent sur l'eau car leur densité est généralement comprise entre 0,7 et 0,99 g/ml à 15 °C. Cependant, la densité des hydrocarbures peut diminuer à cause de l'évaporation des fractions plus légères, des changements de température ou de l'interaction avec des particules. Lorsque la densité des hydrocarbures dépasse celle de l'eau douce (1,0 g/cm³) ou marine (1,03 g/cm³), ils coulent.

Principe :

On détermine la densité de l'essence ou du gasoil à l'aide d'un densimètre à une température donnée, ensuite on convertie cette densité en fonction de sa température à la d_4^{15} . En utilisant la table de conversion de la densité à 15 °C.

Appareillage:

Éprouvettes de 500 ml ;

Thermomètre ;

Un densimètre pour : - Gasoil 0.8100-08600

- Essence 0.7300-0.7700 (13)

I.9.2 Le point d'écoulement **Definition:**

Le point d'écoulement correspond à la température la plus basse, dans des conditions standardisées, à laquelle le carburant conserve sa capacité à s'écouler. Il sert d'indicateur pour évaluer la pompabilité du carburant dans le moteur, même s'il nécessite d'être réchauffé ou si des mesures supplémentaires doivent être prises avant son utilisation.

Principe :

Le principe de la méthode consiste à refroidir l'échantillon à une vitesse spécifique et à observer ses caractéristiques d'écoulement à des intervalles de 3°C. La température la plus basse à laquelle il conserve encore sa capacité d'écoulement est enregistrée, ce qui correspond au point d'écoulement.



Figure 12:Appareil de point d'écoulement (13)

Appareillage : Les équipements nécessaires comprennent :

1. **Tube à essai :** un récipient cylindrique en verre utilisé pour contenir l'échantillon ou la solution.
2. **Thermomètre :** un instrument de mesure de la température pour contrôler et enregistrer les variations de température.
3. **Jaquette :** une veste isolante ou un dispositif de refroidissement pour maintenir une température constante autour du tube à essai.
4. **Bouchon en liège :** un bouchon en matériau isolant, généralement en liège, utilisé pour fermer hermétiquement le tube à essai.
5. **Joint annulaire :** un anneau en caoutchouc ou en silicone placé entre le bouchon en liège et le tube à essai pour assurer une étanchéité.
6. **Bain réfrigérant :** un récipient ou une cuve remplie d'un liquide réfrigérant, comme de la glace ou de l'eau froide, utilisé pour refroidir le tube à essai pendant l'expérience.

Le Mode opératoire :

Le processus se déroule de la manière suivante :

1. On met en marche le bain réfrigérant de l'appareil jusqu'à ce que les températures dans les 4 compartiments (0 °C, -18 °C, -33 °C et -51 °C) atteignent une stabilité.
2. Ensuite, on remplit le tube à essai avec le gasoil jusqu'au trait de jauge, puis on le ferme avec le bouchon muni d'un thermomètre, en veillant à ce que ce dernier soit à une distance de 3 mm en dessous de la surface de l'échantillon.
3. Le tube à essai est ensuite inséré dans la jaquette et placé dans le bain du premier compartiment à 0 °C.
4. À chaque fois que la température indiquée par le thermomètre est un multiple de 3 °C en dessous de la dernière température observée, on retire le tube avec précaution et on l'incline légèrement horizontalement pour vérifier s'il y a encore un mouvement de l'échantillon à l'intérieur.

5. Si l'échantillon cesse de couler lorsque la température atteint celle du bain, on maintient le tube en position horizontale pendant 5 secondes.
6. On note la température de congélation correspondante. Le point d'écoulement est ensuite calculé en ajoutant 3 °C à la température de congélation obtenue. (13)

I.9.3 La distillation Définition

:

Cette méthode est spécifique aux produits blancs distillés à pression atmosphérique, dont les températures d'ébullition s'étendent de 0 à 400 °C. Elle permet de caractériser la volatilité du produit. En utilisant un appareillage conforme à la norme ASTM C8, on recueille des volumes à différentes températures pour tracer la courbe de distillation, qui représente l'évolution de la fraction distillée. Sur cette courbe, on peut généralement identifier quelques points de référence tels que le Point Initial (PI), le Point Final (PF), et les fractions distillées en pourcentage (volume) à une température donnée.

Principe :

Le principe de la méthode consiste à effectuer une distillation d'un échantillon de 100 ml dans des conditions spécifiées, adaptées à la nature du produit.

Appareillage

Comprend les éléments suivants :

- Un ballon à distillation
- Un condensateur
- Une enveloppe protectrice
- Un support pour le ballon à distillation
- Une plaque d'amiant
- Un dispositif de chauffage
- Une éprouvette graduée de 100 ml
- Un thermomètre. (13)

I.9.4 L'indice de cétane calculé :

Le coefficient de cétane évalue la capacité des carburants Diesel à d'auto-enflammer dans la chambre de combustion d'un moteur à allumage par compression. Il indique le temps nécessaire pour que le gazole s'enflamme spontanément.

Mode opératoire : Pour calculer l'indice de cétane du gasoil, vous pouvez utiliser la formule suivante qui prend en compte les quatre variables suivantes :

La densité à 15°C.

- Le point de distillation à 50% selon la méthode ASTM.
- Le point de distillation à 90% selon la méthode ASTM.
- Le point de distillation à 10% selon la méthode ASTM.

La formule complète pour calculer l'indice de cétane est spécifique et peut varier en fonction des normes et des méthodes utilisées. Il existe différentes formules, telles que la formule de CEN (Comité européen de normalisation) ou la formule de ASTM (American Society for Testing and Materials). (13) **I.9.5 Le point éclair :**

Définition :

Le point d'éclair désigne la température minimale à laquelle les vapeurs émises par un produit pétrolier sont suffisamment concentrées pour former un mélange inflammable dans des conditions standardisées.

Principe : Le principe de mesure du point éclair implique l'utilisation d'un appareil PENSKYMARTENS qui permet de mesurer la température à laquelle les vapeurs de gasoil s'enflamment en présence d'une petite flamme, dans des conditions standardisées.

Méthode PENSKY MARTINS

La prise d'essai est versée dans le vase d'un appareil PENSKY MARTENS et chauffée lentement avec une vitesse de chauffe uniforme. On dirige la flamme d'une veilleuse dans le vase à des intervalles réguliers, on note comme point d'éclair la température la plus basse pour laquelle l'application de cette flamme provoque l'inflammation de la vapeur au-dessus de la prise d'essai.



Figure 13:Appareil de point éclair PENSKY MARTENS (13) I.9.6

Viscosité :

La viscosité est une grandeur physique qui mesure la résistance à l'écoulement d'un fluide, cette résistance est due aux frottements et à la difficulté de déplacement des molécules. Elle

est très utilisée dans l'industrie du raffinage ou elle caractérise la capacité des huiles à assurer leurs fonctions de lubrifiants. Sa détermination est faite en mesurant le temps d'écoulement d'un produit à travers un capillaire calibré suivant la relation : $\mu = C.t$ (13)



Figure 14: Bain d'huile de viscosité (13)

I.10 Résultats et discussions

Pour le gasoil

La densité :

À partir d'un tableau des facteurs de correction, on effectue le calcul de la densité à une température de 15°C par la relation suivante :

$$D_{15} = D_{lue} + a \cdot (T_{lue} - 15) = 0.837$$

Avec :

A : Constante de correction

T_{lue} : Température lue

D_{lue} : Densité lue

Selon les résultats de calcul, on observe que les valeurs de d_4^{15} se situent dans l'intervalle [0,810 ; 0,860]. Par conséquent, on peut conclure que les gazoles sont conformes aux normes.

La distillation :

Voici tableau des résultats observé :

Tableau 4: Résultats de distillation de gasoil

Point initial	185 C°
10%	216C°
20%	232C°

40%	260C°
50%	273C°
60%	291C°
70%	300C°
80%	321C°
90%	345C°
Point final%	369C°

Point éclair:

Cette caractéristique n'a pas d'impact direct sur le comportement du moteur, mais elle est essentielle en termes de réglementation concernant la manipulation de substances inflammables. Les résultats du point éclair obtenus à partir des différents échantillonnages de gasoil dépassent les 55 °C, ce qui indique que les gazoles sont conformes à la norme. Étant donné que le gasoil est un produit combustible, lorsque sa température dépasse celle de son point éclair, il peut émettre des vapeurs qui, en présence d'air, forment des mélanges inflammables. C'est pourquoi il est préférable de ne pas confondre cette température avec la température d'auto-inflammabilité du produit, afin de réduire les risques d'inflammation dans l'environnement et de garantir la sécurité lors des opérations de transport, de transfert et de stockage.

Viscosité:

- C= 0,003409
- T=14 min
 - $\mu=2.99=3$

Conclusion

En conclusion, l'objectif principal de cette étude était d'évaluer l'impact des caractéristiques physico-chimiques des carburants.

Des analyses approfondies ont été réalisées au laboratoire NAFTAL sur les carburants commerciaux, notamment le gasoil, conformément aux normes définissant les méthodes d'analyse des propriétés physico-chimiques.

Chapitre III

Caractéristiques des eaux usées

industrielles

II. Caractéristiques des eaux usées industrielles

Introduction

L'industrie pétrolière génère, en raison de ses activités, des quantités importantes de Rejets solides et liquides.

nous allons explorer en détail les différentes formes de pollution.

Nous aborderons les principales sources de pollution.

Dans ce chapitre, nous décrivons les principaux paramètres utilisés pour caractériser la qualité d'une eau de rejet industriel. Pour illustrer notre propos.

II.1 La pollution

Se réfère à l'introduction, qu'elle soit directe ou indirecte, par l'activité humaine, de substances, de préparations, de chaleur ou de bruit dans l'environnement. Ces éléments peuvent potentiellement contribuer à :

- un risque pour la santé humaine ;
- des dommages aux ressources biologiques, aux écosystèmes ou aux biens matériels ;
- une limitation de l'utilisation appropriée de l'environnement.

II.1.1 Source de la pollution des eaux

L'eau utilisée à des fins domestiques ou industrielles n'est jamais complètement pure. Les impuretés présentes dans l'eau, qu'elles soient sous forme solide, liquide ou gazeuse, peuvent être caractérisées en fonction de leur taille dans un milieu aqueux. **II.1.2 La source des eaux usées urbaines**

Provient principalement des foyers, où les populations contribuent à environ 75% de ces eaux usées. Ces effluents sont un mélange complexe d'eau contenant des déchets humains tels que les excréments, l'urine, les eaux de toilette, les eaux de nettoyage des sols ainsi que des résidus alimentaires (eaux ménagères). Les eaux usées urbaines peuvent également contenir des eaux résiduaires provenant d'activités industrielles. Ces eaux doivent subir un prétraitement afin d'obtenir des caractéristiques similaires à celles des eaux usées domestiques, ce qui permet un traitement commun. **II.1.3 La source industrielle de pollution**

Provient des déchets liquides ou des particules solides générés lors de l'extraction et de la transformation de matières premières en produits industriels. Les eaux résiduaires sont principalement issues de l'utilisation de l'eau dans diverses opérations de fabrication impliquant des procédés humides tels que le lavage, la précipitation, le nettoyage des équipements et des machines, la distillation et la filtration.

Les effluents industriels peuvent provoquer des pollutions d'origine organique (dans les industries agroalimentaires, les papeteries), chimique (dans les tanneries, les usines textiles, etc.) ou physique (comme le réchauffement dû aux centrales thermiques, les substances en suspension provenant des mines ou de l'industrie sidérurgique). Ces effluents sont responsables de la détérioration de la clarté et de l'oxygénation de l'eau, ce qui peut entraîner l'accumulation de certains éléments dans la chaîne alimentaire (tels que les pesticides, les métaux lourds et la radioactivité). La pollution peut également être causée par l'infiltration de composés toxiques mal stockés, des fuites dans les réservoirs ou des accidents lors du

transport de substances dangereuses, ce qui peut entraîner des concentrations dans l'eau pouvant atteindre aisément 1 g/l. (14)

II.1.4 La source agricole

La pollution d'origine agricole découle de la dispersion de produits tels que les engrais et les pesticides dans le sol, sur de vastes étendues de terres proches ou éloignées des cours d'eau. Cette forme de pollution a augmenté avec l'industrialisation avancée de l'agriculture. Par exemple, l'exploitation intensive des élevages génère un excès de déjections animales qui finissent par enrichir les cours d'eau et les nappes souterraines en composés azotés, favorisant ainsi la prolifération bactérienne. De plus, l'utilisation massive d'engrais chimiques tels que les phosphates et les nitrates altère la qualité des nappes souterraines à travers lesquelles ces substances sont entraînées.

II.1.5 Source naturelle :

Toute eau en contact avec l'atmosphère est susceptible de subir ce phénomène, car l'atmosphère contient du dioxyde de carbone (CO_2) qui se dissout dans l'eau pour former de l'acide carbonique (H_2CO_3). La concentration de CO_2 dans l'atmosphère entraîne une acidification de l'eau au contact de celle-ci. De plus, même avant l'apparition des pluies acides d'origine humaine, les pluies naturelles étaient légèrement acides, et cela reste le cas dans les zones protégées telles que les forêts amazoniennes.

II.2 Pollution par les hydrocarbures

Les effets néfastes sur l'équilibre naturel qui peuvent mettre en danger la santé humaine, les ressources biologiques, la faune et la flore sont considérés comme de la pollution. L'utilisation répandue des produits pétroliers en fait des polluants significatifs pour les sols et les aquifères souterrains.

L'effet de ces produits sur les organismes ne conduit pas forcément à une mortalité immédiate, mais il peut causer des dommages graves, en particulier lorsqu'il y a accumulation de ces hydrocarbures tout au long de la chaîne alimentaire. (15)

II.2.1 Le processus des hydrocarbures dans l'eau :

Après un déversement d'hydrocarbures dans un environnement aquatique, ces substances se répandent dans le milieu grâce à des mouvements horizontaux et verticaux. Ensuite, les hydrocarbures subissent une série de processus physiques, chimiques et biologiques qui modifient leur composition chimique, leurs caractéristiques physiques et leur devenir dans le milieu. Ces processus comprennent l'évaporation, l'émulsification, la dispersion naturelle, la dissolution, la photo-oxydation, la sédimentation, l'interaction avec des particules fines et la biodégradation. La plupart de ces processus se produisent simultanément dès le début du déversement. L'importance de chaque processus est influencée par la composition chimique et les propriétés physiques des hydrocarbures, ainsi que par les conditions environnementales du milieu touché, telles que la température, le vent et le courant. (16)

II.2.2 Toxicologie des hydrocarbures :

Les hydrocarbures rejetés dans l'environnement ont des conséquences considérables sur les plantes, les animaux et les êtres humains. Certaines espèces peuvent présenter des changements de comportement subtils ou des problèmes de santé à court terme. Chez d'autres, les effets

toxiques peuvent être instantanés, aigus et parfois mortels, tandis que chez certaines autres espèces, les répercussions se manifestent lentement et à long terme.

La contamination des sols par les hydrocarbures pétroliers peut causer de nombreux dommages :

- En raison de leur réactivité chimique et de leur volatilité, il existe un risque d'incendie ou d'explosion.

- Les hydrocarbures les plus légers, ayant une faible masse moléculaire, peuvent se déplacer sur de longues distances dans les nappes d'eau souterraines ou dans l'air.

- Les hydrocarbures pétroliers peuvent entraîner des problèmes esthétiques tels qu'une odeur, un goût et une apparence désagréables.

- Dans certaines conditions, les hydrocarbures pétroliers peuvent dégrader la qualité du sol en perturbant la rétention et la transmission de l'eau, ainsi que le cycle des substances nutritives des plantes.

- Les espèces végétales présentes sur des surfaces de terrain contaminées ne peuvent s'éloigner de la zone de contamination en raison de leur mode d'exposition spécifique.

- Les invertébrés jouent également un rôle écologique important dans la structure des sols et les cycles des nutriments. Ils sont sensibles aux contaminations dans le sol en raison de leur contact étroit avec celui-ci. (9)

II.2.2.1 Effets sur l'atmosphère :

Les effets de la combustion du pétrole telle que nous la pratiquons actuellement posent de sérieux problèmes environnementaux, car ils entraînent l'émission de quantités importantes de substances nocives pour l'écosystème et la planète dans l'atmosphère. L'effet de serre est l'une des conséquences graves de la combustion des hydrocarbures. (9)

II.2.2.2 Effets sur les ressources en eau

Les substances polluantes présentes dans les effluents extraits des bassins de rétention peuvent être entraînées dans les cours d'eau et les nappes phréatiques par ruissellement ou percolation. La consommation de cette eau contaminée peut entraîner des problèmes de santé. (9)

II.2.3 Les métaux lourds

On considère généralement que ce sont des éléments métalliques dont la masse volumique est supérieure à 5 g/cm³.

Les métaux pour lesquels des mesures de contrôle et de réduction des émissions dans l'ensemble des compartiments air, eau, sols ont été mises en place aux niveaux international, européen et national, regroupent un ensemble de composés métalliques reconnus pour leurs effets toxiques.

Les métaux ont, de façon générale, des effets toxiques sur les êtres vivants, plus ou moins importants. Certains sont cependant des éléments indispensables pour les êtres vivants comme le cuivre, le sélénium, le zinc. Le cadmium, le mercure et le plomb n'ont pas de telles fonctions et sont toxiques à très faibles doses. Au-delà d'une certaine concentration, la plupart des métaux deviennent toxiques. Certains métaux peuvent être cancérigènes (arsenic par exemple) et dégrader les systèmes immunitaires et reproductifs (mercure par exemple). Il est à noter que les impacts santé sont différents selon la forme chimique sous laquelle le métal se retrouve dans l'environnement. L'impact dépend de leurs concentrations, de leur biodisponibilité et de leur capacité à entrer dans la chaîne alimentaire.

II.2.3.1 Effets sur l'environnement

Les métaux ne se dégradent pas mais ils sont présents dans l'environnement sous diverses formes chimiques. Certains peuvent atteindre la chaîne alimentaire, se concentrer, comme le mercure par exemple, et conduire à des voies de contamination par ingestion outre l'inhalation. Dans notre cas les eaux résiduaires d'une industrie pétrolière sont riches en plomb et phosphore azote totale et à faible dose de chrome.

II.3 Nature des rejets liquides dans le district carburant

Les effluents liquides prétraités dans les bassins de décantation sont de deux natures :

II.3.1 Les eaux de ruissellement

Ce sont des eaux qui ont ruisselé sur les zones soumises à l'activité du centre

- **Les retentions**
- **Les toitures des bacs et les postes de chargement**

Sont toujours susceptibles d'être polluées par des hydrocarbures.

II.3.2 Les eaux de purges

Production et origine d'eau de purge :

L'industrie pétrolière est confrontée à un défi majeur : la gestion de l'eau. En effet, l'eau joue un rôle essentiel dans la production des carburants. Cependant, dans un contexte marqué par des pressions environnementales, énergétiques et sociétales croissantes, il est impératif de protéger les ressources en eau et de limiter les émissions de gaz à effet de serre.

La gestion responsable de l'eau est devenue une priorité absolue pour l'industrie pétrolière. Cela implique d'adopter des pratiques durables pour réduire la consommation d'eau, améliorer l'efficacité de son utilisation et mettre en œuvre des technologies de traitement des eaux usées pour minimiser les impacts sur l'environnement.

Face aux exigences réglementaires de plus en plus strictes et à l'opinion publique de plus en plus sensible aux enjeux environnementaux, les entreprises pétrolières sont contraintes de repenser leur approche de la gestion de l'eau. Elles doivent mettre en place des mesures pour minimiser les pertes d'eau, récupérer et réutiliser les eaux de processus lorsque cela est possible, et adopter des pratiques de forage et d'extraction qui préservent la qualité des ressources en eau souterraine.

De plus, la réduction des émissions de gaz à effet de serre est une préoccupation majeure dans le secteur pétrolier. L'industrie se doit donc de rechercher des solutions innovantes pour réduire son empreinte carbone, notamment en optimisant les processus de production et en favorisant l'utilisation de technologies plus propres et moins énergivores.

Donc les eaux de purges sont des eaux de décantation issues des bacs de stockage susceptibles d'être polluées par des hydrocarbures.

L'eau est produite sous forme d'une émulsion eau-dans-l'huile qui nécessite d'être séparée des hydrocarbures. Cette séparation est réalisée à l'aide de divers procédés physico-chimiques, au cours desquels différents additifs sont utilisés. Après cette séparation, ces additifs se retrouvent présents dans l'eau.

II.3.3 Les eaux usage domestique :

Des eaux vannes ...

II.4 Caractérisation des effluents liquides :

Le décret réglementation les rejets d'effluents liquides industriels fixe une liste des paramètres.

Tel que :

Conformément à l'article 9 du **décret n°06-141 du 19 avril 2006** définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

Le contrôle des rejets comporte un examen des lieux, des mesures et analyses opérées sur place et des prélèvements d'échantillons aux fins d'analyses par des laboratoires agréés.

Tous les rejets d'effluents liquides industriels dans tous les milieux récepteurs sont réglementés et doivent impérativement avoir l'autorisation de rejet par les instances désignées par voie réglementaires.

Cas 1 : les rejets des effluents industriels dans le milieu naturel, doivent être conformes aux seuils réglementaires arrêtés par le décret N° **06-141 du 19 avril 2006**. (8)

Cas 2 : les rejets des effluents industriels dans un réseau d'assainissement ou station d'épuration doivent être conformes aux seuils réglementaires arrêtés par le décret N° **09-209 du 11 juin 2009**. (8)

La mesure de la pollution industrielle est une tâche difficile et complexe qui implique l'utilisation de différents tests et dosages pour évaluer de manière précise et complète le degré de pollution dans les effluents.

Afin de réussir cette tâche, il est important de comprendre et/ou de modifier ces paramètres pour une application optimale des traitements.

II.5 Caractérisation des effluents liquides :

II.5.1 Paramètres Organoleptiques :

La couleur : En général, les effluents liquides ont une teinte grisâtre, ce qui indique la présence de matières organiques dissoutes ainsi que de matières en suspension (MES)... (18)

L'Odeur : La présence d'une odeur est un indicateur de pollution, qui peut être causée par la décomposition de matières organiques. (18) **II.5.2 Paramètres physiques :**

Température : Le paramètre général de la température, mesuré en degrés Celsius, est également un aspect crucial. Les eaux usées autres que domestiques doivent être refroidies à une température inférieure à 30°C conformément à la réglementation (article 31 de l'arrêté du 2 février 1998). (18)

La conductivité électrique

D'une solution est influencée par la présence d'électrolytes et reflète son niveau de minéralisation. Elle indique la capacité de la solution à conduire l'électricité, où une eau faiblement minéralisée aura une faible conductivité, tandis qu'une eau très minéralisée aura une conductivité élevée.

La conductivité électrique de l'eau est définie comme la conductance de l'eau entre deux électrodes métalliques ayant une surface de 1 cm² et une distance de 1 cm entre elles. Elle est exprimée en S/m ou en $\Omega^{-1}m^{-1}$, et représente l'inverse de la résistivité électrique (exprimée en Ωm). Elle est fortement influencée par la température et peut être réalisée en mesurant la résistance ou la résistivité. Des conductimètres, qu'ils soient de laboratoire ou portables, existent avec un système de correction automatique de la température pour prendre en compte cette influence. (18)

Matière en suspension :

La contamination de l'eau peut être liée à la présence de particules flottantes, telles que des composés grossiers supérieurs, des matières en suspension (MES) (appelée pollution particulaire), des matières colloïdales (pollution colloïdale) et des matières dissoutes (de moins de quelques nanomètres) (pollution dissoute). En conséquence, on peut identifier trois types d'états différents : un état de suspension, un état colloïdal et un état dissous. (18)

Toutefois, les MES incluent également les substances qui peuvent être décantées, c'est-à-dire celles qui se déposent naturellement en deux heures selon une méthode volumétrique standard, ainsi que les substances colloïdales qui sont des particules en suspension ayant un diamètre inférieur à 1 μm . Il est possible de déterminer la quantité de particules organiques et/ou minérales en suspension dans l'eau, qu'elles soient décantables ou colloïdales.

- Toute particule en suspension peut être théoriquement sédimentée ou décantée sous l'action de la pesanteur à une vitesse donnée ; cette vitesse dépend de la taille et de la densité de la particule, ainsi que de la température de l'eau ;
- Les deux méthodes de détermination des MES (filtration ou centrifugation) ont des avantages et des inconvénients respectifs ; (19)
- Une mesure de MES doit être réalisée le plus rapidement possible après le prélèvement, et il faut rincer le flacon pour éviter les pertes ;
- Les matières colloïdales flocculées, organiques ou minérales, pouvant être retenues par filtration ou centrifugation font parties des MES ; (18)
- Les matières organiques volatiles biodégradables en suspension peuvent être mesurées après calcination du résidu sec à 525 °C pendant une heure en faisant la différence de masse entre le résidu sec et le résidu calciné ;

- Les MES réduisent la pénétration de la lumière donc la croissance des plantes ;
- Les matières colloïdales sont génératrices de turbidité et de couleur ;
- Les matières sèches (MS) sont composées de matières minérales (MM) et de matières organiques appelées matières volatiles sèches (MVS) ; la concentration des MVS est généralement exprimée en pourcentage par rapport aux MS : c'est le taux de matières volatiles sèche

Le potentiel zêta :

Le potentiel zêta est un paramètre analytique utile pour évaluer la qualité d'une eau à traiter, en plus des paramètres MES et turbidité. Il permet de mesurer la charge électrique des particules en contact avec un liquide ainsi que leur stabilité, et fournit des indications sur le comportement de l'eau lors du traitement.

Le potentiel zêta est particulièrement important pour déterminer les conditions de coagulation et/ou de floculation, qui empêchent les particules colloïdales de s'agglomérer et de se décantent. Chaque particule solide dans l'eau a une charge primaire, positive, négative ou neutre, à sa surface solide-liquide. Une double couche électrique (la couche de Stern et la couche de Gouy-Chapman) est formée à l'interface de la particule avec le liquide, avec une charge nette opposée à celle de la charge primaire. Le potentiel de surface, appelé potentiel de Nernst, diminue à mesure que l'on s'éloigne de l'interface.

Le potentiel zêta est mesuré à partir de la mobilité électrophorétique des particules en suspension sous l'effet d'un champ électrique créé par deux électrodes, à l'aide d'un zêta mètre. Sa valeur est déterminée par le plan de rupture situé à l'intérieur de la double couche électrique, où le potentiel de Nernst atteint une valeur spécifique. La charge primaire de la particule détermine le signe du potentiel zêta, qui peut être positif ou négatif. (18) **II.5.3**

Paramètres Chimique :**Le pH :**

, également appelé potentiel hydrogène, est un paramètre fondamental de l'eau qui est influencé par la température. À l'état d'équilibre, le pH est corrélé à l'activité des ions H⁺.

Après avoir été traitées pour éliminer les contaminants, les eaux usées sont habituellement ajustées à un pH spécifique avant d'être rejetées dans l'environnement. Cette étape dépend étroitement de la méthode de traitement utilisée. Selon les réglementations en vigueur, ces rejets doivent avoir un pH compris entre 6,5 et 9. (19)

Demande chimique en oxygène :

La DCO est un paramètre composite largement utilisé pour évaluer la qualité d'une eau.

La DCO mesure la quantité d'oxygène consommée lors d'une réaction d'oxydation, ce qui permet d'évaluer la charge polluante de la solution et d'estimer la présence de substances difficiles à dégrader biologiquement. (19)

Contrairement à la DBO, la DCO permet de mesurer les composés qui sont difficiles ou impossibles à dégrader biologiquement. Toutefois, la DCO est moins indicative que la DBO de la composition des matières organiques présentes dans l'environnement naturel.

Hydrocarbures totaux :

Ils représentent la quantité totale de toutes les substances dont les molécules sont formées de carbone et d'hydrogène, ils sont peu biodégradable et peuvent être toxique à partir d'un certain seuil. (19)

Demande biochimique en oxygène :

La DBO est une méthode qui permet d'évaluer la quantité de matières organiques biodégradables dans les eaux usées en mesurant la quantité d'oxygène requise par les bactéries

pour décomposer partiellement ou oxyder complètement 1 gramme de ces matières organiques en CO₂, pendant une période donnée. Cette mesure est réalisée après une incubation de cinq jours dans l'obscurité à une température de 20°C.

La DBO permet de quantifier la fraction de matières organiques biodégradables (MOB) présente dans l'eau, c'est-à-dire les matières qui peuvent être dégradées biochimiquement. Plus la quantité de composés biochimiquement oxydables sera importante, plus la valeur de la DBO sera élevée. (19)

En évaluant le rapport entre la DBO₅ et la DCO, on peut évaluer le niveau de dégradation biochimique des substances présentes dans l'eau. Ce niveau est défini par un coefficient de dégradation biochimique, noté α qui peut varier entre 0 et 1. Plus la valeur de α se rapproche

$$\alpha = \frac{DBO_5}{DCO}$$

de 1, plus la quantité de substances biodégradables est élevée.

Carbone organique total :

Il peut être pertinent de mesurer la quantité de carbone présente dans la matière organique d'une eau, ainsi que dans les composés organiques qu'elle contient. Trois formes de carbone sont généralement considérées : le carbone total (CT), le carbone organique total (COT) et le carbone inorganique total (CIT). (19)

Le COT est un paramètre global qui, tout comme la DCO ou la DBO₅, joue un rôle crucial dans la détermination de la contamination organique des eaux et dans l'évaluation de la pollution de l'eau. En effet, ce paramètre composite (exprimé en mgC L⁻¹) permet de mesurer le carbone constituant l'ensemble des composés organiques présents dans un échantillon d'eau.

Le COT est un paramètre de plus en plus utilisé. En combinaison avec la DCO, il permet de déterminer le type et l'origine des polluants organiques présents dans les eaux usées. Dans certains pays européens, le COT est devenu le paramètre de référence pour surveiller la contamination organique, remplaçant ainsi la DCO. En Allemagne, le COT est utilisé comme méthode de screening pour la surveillance de la DCO dans les eaux usées urbaines.

Indice des hydrocarbures :

Les hydrocarbures représentent une famille de composés qui sont réputés pour leur faible biodégradabilité et, dans certains cas, leur toxicité. Leur accumulation dans l'environnement peut entraver les échanges vitaux et empêcher la croissance de la faune et de la flore. En formant un film à la surface de l'eau, ils peuvent empêcher l'oxygénation naturelle de l'eau et bloquer la pénétration de la lumière solaire. Certaines industries, telles que la métallurgie, sont particulièrement concernées par la présence d'hydrocarbures. (18)

Cyanures

Cyanures métalliques sont des complexes plus ou moins stables ; les principaux métaux sont Fe, Cd, Ni, Zn, Ag, Pb et Hg liquides sont des complexes plus ou moins stables ; les principaux métaux sont Fe, Cd, Ni, Zn, Ag, Pb et Hg (18)

II.5.4 Paramètres complémentaires :

Il est important de prendre en compte les paramètres indicateurs de nutriments tels que l'azote et le phosphore lors de l'évaluation de la qualité de l'eau. Bien que ces deux éléments soient essentiels au développement des végétaux, leur excès dans les eaux de surface peut entraîner une eutrophisation nocive pour la vie aquatique. Ainsi, la mesure des concentrations en matières azotées et composés phosphorés est cruciale pour évaluer la qualité de l'eau.

En outre, il existe d'autres paramètres complémentaires importants à prendre en compte lors de l'analyse des rejets industriels, tels que l'indice hydrocarbures et les cyanures.

Substances azotées :

L'azote peut se trouver dans les eaux de rejets sous forme minérale ou organique à différents niveaux d'oxydation que l'on distingue en trois types de formes :

L'azote ammoniacal (forme réduite),

L'azote organique (forme réduite)

L'azote minéral (deux formes oxydées) (18)

Conclusion

En conclusion, ce chapitre a mis en évidence l'importance de la compréhension des polluants présents dans les eaux industrielles.

En poursuivant nos efforts pour comprendre, surveiller et réduire les polluants dans les eaux industrielles, nous contribuons à la préservation des écosystèmes par un procédé de traitement ces effluents.

Chapitre IV

Procédés des traitements des eaux

usées industrielles

III. Procédés des traitements des eaux usées industrielles

Introduction

Les eaux usées industrielles contiennent des hydrocarbures organiques de différentes natures et concentrations variables, ce qui les rend inappropriées pour être rejetées dans l'environnement, car cela entraîne une contamination des eaux de surface et souterraines. Afin de minimiser cette contamination, des technologies plus simples et moins coûteuses sont actuellement en cours d'étude pour traiter ces effluents industriels.

L'objectif de ce chapitre est de fournir une vision d'ensemble des différentes options de traitement disponibles, ainsi que des avantages et des inconvénients associés à chaque méthode. Il mettra en évidence l'importance de choisir les procédés appropriés en fonction des caractéristiques des eaux usées industrielles pétrolière, des objectifs de traitement et des contraintes opérationnelles.

III.1 Procédés des traitements

III.1.1 Le prétraitement

Cette étape permet de séparer les déchets les plus volumineux et les éléments susceptibles de perturber les étapes ultérieures du traitement.

Le prétraitement peut inclure des opérations telles que le dégrillage, le dessablage, le, le dégraissage et le déshuilage, qui permettent d'éliminer les matières solides, les sables, les graisses et les huiles. Le prétraitement peut également inclure des opérations spécifiques pour éliminer des substances particulières telles que les métaux lourds, les produits chimiques toxiques et les matières organiques dangereuses.

La qualité du prétraitement est essentielle pour garantir l'efficacité et la rentabilité du traitement ultérieur des eaux usées industrielles.

III.1.1.1 Le dégrillage

Est une étape qui consiste à retenir les déchets solides les plus grossiers qui pourraient obstruer les canalisations et les équipements de traitement en aval.

Cette opération se fait grâce à des grilles placées en amont de la station de traitement des eaux usées.

Les grilles peuvent être constituées de barres en acier parallèles espacées de quelques centimètres ou de toiles métalliques perforées. Les déchets retenus sur les grilles peuvent être des branches, des feuilles, des déchets plastiques, des morceaux de tissus, etc.



Figure 15 : le dégrilleur courbe

Les **grilles** sont conçues pour retenir les déchets dont la taille est supérieure à **10-20 mm**, selon le type de grille utilisée.

Les déchets retenus sur les grilles sont ensuite évacués et éliminés.

Le dégrillage est une étape importante pour protéger les équipements de traitement des eaux usées en aval, tels que les pompes, les échangeurs de chaleur, les filtres et les digesteurs anaérobies, qui pourraient être endommagés par les déchets solides. Cette étape permet également de prévenir les engorgements et les obstructions des canalisations, qui pourraient provoquer des débordements et des pollutions.

III.1.1.2 Le dessablage :

Est une étape visant à éliminer les sables et autres matières inorganiques lourdes. Cette étape est généralement effectuée après le dégrillage.

Le processus de dessablage commence par la séparation des eaux usées en deux flux : un flux principal qui contient les matières en suspension et un flux secondaire qui contient les sables et autres matières inorganiques lourdes. Le flux secondaire est dirigé vers un bassin de décantation où la vitesse d'écoulement de l'eau est réduite afin de permettre la décantation des sables.

Une fois les sables déposés au fond du bassin, ils sont extraits à l'aide de pompes à sable et envoyés vers un dispositif de lavage pour éliminer les matières organiques qui y adhèrent. Les sables lavés peuvent ensuite être réutilisés dans des applications telles que la construction, l'aménagement paysager ou la fabrication de béton.

Le traitement des eaux usées peut également inclure une étape de dessablage par hydrocyclones. Dans cette méthode, l'eau est introduite dans un dispositif de séparation en forme de cône. La force centrifuge entraîne les sables vers la paroi du cône où ils sont collectés et éliminés. Cette méthode peut être plus efficace que la méthode de décantation,

mais elle nécessite une pression plus élevée pour fonctionner et peut être plus coûteuse à installer et à entretenir.

III.1.1.3 Le déshuilage

Le déshuilage est une étape de traitement des eaux usées visant à éliminer les huiles et graisses qui peuvent être présentes dans l'eau. Ces huiles et graisses peuvent provenir de différentes sources, telles que les industries alimentaires, les garages, les ateliers de mécanique, etc.

III.1.1.4 Les séparateurs

Il existe divers types de séparateurs gravitaires eau-huile, chacun avec ses propres variantes. Cependant, on se focalise sur les types de séparateurs les plus couramment utilisés : (20)

Séparateurs classiques (rectangulaires ou cylindriques)

Les séparateurs rectangulaires ou cylindriques offrent généralement le même type de performance, dans la mesure où leur dimensionnement a été fait selon les principes mentionnés précédemment. Ce sont les types de séparateur qui sont les plus fréquemment installés lorsque les normes ou les exigences de rejet en hydrocarbures sont de l'ordre de 15 mg/l.

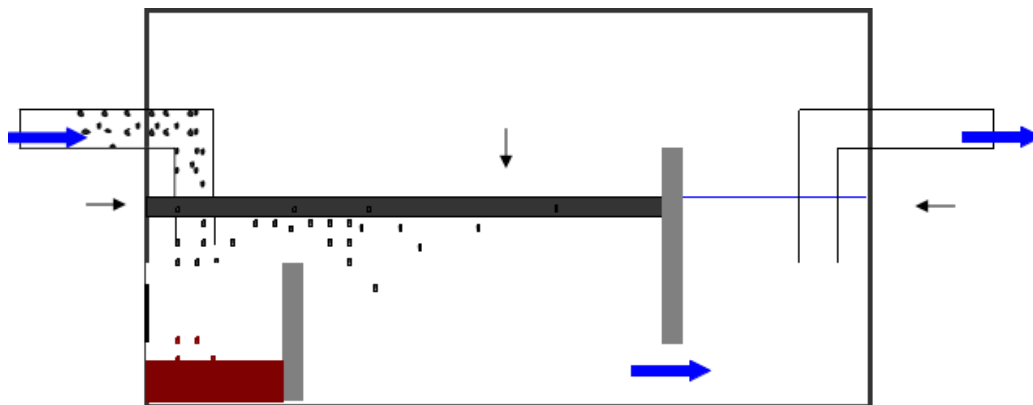


Figure 16 Séparateur rectangulaire

(20)

Séparateurs lamellaires

Dans les séparateurs lamellaires, les gouttelettes d'huile n'ont à parcourir qu'une très courte distance (espacement entre les plaques d'environ 2 à 4 cm) avant d'être captées.

De plus, les lamelles (plaques parallèles) augmentent la surface de la zone de séparation tout en permettant de réduire de façon substantielle le volume du séparateur. En comparaison avec un séparateur classique, ils présentent l'avantage d'une plus grande compacité et d'une meilleure efficacité sur les gouttelettes plus fines (60 microns). Dans la conception d'un séparateur lamellaire, il faut également tenir compte des mêmes critères de base (Vt , Ah) qui sont utilisés pour la conception des séparateurs classiques. La surface totale A_h représente la superficie de chacune des lamelles. L'inclinaison des lamelles varie généralement entre 45 et 60°. S'il y a présence de matières en suspension, l'inclinaison des lamelles doit être plus prononcée (60°) pour favoriser leur descente au fond du séparateur. Selon les fabricants, ils peuvent fournir des performances allant jusqu'à 10 mg/l en hydrocarbures. Il faut préciser toutefois que les séparateurs lamellaires ont des composants internes qui exigent un entretien beaucoup plus régulier que les séparateurs classiques.

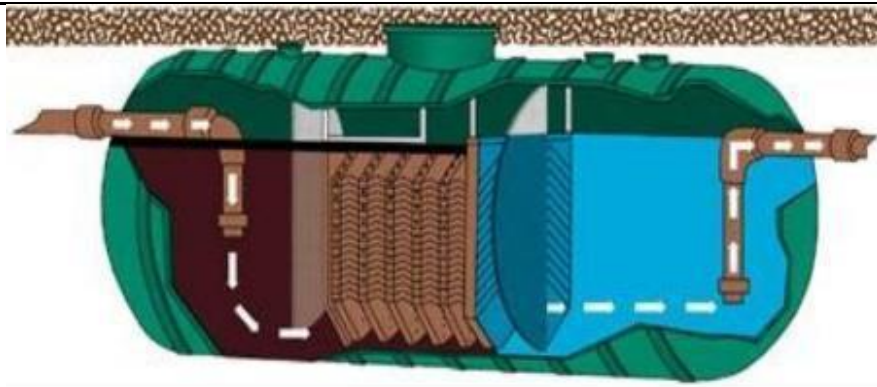


Figure 17 Séparateur lamellaire coalescent

Séparateurs lamellaires coalescents

Il s'agit de séparateurs dans lesquels sont ajoutées des lamelles coalescents ayant pour fonction d'agglomérer les gouttelettes les plus fines. Le polypropylène et le PVC sont souvent utilisés comme matériaux coalescents. Ils ont des propriétés oléophiles, c'est à dire qu'ils ont une forte affinité pour les huiles. (20)

Il existe également une variante de séparateurs lamellaires auxquels est ajoutée une chambre spécialement aménagée pour y placer un filtre coalescent.

Les types d'huiles qui peuvent être mélangées avec l'eau sont divers, tels que l'huile pour :

Moteur à essence ou carburant diesel,

L'huile pour engrenage industriel ou différentiel de véhicules,

L'huile de circulation ou pour turbine,

L'huile de lubrification pour machine à papier,

L'huile pour compresseur à base d'huile minérale,

De polyalfaolétine ou de carburant diesel,

L'huile calo porteuse, l'huile isolante minérale pour transformateur, l'huile pour système hydraulique ou Trans hydraulique,

L'huile pour système de servodirection, l'huile pour transmission manuelle ou automatique de véhicules. À noter que les huiles de coupe, principalement utilisées dans les ateliers d'usinage de métaux, ne peut être séparées de l'eau par gravité car elles sont initialement présentes sous forme d'émulsion. (20)

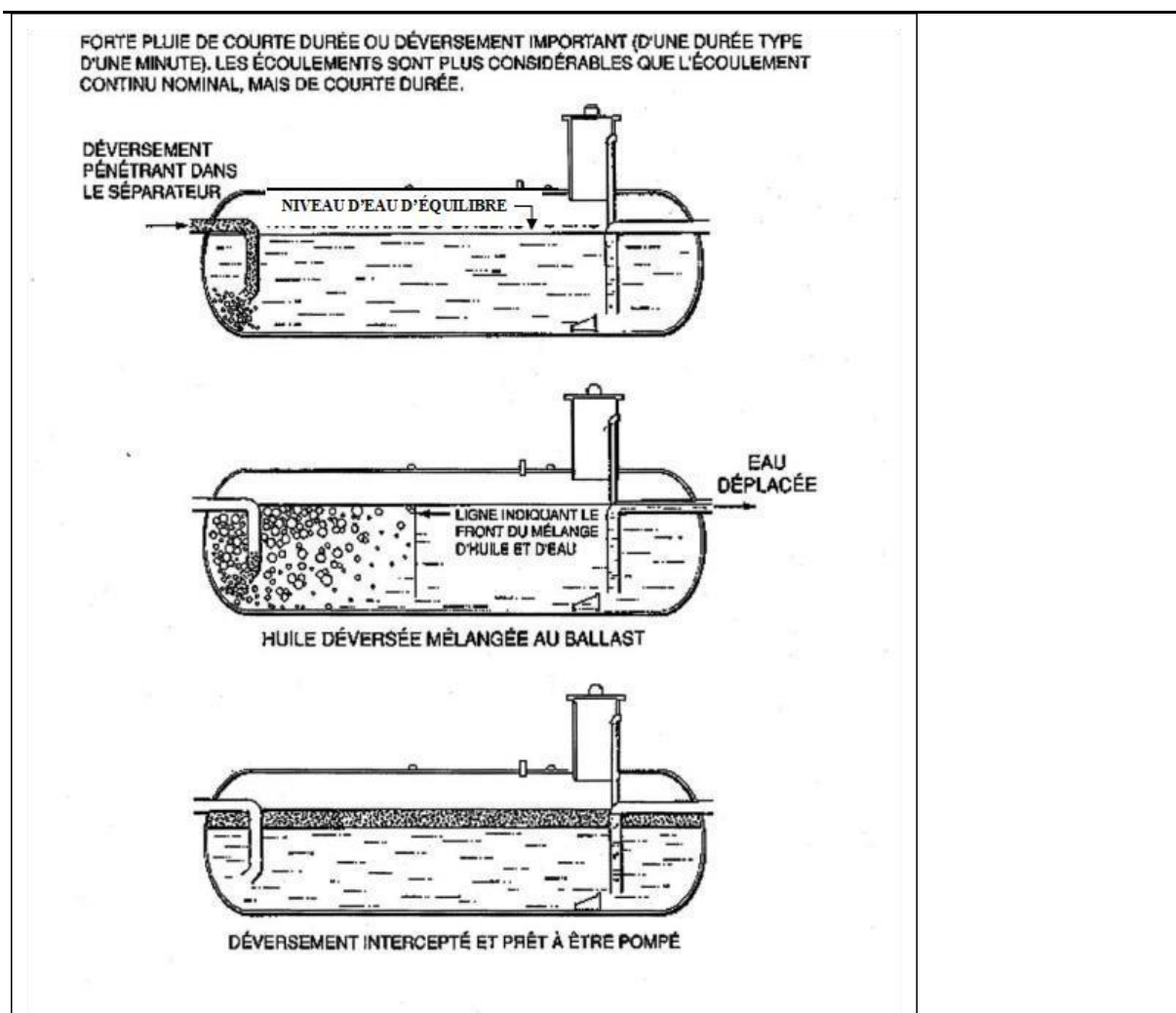


Figure 18 : Schéma de fonctionnement du séparateur d'huile en mode discontinu

(21)

III.1.2 Traitement primaire

III.1.2.1 Le processus de coagulation

Le processus de coagulation est un processus complexe qui vise à déstabiliser les particules colloïdales et à les agglomérer pour former des flocons qui peuvent ensuite être facilement sédimentés. Pour surmonter l'énergie d'interaction entre les particules, il y a deux options :

- La première est de diminuer le potentiel zêta en ajoutant des réactifs minéraux contenant des cations multivalents qui seront adsorbés à la surface colloïdale. Cela neutralisera la charge électrique des particules et est appelé coagulation.
- La deuxième option est d'utiliser des polymères organiques comme réactifs de floculation, qui permettent de rassembler les colloïdes non seulement en réduisant la charge électrique, mais également en créant des ponts entre les colloïdes. Ces réactifs macromoléculaires agissent comme un filet dans lequel les particules sont piégées. Ce type de déstabilisation est généralement appelé floculation, tandis que le terme coagulation est utilisé pour décrire la déstabilisation des particules colloïdales par la réduction de charge électrique. (22)

On distingue ainsi quatre mécanismes de base pour la déstabilisation des particules colloïdales :

-
- Compression de la double couche (coagulation électrostatique) □ Adsorption et neutralisation des charges.
 - Emprisonnement des particules dans un précipité. □ Adsorption et pontage.

Compression de la double couche

En provoquant la contraction de la couche diffuse, la distribution des forces répulsives de la double couche au sein des colloïdes est modifiée, ce qui conduit à une réduction de la surface potentielle avec l'augmentation de la concentration d'électrolyte. Cette réduction permet aux forces attractives de devenir plus dominantes, favorisant ainsi l'agrégation des particules. À des concentrations d'électrolyte élevées, la force de répulsion disparaît, ce qui entraîne une agglomération rapide des particules. Cependant, après l'ajout d'un surplus de coagulant, aucune inversion de charges des particules ne devrait se produire, ce qui signifie qu'il n'y aura pas de rentabilisation des particules. (23)

Adsorption et neutralisation des charges :

Certaines espèces chimiques sont capables d'adsorber sur la surface des particules colloïdales. Si l'espèce adsorbée provoque une réduction de la surface potentielle et une déstabilisation des particules colloïdales. La réduction de la charge de surface par adsorption a un mécanisme très différent de celui de la réduction par compression de la double couche.

La déstabilisation par adsorption diffère de la déstabilisation par compression de la double couche et trois points principaux.

Premièrement, les espèces adsorbables sont capables de déstabiliser les colloïdes à un dosage beaucoup plus faible que les espèces non adsorbables.

Deuxièmement la déstabilisation par adsorption est stœchiométrique. La quantité de l'électrolyte nécessaire pour la coagulation par compression de double couche n'est pas stœchiométrique et elle est pratiquement indépendante de la concentration de colloïde.

Troisièmement, il est possible qu'une surdose d'une espèce adsorbable cause une rentabilisation par inversement de charge des particules colloïdales. Le fait que les ions peuvent être adsorbés au-delà du point de neutralisation de charge jusqu'à un inversement de charge peut être expliqué par une prédominance des interactions chimiques sur les effets de répulsion électrostatique dans certains cas. (24)

Emprisonnement des particules dans un précipité :

Dans ce cas, le delta des suspensions se fait selon un processus d'emprisonnement et d'entraînement des particules dans un précipité (sweep coagulation).

Ce processus n'est plus stœchiométrique et ne dépend plus de la charge du coagulant. (24)

Adsorption et pontage :

Plusieurs composés naturels comme l'amidon, la cellulose les polysaccharides et les protéines, ainsi qu'une large variété de polymères synthétiques sont connus pour leur propriété coagulante. Ces produits sont caractérisés par leur grande masse moléculaire et de plus ont de multiples charges électriques tout au long de leurs chaînes d'atomes. (24)

Les coagulants

Choix de coagulants : Le choix d'un coagulant dépend de plusieurs facteurs, notamment : (22)

Caractéristiques de l'effluent :

Le type de coagulant à utiliser dépend du type d'effluent à traiter, de sa composition et de son pH. Certains coagulants sont plus efficaces pour traiter les effluents contenant des métaux lourds, tandis que d'autres sont plus efficaces pour traiter les effluents contenant des matières organiques.

Conditions de traitement : Le choix du coagulant dépend également des conditions de traitement, telles que le temps de rétention, la température, la pression et la vitesse de mélange.

Coût : Le coût du coagulant est également un facteur important à considérer lors du choix. Certains coagulants peuvent être plus coûteux que d'autres.

Impact environnemental : Il est important de considérer l'impact environnemental des coagulants utilisés, notamment leur toxicité et leur biodégradabilité.

Résultats attendus : Les résultats attendus du traitement influencent également le choix du coagulant. Certains coagulants peuvent produire une meilleure qualité d'effluent traité que d'autres.

En général, les coagulants les plus couramment utilisés sont les sels d'aluminium (sulfate d'aluminium, chlorure d'aluminium) et les sels de fer (sulfate de fer, chlorure de fer). Cependant, il existe également d'autres types de coagulants tels que les polymères cationiques

Les réactifs utilisés dans la coagulation peuvent être classés en deux grandes catégories :

1. Les coagulants minéraux : ce sont des sels métalliques à base de fer, d'aluminium ou de calcium. Ils sont ajoutés dans l'eau sous forme de solution pour former des précipités qui piégeront les particules et les colloïdes. Les coagulants minéraux les plus couramment utilisés sont le sulfate d'aluminium, le chlorure ferrique et l'hydroxyde de calcium.

2. Les coagulants organiques : ce sont des polymères organiques qui se lient aux particules et aux colloïdes pour les agglomérer. Les coagulants organiques les plus couramment utilisés sont le poly électrolyte cationique et l'acrylamide.

Les coagulants sont généralement ajoutés en petites quantités à l'eau à traiter, en fonction de la qualité de l'eau à traiter, de la concentration des particules et des colloïdes et des caractéristiques des coagulants utilisés. Les dosages des coagulants peuvent varier considérablement selon les conditions de traitement et doivent être optimisés pour maximiser l'efficacité du traitement.

III.1.2.2 Le processus de floculation :

Après avoir été déstabilisé les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres.

La floculation est le processus par lequel des particules en suspension dans un liquide se regroupent pour former des floes, qui sont de plus grandes particules visibles à l'œil nu. Ce processus est utilisé pour la clarification de l'eau, le traitement des eaux usées, la production de biocombustibles et d'autres applications industrielles.

La floculation est généralement effectuée après la coagulation, qui est le processus de neutralisation de la charge électrique des particules en suspension. Après la coagulation, les particules se regroupent pour former de petits agrégats. La floculation est alors utilisée pour

augmenter la taille des agrégats en utilisant des polymères organiques pour rassembler les particules en suspension et former des floccs plus grands. (25)

Les floccs sont ensuite éliminés du liquide par sédimentation ou filtration. Peut être réalisée en utilisant différents types de polymères, tels que des polymères anioniques, cationiques ou non-ioniques, en fonction des caractéristiques des particules en suspension et des conditions du processus. Les facteurs tels que la dose de polymère, le pH, la température et la vitesse de mélange peuvent également influencer l'efficacité de la floculation. (25)

III.1.2.3 La décantation

Les procédés de décantation physique sont des techniques de traitement de l'eau largement utilisées pour éliminer les solides en suspension. Ils impliquent la séparation des solides de l'eau par décantation gravitaire. Les principaux procédés de décantation physique sont la décantation simple, la décantation lamellaire et la décantation centrifuge.

1. La décantation simple :

La décantation simple est la méthode la plus simple pour éliminer les solides en suspension dans l'eau. Elle consiste à laisser reposer l'eau dans un réservoir jusqu'à ce que les solides se déposent au fond du réservoir. Une fois que les solides ont été éliminés, l'eau claire peut être prélevée à partir de la partie supérieure du réservoir. Cette méthode est principalement utilisée pour éliminer les solides en suspension de grande taille.

2. La décantation lamellaire :

La décantation lamellaire est une technique de décantation qui utilise des plaques parallèles inclinées pour augmenter la surface de décantation. L'eau contenant les solides en suspension est introduite en haut du réservoir et traverse les plaques inclinées. Les solides se déposent sur les plaques inclinées et glissent jusqu'au fond du réservoir. L'eau claire est recueillie à partir de la partie supérieure du réservoir. Cette méthode est efficace pour éliminer les solides en suspension de petite taille.

3. La décantation centrifuge :

La décantation centrifuge est une technique de décantation qui utilise la force centrifuge pour accélérer le processus de décantation. Elle consiste à faire tourner un réservoir d'eau à une vitesse élevée, ce qui permet aux solides en suspension de se déposer rapidement au fond du réservoir. L'eau claire est recueillie à partir de la partie supérieure du réservoir. Cette méthode est principalement utilisée pour éliminer les solides en suspension de très petite taille.

En résumé, les procédés de décantation physique sont des techniques simples et efficaces pour éliminer les solides en suspension de l'eau.

La méthode la plus appropriée dépend de la taille des solides en suspension et de la quantité d'eau à traiter. La décantation simple est idéale pour les solides en suspension de grande taille, tandis que la décantation lamellaire est plus adaptée pour les solides de petite taille et la décantation centrifuge est utilisée pour les solides en suspension de très petite taille.

III.1.2.4 La flottation

La flottation est une technique de séparation solide-liquide qui repose sur les différences d'hydrophobicité des surfaces des particules à séparer, où les particules solides doivent avoir une meilleure affinité pour l'air que pour l'eau. Contrairement à la décantation, la flottation

peut être utilisée pour des floccs ayant une masse volumique inférieure à celle du liquide qui les contient, ainsi que pour des floccs dont la décantation peut être difficile. Les floccs récupérés sont ensuite sous forme de boues flottées à la surface du flottateur.

La flottation naturelle lorsque la différence de densité entre les floccs et l'eau est suffisamment importante pour permettre une séparation sans traitement chimique supplémentaire. Ce procédé est largement utilisé dans les prétraitements de déshuilage dans divers secteurs industriels. (26)

La flottation assistée est une méthode de séparation qui s'applique aux matériaux légèrement moins denses que le milieu liquide ou équivalent. Dans certains cas, la flottation naturelle est possible, mais elle peut être trop lente en raison de la faible force d'Archimède. Afin d'améliorer la séparation des particules naturellement flottables mais avec une vitesse de séparation insuffisante, la flottation assistée utilise des moyens externes tels que de l'air ou des réactifs.

Est une méthode qui consiste à insuffler des bulles d'air (de taille moyenne de 2-4 mm ou de fines bulles de 0,2 à 2 mm) dans la masse liquide, ce qui favorise la flottation naturelle des particules solides hydrophobes comme les graisses dispersées.

La flottation assistée par des réactifs

Appelée également « flottation mécanique » ou « moussage », utilise des réactifs pour modifier les tensions de surface des particules. Cette méthode est utilisée pour la séparation de différents minéraux dans les roches, pour la séparation des huiles lors du traitement des eaux de gisement, ou encore pour la séparation d'agents tensioactifs.

La flottation assistée à l'air

la flottation est qualifiée et provoquée lorsque la masse volumique de la particule, initialement supérieure à celle du liquide, est artificiellement réduite pour induire sa flottation. Dans ce cas, des bulles de gaz (généralement de l'air) sont injectées pour associer les particules solides à ces bulles et former des agrégats particules-gaz moins denses que le liquide environnant, ce qui permet une flottation avec une vitesse ascensionnelle adéquate.

Les diverses formes de flottation artificielle utilisées dans le traitement des eaux usées :

Deux facteurs clés pour assurer une flottation provoquée efficace sont la production de bulles d'air adéquates et la capacité de ces bulles à adhérer aux particules solides.

La génération des bulles d'air

La flottation à air dispersé : La flottation à air dispersé (ou air induit) implique la production de bulles d'air d'un diamètre compris entre 0,2 et 2 mm à l'aide d'un agitateur coagulants organiques qui peuvent être utilisés dans certaines applications.

Mécanique fonctionnant à très grande vitesse. Bien qu'il soit couramment utilisé en minéralurgie, ce procédé est rarement employé dans le traitement des eaux, sauf dans certains cas tels que le traitement primaire des eaux résiduaires ou le traitement des fibres issues

La micro-flottation consiste à générer de petites bulles afin d'augmenter leur concentration et de réduire la vitesse ascensionnelle pour assurer un contact prolongé entre les bulles et les particules. Cette méthode permet d'obtenir un rendement élevé et souvent utilisée lorsque des

temps de contact plus longs sont nécessaires, tels que dans le traitement des eaux usées industrielles. (26)

Les fines bulles peuvent être produites de diverses manières

- **La flottation à air dissous** implique la dissolution de l'air dans de l'eau sous pression supérieure à la pression atmosphérique (4-6 bars). Lorsque la pression est relâchée, l'air en excès est libéré sous forme de microbulles (diamètre entre 40 et 70 µm). Cette technique est utilisée dans le traitement des eaux usées urbaines . (27)

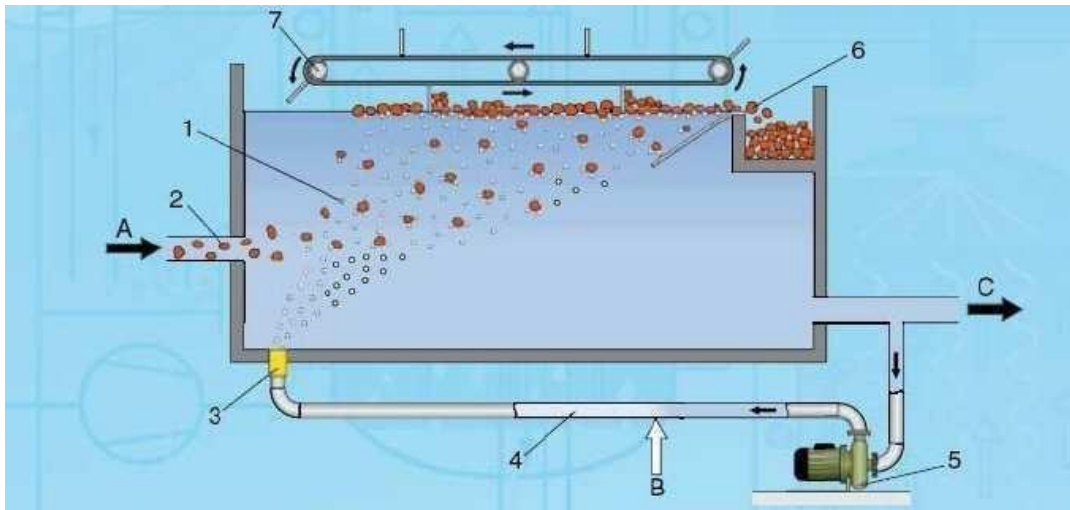


Figure 19 : Procédé de Flottation

- 1 : Micro bulles d’air A : Eau brute (préalablement floculée)
- 2 : Particules solides B : Apport d’air comprimé
- 3 : Soupape (système de détente) C : Eau clarifiée
- 4 : Eau sous pression
- 5 : Unité de pressurisation
- 6 : Boues flottées
- 7 : Raclleur

- **La flottation par électrolyse** (ou électro-flottation) consiste en la traversée d'un courant de basse tension à travers deux électrodes insolubles immergées dans l'eau. La dissociation électrolytique produit des bulles d'hydrogène et d'oxygène (diamètre entre 10 et 40 µm).

L’attachement des bulles d’air à la particule solide :

Les bulles d'air produites peuvent se fixer aux particules en suspension dans le flottateur grâce à différents mécanismes :

Le mécanisme d'adsorption, dans lequel les bulles d'air se collent à la surface des particules en suspension. Pour que les particules s'attachent, il faut une quantité suffisante d'air injectée de manière turbulente.

Le mécanisme de piégeage, qui est le plus courant. La liaison se produit lorsque les bulles d'air et les particules solides entrent en collision pendant leurs mouvements aléatoires. Il est important de contrôler la taille des bulles d'air et des particules pour assurer un rayon d'attachement suffisant. Ce mécanisme est utilisé pour le traitement des eaux résiduaires urbaines.

La flottation à air dissous : La technique de flottation à air dissous convient particulièrement bien pour traiter des floccs fragiles et peu denses. Elle est principalement utilisée pour séparer les matières flocculées présentes dans les eaux peu chargées en matières en suspension (MES).

La génération de microbulles est un élément crucial de tout système de flottation à air dissous (FAD). Les microbulles sont principalement produites par pressurisation de l'eau à traiter. Il existe deux méthodes pour réaliser cette pressurisation :

- La première méthode consiste à utiliser une pompe haute pression qui reprend une partie du débit d'eau traitée à la sortie du flottateur (débit fixe ou variable) pour pressuriser l'eau à une pression d'environ 4 à 6 bars dans une unité de pressurisation (appelée pressurisation indirecte).
- La deuxième méthode consiste à pressuriser l'eau à traiter en utilisant une recirculation totale ou partielle de son débit (appelée pressurisation directe). Cependant, la pressurisation indirecte est généralement préférée pour le traitement des eaux résiduaires urbaines.

La production de bulles très fines présente plusieurs avantages, notamment :

- Une distribution homogène des bulles avec un faible débit d'air, limitant ainsi les turbulences qui pourraient endommager les floccs.
- Une concentration élevée de bulles, augmentant ainsi les chances de contact avec les particules solides.
- Une faible vitesse de montée des bulles par rapport au fluide environnant, permettant une meilleure adhérence aux floccs.

Les réactifs peuvent être injectés préalablement à la cellule de flottation de deux manières Différentes :

- Soit dans des compartiments précédents le flottateur (cuve de coagulation et cuve de Flocculation).
- Soit à l'entrée directe du flottateur, « injection en ligne » au même niveau que l'injection de L'eau pressurisée.

Intérêts d'utiliser un système de flottation :

Les avantages

La flottation à air dissous

Incluent une élimination plus rapide des particules légères ayant une décantation lente, ainsi qu'une concentration plus élevée des boues (3-6% de matière sèche) par rapport à une clarification par décantation.

L'installation est plus compacte, ce qui permet de la couvrir et de la désodoriser. Cette technique est particulièrement adaptée aux stations d'épuration qui ne disposent pas de système de dénitrification ou qui ont une dénitrification incomplète. (26) **Les**

inconvénients :

- La flottation n'est appropriée que pour les boues qui ont des propriétés de décantation insuffisantes, c'est-à-dire des floccs peu denses et une concentration en MES relativement faible (environ 100 à 300 mg/L).
- L'apport d'air continu pour la production de l'eau pressurisée nécessite une dépense énergétique supplémentaire. (26)
- Le coût d'investissement est plus élevé que pour un décanteur.

Application de la flottation

Le procédé de flottation peut avoir différentes applications et être mis en place dans différents cas :

En prétraitements dans le cas de l'élimination des graisses (produit hydrophobe, forte Affinité sur les bulles de gaz).

En traitement d'eau potable :

En tant que méthode de traitement d'eau potable, la flottation à air dissous peut être utilisée pour :

- Clarifier l'eau de surface peu concentrée en MES mais riche en matière organique (MO) ou contenant des algues planctoniques, en séparant les matières flocculées (28)
- Éliminer la turbidité, les algues et les organismes parasites **En traitement des boues :**
- Pour éviter le relargage de phosphore accumulé par la biomasse lors des phases d'anaérobies dans le cas de la déphosphatation biologique.
- Pour les eaux de lavage de bio filtres, notamment pour les bio filtres nitrifiant riches en nitrates en raison de la faible concentration des eaux de lavage.

• En traitement d'eaux résiduaires industrielles :

Les applications de la flottation à air dissous pour le traitement des eaux résiduaires industrielles sont nombreuses, mais les plus courantes sont :

- La séparation et la récupération des fibres des eaux de papeterie, (29)
- La séparation des hydroxydes métalliques,
- La séparation des huiles flocculées sur des eaux résiduaires issues de raffineries, d'aéroports ou de l'industrie métallurgique.

• En traitement d'eaux résiduaires urbaines :

En ce qui concerne le traitement d'eaux résiduaires urbaines, la flottation est utilisée dans plusieurs cas, notamment :

- Comme traitement secondaire en sortie de réacteur biologique produisant des matières en suspension (MES) peu concentrées, par exemple dans les systèmes MBBR, et pour les installations qui ne nécessitent pas de dénitrification.
- Comme traitement tertiaire, en remplacement d'un clarificateur-floculateur pour la déphosphatation biologique.
- Comme traitement secondaire en sortie de bassin biologique à boues activées.

On s'intéressera principalement au procédé de flottation utilisé sur « la file eau » pour le Traitement d'eaux résiduaires industrielles. (26)

Dans notre cas, la flottation pourra être utilisée en sortie de traitement physico chimique floculation coagulation.

Notre étude porte donc principalement sur le procédé de flottation installé en sortie de traitement physico chimique.

III.1.3 Le traitement biologique :

Les techniques biologiques d'épuration des eaux usées font appel à des micro-organismes qui convertissent les matières organiques solubles et colloïdales en sous-produits inorganiques tels que H₂O, CO₂ et CH₄. La séparation de l'eau traitée des bactéries agrégées se fait par décantation. Dans certains cas, une partie des boues organiques ainsi décantées est réintroduite dans le système pour maintenir une biomasse constante. Il existe deux types principaux de systèmes d'épuration biologique : ceux à biomasse en suspension et ceux à biomasse fixée. Bien que la dégradation de la matière organique soit l'objectif principal des systèmes biologiques, ils peuvent également contribuer à l'élimination des matières en suspension par précipitation et adsorption par la biomasse microbienne, ainsi qu'à l'élimination de certains nutriments, notamment les composés phosphorés et azotés. (30)

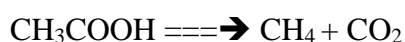
III.1.3.1 Le traitement secondaire anaérobie

Il s'agit d'un processus de conversion microbiologique de la matière organique, qui implique principalement des populations bactériennes, des protozoaires et quelques champignons anaérobies.

La digestion anaérobie est un processus de conversion de la matière organique en biomasse et en biogaz, principalement composé de méthane (CH₄) et de gaz carbonique (CO₂). Ce processus est divisé en quatre étapes distinctes : l'hydrolyse, l'acétogénèse et la méthanogénèse,

Les micro-organismes anaérobies dégradent les composés macromoléculaires présents dans les eaux usées grâce à l'action de polysaccharases, de protéases et de lipases, ce qui produit des composés solubles. Ces derniers sont ensuite fermentés pour produire un mélange d'acides gras volatils, qui sont à leur tour fermentés en acétate, CO₂ et H₂.

Capable réaliser les réactions suivantes :



La fermentation anaérobie est une opération délicate qui nécessite une surveillance constante. Pour garantir un bon fonctionnement, il est essentiel de maintenir la température à

un niveau stable et suffisamment élevé. De plus, il est important d'éviter les variations brutales de pH ainsi que les substances inhibitrices pour le développement bactérien telles que les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols.

Il convient de souligner que les systèmes de traitement anaérobie sont généralement considérés comme plus économiques que les systèmes aérobies en raison de leur faible consommation d'énergie, de la production limitée de boues et de la possibilité de réutiliser le biogaz produit. Ce dernier peut parfois être converti en énergie électrique ou mécanique.

III.1.3.2 Les traitements aérobies

Une méthode courante pour le traitement des eaux usées. Ils consistent en l'utilisation de micro-organismes aérobies, tels que les bactéries, pour dégrader les matières organiques présentes dans l'eau. Ces traitements sont souvent utilisés après un traitement primaire, qui permet d'éliminer les matières solides grossières et les graisses. Les traitements secondaires aérobies peuvent être effectués dans des bassins ou des réacteurs biologiques, où l'eau est aérée pour permettre aux micro-organismes de se développer et de dégrader la matière organique. Ce processus produit de la boue activée, qui est ensuite séparée de l'eau traitée avant d'être éliminée ou réutilisée.

Les procédés à aérobie fixée :

Le lit bactérien :

Un lit qui consiste à faire circuler l'eau à traiter sur un support poreux colonisé par des micro-organismes aérobies, tels que des bactéries.

Ces micro-organismes dégradent les matières organiques présentes dans l'eau en utilisant de l'oxygène dissous. Le lit bactérien est généralement constitué de matériaux poreux tels que des billes d'argile, des pierres ou des fibres synthétiques, qui servent de support aux microorganismes. L'eau circule généralement de manière continue sur le lit bactérien, et peut être oxygénée par des diffuseurs d'air pour favoriser la croissance des bactéries. Les avantages du lit bactérien sont sa simplicité, sa faible consommation d'énergie et sa résistance aux variations de charge. Cependant, il peut être sensible aux chocs toxiques et au colmatage.

Le bio disque

Le bio disque est une méthode de traitement biologique des eaux usées qui repose sur l'utilisation de disques rotatifs en matériau poreux, tels que des plastiques ou des fibres synthétiques, sur lesquels des bactéries aérobies sont fixées. Les disques sont plongés dans un bassin rempli d'eau usée à traiter. Lorsque les disques tournent, ils sont arrosés en continu par l'eau usée, ce qui permet aux bactéries de dégrader les matières organiques présentes dans l'eau en utilisant de l'oxygène dissous. L'eau traitée est ensuite évacuée du bassin. Les avantages du bio disque sont sa compacité, son faible coût de maintenance, sa résistance aux variations de charge et sa capacité à traiter une grande quantité d'eau avec un encombrement réduit. Cependant, il peut être sensible aux chocs toxiques et nécessite une surveillance régulière pour éviter les problèmes de colmatage.

Culture libre

Le lagunage

Le lagunage, qui implique une culture libre des micro-organismes épurateurs, est une méthode d'épuration adaptée aux grands espaces tels que les étangs. Cette méthode présente des avantages économiques, avec des coûts de construction et de fonctionnement réduits, ainsi

qu'un rendement élevé et un fonctionnement relativement stable malgré une concentration en organismes épurateurs faible. (31)

La boue activée

Pour épurer les eaux usées, le procédé de boues activées repose sur la croissance et l'agrégation des micro-organismes présents dans l'eau résiduelle en présence d'oxygène pour former des floccs appelés "boues activées". Ces boues contiennent des bactéries qui se sont naturellement sélectionnées pour leur affinité avec les substrats organiques de l'eau. Les eaux usées qui entrent en contact avec ces boues sont dégradées plus efficacement que par les processus naturels. Ce procédé d'épuration aérobie hautement exothermique est rapide et efficace, mais il produit une grande quantité de boues, car une partie importante de la DCO est convertie en micro-organismes qu'il faut ensuite éliminer. Le procédé anaérobie convient mieux aux eaux industrielles car il fonctionne à haute température et avec une forte charge en substrat. (31)

Les processus biologiques d'épuration dépendent de deux catégories de bactéries, à savoir les hétérotrophes et les autotrophes, qui travaillent ensemble pour décomposer les trois formes de polluants suivantes :

La pollution carbonée

Les organismes hétérotrophes sont responsables de la dégradation de la pollution carbonée, ou DCO, en utilisant de l'oxygène dissous, qui est souvent introduit dans le milieu par aération forcée. Cette réaction entraîne une conversion rapide de la DCO en CO_2 , en eau et en bactéries, qui sont éliminées sous forme de boues excédentaires. Les bactéries se reproduisent rapidement, avec un temps de génération estimé entre 30 et 60 minutes.

La pollution azotée

Lorsque la pollution azotée est rejetée dans les cours d'eau, elle consomme une quantité considérable d'oxygène (4 mg d'oxygène par gramme d'azote), ce qui peut entraîner un risque de toxicité pour l'ammoniac et les nitrates. Pour éviter ce problème, il est nécessaire d'éliminer les molécules azotées. Ce processus se déroule en deux étapes :

1. **La nitrification** est une réaction qui transforme l'azote ammoniacal (NH_4^+) en nitrates (NO_3^-), grâce à des bactéries autotrophes qui utilisent l'ammoniac comme source d'énergie et le CO_2 comme source de carbone. Ces bactéries ont un temps de génération beaucoup plus long que les bactéries aérobies (environ 24 heures).
2. **La dénitrification** est effectuée par des bactéries hétérotrophes capables d'utiliser l'oxygène des nitrates comme accepteur d'électrons en l'absence d'oxygène dissous (anoxie) lors de la dégradation de la DCO. Ces nitrates sont réduits en diazote gazeux (N_2).

La pollution phosphorée : En général, l'élimination du phosphore est effectuée en amont grâce à certaines bactéries, telles que celles du genre *Acétobacter*. Ces bactéries sont capables d'accumuler de grandes quantités de phosphore sous forme d'ortho phosphates lorsqu'elles subissent un stress dû à l'alternance de phases aérobies et anaérobies. De plus, le phosphore peut être éliminé lors des prétraitements avant les procédés biologiques.

Les cultures libres impliquent l'utilisation de grands bassins où les boues sont laissées libres de se développer. Toutes les étapes biologiques peuvent être réalisées dans le même bassin biologique. Ainsi, l'aération du bassin est alternée pour séquencer les périodes d'aérobie et d'anoxie, permettant ainsi la nitrification, la dénitrification et la consommation de la DCO.

Cependant, pour permettre la nitrification, il est important que les temps de séjour soient suffisamment longs. Ainsi, pour optimiser le procédé, les différentes étapes peuvent être réalisées successivement dans trois bassins distincts. La recirculation d'une partie de ces boues permet de maintenir une quantité adéquate de boues activées dans le ou les bassins biologiques, ainsi que la dénitrification amont pour les traitements par boues activées. Les boues en excès doivent être traitées par différentes filières.

En général, la séparation des boues et de l'eau traitée se fait à l'aide d'une clarification secondaire, où les boues décantent et sont récupérées au fond. Elles peuvent ensuite être réintroduites dans le bassin biologique ou dirigées vers le traitement des boues.

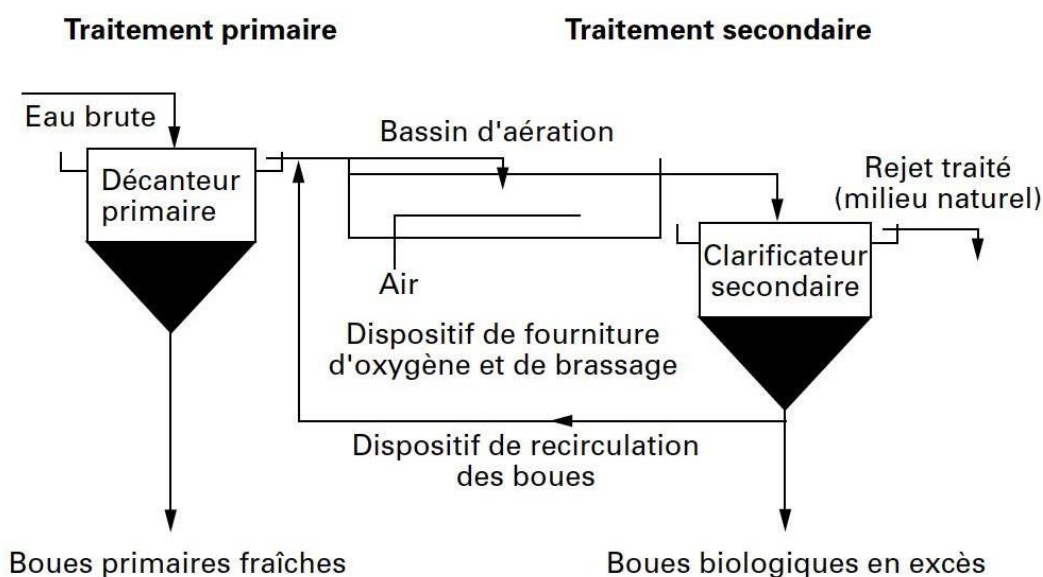


Figure 20: Principe de fonctionnement du procédé de traitement par boues activées

Au centre de carburants, un processus de traitement à culture fixée MBBR sera mis en place ; car ces dernières années, le traitement des eaux usées industrielle par le procédé de culture fixée MBBR (Moving Bed Bio-film Reactor) est de plus en plus répandu.

III.1.3.3 Traitement membranaire

Les membranes sont des matériaux qui présentent la propriété de limiter de manière sélective le transfert de différents constituants d'un fluide, permettant ainsi la séparation de certains éléments. Les techniques de séparation sur membrane incluent la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nano filtration (NF) et l'osmose inverse (OI). (32)

La microfiltration utilise des membranes poreuses dotées de micropores dont le diamètre se situe entre 0,1 et 10 micromètres. Bien que capable de retenir des particules aussi petites que 0,1 micromètre, cette technique ne permet de filtrer que les matières en suspension et les gros colloïdes. Elle n'affecte pas la composition ionique de l'eau, mais rejette les bactéries et tous les éléments présents sous forme particulaire. La force mécanique utilisée dans la microfiltration est généralement une pression hydrostatique allant de 0,1 à 2 bars. (32)

La technique d'ultrafiltration utilise des membranes poreuses dotées de pores dont le diamètre varie entre 1 nm et 0,1 μm , et est activée par une force mécanique. Elle permet la rétention de particules en suspension ainsi que de quelques macromolécules colloïdales pour la

plupart, et élimine également les algues. Les solutions de composés moléculaires ou ioniques, dont la masse moléculaire est comprise entre 106 et 1000 daltons, sont concernées par l'ultrafiltration. (32)

La nano filtration est un processus de séparation qui se situe entre l'ultra filtration et l'osmose inverse en termes de seuil de séparation. Il implique la filtration de l'eau sous pression à travers des membranes ayant un diamètre de pores d'environ 0,001 micron. La nano filtration permet de retenir la plupart des matières naturelles et une variété de sels. Cette technique est souvent utilisée pour l'adoucissement de l'eau ainsi que pour l'élimination des micropolluants organiques. (32)

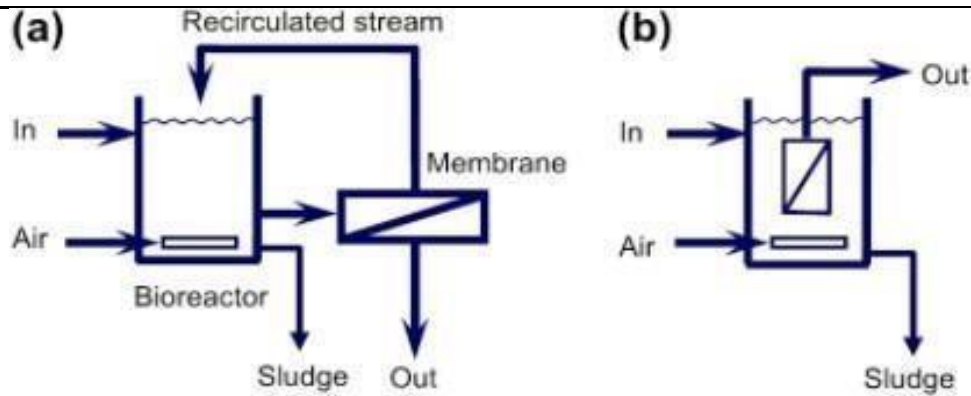
L'osmose inverse est un procédé de séparation qui repose sur les interactions physicochimiques entre le matériau de la membrane et les substances du milieu traité dans les micropores. Ces derniers ont un diamètre inférieur à 1,5 nanomètre. Cette technique utilise une force mécanique pour la séparation. Elle est adaptée aux composés ioniques ou moléculaires dont le poids moléculaire est inférieur à 100 daltons. (32)

Présentation du Bioréacteur

La technologie de Bioréacteur à Membrane (BRM) est le résultat de la combinaison d'un procédé de boues activées et d'une filtration sur membrane. Cette idée a émergé dans les années 1960. Le BRM est plus résistant aux variations de charge et garantit une qualité constante de l'effluent à la sortie du système de traitement. Il remplit deux fonctions en continu : une fonction d'épuration biologique et une fonction de clarification. L'élimination des polluants dissous et particulaire permet d'obtenir une eau traitée d'excellente qualité qui peut être réutilisée pour plusieurs applications. Deux types de BRM sont disponibles sur le marché : immergé et à boucle externe. (33)

Le BRM à boucle externe, la première génération, est constitué de membranes tubulaires installées dans des boucles externes. La biomasse circule à grande vitesse dans ces boucles pour limiter le colmatage des membranes et réduire les fréquences de lavages chimiques. La biomasse retenue par filtration membranaire est recyclée pour maintenir une concentration plus élevée dans le bioréacteur. Ce type de BRM est utilisé pour le traitement des eaux à températures élevées (>40°C) et à charges organiques élevées. Cependant, les inconvénients sont liés aux taux de cisaillement importants subis par la biomasse ainsi qu'à la consommation énergétique élevée, ce qui engendre des coûts de fonctionnement importants. (34)

Le BRM immergé est une configuration plus récente visant à réduire les coûts d'exploitation. Les membranes sont immergées dans le bioréacteur et sont généralement des fibres creuses ou des membranes planes. La filtration est accomplie par l'application d'une pression négative du côté permeat et par injection d'air directement sous le module membranaire et à l'intérieur du module membranaire afin de maintenir les particules en suspension et nettoyer la surface externe de la membrane. L'utilisation simultanée de plusieurs membranes est nécessaire pour avoir une surface membranaire élevée, ce qui nécessite des coûts d'installation plus élevés. Les membranes immergées nécessitent un capital d'installation élevé, mais elles apportent une réduction significative des coûts d'exploitation. Pour un bon transfert d'oxygène, le bioréacteur à membranes immergées nécessite de fines bulles d'oxygène, contrairement aux membranes qui nécessitent de plus grosses bulles pour garder une bonne perméabilité et réduire le phénomène de colmatage. (33)



**Figure 21 : a - Bioreacteur a membranes externes ;
b- Bioreacteur a membranes immergées**

Dans le but d'améliorer les conditions d'opérations, une troisième configuration a été proposée, dans laquelle la membrane est immergée dans un bassin externe au bioreacteur. Cela permet de maximiser la contrainte de cisaillement dans le voisinage de la membrane par la circulation de la boue d'une part et par l'aération des membranes d'autre part. Par conséquent, les phénomènes de cisaillement et de traitement biologique sont facilités, tout comme les phases de nettoyage chimique.

Avantages et limites du bioreacteur à membrane

Les utilisateurs de l'eau s'accordent sur les avantages des technologies membranaires dans le traitement des eaux usées, notamment les modules membranaires qui présentent de nombreux avantages par rapport aux procédés conventionnels de boues activées. Ces avantages sont répartis en trois catégories principales : l'installation, l'exploitation et le procédé.

L'avantage de l'installation est que les bioreacteurs à membrane n'ont pas besoin de bassin de décantation, contrairement à la boue activée classique. Ils sont également modulaires, ce qui permet une augmentation ou une réduction facile de la surface membranaire mise en jeu, en particulier dans le cas des bioreacteurs à membranes externes. Cela facilite l'implantation de ce procédé dans les installations existantes, notamment lors de la réhabilitation d'anciennes stations de traitement où les décanteurs peuvent être reconvertis en bassin tampon. (33)

Cependant, les phénomènes de polarisation de concentration et de colmatage sont considérés comme des limites majeures qui peuvent diminuer les performances des membranes. La polarisation de concentration est la conséquence de l'accumulation de composés au voisinage de la membrane. Toutefois, ce phénomène est réversible et peut être éliminé instantanément par une diminution de la pression transmembranaire ou un arrêt de la filtration.

- Le colmatage peut se manifester de trois manières différentes : l'adsorption des composés sur le matériau membranaire,
- Un colmatage en profondeur lorsque les composés à filtrer sont de taille inférieure à celle des pores de la membrane,
- le dépôt de particules à la surface de la membrane, formant un gâteau plus ou moins compact.

Ces trois formes de colmatage peuvent être éliminées par un lavage chimique, mais seulement dans le cas des membranes à fibres creuses.

Les autres technologies nécessitent un lavage chimique utilisant une solution acide pour éliminer le colmatage dû à la matière inorganique et un oxydant pour oxyder la matière organique. (33)

Le traitement des eaux usées à l'aide du BRM offre de nombreux avantages pour éliminer les polluants biodégradables et les micropolluants réputés difficiles à dégrader dans les systèmes classiques de traitement des eaux usées. Les études montrent que les taux d'élimination de la pollution organique et inorganique sont très élevés, mais cela dépend du type d'eau traitée, des composés organiques présents, du type de membrane utilisée et des conditions de traitement appliquées.

III.1.4 Le traitement tertiaire :

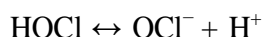
Le traitement tertiaire, également appelé traitement avancé, est généralement réalisé après un traitement biologique suivi d'une étape de séparation entre les solides et les liquides. Peut prendre différentes formes, telles que la déphosphatation, la désinfection, la réduction de l'azote ammoniacal ou encore la réduction de l'azote total.

Pour obtenir une désinfection des eaux usées, une grande variété de méthodes peut être utilisée :

- Méthodes chimiques, telles que la chloration ou l'ozonation.
- Méthodes physiques, telles que l'utilisation de rayonnement ultraviolet.
- Méthodes biologiques, telles que le lagunage.

III.1.4.1 Chloration :

Lors de la chloration pour la désinfection des eaux usées, le chlore est utilisé sous forme gazeuse (Cl_2) ou sous forme de sels d'hypochlorite. Le chlore gazeux réagit avec l'eau pour former de l'acide hypochloreux (HOCl), qui se dissocie rapidement pour donner des ions hypochlorites selon la réaction suivante :



Dans le traitement des eaux, le terme "chlore total" fait référence à deux composants distincts : le "chlore libre", qui est composé d'acide hypochloreux (HOCl) et d'ion hypochlorite (OCl^-), et le "chlore combiné", qui se présente sous forme de monochloramine (NH_2Cl), dichloramine (NHCl_2), trichloramine (NCl_3) et de molécules organochlorées.

La forme prédominante du chlore dépend de plusieurs paramètres tels que la température, le pH et les concentrations d'ammoniac.

Il est important de connaître la forme prédominante du chlore pour un processus spécifique de désinfection, car les différentes formes ont des capacités d'oxydation variables, ce qui affecte l'efficacité biocide.

La désinfection au chlore se produit principalement par l'oxydation des parois cellulaires, ce qui entraîne la lyse des cellules bactériennes ou l'inactivation des sites fonctionnels à leur surface.

III.1.4.2 Adsorption par charbon actif

L'utilisation de l'adsorption sur charbon actif est limitée dans le traitement principal des eaux usées polycontaminées, bien que sa capacité d'adsorption pour les composés chimiques soit élevée. Cependant, c'est une méthode privilégiée pour le traitement des eaux (potables, souterraines, etc.) contenant de faibles concentrations de polluants.

La capacité d'adsorption d'un charbon actif dépend de la distribution de la taille de ses pores, de la taille des molécules à traiter, de leur concentration, ainsi que d'autres paramètres tels que la température, la nature du solvant (eau ou effluent) et la force ionique. (36)

L'adsorption est le processus par lequel certains matériaux ont la capacité de retenir des ions ou des molécules à leur surface de manière plus ou moins réversible. Les médias utilisés dans ce contexte possèdent une structure poreuse qui leur confère une grande surface spécifique. Les substances indésirables se lient ainsi chimiquement et physiquement aux pores du média de filtration.

Une fois que le média d'adsorption est saturé, il est nécessaire de le régénérer. Cela implique l'application de traitements chimiques, physiques et/ou thermiques pour rompre les liaisons formées avec les éléments adsorbés et restaurer tout ou une partie de sa capacité d'adsorption. La régénération du média permet sa réutilisation, ce qui réduit les coûts de fonctionnement liés au remplacement du matériau.

Différents produits, qu'ils soient naturels tels que les zéolithes, les argiles, le charbon, ou de synthèse, peuvent être utilisés pour le traitement par adsorption. (37)

Le charbon actif est le plus souvent utilisé comme traitement de finition pour ramener les Teneurs (en DCO, ou d'autres composés organiques, etc...) à des valeurs conformes aux objectifs demandés ou sur des effluents spécifiques rejetés à faible débit.

Son utilisation pour traiter des effluents concentrés entraînerait une saturation rapide du charbon et une consommation importante (non viable économiquement).

III.1.4.3 Le rayonnement ultraviolet

La désinfection des eaux usées par le rayonnement ultraviolet (UV) est utilisée pour la désinfection des eaux usées, un processus physique qui consiste à faire passer les eaux usées à travers un canal ouvert équipé de lampes émettant des rayons ultraviolets. L'efficacité de la désinfection par UV dépend des caractéristiques physiques et chimiques des eaux usées avant le traitement. Une meilleure qualité des eaux usées permet d'obtenir une désinfection par UV plus efficace.

Cette méthode de désinfection présente plusieurs avantages intéressants. Sur le plan du traitement, elle est plus efficace que la chloration et la chloration-déchloration pour éliminer les virus, et aucun sous-produit n'est généré. Sur le plan environnemental, cette méthode n'a aucun impact négatif, car le rayonnement ultraviolet ne nécessite pas l'ajout de produits chimiques.

Cependant, l'efficacité de la désinfection diminue avec l'augmentation de la concentration des matières en suspension.

Sur le plan économique, les coûts sont comparables à ceux des systèmes de chloration/déchloration.

III.1.4.4 Ozonation

Tout comme le chlore, l'ozone est un oxydant. Sa capacité à agir rapidement et efficacement sur les bactéries et les virus, associée à une faible production de sous-produits indésirables, en fait un oxydant largement utilisé pour la désinfection. De plus, l'ozonation présente des avantages en termes de sécurité par rapport à la chloration, car elle n'exige pas le transport de produits chimiques. L'ozone est généré sur place à partir de dioxygène soumis à une décharge électrique.

Sur le plan environnemental, l'ozone est toxique pour la vie aquatique. Cependant, après le processus de désinfection, il est rare de trouver des résidus d'ozone significatifs, car il réagit rapidement avec les composés présents et se décompose rapidement en raison de son instabilité.

Cependant, les coûts élevés liés à l'investissement et à l'exploitation de l'ozonation posent un problème économique, ce qui rend cette méthode d'oxydation peu attrayante.

III.2 Traitement des boues

Les boues d'épuration sont principalement composées de :

- Particules solides qui n'ont pas été retenues par les prétraitements effectués en amont de la station d'épuration.
- Matières organiques qui n'ont pas été dégradées.
- Matières minérales.
- Micro-organismes, principalement des bactéries dégradatives.

Ces boues se présentent sous forme d'une substance épaisse, semblable à une "soupe épaisse". Elles subissent ensuite des traitements visant notamment à réduire leur teneur en eau.

Principales voies de traitement

Le traitement des boues d'épuration implique généralement une série d'opérations unitaires visant à réduire leur volume, à dégrader la matière sèche ou à les stabiliser.

La réduction de volume des boues d'épuration est généralement réalisée à l'aide d'opérations de séparation liquide/solide telles que la décantation, la filtration ou l'évaporation, qui sont utilisées dans les techniques d'épaississement, de déshydratation et de séchage thermique.

Par ailleurs, la dégradation des matières organiques des boues peut être obtenue par des processus biologiques (digestion, compostage) ou thermiques (incinération à 850°C, oxydation par voie humide de boues liquides épaissies sous 45 bar à 250°C), ce qui réduira également leur volume final. (38)

L'épaississement des boues

Concerne principalement les boues fraîches. Il consiste à concentrer les boues de 3 à 10 fois, passant de quelques g/L à quelques dizaines de g/L, en fonction du type de boue et du procédé utilisé. Cette opération peut être réalisée par épaississement gravitaire dans une structure cylindrique ou mécaniquement, à l'aide des méthodes suivantes :

- Table d'épaississement

-
- Tambour d'égouttage
 - Centrifugation
 - Flottation avec l'ajout d'un polymère organique à charge cationique. (38)

La déshydratation

Permet de poursuivre l'opération d'épaississement jusqu'à obtenir un état pâteux, où les boues ont une teneur en matière sèche de 15 à 35 %, selon le type de boue et l'équipement sélectionné. Elle est généralement réalisée à l'aide de moyens mécaniques tels que :

- La décanteuse centrifuge
- Le filtre à bande
- Le filtre-presse à plateaux

Ces techniques nécessitent l'ajout de polymères, de chaux ou de chlorure ferrique dans le cas des filtres à plateaux.

La déshydratation est souvent l'étape limitante du processus. Une teneur minimale en matière sèche peut être contractuellement imposée (généralement > 30 %) pour l'élimination des boues ou requise pour une incinération dans des conditions d'autocombustibilité. L'ajout de chaux, généralement de 200 à 600 kg de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ par tonne de matière sèche, est souvent pratiqué pour une stabilisation chimique des boues déshydratées. (38)

La stabilisation

Est réalisée en ralentissant, voire en supprimant, la dégradation putride des matières organiques présentes dans les boues. Cela peut être accompli par différentes méthodes, qu'elles soient biologiques, chimiques ou physiques, soit avant (phase liquide) ou après (phase pâteuse) l'étape de déshydratation.

Il existe deux approches distinctes de stabilisation :

- L'élimination ou la destruction accélérée et contrôlée d'une partie des matières organiques, en particulier celles qui sont sujettes à une décomposition bactérienne rapide.
- L'inactivation significative des agents pathogènes présents dans les boues responsables de leur fermentation.

Par ailleurs, les boues épaissies peuvent également être stabilisées. Cette opération permet de réduire la quantité de matières et de minimiser les nuisances olfactives et microbiologiques. La digestion anaérobie dans une installation avec un temps de séjour d'environ 20 jours reste la méthode la plus couramment utilisée. Après la déshydratation, le volume à évacuer est réduit d'environ un tiers. (38)

Séchage :

Le processus de séchage permet de réduire considérablement le volume des boues, atteignant plus de 60 %, voire même 90 % de siccité, si nécessaire. Il peut également être utilisé en combinaison avec un four pour atteindre une siccité supérieure à 30 %, afin de rendre les boues auto-combustibles. (38) **l'incinération**

Permet de réduire la quantité finale de boues en ne laissant que les matières minérales. Elle peut être réalisée sur le site de l'usine d'épuration ou être co-incinérée avec les ordures ménagères (OM) dans certaines conditions, notamment lorsque le four se trouve à proximité.

Valorisation de boues :

La valorisation doit être systématiquement recherchée pour les autres produits issus du traitement des boues. Cela comprend :

- La valorisation énergétique lors de l'incinération des boues.
- La valorisation du biogaz produit lors de la méthanisation.
- La valorisation des composés carbonés, azotés et phosphorés par l'épandage des boues ou de produits dérivés du compostage des boues (notamment, le co-compostage avec des déchets verts, du bois et des boues) sur les sols agricoles.

Nous allons maintenant examiner en détail les différents procédés de traitement et de valorisation.

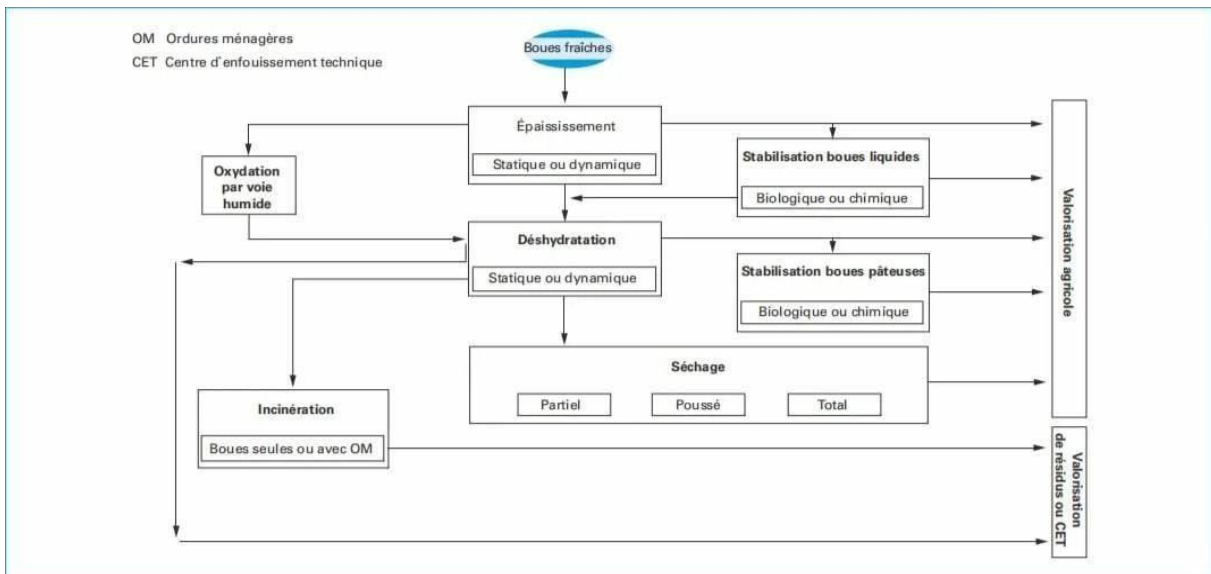


Figure 22 : Enchaînement des opérations unitaire du traitement des boues (38)

Conclusion

En continuant à développer et à mettre en œuvre des procédés de traitement des eaux usées industrielles innovants et efficaces, nous contribuons à promouvoir une utilisation durable des ressources en eau, à réduire l'impact sur l'environnement et à préserver la santé publique. En conclusion, la mise en œuvre de procédés de traitement des eaux usées industrielles adéquats est essentielle pour une gestion durable de l'eau et la préservation de notre environnement.

Chapitre V La réutilisation des eaux usées épurées

IV. La réutilisation des eaux usées épurées

Introduction :

La réutilisation des eaux usées traitées, également connue sous le nom de REUT, consiste à récupérer ces eaux traitées et, si nécessaire, à leur appliquer un traitement supplémentaire pour les utiliser à diverses fins. L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est de fournir des quantités supplémentaires d'eau de qualité en accélérant le processus naturel de purification de l'eau. Cela contribue également à maintenir l'équilibre du cycle de l'eau et à protéger l'environnement.

La réutilisation des eaux usées traitées est un enjeu politique et socio-économique crucial pour le développement futur des services d'eau potable et d'assainissement. Elle présente l'avantage de fournir une ressource alternative, de préserver plus efficacement les ressources naturelles et de contribuer à la gestion intégrée de l'eau.

IV.1 Réutilisation des eaux usées

La réutilisation de l'eau implique l'utilisation d'eau traitée à des fins pratiques telles que l'irrigation agricole et le refroidissement dans le secteur industriel. L'eau récupérée est un effluent qui a été traité pour atteindre une qualité adaptée à une utilisation spécifique. La réutilisation directe se réfère à un système dans lequel l'eau récupérée est transportée vers les points d'utilisation. La réutilisation indirecte, quant à elle, concerne la libération de l'effluent dans des eaux réceptrices telles que les eaux de surface ou les nappes souterraines, où il est ensuite assimilé et prélevé en aval. Cela ne correspond pas à une réutilisation directe planifiée de l'eau.

La plupart des stations de traitement des eaux usées effectuent un traitement secondaire, qui ne garantit pas l'élimination de toutes les bactéries et microbes. Par conséquent, ce type d'eau n'est pas recommandé pour l'irrigation des cultures agricoles destinées à être consommées crues.

Les principales méthodes de réutilisation des eaux usées traitées sont les suivantes :

- **La réutilisation directe** : cela implique l'utilisation immédiate des eaux usées traitées sans qu'elles soient diluées ou rejetées dans le milieu naturel.
- **La réutilisation indirecte** : cela implique que les eaux usées traitées soient rejetées et diluées dans le milieu naturel, comme un cours d'eau, un barrage ou une nappe d'eau souterraine, avant d'être réutilisées. (39)

IV.2 Catégories d'utilisation :

IV.2.1 La réutilisation de l'eau à des fins d'approvisionnement en eau potable :

La réutilisation **directe** à des fins d'approvisionnement en eau potable se réfère à l'utilisation directe d'eau récupérée sans qu'elle retourne dans le milieu naturel. Les eaux usées traitées sont acheminées directement de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable, dans un système connu sous le nom de "pipe to pipe". Cependant, cette approche de réutilisation sans passer par le traitement supplémentaire offert par le milieu naturel est déconseillée et doit être utilisée uniquement en dernier recours.

La réutilisation **indirecte** à des fins d'approvisionnement en eau potable consiste à augmenter les sources d'eau potable en utilisant des eaux récupérées qui ont subi un traitement avancé. La réutilisation est considérée comme indirecte et non planifiée lorsque les eaux usées

traitées sont rejetées dans un cours d'eau ou une réserve souterraine qui alimente une usine de traitement sans que cela soit intentionnel. Cette forme de réutilisation est à la limite de la définition de la réutilisation des eaux usées.

La réutilisation est considérée comme indirecte et planifiée lorsqu'elle implique le rejet délibéré d'effluents d'une station en amont d'une usine de traitement, au niveau d'un plan d'eau ou d'une nappe souterraine qui sert de réservoir naturel ultime avant le pompage et le traitement. La production d'eau potable est le résultat le plus extrême de la réutilisation des eaux usées traitées, et elle est principalement mise en œuvre dans les zones arides ou semiarides.

IV.2.2 Réutilisation dans le secteur industriel

La réutilisation des eaux usées et le recyclage interne dans le secteur industriel sont désormais des réalités techniques et économiques. Dans les pays industrialisés, l'eau recyclée couvre 85 % des besoins en eau globaux. Les secteurs tels que les centrales thermiques et nucléaires utilisent une grande quantité d'eaux usées pour le refroidissement.

La qualité de l'eau réutilisée dépend du secteur industriel ou de la production spécifique. Les applications sont diverses et les secteurs où la réutilisation est pratiquée peuvent être classés en fonction des différentes catégories d'activités industrielles telles que le secteur chimique, le secteur agroalimentaire, le secteur des industries mécaniques et métallurgiques. En tant que plus grand consommateur d'eau, le secteur industriel a commencé à utiliser les eaux usées municipales pour répondre à ses besoins dès les années 1940. Les eaux usées récupérées sont utilisées dans des domaines tels que la construction et l'industrie, notamment pour :

Le lavage des agrégats, la fabrication du béton, le nettoyage des équipements, l'alimentation des tours de refroidissement, le nettoyage des cheminées, l'alimentation des chaudières et l'eau de processus (à l'exclusion de la transformation des aliments).

Cependant, les exigences en matière de qualité de l'eau varient selon l'industrie, car les changements de composition chimique de l'eau peuvent influencer les procédés utilisés.

Les préoccupations liées à la qualité de l'eau dans la réutilisation et le recyclage industriels incluent généralement le tartre, la corrosion, la croissance bactérienne, l'encrassement, la formation de mousse et les impacts potentiels sur la santé des travailleurs dus à l'inhalation d'aérosols contenant des composés organiques volatils ou des agents pathogènes microbiologiques.

IV.2.3 La réutilisation dans irrigation :

La réutilisation des eaux usées est principalement axée sur les utilisations agricoles, ce qui constitue la majorité des projets en la matière. Dans le domaine agricole, la réutilisation des eaux usées présente des avantages tels que l'amélioration des rendements des cultures et des bénéfices financiers. L'irrigation des cultures et des espaces verts est la méthode la plus couramment utilisée pour la réutilisation des eaux usées urbaines, et elle est également considérée comme une solution prometteuse à court et moyen terme à l'échelle mondiale.

La réutilisation agricole des eaux usées implique l'utilisation, traitées ou non, de ces eaux pour répondre aux besoins en irrigation des activités agricoles. Cela permet de préserver les ressources hydriques en amont et de réduire la pollution en aval. De plus, les eaux usées épurées peuvent souvent servir de source d'éléments nutritifs pour les cultures.

La réutilisation des eaux usées est une pratique largement répandue dans les régions confrontées à une pénurie de ressources en eau, notamment au Japon, dans le bassin méditerranéen (Tunisie, Chypre, Espagne), aux États-Unis (notamment en Californie), en Asie et dans le golfe Persique. L'irrigation peut augmenter la productivité des activités agricoles de 100% à 400% et permettre la culture de certaines plantes dans des régions où les conditions environnementales ne sont pas favorables. Cependant, l'agriculture est responsable de 70% des prélèvements d'eau, un chiffre qui atteint 95% dans certains pays en développement. Par conséquent, la réutilisation des eaux usées constitue une approche naturelle pour réduire les impacts sur l'environnement et fournir des nutriments essentiels, notamment l'azote et le phosphore, pour la fertilisation des sols. (40)

La FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) a établi une classification des cultures en fonction du niveau de risque pour les consommateurs et les agriculteurs.

Cette classification comprend différentes catégories, dont voici l'une d'entre elles :

Risque faible :

Cultures industrielles non destinées à la consommation humaine, telles que le coton, le sisal.

Les légumes et les fruits cultivés spécifiquement dans le but d'être mis en conserve ou soumis à un autre traitement capable de détruire efficacement les germes pathogènes.

Risque moyen :

- Pâturages et cultures fourragères herbacées
- Cultures destinées à la consommation humaine qui ne sont pas directement en contact avec des eaux usées, à condition qu'aucun produit ne soit ramassé sur le sol et que l'irrigation par aspersion ne soit pas utilisée (par exemple, arboriculture, vignes)
- Cultures destinées à la consommation humaine après cuisson (par exemple, pommes de terre, aubergines, betteraves)
- Cultures destinées à la consommation humaine dont la peau n'est pas consommée (par exemple, agrumes, bananes)
- Toutes les cultures non identifiées comme "Risque élevé" si l'irrigation par aspersion est utilisée.

Risque élevé :

- Tous les aliments consommés crus ou cultivés en contact direct avec les effluents (par exemple, la laitue et les carottes)
- L'irrigation par aspersion, quelle que soit la culture, à moins de 100 mètres des zones résidentielles ou des lieux accessibles au public.

IV.3 Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie

La pratique de la réutilisation des eaux usées en agriculture remonte à des temps anciens. Dès les années 1990, des programmes de construction et de modernisation d'installations de traitement destinées à la réutilisation des eaux usées en irrigation ont été mis en place, selon le MRE (Ministère des Ressources en Eau). (40)

La contribution de la réutilisation des eaux usées en irrigation peut être estimée en comparant le volume réutilisé avec l'allocation des ressources en eau. Dans la région hydrographique Chelif, cette contribution s'élève à 13,37%, tandis qu'elle atteint 21,4% dans la région hydrographique Constantine-Seybousse-Mellegue et 34,92% dans la région hydrographique Oranie-Chott-Chergui. Cette dernière région est nettement déficitaire en pluviométrie par rapport aux autres régions du nord de l'Algérie (environ 400 mm/an).

La réutilisation des eaux usées en irrigation devient même prédominante avec un ratio de 45% voire 100% dans le cas du périmètre de Mléta, situé dans la région de l'Oranie occidentale algérienne.

Par ailleurs, la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit prioritairement cibler les zones présentant des déficits en eau conventionnelle. Parmi les stations d'épuration exploitées par l'ONA (Office National de l'Assainissement) dans les 43 wilayas (provinces), quelques-unes sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture.

En 2011, environ 17 millions de mètres cubes d'eau réutilisée ont été utilisés pour irriguer plus de 10 000 hectares de terres agricoles.

Ce potentiel de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles a connu une évolution significative, avec environ 17 millions de mètres cubes enregistrés en 2011, environ 45 millions de mètres cubes en 2012 et 300 millions de mètres cubes en 2014. Un projet visant à élaborer des normes algériennes et un guide technique pour les bonnes pratiques de la réutilisation des eaux usées à des fins agricoles est actuellement en cours d'approbation par l'Institut Algérien de Normalisation.

Au cours du mois de février 2018, un volume de 1,5 million de mètres cubes d'eaux épurées provenant de 17 stations d'épuration a été utilisé pour l'irrigation de 11 062 hectares de terres agricoles, ce qui représente un taux de réutilisation de 40% du volume épuré par ces 17 stations et 9% du volume total épuré par l'ensemble des 146 stations en exploitation par l'ONA (ONA, 2018).

Selon l'ONA (2019), pour le mois de janvier 2019, la gestion et l'exploitation de 153 stations d'épuration comprennent 75 stations à boues activées, 75 stations de lagunage et 3 filtres plantés. La capacité totale installée de ces 153 stations est de 10 .

- Réutilisation municipale

La réutilisation des eaux usées épurées en milieu urbain est une pratique répandue et diversifiée. En Algérie, les eaux usées épurées sont principalement réutilisées par la protection civile, qui utilise un volume mensuel de 18 763 m³ d'eau usée épurée provenant de la station d'épuration de Tipaza pour la lutte contre les incendies. De plus, les collectivités locales récupèrent 12 m³ d'eaux épurées par mois à partir de la station d'épuration de Boumerdès pour le nettoyage de la ville

- Réutilisation industrielle

Dans certains pays, l'eau recyclée répond à 85% des besoins totaux en eau de l'industrie. La réutilisation des eaux usées en milieu industriel peut se faire dans divers secteurs, tels que l'énergie (systèmes de refroidissement fermés ou ouverts), les laveries industrielles, les stations de lavage de voitures, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles,

d'électronique, de semi-conducteurs, etc. En Algérie, un exemple notable est celui de la station d'épuration de Jijel, qui fournit un volume de 15 000 m³ d'eau usée par mois à la tannerie de Jijel. (39)

IV.4 Risques Lies A La Réutilisation Des Eaux Usées

IV.4.1 Risques sur le milieu naturel

L'utilisation d'eau usée peut également entraîner des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine. Les principaux risques environnementaux liés à l'eau usée comprennent :

- L'introduction de produits chimiques dans des écosystèmes sensibles, tels que le sol, l'eau et les plantes.
- La propagation de micro-organismes pathogènes.

IV.4.2 Impacts sur le sol

Ces effets sont particulièrement importants pour les agriculteurs car ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et les rendements de leurs terres. Il est essentiel que le sol conserve un bon niveau de fertilité chimique et physique pour permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes qui peuvent affecter les sols agricoles sont les suivants :

- La salinisation, qui se traduit par une accumulation excessive de sels dans le sol.
- L'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol, qui peuvent altérer sa structure et sa capacité à retenir l'eau.
- L'accumulation d'éléments potentiellement toxiques, tels que les métaux lourds, qui peuvent compromettre la qualité des cultures.
- L'accumulation excessive de nutriments, ce qui peut entraîner des déséquilibres nutritionnels et des problèmes de gestion des fertilisants.

IV.4.3 Impacts sur les eaux souterraines

Dans certaines situations, les effets sur les eaux souterraines peuvent être plus significatifs que les effets sur le sol. Il est possible que les constituants des eaux usées polluent les eaux souterraines. La contamination des eaux souterraines est influencée par trois facteurs : les caractéristiques du sol, la nature des roches sous-jacentes et la structure de la nappe phréatique.

IV.4.4 Risques associés à la réutilisation des eaux épurées en agriculture

Lors de la réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation des terres agricoles, il est important de prendre en compte les risques suivants :

Le risque microbiologique, lié à la présence de micro-organismes pathogènes ;

Le risque chimique, dû à la présence de produits chimiques pouvant affecter la qualité des sols et des cultures ;

Le risque environnemental, qui concerne les effets potentiels sur les écosystèmes et les ressources naturelles. (42)

Impact microbiologique :

Dans le contexte de l'agriculture, les micro-organismes pathogènes d'origine animale ne sont pas capables de pénétrer ou de survivre à l'intérieur des plantes. Ils se retrouvent plutôt à la surface des plantes et du sol. Les feuilles et les plantes créent un environnement frais, humide (en raison de l'évaporation) et protégé du soleil. Par conséquent, il est possible qu'une contamination se produise pendant la croissance des plantes ou lors de la récolte. Les pathogènes ont tendance à survivre plus longtemps dans le sol que sur les plantes. **Impact chimique**

Outre l'effet global de certains composants de l'eau usée sur les cultures irriguées, tels que la salinité, il existe un risque potentiel de toxicité liée à une concentration élevée de certains éléments, tels que le bore et certains métaux lourds.

Le niveau de risque associé aux métaux lourds dépend de leur toxicité potentielle ainsi que du degré d'exposition. Il est important de noter que certains métaux sont essentiels à la croissance des plantes. Ces métaux peuvent être éliminés efficacement par des traitements physiques tels que la décantation et sont souvent récupérés dans les boues.

Les métaux suivants ne sont pas indispensables pour les végétaux, mais ils ne présentent pas de danger pour l'utilisation agricole. Le plomb (Pb) est fixé au sol et par conséquent ne pénètre pas dans les plantes. Le sélénium (Se), l'étain (Sn) et le mercure (Hg) sont présents à de très faibles teneurs dans les eaux épurées pour poser des problèmes sanitaires. Le chrome (Cr), sous forme ionique (Cr^{3+}), est peu toxique et n'est pas absorbé par les végétaux.

Les métaux lourds indispensables pour les végétaux, mais dont l'utilisation en agriculture pose des problèmes sont le cuivre, le Molybdène et le Zinc.

Les métaux lourds non indispensables au développement des végétaux, et qui sont dangereux d'un point de vue sanitaire sont l'arsenic, le nickel, et le Cadmium. Le nickel est peu toxique, mais il s'accumule facilement dans les tissus végétaux. (42)

Conclusion

La réutilisation des eaux usées traitées offre une opportunité précieuse de valoriser une ressource hydrique abondante, réduisant ainsi la dépendance aux ressources hydriques conventionnelles, telles que les eaux de surface et souterraines, qui sont souvent vulnérables. Les eaux usées épurées sont actuellement considérées comme une ressource alternative renouvelable très recherchée par les agriculteurs, les industriels et les collectivités locales.

Chapitre VI

Dimensionnement des ouvrages de la STEP

V. Dimensionnement des ouvrages de la STEP

Introduction

La complexité du traitement des eaux résiduaires du centre carburant résulte des différents types de contaminants et des variations dans les débits et la qualité de l'eau entrante. Un dimensionnement précis et efficace de la station de traitement peut permettre une réduction significative des coûts et une amélioration de l'efficacité du traitement. Il est important de prendre en compte les normes environnementales et les réglementations en vigueur afin de s'assurer de la conformité de la station d'épuration et de minimiser l'impact environnemental de l'industrie pétrolière.

V.1 Caractéristiques des eaux usées de centre carburant :

Les résultats des études réalisées par l'institution ONEDD, qui se consacre à fournir aux autorités publiques ainsi qu'aux individus des services hautement performants, visant à améliorer la qualité de vie et de l'écosystème. Ces efforts sont centrés sur la préservation de la pureté de l'air et de l'eau. Comme en tant qu'instrument technique de contrôle du Ministère de l'Environnement (ME), intervient à travers le territoire national dans les opérations de contrôle et de caractérisations réglementaires des effluents industriels (air, eau, déchets).

Tableau 5 : Caractéristique des eaux usées de centre carburant NAFTAL

Caractéristique	Unité	Valeurs
Ph		9.5
Température	°C	11.5
Conductivité	ms/cm	4.9
DCO	mg/l	1200
DBO5	mg/l	680
Rapport DCO/ DBO ₅		2.3
MES	mg/l	300
Huiles et graisses	mg/l	150
Azote total	mg/l	70
Phosphore total	mg/l	0.3
Hydrocarbures	mg/l	85
Chrome 3+	mg/l	<0.2
Chrome 6+	mg/l	<0.05
Plomb	mg/l	0.02
Débit moyen Journalier	m ³ /j	550

Les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels :

PARAMETRES	UNITE	VALEURS LIMITES	TOLERANCE AUX VALEURS LIMITES

Débit d'eau	m ³ /t	1	1.2
Température	C°	30	35
PH	-	5,5 - 8,5	5,5 - 8,5
DBO5	mg/l	30	35
DCO	//	100	120
MES	//	30	35
Azote total	//	20	25
Huiles et graisses	//	15	20
Phénol	//	10	10
Hydrocarbures	//	15	20
Plomb	//	0.5	1
Chrome 3+	//	0.05	0.3
Chrome 6+	//	0.1	0.3

Les analyses de rejets révèlent les composés spécifiques présents dans les effluents industriels. Cela aide à identifier les sources de pollution et à prendre des mesures ciblées pour réduire les émissions de polluants.

V.2 Évaluation des charges polluantes

La charge polluante = Concentration (mg/l) x Qrej (l/j)

Calcul de la charge polluante de la DCO :

$$C_{DCO} = \frac{1500 \times 550}{1000}$$

$$C_{DCO} = 825 \text{ kg/j}$$

Calcul de la charge polluante de la DBO5

$$C_{DBO5} = \frac{680 \times 550}{1000}$$

$$C_{DBO5} = 374 \text{ kg/j}$$

Calcul de la charge polluante de l'azote total :

$$C_{AT} = \frac{70 \times 550}{1000}$$

$$C_{AT} = 38.5 \text{ kg/j}$$

Calcul de la charge polluante de MES

$$C_{MES} = \frac{300 \times 550}{1000}$$

$$C_{MES} = 165 \text{ kg/j}$$

Calcul de la charge polluante des Hydrocarbures Totaux :

$$C_{HT} = \frac{85 \times 550}{1000}$$

$$C_{HT} = 46.75 \text{ kg/j}$$

Calcul de la charge polluante des huiles et graisses :

$$C_{H \text{ et } G} = \frac{150 \times 550}{1000}$$

$$C_{H \text{ et } G} = 82.5 \text{ kg/j}$$

Calcul de la charge polluante du phosphore total

$$C_p = \frac{0.3 \times 550}{1000}$$

$$C_p = 0.165 \text{ kg/j}$$

Tableau 6 : paramètres de base du dimensionnement de la STEP

Paramètre	Unité	Valeur
Q_{Rej}	m ³ /j	550
DBO5	kg/j	374
DCO	Kg/j	825
NT	Kg/j	38.5
P	Kg/j	0.165
MES	Kg/j	165
Huiles et graisses	kg/j	82.5
Hydrocarbures totaux	Kg j	46.56

V.3 Dimensionnement des ouvrages de la Station d'épuration :

D'après les données du projet réaliser le débit de rejet industriel égal :

$$Q_{rej} = 550 \text{ m}^3 / \text{j} = 6,36 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}.$$

Calcul de biodégradabilité :

Le rapport entre la DCO et La DBO5 est souvent utilisé pour évaluer la biodégradabilité des effluents .

$$\frac{DCO}{DBO5} = \frac{1500}{650} = 2.3$$

ce qui signifie une biodégradabilité moyenne nécessitant donc un traitement physico chimique

Schéma du traitement des ERU du centre des carburants :

1. Un bassin d'homogénéisation ;
2. Un prétraitement (Dégrillage, Flottation) ;
3. Traitement primaire (Coagulation-Floculation-Décantation) ;
4. Un traitement biologique (traitement membranaire)
5. Traitement de boues (Épaississement, Digesteur)

V.3.1 Le Prétraitement :**V.3.1.1 Dimensionnement du bassin d'homogénéisation :**

Un réservoir de grande capacité conçu pour mélanger les eaux usées brutes afin de garantir une qualité uniforme et une charge hydraulique constante pour le traitement ultérieur. L'objectif principal du bassin d'homogénéisation est de minimiser les fluctuations de débit et de charge organique pour réduire les risques de colmatage et d'obstruction dans les équipements de traitement en aval.

Nous avons dimensionné le volume de ce bassin de manière sécurisée, en prévoyant une capacité pouvant contenir 150% du volume total d'effluents générés par jour.

Le volume du bassin d'homogénéisation :

$$V = 150\% \times 550$$

$$V = 1.5 \times 550$$

$$V = 825 \text{ m}^3$$

Pour une hauteur de 2.5 m

La surface du bassin d'homogénéisation :

$$S = \frac{V}{H}$$

$$S = \frac{825}{2.5}$$

$$S = 330 \text{ m}^2$$

Le diamètre du bassin d'homogénéisation :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}}$$

$$D = 20.5 \text{ m}$$

Le temps de séjour du bassin d'homogénéisation :

$$T_{s=Q} = \frac{V}{Q} \times 24$$

$$T_s = 36 \text{ h}$$

Tableau 7: Les résultats de dimensionnement de bassin d'homogénéisation

Paramètres	Unité	Valeur
Volume	m ³	550
Surface	m ²	825
Diamètre	m	20.5
Temps de séjour	h	36

Conclusion :

Dans notre cas, le bassin d'homogénéisation a été dimensionné pour contenir 150% du volume total d'effluents afin d'assurer une marge de sécurité suffisante. Il est important de surveiller régulièrement le fonctionnement du bassin et de maintenir un temps de rétention suffisant pour permettre une homogénéisation optimale.

V.3.1.2 Le dégrilleur :

Pour dimensionner un dégrilleur, on doit déterminer la surface de la grille qui a pour rôle d'éliminer les déchets solides relativement volumineux. La formule est donnée par KIRCHMER :

$$S = \frac{Q_{rej}}{a \times V_e \times c}$$

Avec :

- S : surface de la grille.
- V_e : Vitesse de l'écoulement à travers la grille (m/s) ; tel que V_e = (0,6 à 1,4) m/s.
- a : Coefficient de passage libre donné par la relation suivante :

$$a = \frac{d}{d+e}$$

- d : diamètre des barreaux de la grille.
- e : espacement entre les barreaux.

Tableau 8: Espacement et épaisseurs des barreaux

Paramètres	Grilles grossières	Grilles fines
------------	--------------------	---------------

d (cm)	2,00	1,00
e (cm)	5 à 10	0,3 à 1

C : Coefficient de colmatage dépendant de la qualité de l'eau et du système de reprise des Résidus, Généralement :

C = 0,25 si le dégrillage est manuel.

C = 0,5 si le dégrillage est automatique.

Dans notre cas **on prend la grille automatique** donc : **C = 0,5**

Pour la grille fine

Calcul de la surface de grille :

La surface :

$$S = \frac{Q_{rej}}{a \times v \times c}$$

Avec :

$$a = \frac{d}{d+e}$$

On prend : d=1 et e=0.5

$$a = \frac{1}{1+0.5} = 0.67$$

Donc :

$$S = \frac{Q_{rej}}{a \times v \times c} = \frac{0.00636}{0.67 \times 1 \times 0.5} = 0.019 \text{ m}^2$$

Calcul de la largeur de la grille

On utilise la même méthode pour le calcul de la largeur

$$L = \frac{S \times \sin \alpha}{h_{max} \times (1-a) \times C} = \frac{0.019 \times \sin \alpha}{h_{max} \times (1-a) \times C} = 0.124 \text{ m}$$

Tableau 9: Dimensionnement de dégrilleur fin

Grille fine		
Épaisseur des barreaux d	cm	1
Espacement des barreaux e	cm	0,5
a	/	0,67
Largeur de la grille	m	0,124
Surface de la grille	m ²	0,019

h_{\max}	m	0,8
------------	---	-----

Remarque :

Après résultats de dimensionnement ; on a choisi un dégrilleur commercialisé avec une surface de la grille normalisée .

Voici le dégrilleur choisie :

Dégrilleur Escalier**Caractéristiques:**

- Dégrillage fin entre 3 et 6 mm
- Faible émission sonore
- Structure lamelles en acier inoxydable
- Possibilité d'intégration en caisson

V.3.1.3 Le bassin de flottation :

L'objectif du dimensionnement est d'obtenir un bassin de flottation qui garantit une performance optimale en termes d'élimination des hydrocarbures et de graisses, tout en minimisant la consommation d'énergie et la production de boues.

Le volume du bassin de flottation :

La vitesse d'ascension des bulles d'air injectées, cette vitesse est calculée par la formule de Stokes et sa valeur optimale est comprise entre 4 et 6 m/h

Q_h : débit horaire de l'eau usée

V_{as} : Vitesse ascensionnelle de la bulle de gaz injecté.

$$S = \frac{Q_h}{V_{as}}$$

$$S = \frac{23}{4}$$

$$S = 5.75 \text{ m}^2$$

Le diamètre du bassin de flottation :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 5.75}{\pi}}$$

$$D = 2,82 \text{ m}$$

Le temps de séjour du bassin de flottation :

Le temps de séjour doit être suffisamment long pour permettre la formation et la montée des bulles d'air ; Cependant, il ne doit pas être trop long pour éviter une surcharge de matières en suspension dans le flottateur.

En général, le temps de séjour pour un flottateur varie entre 1 h à 1:30h.

Conclusion :

La flottation permet un abattement de 90% sur les graisses .

V.3.2 Le traitement physico-chimique :

V.3.2.1 Le réacteur de coagulation : Le volume de bassin de coagulation :

$$V_{RC} = Q_{rej} \times T_{contact} \text{ Avec}$$

:

Q_{rej} : le débit de rejet en m³/s

$T_{contact}$: temps de séjour, on prend $T_c=3$ min.

$$V_{rc} = 0.00636 \times 3 \times 60 = 1.2 \text{ m}^3$$

Pour une hauteur de $H = 2$ m

On obtient une surface : $S = \frac{V}{H} = 0.6 \text{ m}^2$

$$S = 1 \text{ m}^2$$

Le diamètre du réacteur de coagulation :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 1}{\pi}} \quad D = 1.12 \text{ m, on prend } D = 1.2 \text{ m}$$

Tableau 10: Dimensionnement du réacteur de coagulation

Paramètre	Unité	Valeur
Volume	m	1.2
Hauteur	m	2
Surface	m ²	1
Diamètre	m	1.2
Temps de contact	min	3

V.3.2.2 Le réacteur de floculation :

Floculation pour but d'améliorer la probabilité de contact entre les particules colloïdales déstabilisées et leur agglomération, afin d'augmenter leur taille, leur poids et leur cohésion. L'objectif final de la floculation est de faciliter la séparation des particules plus grosses et plus lourdes de l'eau, permettant ainsi leur élimination efficace.

Volume du réacteur de floculation :

$$V_f = Q_{rej} \times T_s$$

Ts, également appelé temps de rétention hydraulique, est le temps nécessaire pour que les particules en suspension dans l'eau soient complètement agglomérées en floccs plus gros et plus facilement séparables.

En général, le temps de séjour de floculation doit être compris entre 30 et 60 minutes.

On prend **Ts= 30 min**

$$V_f = 0.00636 \times 30 \times 60 = 11.44 \text{ m}^3$$

La hauteur du réacteur est : **3 m**

La surface du réacteur de floculation :

$$S = \frac{11.44}{3}$$

$$S = 3.81 \text{ m}^2 \quad S = 4 \text{ m}^2$$

Le diamètre du réacteur de floculation :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 4}{\pi}} = 2.25 \text{ m}$$

Tableau 11 : Dimensionnement du réacteur de floculation

Paramètre	Unité	Valeur
Volume	m ³	11.44
Hauteur	m	3
Surface	m ²	4
Diamètre	m	2.25
Temps de passage	min	30

V.3.2.3 Le décanteur primaire

Les principaux paramètres de calcul du décanteur sont :

-La charge superficielle (vitesse de chute) C_v est entre 1 et 2,5 m/h.

-Le temps de séjours est compris T_s entre 1 et 3 heures.

La hauteur d'eau dans l'ouvrage H est entre 2 et 6m

Surface horizontale du décanteur :

$$S_h = \frac{Q}{v_c}$$

$$S_h = 13.46 \text{ m}^2$$

Le volume du décanteur primaire :

$$V_d = Q_{rej} \times T_s$$

On prend $T_s = 2h$

$$V_d = 45.8 \text{ m}^3$$

Pour la hauteur :

$$H = \frac{V}{sh} = 3.40 \text{ m}$$

On prend : $H = 3.5 \text{ m}$

Le diamètre du bassin de décantation :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times V}{H}} = \sqrt{\frac{4 \times 45.8}{3.5}}$$

$$D = 7.23 \text{ m}$$

$$D = 7.25 \text{ m}$$

Calcul de la charge polluante éliminée :

Il permet d'estimer l'efficacité de la décantation primaire par l'élimination de la charge polluante de taux de 90% de MES, 75% de DBO5 et DCO.

Lors du processus de décantation, les particules solides en suspension, telles que les matières organiques et les sédiments, se déposent au fond du bassin de décantation. Ces matières solides, qui sont éliminées du flux d'eau, sont appelées matières décantables.

Les charges de pollution à l'entrée du décanteur sont :

• **DBO5 entrées = 374 kg/j = 650 mg/l.**

• **MES entrées = 165 kg/j = 300 mg/l.**

• **DCO entrées = 825 kg/j = 1500 mg/l.**

Les charges éliminées par la décantation primaire sont :

• **DBO5 éliminée = 0,75 × DBO5 entrées = 0,75 × 374 = 280.5 kg/j = 510 mg/l**

• **MES éliminée = 0.90 × MES entrées = 0.90 × 165 = 148.5 kg/j = 270 mg/l**

• **DCO éliminée = 0.75 × DCO entrées = 0.75 × 825 = 618.75 kg/j = 1125 mg/l** Les

charges à la sortie du décanteur primaire sont :

• **DBO5 sorties = DBO5 entrées - DBO5 éliminée = 374 - 280.5 = 93.5 kg/j = 170 mg/l**

• **MES sorties = MES entrées - MES éliminée = 165 - 148.5 = 16.5 kg/j = 30 mg/l**

• **DCO sorties = DCO entrées - DCO éliminée = 825 - 618.75 = 206.25 kg/j = 374.45 mg/l**

Tableau 12: les résultats de dimensionnement du traitement physico-chimique

Désignation	Unité	Résultat	Concentration (mg/l)
Décanteur primaire			
Débit	m ³ /s	6.36*10 ⁻³	-
Surface horizontale	m ²	13.46	-
Volume	m ³	45.8	-

Hauteur	m	3.5	-
Diamètre	m	7.23	-
Bassin de coagulation			
Surface horizontale	m ²	1	
Volume	m ³	1.2	
Hauteur	m	2	
Diamètre	m	1.2	
Bassin de floculation			
Surface horizontale	m ²	4	
Volume	m ³	11.4	
Hauteur	m	3	
Diamètre	m	2.25	
MES entrées	Kg/j	165	300
DBO5 entrées	Kg/j	374	650
DCO entrées	Kg/j	825	1500
MES éliminée	Kg/j	148.5	270
DBO5 éliminée	Kg/j	280.5	510
DCO éliminée	Kg/j	618	1125
MES sorties	Kg/j	16.5	30
DBO5 sorties	Kg/j	93.5	170
DCO sorties	Kg/j	206	374.45

Traitement biologique

V.3.2.4 Le Bioréacteur à membrane :

Un Bioréacteur à membrane peut être une solution efficace pour le traitement des eaux usées générées par le district carburant Naftal, permettre de se conformer aux réglementations environnementales.

En effet, le procédé éprouvé et fiable, a démontré une grande efficacité dans la destruction des polluants, avec des résultats significatifs.

Assure la dégradation tels que les hydrocarbures, les métaux lourds et les composés azotés.

Permet de réduire le volume de bassin et par la suite un gain d'espace pour le centre.

et ce processus dépend de plusieurs facteurs :

La biodégradabilité des effluents et la nature de rejet

Le dimensionnement de BAM :

Pour les effluents industriels, est très pratiqué le fonctionnement à très haute densité cellulaire.

Le temps de séjour est relativement court, ce qui permet de gagner en compacité par rapport à un procédé à boue activée.

Dans notre cas des effluents, Le BAM fonctionne selon un principe de très haute densité, avec un temps de séjour relativement court . Cette approche permet de gagner en compacité par rapport aux procédés à boues activées. En revanche, la concentration en biomasse dans le BRM est maintenue à un niveau très élevé, ce qui permet d'atteindre des temps de rétention cellulaires importants et de réduire de manière significative la production de boues.

On prend :

Un faible âge de boue, un temps de séjour de boue égale **15 jours**. Ce qui permet de réduire le rendement de production de boues de 45 %.

La concentration en biomasse dans le bassin, en 10[gMS/m³]

Le rendement de production de boue :

$$Y = \frac{Y_H}{1 + \theta_B \times K_d} Y_H$$

Avec :

θ_B : le temps de séjour de la biomasse ou âge des boues .

K_d : par le concept de maintenance, $K_d=0,04 \text{ j}^{-1}$ à 15 C°

Y_H : par le concept de décès, $Y_H=0.44 \text{ gMVS/Gdco}$

$$Y = \frac{0.44}{1 + 15 \times 0.04} = 0.28 \text{ KgMVS/KgDCO}$$

La production de boue :

$$m_{\text{boue}} = Y \times Q \times (\text{DCO}_{\text{entrée}} - \text{DCO}_{\text{sortie}})$$

Avec :

Q : Débit à l'entrée de réacteur des effluents .

Y : Rendement de production de boues.

$$m_{\text{boue}} = 0,28 \times 550 \times (374.45 - 100) \times 10^{-3} =$$

$$m_{\text{boue}} = 42,26 \text{ Kg/j.}$$

Calcul de débit de purge :

Il faut noter que : $\frac{Q_p}{Q} = \frac{Y \times S_e \times S}{X}$

Avec :

Q_p : Débit de purge des boues.

m_{boue} : La production des boues.

X : Concentration de la biomasse.

S_e : Concentration de la DCO entrée (mg/l).

S : Concentration de la DCO dans le perméat (mg/l).

Donc : $Q_p = \frac{m_{\text{boue}}}{X} = \frac{42,26}{10}$

$$Q_p = 4,23 \text{ m}^3/\text{j}$$

Le volume du réacteur :

$$V = Q_p \times \theta_B = 4,23 \times 15 = 63,45 \text{ m}^3$$

Le temps de séjour hydraulique :

$$\theta_H = \frac{V}{Q}$$

$$\theta_H = \frac{63,45}{23} = 2,75 \text{ h}$$

La charge massique :

$$C_m = \frac{Q \times S_e \times S}{V \times X} = 32,45 \times 10^3 \text{ kg DCO} \cdot \text{kg}^{-1} \text{MVS} \cdot \text{j}^{-1}$$

La charge volumique :

$$C_v = \frac{Q \times S_e \times S}{V} = 32,45 \times 10^3 \text{ kg DCO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{J}^{-1}$$

Discussion sur les résultats obtenus :

Conduit le procédé choisie a des valeurs moyennes d'âge de boues et de concentration en biomasse . Il représente un compromis qui permet de réduire dans une certaine mesure la production de boues et de diminuer les coûts d'investissement et de fonctionnement lié à la séparation membranaire et a l'aération.

Parametre	Valeur
Le rendement de production de boue	0.28 KgMVS/KgDCO
La production de boue	42,26 Kg/j
Débit de purge des boues	4,23 m ³ /j
Le volume du réacteur	63,45 m ³
La charge massique	32.45 ×10 ³
La charge volumique	32.45 ×10 ³
Le temps de séjour hydraulique	2.75 h

V.3.2.5 Le module membranaire :

Pour mon étude, j'ai choisi d'utiliser une membrane d'ultra filtration à fibre creuses (ZW-1). Selon le fabricant, la membrane est d'organiques précisément en Pvdf : polyfluorure de vinylidene.

La membrane est immergée dans le Bioréacteur, et fonctionne en configuration externeinterne, c'est à dire le passage de flux d'eau se fait à l'extérieur de la membrane vers l'intérieur . La filtration est pseudo frontale et elle est réalisée par intermittence c'est à dire 1 min de filtration suivie de 20 s de pause afin d'imposer des temps de relaxation à la membrane.

La relaxation contribue à la maîtrise du colmatage . La membrane permet la séparation de l'effluent traité de la biomasse épuratrice (séparation S/L).

Les caractéristiques de la membrane sont résumés au tableau :

Tableau 13: Caractéristiques du module membranaire (ZW-1)

Caractéristiques	Unité	Valeur
Diamètre nominale des pores	µm	0.04
Longueur du module	cm	17.5
Diamètre du module	cm	5.8
Volume de rétention	ml	10
Surface de la membrane	m ²	0.047

Débit brut du perméat produit par module :

Il faut noter dans ce tableau les paramètres de fonctionnement et de régénération dans des Bioréacteur immergées.

Tableau 14: Fonctionnement et régénération dans les bioréacteur immergés

Paramètre opératoire de filtration	Gamme	Conditions particulières
Flux brut de perméat	10-40 l. h ⁻¹ . m ⁻²	

Aération	0.006-0.01 m ³ .m ⁻² .min ⁻¹	continue
Durée de filtration	9-16 minutes	
Temps de relaxation	30s-2 minute	
Rétro lavage	15-45 s	Avec ou sans maintien de l'aération peut suivre une relaxation.

À partir du tableau de la formulation associé à la filtration membranaire :

$$Q_p \text{ brut} = J(T) \times A$$

Avec :

Qp brut : Flux volumique total de perméat

J(T) : flux de production du perméat par module. D'après le tableau.

On prend :

$$J(T) = 20 \text{ l/h.m}^2$$

A : surface de la membrane (m²)

$$A = 0.047 \text{ m}^2$$

$$Q_p \text{ brut} = 40 \times 0.047 = 2 \text{ l/h}$$

Calcul du débit net produit par module :

La membrane d'ultra filtration à fibre creuses (ZW-1) fonctionne avec relaxation.

$$Q_{p \text{ net}} = \frac{T_{\text{filtration}}}{T_{\text{filtration}} \times T_{\text{relaxation}} + T_{\text{filtration}}} \times Q_p \text{ brut}$$

On prend :

$$T_{\text{filtration}} = 16 \text{ minutes}$$

$$T_{\text{relaxation}} = 2 \text{ minutes}$$

$$Q_{p \text{ net}} = \frac{16}{2+16} \times 2 = 0.033 = 0.033 \text{ l/ min}$$

$$Q_{p \text{ net}} = 1.8 \text{ l/h}$$

Le nombre de module :

$$N = E \left(\frac{J_s}{J_{p \text{ net}}} + 1 \right)$$

Avec : **E** : fraction entière.

$$E=10$$

Js : flux du perméat (10 – 40 l/h.m²)

$$Js=40 \text{ l/h.m}^2$$

$$J_{pent}=38.29 \text{ l/h.m}^2$$

$$N = E \left(\frac{Js}{J_{pnet}} + 1 \right)$$

$$N = 21 \text{ modules}$$

V.3.2.6 La quantité des boues en excès :

La formule d'Eckenfelder est utilisée pour calculer la quantité de boues en excès :

$$\Delta X = X_{min} + X_{dur} + (a_m \times L_e) - (b \times X_t) - X_{eff}$$

Il s'agit des différentes variables utilisées dans le calcul de la quantité de boues en excès, selon la formule d'Eckenfelder. Voici la signification de chacune de ces variables :

- **a_m** : coefficient de rendement cellulaire (g cellulaires formées/g DBO₅éliminées)
- **b**: fraction de la masse cellulaire éliminée par jour en respiration endogène
- **X_{min}** : masse de **MES** minérale de l'eau brute évaluée à 30% de totale
- **X_{dur}**: masse de **MVS** difficilement biodégradable évaluée à 17.5 % de **MES** totales ;
- **X_t** : masse totale en MVS dans le bassin (Kg).
- **X_{eff}** : : boues sortantes avec l'effluent de **DBO₅ = 30 mg/l**.

On prend :

$$a_m = 0,50 \quad b = 0,06$$

$$X_{min} = 0.3 \times 16.5 = 5 \text{ kg/j}$$

$$X_{dur} = 0.21 \times 16.5 = 3.46 \text{ kg/j}$$

$$X_t = \frac{L_0}{cm} = \frac{93.5}{1.5} = 62.33 \text{ kg}$$

$$b \times X_t = 0,06 \times 62.33 = 3.73 \text{ kg/j}$$

$$a_m \times L_e = 0.5 \times 89.76 = 44.88 \text{ kg/j}$$

$$X_{eff} = 30 \times 10^{-3} \times Q_{rej} = 16.5 \text{ kg/j}$$

$$\Delta X = 5 + 3.46 + 44.88 - 3.73 - 16.5 = 33.11 \text{ Kg/j}$$

Rendement épuratoire :

$$R = \frac{L_0 - L_f}{L_0} = \frac{650 - 6.8}{650} = 0.98 \times 100 = 98 \%$$

L_0 : la concentration de DBO_5 entrée (mg/l).

L_f : la concentration de DBO_5 sortie (mg/l).

Calcul de la charge polluante éliminée :

$$\text{DBO}_5 \text{ entrées} = 93.5 \text{ Kg/j} =$$

$$\text{DCO entrées} = 206.25 \text{ Kg/j} =$$

$$\text{NT entrées} = 38.5 \text{ Kg/j} =$$

Les charges éliminées par le Bioréacteur à membrane :

$$\text{DBO}_5 \text{ éliminées} = 0,96 \times \text{DBO}_5 \text{ entrées} = 0,96 \times 93.5 = 89.76 \text{ Kg/j} = 163.2 \text{ mg/l.}$$

$$\text{DCO éliminées} = 0,86 \times \text{DCO entrées} = 0,86 \times 206.25 = 177.37 \text{ Kg/j} = 322,5 \text{ mg/l.}$$

$$\text{NTK éliminées} = 0,87 \times \text{NTK entrées} = 0,87 \times 38.5 = 33.5 \text{ Kg/j} = 60.90 \text{ mg/l.}$$

Les charges à la sortie du Bioréacteur à membrane sont donc :

$$\text{DBO}_5 \text{ sorties} = \text{DBO}_5 \text{ entrées} - \text{DBO}_5 \text{ éliminées} = 93.5 - 89.76 = 3.74 \text{ Kg/j} = 6.8 \text{ mg/l.}$$

$$\text{DCO sorties} = \text{DCO entrées} - \text{DCO éliminées} = 206.25 - 177.37 = 28.63 \text{ Kg/j} = 52.05 \text{ mg/l.}$$

$$\text{NTK sorties} = \text{NTK entrées} - \text{NTK éliminées} = 38.5 - 33.5 = 5 \text{ Kg/j} = 9.1 \text{ mg/l.}$$

Tableau 15: les résultats de dimensionnement de Bioréacteur à membrane

Désignation	Unité	Résultat	Concentration (mg/l)
DBO_5 entrées	Kg/j	93.5	170
DCO entrées	Kg/j	206.25	374.45
NTK entrées	Kg/j	38.5	70
DBO_5 éliminées	Kg/j	89.76	163.2
DCO éliminées	Kg/j	177.37	322.5
NTK éliminées	Kg/j	33.5	60.90
DBO_5 sorties	Kg/j	3.74	6.8
DCO sorties	Kg/j	28.63	52.05
NTK sorties	Kg/j	5	9.1

Conclusion :

Le Bioréacteur à membrane est aujourd'hui une réalité industrielle. Dans tous les cas, à charge volumique comparable, le BAM permet des performances épuratives globales supérieures, notamment par le fait d'une rétention totale des matières en suspension.

Cette originalité confère au BAM un avantage indéniable au travers de la faible turbidité de l'eau produite et de l'élimination poussée des germes qui autorisent une possibilité de réutilisation directe des eaux traitées.

V.3.3 Traitement des boues

Les boues sont considérées comme la menace environnementale la plus importante en raison de leur caractère toxique et dangereux. Conformément à la réglementation en vigueur, ces boues doivent être gérées de manière appropriée et ne doivent en aucun cas être rejetées dans la nature. La valorisation de ces déchets est une solution supplémentaire qui peut également présenter un avantage économique. Dans cette optique, nous proposons une stratégie de valorisation pour les boues dans le domaine du génie civil.

Notre travail consiste à développer un traitement adéquat pour ces boues, suivi de la valorisation du matériau traité dans le domaine du génie civil. Cette approche permet de répondre aux exigences environnementales tout en créant de la valeur économique pour le matériau traité.

Le traitement proposé en vue de leur valorisation :

1. l'épaississement
2. La digestion
3. La stabilisation et la solidification.

V.3.3.1 l'épaississeur :

L'épaississement vise à réduire le volume des boues générées pendant le processus de traitement permet de concentrer les boues en augmentant leur teneur en matières sèches, ce qui facilite leur traitement ultérieur.

$$Q_{\text{boue}} = \frac{\Delta X}{S}$$

Avec :

ΔX : la quantité de boue produite en excès

$$\Delta x = 33.1 \text{ Kg/j}$$

S : La concentration de la boue (10 à 30g/l)

$$Q_{\text{boue}} = \frac{33.1}{25} = 1.324 \text{ m}^3/\text{j}$$

Le volume de l'épaississeur :

$$V = Q_{\text{boue}} \times T_s = 1.324 \times 2 = 2.648 \text{ m}^3$$

Ts : temps de séjours = 2j

La surface horizontale de l'épaississeur : Pour une profondeur de H = 2 m

$$Sh = \frac{v}{h} = \frac{2.648}{2} = 1.30 \text{ m}^2$$

Le diamètre d'épaississeur :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Sh}{\pi}}$$

$$D = 1.28 \text{ m}$$

V.3.3.2 Le digesteur :

Le débit arrivant au digesteur :

Dans le but de réduire le volume des boues et d'augmenter leur concentration, les boues épaissies sont envoyées au digesteur avec une concentration de 80 g/l.

$$Qd = \frac{\Delta X}{80} = 0.41 \text{ m}^3/\text{J}$$

Le temps de séjour du digesteur :

$$Ts = 175 \times 10^{(-0.03 \times t)} = 15.60 \text{ Jours}$$

Le volume du digesteur

$$Vd = Qd \times Ts = 0.41 * 15,6 = 6,396 \text{ m}^3$$

Le diamètre de digesteur :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times vd}{\pi \times H}} = 2.01 \text{ m avec :}$$

$$H = 2\text{m}$$

$$Sh = 3.17 \text{ m}^2$$

V.3.3.3 Déshydratation et conditionnement :

Cette étape permet de réduire la teneur en eau des boues, ce qui facilite leur stockage, leur transport et leur élimination ultérieure. La déshydratation peut être réalisée par différents procédés.

Dans notre cas, On a choisi d'appliquer la déshydratation mécanique par Filtre à bande.

V.3.3.4 Stabilisation solidification

La technique de solidification vise à améliorer les caractéristiques physiques des déchets afin de faciliter leur stockage, entre autres. Le procédé de stabilisation/solidification par un liant hydrocarboné est particulièrement intéressant, car il permet de réduire considérablement les rejets toxiques des déchets avant leur stockage ou leur utilisation. Le principe de ce procédé consiste à mélanger les déchets avec différents réactifs solides et liquides qui remplissent deux fonctions essentielles :

1. Solidification : Le mélange de déchets réactifs doit durcir avec le temps pour former une masse solide. Ce processus transforme les déchets en une structure solide, sans modifier leur potentiel de danger intrinsèque. L'objectif est de conférer aux déchets une structure physique solide afin de limiter au maximum leur dispersion dans l'environnement. Une faible perméabilité et une surface exposée réduite ralentissent la migration des substances chimiques solubles lors de la lixiviation.

2. Stabilisation : Les espèces chimiques présentes dans les déchets doivent être immobilisées. Ce processus consiste à retenir physiquement ou chimiquement les polluants dans une matrice solide. En ajoutant les réactifs appropriés, certaines espèces chimiques peuvent être transformées en composés peu solubles ou retenues par des mécanismes d'adsorption, d'échange d'ions ou d'autres réactions chimiques.

Le résultat de ces deux fonctions permet de limiter la dispersion des polluants dans l'environnement. L'un des procédés les plus couramment utilisés consiste à incorporer les déchets ultimes dans un liant hydrocarboné, ce qui permet à la fois la stabilisation et la solidification.

Ces procédés doivent donc atteindre les objectifs suivants :

- Transformer les déchets en une forme solide plus facile à transporter et à stocker.
- Réduire la surface d'exposition des contaminants à l'environnement.
- Limiter la solubilité des contaminants en cas de contact avec un liquide lixiviant.

Ce processus est réalisé par l'ajout d'un liant hydrocarboné, qui agglomère les différentes parties composantes des déchets. Par exemple, les bitumes peuvent être utilisés comme liant hydrocarboné dans ce procédé.

Chapitre VII

Calcul Hydraulique

VI. Calcul hydraulique

Introduction :

Le calcul hydraulique vise à déterminer les dimensions optimales des canalisations reliant les différents ouvrages de la station d'épuration. Il permet également de créer un profil hydraulique de la station, ce qui implique la détermination des niveaux d'eau dans les différents ouvrages et la localisation de la ligne piézométrique tout au long de la station.

VI.1.1.1 Dimensionnement des stations de relevage :

Le volume du bassin :

Pour le dimensionnement du bassin d'aspiration de forme rectangulaire on utilise le débit maximal rejetée par l'usine, Donc il faut calculer le volume de bassin :

$$V = \frac{t_s \times Q_{rej}}{4(N-1)}$$

Q_{rej} : Le débit de pointe par temps sec (m^3/s).

t_s : L'intervalle entre deux démarrages successifs de la pompe qui varie (6-20) min

$t_s=8$ min n : Nombre de pompe

$$V = \frac{8 \times 60 \times 0.00636}{4(2-1)}$$

$$V = 0.76 \text{ m}^3$$

La surface du bassin :

On prend: $H=2$ m

$$S = \frac{V}{H} = \frac{0.76}{2} = 0.38 \text{ m}^2$$

Pour un bassin rectangulaire :

$$b = 0.44 \text{ m et } L = 0.88 \text{ m}$$

On prend :

$$b = 0.5 \text{ m et } L = 1 \text{ m}$$

VI.2 Calcul du diamètre de la conduite de refoulement :

La conception de la conduite de refoulement dépend principalement de la vitesse d'écoulement. La vitesse de refoulement doit être : inférieure à 2 m/s.

Au-delà, les pertes de charge deviennent très importantes. Si la vitesse de refoulement est inférieure à 0.6 m/s, il y a risque de sédimentation et d'encrassement de la canalisation, ce qui crée des réductions de la section, perturbant l'écoulement et augmentant les pertes de charge .

Le diamètre de la conduite :

La conduite de refoulement vers l'ouvrage d'entrée le bassin de flottation sera calculé par la formule de Bonin.

$$D_{cr} = \sqrt{Q_{rej}t} \text{ (m)}$$

$$D_{cr} = \sqrt{0.00636} = 0.079 \text{ m}$$

Le diamètre normalisé est : **D = 80 mm**

La vitesse d'écoulement :

$$V = \frac{Q \times 4}{D^2 \times \pi} = \frac{0.00636 \times 4}{\pi \times 0.08^2}$$

$$V = 1.26 \text{ m/s}$$

Calcul de la hauteur manométrique de la pompe :

$$H = H_g + \sum h_p \text{ lin} + \sum h_p \text{ sin} + P_{exh}$$

Avec :

H : pertes de charge totale dans la conduite sous pression, **m** ;

H_g : différence des cotes (partie souterraine et surface), **m**

ΔH: $\sum h_p \text{ lin} + \sum h_p \text{ sin}$: pertes de charge linéaire et singulière.

P_{exh}: pression à l'exaure

$$P_{exh} (1:1.5) \text{ m}$$

Les pertes de charge en longueur feront :

Le refoulement se fera avec une conduite de **D= 80mm** et d'une longueur de 8m vers le dégrilleur.

D'après les cotes moyennes du terrain naturel d'implantation des ouvrages de la station :

$$H_g = H_2 - H_1$$

Avec :

H_g : Hauteur géométrique

- **H₂** : côte au niveau de la bache de réception

- H_1 : côte au niveau de l'ouvrage d'entrée (dégrilleur).

$$H_g = 85.60 - 83.2$$

$$H_g = 2.4 \text{ m}$$

Nous avons choisi l'acier comme matériau pour notre conduite suite comme réseau de transport des carburants par pipeline ; car il présente une bonne caractéristique du point de vue flexibilité et durabilité.

Avec :

Tableau 16: Les valeurs de K, m et β

Tuyau	K	m	β
Acier	0,00179 à 0,001735	5,1 à 5,3	1,9 à 2
Fonte	0,00179 à 0,001735	5,1 à 5,3	1,9 à 2
Amiante ciment	0,00118	4,89	1,85
Plastique	0,001052	4,774	1,77

Pour l'acier :

□ □

- $K=0.001760$
- $m=5.2$
- $\beta=2$

L'expression de perte de charge linéaire s'écrit :

$$\Delta H \text{ lin} = \frac{K \times L \times Q^\beta}{D^m}$$

Avec :

- **K** : coefficient de perte de charge ($K = 0.001760$).
- **Q_{tp}** : débit totale pompé □ **L** : longueur de la conduite. □ **D** : diamètre de la conduite.
- **β** : coefficient dépendant le régime d'écoulement.
- **m** : coefficient dépendant du type de matériau de la conduite.

$$\Delta H = \frac{0.001760 \times 8 \times (0.00636)^2}{0.08^{5.2}} = 0.28 \text{ m}$$

$$HMT = 2.4 + 0.28 + 1.5 = 4.18 \text{ m}$$

VI.3 Choix de la pompe :

On utilise des pompes d'assainissement pour le relevage des eaux usées de puisard vers l'ouvrage d'entrée. Donc pour choisir le type de pompe on utilise le catalogue Caprari (Logiciel Caprari).

On opte de choisir deux pompes identiques :

Une pompe pour le fonctionnement et une autre pour le secours, type KCD300R 22062RN-E.

VI.4 Profil hydraulique :

Le profil hydraulique consiste à calculer les différents niveaux d'eau le long de la chaîne de traitement, puis relier ces niveaux par une ligne appelée ligne piézométrique.

Côtes du terrain des zones d'implantation des ouvrages Les côtes sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 17: cotes moyennes du terrain naturel d'implantation des différents ouvrages de la station.

Designation des ouvrages	Côtes du terrain naturel (m)
Dégrilleur	85.60
Bassin de flottation	84.35
Bassin de décantation	83.85
Bassin de coagulation floculation	83.9
Bioréacteur à membrane	83.8

VI.5 Dimensionnement des conduites reliant les différents ouvrages :

L'expression de perte de charge est exprimée par la formule de DARCY WEISBACH :

$$\Delta H = \frac{K \times L \times Q^{\beta}}{D^m} = C_{PA} - C_{PB}$$

C_{PA} : côte du plan d'eau au point A.

C_{PB} : côte du plan d'eau au point B.

Diamètre :

$$D = \sqrt{\frac{K \times L \times Q^{\beta}}{C_{PA} - C_{PB}}}$$

Longueurs des conduites :

Dans notre cas on a :

Tableau 18: longueurs théoriques supposées des conduites entre les ouvrages de la STEP

Tronçon -1- : Dégrilleur – Bassin de flottation	6
Tronçon -2- : Bassin de flottation– Bassin de coagulation floculation	12
Tronçon -3- : Bassin de coagulation floculation– Bassin de décantation	10
Tronçon -4- : Bassin de décantation - Réacteur a membrane	10

Calculs des cotes piézométriques des différents ouvrages :

On calcule les côtes piézométriques d'après la formule de Bernoulli qui est donnée par : P_1/W

$$+ V_1^2 / 2g + Z_1 = P_2/W + V_2^2 / 2g + Z_2 + H_{1-2}$$

$P_1/\rho g$ et $P_2/\rho g$: énergies de pression dans les sections (1) et (2).

$V_1/2g$ et $V_2/2g$: énergies cinétiques en (1) et (2).

Z_2 et Z_1 : Côtes des points (1) et (2).

ΔH_{1-2} : pertes de charges dans le tronçon (1-2).

La variation de vitesse est très faible, donc les énergies cinétiques peuvent être éliminées il vient :

$$P_1/\rho g + Z_1 = P_2/\rho g + Z_2 + \Delta H_{1-2} \text{ On}$$

pose :

$$P_1/\rho g = H_1 \text{ et } P_2/\rho g = H_2$$

Donc :

$$H_1 + Z_1 = H_2 + Z_2 + H_{1-2}$$

$$C_{P1} = H_1 + Z_1$$

$$C_{P2} = H_2 + Z_2$$

$$C_{p1}' = C_{p2}' + \Delta H_{1-2}$$

VI.6 Calcul des diamètres des conduites reliant les ouvrages et les côtes piézométriques :

La conduite de Dégrilleur – Bassin de flottation :

Cote du radier du dégrilleur (A) : 85.60 m

Hauteur d'eau : 0,5 m

D'où : $C_{PA} = 85.60 + 0,5 = 86.1$ m

Cote du radier du Bassin de flottation (B) : 80.85 m

Hauteur d'eau : 1,5 m

D'où : $C_{PB} = 80.85 + 1,5 = 82.35 \text{ m}$ L

= 6m.

Diamètre :

$$D = m \sqrt{\frac{K \times L \times Q^\beta}{C_{PA} - C_{PB}}} = m \sqrt{\frac{0.001760 \times 6 \times 0.00636^\beta}{86.1 - 82.35}} = 0.04 \text{ m} \quad \text{DN} = 50 \text{ mm}$$

Cote piézométrique :

$$C_{PB}' = C_{PA}' - \frac{K \times L \times Q^\beta}{D^m} = 84.50 \text{ m}$$

Conduite bassin de flottation - bassin de décantation :

$C_{PA}' = 84.50 \text{ m}$

Cote de radier du bassin de décantation (B) : 80.85 m

Hauteur d'eau : 3 m

D'où : $C_{PB} = 80.85 + 3 = 83.85 \text{ m}$

$L = 12 \text{ m}$

Diamètre :

$$D = m \sqrt{\frac{K \times L \times Q^\beta}{C_{PA}' - C_{PB}}} = m \sqrt{\frac{0.00176 \times 12 \times 0.00636^\beta}{84.50 - 83.85}} = 0.179 \text{ m}$$

$D = 180 \text{ mm}$

Côte piézométrique : $C_{PB}' = 84.01 \text{ m}$

Bassin de décantation – floculation coagulation :

$C_{PA}' = 84.01 \text{ m}$

Cote de radier de bioréacteur (B) : 81.7m

Hauteur d'eau : 2.5 m

D'où : $C_{PB} = 81.40 + 2.5 = 83.9 \text{ m}$

$L = 10 \text{ m}$

Diameter:

$$D = m \sqrt{\frac{K \times L \times Q^\beta}{C_{PA}' - C_{PB}}} = m \sqrt{\frac{0.00176 \times 10 \times 0.00636^\beta}{84.01 - 83.9}} = 0.100 \text{ m}$$

DN=120mm

Cote piézométrique : $C_{PB}' = 84.007 \text{ m}$

Bassin de coagulation-floculation – Bioréacteur à membrane :

$C_{PA}' = 84.007 \text{ m}$

Cote de radier de bioréacteur (B) : 81.30 m

Hauteur d'eau : 2,5 m

D'où: CPB= 81.30+2,5 = 83.8 m

L = 10 m

Diamètre : $D = m\sqrt{\frac{0.00176 \times 10 \times 0.00636^\beta}{84.007 - 83.8}} = 0.22 \text{ m}$ DN= 250 mm

$C_{PB}' = 84.003$

Tableau 19: récapitulatif des différentes cotes des ouvrages de la STEP.

Designation	Cote du radier (m)	Cote de terrain (m)	Plan d'eau (m)	Cote piézométrique (m)
Dégrilleur	85.60	85.60	0,5	86.1
Bassin de flotation	80.85	84.35	1.5	84.50
Bassin de coagulation flocculation	82.28	83.85	3	84.01
Bassin de décantation	81.70	83.9	2.5	84.007
Bioréacteur à membrane	81.30	83.8	2.5	84.003

Conclusion

Le chapitre sur le dimensionnement des ouvrages de la station d'épuration des eaux usées (STEP) et le calcul hydraulique a permis d'explorer les aspects clés liés à la conception et à la planification de ces infrastructures cruciales.

Une approche précise, basée sur des données fiables et des modèles appropriés, permettra de garantir l'efficacité et la fiabilité du système, tout en contribuant à la protection de l'environnement et à la préservation des ressources en eau.

Chapitre VIII

Gestion et entretien de la STEP

82

VII. Chapitre VIII Gestion et entretien de la STEP

Introduction

Pour assurer la durabilité de la STEP à long terme, il est essentiel de mettre en place une gestion efficace et un entretien régulier de ces installations.

Ce chapitre se concentre sur les stratégies et les pratiques visant à assurer la durabilité des stations d'épuration des eaux usées. Nous aborderons les principaux aspects liés à la gestion et à l'entretien, en mettant l'accent sur les mesures préventives, les bonnes pratiques et les innovations technologiques.

VII.1 La gestion de la station d'épuration

Une exploitation efficace d'une Station d'Épuration des Eaux Usées implique une combinaison de tâches liées au fonctionnement du système de traitement et à l'entretien de l'infrastructure. Voici les tâches associées à chaque partie :

VII.1.1 Fonctionnement du système de traitement

- Surveillance des paramètres :

Il est essentiel de mesurer et de contrôler régulièrement les paramètres clés tels que :

le débit d'entrée et de sortie,

la concentration de polluants

le niveau d'oxygène dissous,

le Ph...

Cela permet de suivre l'efficacité du traitement et d'apporter les ajustements nécessaires.

- Réglage des processus :

En fonction des valeurs des paramètres mesurés, des actions correctives peuvent être entreprises pour optimiser les différentes étapes du processus de traitement, comme l'aération, la clarification, la filtration, etc.

- Prévention des pannes :

La détection précoce des problèmes potentiels et la mise en œuvre de mesures préventives aident à éviter les pannes et à maintenir une performance optimale du système de traitement.

- Suivi des réglementations :

Il est important de s'assurer que les rejets de la STEP respectent les normes et réglementations environnementales en vigueur. Cela peut nécessiter des analyses régulières des échantillons d'effluents et la génération de rapports conformes.

VII.1.2 Entretien de l'infrastructure :

- Maintenance préventive :

Il est nécessaire de mettre en place un calendrier d'entretien régulier pour inspecter, nettoyer et réparer les équipements et les installations de la STEP. Cela inclut les pompes, les conduites, les réservoirs, les dispositifs de contrôle, les systèmes électriques, etc.

- Réparations et remplacements :

En cas de défaillance ou d'usure des équipements, des travaux de réparation ou de remplacement doivent être effectués pour assurer le bon fonctionnement de l'infrastructure de la STEP.

- Gestion des déchets :

La STEP génère également des déchets, tels que les boues résiduelles, qui doivent être traités et éliminés conformément aux réglementations appropriées.

- Suivi des performances :

Il est important d'évaluer régulièrement les performances de l'infrastructure, notamment en termes d'efficacité du traitement, de consommation d'énergie, de coûts opérationnels, etc., afin d'identifier les domaines nécessitant des améliorations ou des optimisations.

VII.2 Fonctionnement et contrôle des processus

Les calculs d'exploitation comprennent les calculs théoriques effectués dans des conditions de travail normales d'un processus afin de comparer tout écart par rapport à son fonctionnement réel.

Voici les différents aspects des calculs d'exploitation mentionnés :

1. Rendements : Calcul du quotient en pourcentage entre les valeurs d'entrée et de sortie de chaque paramètre de rejet, permettant d'évaluer l'efficacité du traitement.
2. Temps de fonctionnement des équipements : Mesure du nombre total d'heures pendant lesquelles les équipements ont été en fonctionnement, fournissant une indication de la durée de vie utile et de la fiabilité des équipements.
3. Taux de production de déchets : Calcul du rapport entre la quantité de déchets générée et le débit traité, évalué sur une base quotidienne ou mensuelle, afin de surveiller la gestion des déchets de la SEEU.
4. Taux de consommation électrique et des réactifs : Évaluation du rapport entre la consommation d'électricité et de réactifs chimiques et le débit traité, permettant de mesurer l'efficacité énergétique et l'utilisation des réactifs.
5. Paramètres de fonctionnement hydraulique : Mesure du temps de rétention dans les réservoirs, indiquant la durée moyenne pendant laquelle l'eau résiduelle est maintenue dans chaque réservoir pour un traitement adéquat.
6. Paramètres de fonctionnement du processus biologique :

Évaluation de la charge massique, de la charge volumétrique, de l'ancienneté de la boue, de l'oxygène requis, de la formation de bulles ou de mousse, etc. Ces paramètres permettent de surveiller et d'optimiser le processus biologique de traitement des eaux usées. (43)

VII.2.1 Entretien de la STEP

L'entretien des ouvrages

L'entretien des ouvrages de la STEP est essentiel pour garantir un fonctionnement optimal du système de traitement **Le Prétraitement :**

- Le nettoyage des grilles
- Enregistrer les quantités de déchets refusés chaque jour
- Vérifier régulièrement le niveau d'huile et de graisse des chaînes d'entraînement.
- Il est important de nettoyer périodiquement le bassin de flottation pour éliminer les accumulations de matières flottantes, les débris et les boues qui peuvent s'accumuler à la surface

- Surveillez attentivement les niveaux de réactifs chimiques utilisés dans le

processus. **Le Traitement primaire :**

- Un suivi régulier des performances
 - Gestion des odeurs
 - Nettoyage des réservoirs et des bassins
- Le traitement Biologique :**

Le bioréacteur :

- Nettoyage régulier des membranes
 - Surveillance et ajustement des paramètres de fonctionnement
- Le traitement des**

boues :

- Surveillance régulière des caractéristiques des boues □ Contrôle du taux de séchage des boues
- Optimisation des procédés de stabilisation.....

L'entretien électromécanique préventif

Englobe toutes les actions entreprises pour maintenir l'équipement électrique et mécanique en bon état, dans le but d'éviter les pannes et les temps d'arrêt, de réduire les coûts liés aux réparations et aux maintenances correctives, et de prévenir toute interruption du processus de traitement. (43)

L'entretien électromécanique prédictif

Implique la surveillance continue de l'état de fonctionnement de l'équipement, afin de prévoir les pannes potentielles et de réaliser des réparations rapides au moment opportun. Il repose sur une connaissance constante de l'état et de la capacité opérationnelle des installations.

L'entretien électromécanique correctif

Consiste à effectuer des travaux de réparation sur les équipements dès qu'une anomalie ou un arrêt est détecté, dans le but de rétablir leur état de fonctionnement normal.

L'entretien métrologique

Englobe le processus d'étalonnage et d'ajustement périodiques des appareils de mesure en continu et des instruments utilisés dans les installations. Cette tâche nécessite un niveau élevé de spécialisation, notamment pour les sondes, les débitmètres et autres équipements similaires.

Contrôle analytique

Obtenir les mesures des paramètres des eaux usées du processus (entrée, sortie, rejets, boues, etc.)

VII.2.2 Le chef d'exploitation de la station d'épuration

Le chef d'exploitation de la station d'épuration joue un rôle clé dans la gestion et le bon fonctionnement de l'installation.

Supervision de l'exploitation quotidienne

Responsable de superviser toutes les activités quotidiennes de la station d'épuration. Cela comprend la surveillance des processus de traitement, la vérification des paramètres clés, la gestion des équipements et des opérations.

Gestion du personnel

Chargé de superviser l'équipe d'exploitation de la station d'épuration. Cela implique de coordonner les horaires de travail, d'affecter les tâches, de former le personnel et de veiller à ce que les opérations soient effectuées en toute sécurité et efficacement.

Suivi des performances

Le chef d'exploitation doit surveiller en permanence les performances de la station d'épuration. Cela comprend la collecte et l'analyse de données sur la qualité de l'effluent, les rendements de traitement, les consommations d'énergie, les coûts d'exploitation, etc.

Maintenance et entretien

Responsable de la planification et de la coordination de la maintenance préventive et corrective de l'équipement de la station d'épuration. Il doit s'assurer que les équipements sont en bon état de fonctionnement, effectuer des inspections régulières, coordonner les réparations et veiller à ce que les travaux d'entretien soient effectués conformément aux normes de sécurité.

Gestion des urgences et des problèmes techniques

En cas de panne ou d'incident, le chef d'exploitation est chargé de prendre les mesures appropriées pour résoudre le problème rapidement et efficacement. Il doit également mettre en place des plans d'urgence pour faire face à des situations telles que les déversements accidentels ou les intempéries.

Conformité réglementaire

Responsable de s'assurer que la station d'épuration est en conformité avec les réglementations environnementales et les normes de rejet. Cela implique de suivre les exigences légales, de soumettre les rapports requis aux autorités compétentes et de collaborer avec les organismes de réglementation.

Recherche et mise en œuvre d'améliorations

Doit rester à jour sur les nouvelles technologies, les pratiques innovantes et les avancées dans le domaine du traitement des eaux usées. Il doit identifier les opportunités d'amélioration, évaluer leur faisabilité et mettre en œuvre des changements visant à optimiser les performances de la station d'épuration.

Conclusion

Il est également essentiel de mettre en place des protocoles de surveillance, de collecte de données et d'analyse pour évaluer en permanence les performances de la STEP. Cela permet d'identifier les problèmes potentiels, de prendre des mesures correctives et d'optimiser les processus de traitement.

Une gestion proactive, une maintenance régulière et une conformité aux normes de qualité sont essentielles pour garantir des performances optimales et durables de la STEP.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le travail exhaustif sur le dimensionnement d'une station d'épuration des eaux usées résiduelles d'une industrie pétrolière met en évidence l'importance d'une approche méticuleuse pour atteindre des objectifs environnementaux ambitieux.

La complexité des eaux usées de l'industrie pétrolière exige une compréhension approfondie des caractéristiques spécifiques et une conception adaptée pour assurer un traitement efficace.

Nous avons examiné les différentes étapes du dimensionnement de la STEP, notamment la collecte et le prétraitement des eaux usées, le traitement primaire, le traitement biologique et le traitement des boues.

L'analyse des caractéristiques des eaux usées de district carburant Naftal a permis de comprendre les défis spécifiques liés à la présence de contaminants tels que les hydrocarbures, les métaux lourds et les produits chimiques. Des solutions de prétraitement appropriées, telles que le dégrillage, la flottation, ont été proposées pour éliminer ces contaminants et préparer les eaux usées pour le traitement biologique notamment l'utilisation de biréacteurs à membrane a été étudié en détail en tenant compte de la charge organique des polluants et les taux de rendement épuratoire souhaités. Des méthodes de contrôle des odeurs et de gestion des boues ont également été présentées pour assurer un fonctionnement optimal de la STEP.

Il convient de souligner l'importance de respecter les réglementations environnementales et les normes de rejet tout au long de notre étude. La protection de l'environnement et la préservation des ressources en eau sont des priorités essentielles, et le dimensionnement de la STEP doit prendre en compte ces considérations pour garantir une efficacité épuratoire optimale.

En définitive, ce mémoire offre des orientations claires et des recommandations pratiques pour le dimensionnement d'une STEP dans le contexte spécifique d'une industrie pétrolière. En intégrant ces recommandations dans la planification et la mise en œuvre, les acteurs de district carburants seront en mesure de relever les défis environnementaux, de garantir une gestion responsable de leurs eaux usées et de contribuer à un avenir plus durable pour tous.

-
1. Organisme naftal base de donnée
 2. Pierre-Louis Dubois, Alain Jolibert, Marie-Laure Gavard-Perret, Christophe Fournier. *Marketing Fondements et pratique*.
 3. Brillault, Sylvain. Thèse de doctorat en Droit privé. *La distribution des produits pétroliers*. France , Nancy : s.n., 1997.
 4. NAFTAL / Branche Carburants est chargée des activités d'approvisionnement, de stockage et de distribution des carburants terre, aviation et marine.
 5. MARTIN, RAOUL. *Bassin de décantation et traitement des eaux usée* .
 6. Russell, Armistead G. *Safety in petroleum refinery and related industries* .
 7. *Design of Smokeless flare for an Associated Gas in a Production Oil field*. Salome, Farrow T. Nigeria : s.n., 01, February 2018, Vol. Volume 06.
 8. NAFTAL District carburant . *IT BC HSE 09 B GESTION DES SEPARTEURS E/HC*. 2016.
 9. André Picot, Frédéric Montandon. *Écotoxicochimie appliquée aux hydrocarbures*. Paris : Lavoisier, 2013 .
 10. DEHOUCHE, Dr. Nadjet. Polycopié de cours Introduction au Raffinage et à la pétrochimie. Université A. Mira de Bejaia : s.n., 2019/2020.
 11. Support de Formation: EXP-PR-EQ090-FR . 11/04/2007 .
 12. Wuithier, Pierre. *Le Petrole Raffinage Et Genie Chimique Tome 1* . 1972.
 13. Branche Carburants NAFTAL. *Bulletin d'analyse ER . CBR. CQP 10V9*.
 14. BOEGLIN, Jean-Claude. Technique de l'ingénieur : Pollution industrielle de l'eau G1210.
 15. Khellout, Settof. Impact de la pollution par le pétrole sur la stabilité structurale d'un sol agricole .
 16. Chalghmi, Houssein. THÈSE EN COTUTELLE Etude de la pollution marine par les hydrocarbures et caractérisation de leurs effets biochimiques . BORDEAUX : s.n., 2015.
 17. BERLAND, Jean-Marc. Techniques de l'Ingénieur : Assainissement des agglomérations C4200. Vol. V3.
 18. Crini, Nadia Morin-Crini et Grégorio. *EAUX INDUSTRIELLES CONTAMINÉES*. Besançon : s.n., 2017.
 19. Jean Rodier, Bernard Legube, Nicole Merlet. *L'analyse de l'eau*.
 20. ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction des politiques de l'eau. GUIDE SUR LES SÉPARATEURS EAU-HUILE. Québec : s.n., OCTOBRE 2008.
 21. CAE FIBRE DE VERRE LTÉE. Bulletin technique O.W.S 1.00, Séparateur d'huile et d'eau par gravité. 15 juin 1989.
 22. Assad, Elias. Étude du processus de coagulation floculation Di système montmorillonite chitosane dans l'élimination de métaux de transition. 2006.

-
23. Montgomery, J.M. . *Water Treatment: Principles and Design*. 1985 .
 24. Benefield, L.D. Judkins, J.F. and Weand. *Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment*. 1982.
 25. Teramoto, T. *Deep Ocean Circulation Physical and Chemical Aspects*. May 10, 1993 .
 26. J.M., Perret et J.P., Canler. *La Flottation en sortie de réacteur biologique MBBR*.
 27. Jarvis, P. *Low energy ballasted flotation*.
 28. suez, DEGRÉMONT. *Mémento technique de l'eau* .
 29. Sudilovskiy, P. S. *Use of membranes for heavy metal cationic wastewater treatment: Flotation and membrane filtration*. 2007.
 30. Sarah, ATTAB. *AMELIORATION DE LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE DES EAUX EPUREES PAR BOUES ACTIVEES DE LA STATION D'EPURATION HAUD BERKAOUI PAR L'UTILISATION D'UN FILTRE A SABLE LOCAL*. 28 / 11 / 2011.
 31. Cemagref. *Le lagunage naturel*. s.l. : Tec et Doc - Lavoisier.
 32. LEMAIRE, Cyril. *Identification des paramètres de bioprocédés environnementaux à partir des mesures accessibles* .
 33. Ouarda, Yassine. *Le bioreacteur a membrane pour le traitement des eaux usées contaminées par le bisphénol*. 2014.
 34. Gagnaire, Philippe MOULIN . *Bioréacteur à membranes : un intérêt grandissant*. January 2008.
 35. M. Gander, B. Jefferson, S. Judd. *Aerobic MBRs for domestic wastewater treatment: a review with cost considerations*. 6 March 2000.
 36. Crini, Nadia Morin-Crini et Grégorio. *Chapitre VIII. Les charbons actifs pour le traitement des eaux usées extrait de livre EAUX INDUSTRIELLES CONTAMINÉES*. 37.
 37. Çolak, Ferdağ. *Biosorption of Acidic Dyes From Aqueous Solution by Paenibacillus macerans: Kinetic, Thermodynamic and Equilibrium Studies*.
 38. BERLAND, Jean-Marc. *Techniques de l'Ingénieur : Traitement des boues d'épuration C5221*. Limoges – France : s.n. Vol. V2.
 39. BOUCHAALA Laid, CHARCHAR Nabil et GHERIB Abde Elfettah. *RESSOURCES HYDRIQUES: TRAITEMENT ET REUTILISATION DES EAUX USEES EN ALGERIE*. Received 06 December 2016– Accepted 12 May 2017.
 40. ONA. *ONA : Office National de l'Assainissement*.
 41. Kettab, Ahmed. *Desalination ;Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision*.
 42. BAUMONT, Samuel. *Observatoire régional de santé d'Ile-de-France Réutilisation des eaux usées épurées :risques sanitaires et faisabilité*.
 43. NAFTAL / Branche Carburants est chargée des activités d'approvisionnement, de stockage et de distribution des carburants terre, aviation et marine.

ANNEXE

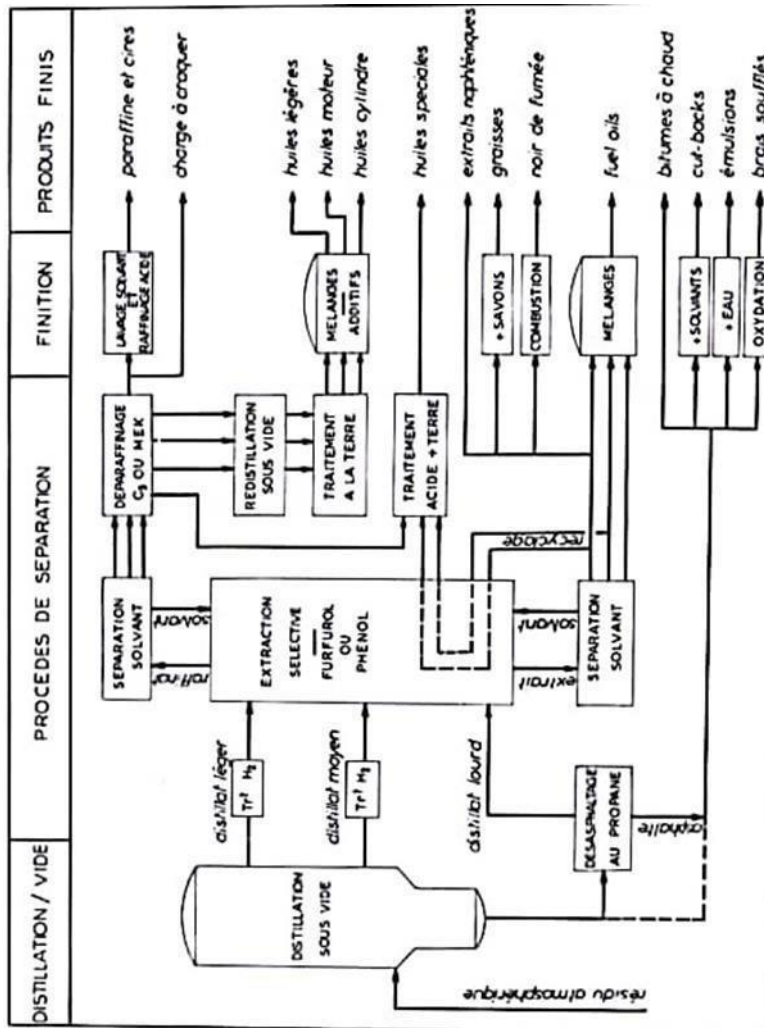


Figure : schéma de fabrication des huiles a la raffinerie

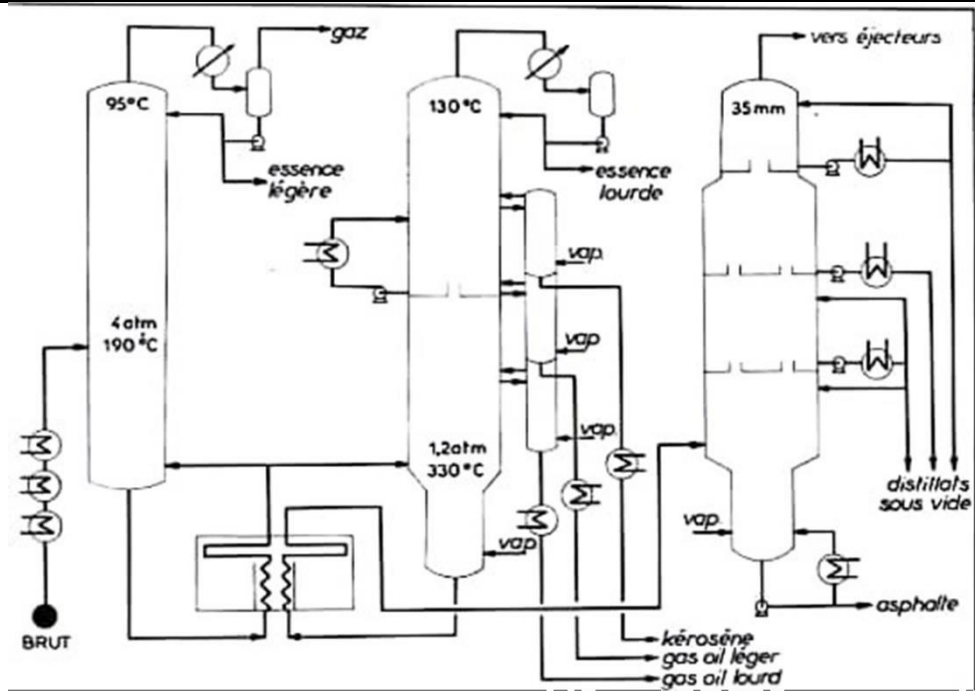


Figure : schéma d' une unité de distillation industrielle a trois étages

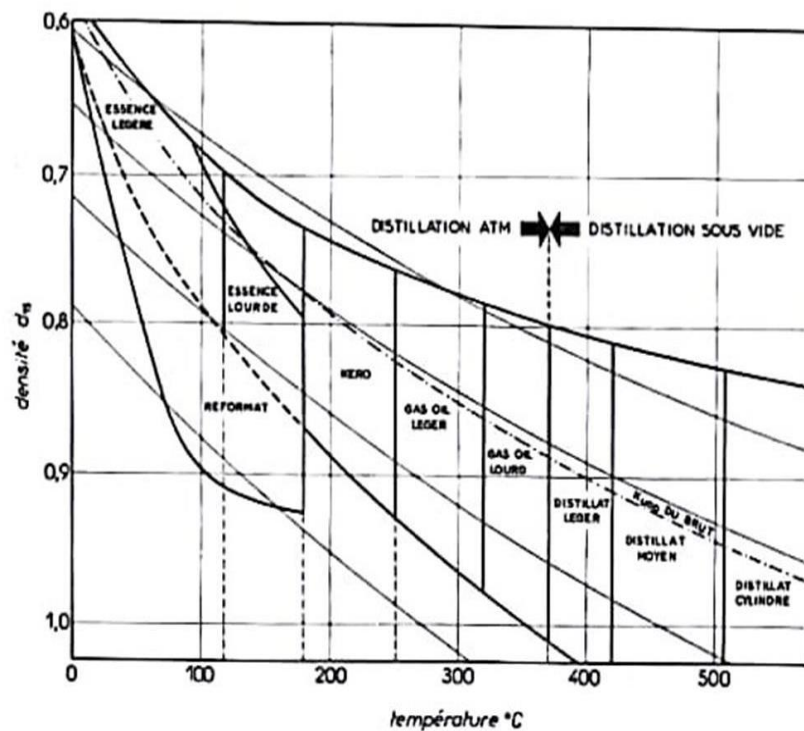


Figure : Représentation de la distillation initial sur abaque du facteur de caractérisation

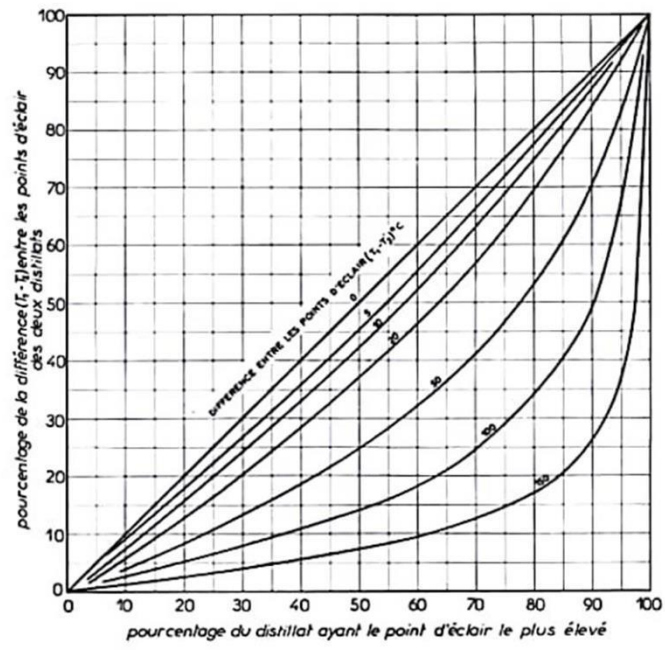


Figure : Estimation de point éclair des melanges