



Mémoire de projet de fin d'étude

Option : Eau & Environnement

**PURIFICATION DES EAUX RESIDUAIRES POLLUEES PAR
LE PHENOL DANS LA STATION D'EPURATION DE LA
SAMIR MOHAMMEDIA**

Soumia EL MOUKHTAFI

Sous la direction de :

Nadia KHAMLI : Professeur FSTG Marrakech

Parrain de stage :

M. Idriss ESSAFI : SAMIR Mohammedia

Soutenu : Le 20 /02/2015

devant le jury composé de :

Samia Berrada : Professeur FSTG Marrakech

Nadia KHAMLI : Professeur FSTG Marrakech

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à la direction de la SAMIR pour son accueil.

Avant d'entamer ce rapport, j'ai le plaisir d'exprimer toute ma gratitude à mon parrain M.ESSAFI, chef du service production à la Samir, pour l'aide précieuse, les informations et les conseils qu'il m'a donné tout au long de la période de mon PFE. Mes plus vifs remerciements s'adressent aussi à Mr. Yousfi et Mr. Kalache pour leur soutien.

J'exprime également mon grand respect et gratitude à mon encadrant à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, Professeur Nadia KHAMLI, pour sa disponibilité, son assistance et ses précieux conseils.

Je remercie aussi le corps enseignant du département des Sciences de la Terre pour la qualité de l'enseignement durant ma formation.

Et enfin, toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, qu'elle trouve ici l'expression de mon respect et de ma profonde gratitude.

Dédicaces

À ma chère mère et À l'âme de mon cher père,

*Aucun mot et aucune langue ne pourra exprimer mes
sentiments envers vous.*

À mon cher frère Hamza et ma chère sœur Zineb,

À toute ma famille,

À tous mes chères amies,

À toutes les personnes qui me sont chères,

Pour tout le soutien que vous m'avez offert, je vous dis

MERCI et je vous dédie ce modeste travail

Table des matières

Introduction générale.....	8
CHAPITRE 1 :Présentation de l'organisme d'accueil.....	9
I. Introduction :.....	10
II. Présentation de la Samir :.....	10
1. Fiche signalétique et historique :.....	10
2. Site et emplacement de la Samir :.....	12
3. Structure et organisme :.....	13
III. Raffinage de pétrole et différents unités de la SAMIR :.....	14
1. Raffinage du pétrole :.....	14
2. Les différentes unités de la SAMIR :.....	15
IV. Politique de protection de l'environnement à la SAMIR :.....	18
V. Conclusion :.....	18
I. Introduction :.....	20
II. Problématique :.....	20
III. Origine des eaux résiduaires et type de polluant :.....	21
IV. Description de la station et étapes de traitement :.....	22
1. Capacité de traitement :.....	22
2. Etapes de traitement :.....	23
chapitre 3 :Présentation des analyses et discussions des résultats.....	29
I. Introduction :.....	30
II. Analyse des paramètres physico-chimiques :.....	30
1. Localisation des points de prélèvement :.....	30
2. Méthodes d'analyses :.....	31
3. Résultats et discussion :.....	32
chapitre 4 solutions proposées.....	36
I. Introduction.....	37



II. Analyses d'adsorption du phénol par le charbon actif :	40
III. Oxydation de phénol par le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 :	42
IV. Conclusion :	44
Chapitre 5 concrétisation de la solution choisie	45
I. Introduction :	46
II. Calcul de la hauteur manométrique totale H_{MT} de la pompe :	46
III. L'énergie mécanique en charge hydrostatique :	52
IV. Estimation du coût de la concrétisation de la solution choisie :	52
conclusion générale	54
Références bibliographiques	55
annexes	56

Liste des figures

Figure 1: Localisation de la SAMIR par satellite.....	12	
Figure 2 : Organigramme de la SAMIR.....	13	
Figure 3 : Opérations de traitement du pétrole brut	14	
Figure 4 : Schéma descriptif de la distillation atmosphérique	15	
Figure 5: Schéma de principales unités à la SAMR.....	17	
Figure 6: Schéma des 4 arrivées de la STEP.....	21	
Figure 7 : Schéma de la STEP.....	23	
Figure 8 : Séparateur API et bac d'égalisation	24	
Figure 9: Bassin de coagulation-floculation.....	25	
Figure 10: Clarificateur et bassin d'aération	26	
Figure 11: Centrifugeuse et lits de séchage.....	28	
Figure 12 : Les points de prélèvement	30	
Figure 13: Spectrophotométrie	Figure 14: Les kits LCK.....	31
Figure 16: Mécanisme d'oxydation de phénol	37	
Figure 17: Diagramme illustrant l'adsorption du phénol par le charbon actif.....	41	
Figure 18: Évaluation du phénols et DCO par H ₂ O ₂ à 35%	43	
Figure 19: Schéma de l'injection de la pompe dans la station.....	46	
Figure 20: Indice de rugosité absolue selon la nature de la surface intérieure.....	49	
Figure 21: Le choix de la pompe selon le HMT et le débit.....	51	

Liste des tableaux

Tableau 1: Fiche signalétique de la SAMIR	11
Tableau 2: Les principaux fournisseurs de la SAMIR	13
Tableau 3: Origine des effluents et type de traitement.....	22
Tableau 4: Les normes législatives des effluents traité.....	25
Tableau 5 : Analyses des eaux de la Station sortie API et clarificateur juin 2014.....	33
Tableau 6: Résultats des analyses d'adsorption du phénol par le charbon actif	40
Tableau 7: Résultats des analyses du phénol et DCO de l'eau traite par H ₂ O ₂ à 35%	42
Tableau 8: Calcul le besoin de H ₂ O ₂ dans la station par jour	44
Tableau 9: Les prix des équipements d'installation.....	53

Liste des abréviations

Samir : société anonyme marocaine de l'industrie et de raffinage.

HDS : hydro désulfuration.

CHL : complexe des huiles lubrifiant.

STEP: station d'épuration.

DBO₅: demande biologique en oxygène pendant cinq jours.

DCO : demande chimique en oxygène.

ABS : absorbance.

CA : charbon actif.

HMT : hauteur manométrique.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau est le dissolvant universel, elle est utilisée et ensuite rejetée, contenant souvent des polluants en suspension, flottants et dissous suite à la croissance et l'expansion des secteurs industriels, l'assimilation de ces polluants par des processus naturels d'épuration dans les rivières et les lacs ne peut pas suffire pour éviter l'accroissement de la pollution. La qualité de l'eau constitue donc aujourd'hui un enjeu environnemental primordial.

Sur le plan industriel, l'industrie pétrolière et gazière, grande consommatrice d'eau, génère beaucoup d'eau polluée, produite lors de l'extraction du pétrole et du gaz. Pour répondre à ses besoins spécifiques, cette industrie s'appuie sur le traitement des eaux polluées pour garantir la continuité de sa production et respecter les normes environnementales.

Dans cette perspective la SAMIR, Société Anonyme Marocaine de l'Industrie de Raffinage a mis en œuvre, dès sa création dans les années 60, une station de traitement des eaux résiduaires. Cette station prend en compte la préservation de l'environnement, l'optimisation de la consommation d'eau et d'énergie, l'amélioration de la qualité des rejets et également le renforcement des dispositifs de prévention et de lutte contre la pollution maritime. Mon projet de fin d'étude au sein de la Samir (service production) s'inscrit dans ce contexte.

Ce projet de fin d'étude a deux objectifs principaux :

- *l'évaluation et le suivi de la concentration du phénol dans les effluents de la station d'épuration de la SAMIR*
- *la mise en œuvre d'une procédure de purification qui assure l'élimination de ce phénol contenu dans ces effluents traités, avant d'être rejetés dans la mer.*

CHAPITRE 1 :

PRÉSENTATION DE

L'ORGANISME

D'ACCUEIL

I. Introduction :

La SAMIR (Société Anonyme Marocaine de l'Industrie de Raffinage), leader dans le domaine du raffinage du pétrole au Maroc, a été créée afin de satisfaire les besoins du marché marocain en produits pétroliers.

En premier lieu, il est important, pour pouvoir situer le projet, de présenter la société, sa structure organisationnelle et son profil.

En second lieu, les différents types unités de la SAMIR. Cela permet de définir le contexte et l'environnement dudit projet.

II. Présentation de la Samir :

1. Fiche signalétique et historique :

Fiche signalétique :

Au cours de l'exercice 2010, le chiffre d'affaires de la SAMIR a progressé de 37% par rapport à 2009 pour atteindre 27 Milliards de DH. Le tableau 1 présente la fiche signalétique de la SAMIR. On y trouve plusieurs chiffres clés caractérisant l'activité de la société durant l'année 2010 tels que le volume de ventes ainsi que le résultat net :

Raison sociale	Société anonyme marocaine d'industrie de raffinage.
Forme juridique	Société Anonyme (Statuts harmonisés avec la loi 17/95 sur les SA depuis le 9 octobre 1998)
Date de constitution	1959
Capital social	1.236.586.500 Dhs
Actionnariat	CORRAL (67.3 %) PUBLIC à travers la bourse (32.7%)
Registre de commerce	B.P. 91, Mohammedia
Numero de patente	39404860
Adresse	B.P. 89, Route Côtière 111, Mohammedia.
Superficie	200 Hectares
Capacité de production	7,5 Millions t/an

Capacité de stockage	2 Millions m ³
Effectif	1526 EMPLOYE

Tableau 1: Fiche signalétique de la SAMIR

Dates clés :

La SAMIR a été créée cinq ans après l'indépendance du MAROC, en voici en récapitulation les principales étapes de son développement :

- **1959** : Feu Sa Majesté Mohamed V pose la première pierre de la nouvelle Raffinerie
- SAMIR (*Société Anonyme Marocaine et Italienne de Raffinage*) exprimant ainsi, l'intérêt accordé par l'état à la maîtrise de ses besoins énergétiques.
- **1962** : Démarrage de l'activité de la raffinerie le 10 Janvier avec une seule unité de distillation de pétrole brut d'une capacité de 1.250.000 T/An.
- **1972** : Une nouvelle extension de la raffinerie ramène la capacité à 2.250.000 T/An.
- **1974** : Nationalisation du capital de la SAMIR suite à la crise pétrolière de 1973 et pour éviter ses répercussions sur le MAROC. Sa raison sociale devient *Société Anonyme Marocaine de l'Industrie du Raffinage*.
- **1975** : Face à la demande croissante en produits pétroliers, la SAMIR décide d'investir et d'augmenter sa capacité de raffinage en créant une nouvelle extension de la raffinerie. Cette dernière a porté la capacité totale à 6.500.000 T/An.
- **1984** : Démarrage du complexe des Huiles, Bitumes et Paraffines.
- **2005** : Corral s'engage à moderniser la SAMIR avec une enveloppe globale de 6Milliards de DH.
- **2008** : Création de la société TSPP (*Société Marocaine de Transport e de Stockage des Produits Pétroliers*) qui est une filiale à 100% de la SAMIR.
- **2010** : Mise en service de l'unité Upgrade pour produire le Gasoil 50 PPM (Particules de soufre Par Million) qui a remplacé le 10.000 PPM, bannit depuis Juillet 2010 des stations services.

2. Site et emplacement de la Samir :



Figure 1: Localisation de la SAMIR par satellite

La société SAMIR se situe à l'ouest de la ville de Mohammedia (figure1), S'étend sur une superficie de 200 ha. Elle est reliée par un réseau de pipe-line au port pétrolier, ainsi qu'au dépôt de stockage des sociétés de distribution et à la centrale thermique de Mohammedia avoisinante. Elle est également desservie par une bretelle et de multiple accès routiers.

Le pétrole brut traité à Mohammedia est en totalité importé. Les fournisseurs de la société sont des grandes firmes de distribution en plus de quelques petites sociétés privées. Le tableau 2 regroupe les principaux fournisseurs de la SAMIR :

Pays	Société
Arabie Saoudite	Arabian light
Irak	Kirkuk
Iran	Iranien light
Russie	Ural

Tableau 2: Les principaux fournisseurs de la SAMIR

3. Structure et organisme :

La figure 1 représente l'organigramme général de la SAMIR. Ce dernier est composé de quatre Directions qui sont gérées par des Directeurs Généraux Adjoints (DGA). Ces directions sont, à leurs tours, scindées en plusieurs départements parmi lesquels se trouve le département *de production*. C'est au niveau de ce dernier que le Projet de Fin d'Etudes a été réalisé.

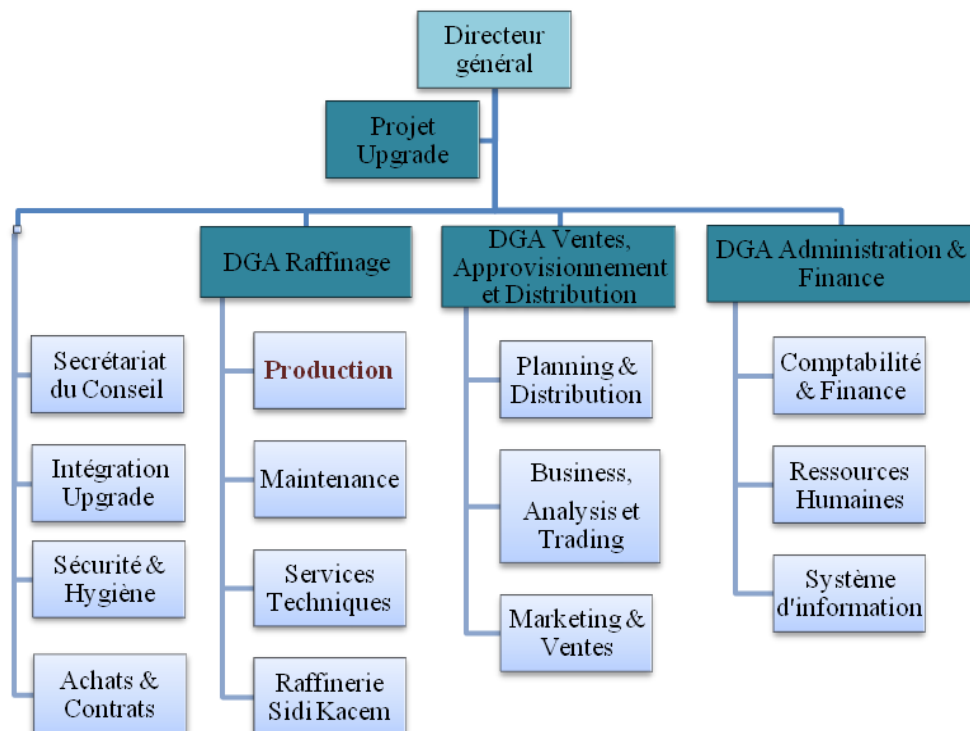


Figure 2 : Organigramme de la SAMIR

III. Raffinage de pétrole et différentes unités de la SAMIR :

Le pétrole représente 40 % de la consommation mondiale d'énergie primaire, il s'est formé sous la surface de la Terre à la suite de la décomposition d'organismes marins. Il y a plusieurs millions d'années, d'innombrables végétaux micro-organismes et espèces planctoniques, vivaient dans les océans. Lorsque les générations successives mouraient, leurs restes se déposaient au fond des océans. Pendant des millions d'années, ils s'accumulèrent et se mélangèrent à la boue et au limon, pour former des couches de sédiments riches en matières organiques.

L'accumulation continue de sédiments enfouit ces couches organiques à de grandes profondeurs ; sous l'effet de la compression, celles-ci se transformèrent en roches qui devinrent des réservoirs de pétrole. Les roches contenant la matière première du pétrole sont appelées «roches mères». L'épaisseur de ces couches sédimentaires augmentant, la température s'éleva, entraînant une transformation des matières organiques d'origine en substances plus simples, les hydrocarbures: composés de carbone et d'hydrogène.

Le but du raffinage du pétrole est de séparer les différents éléments ou composants du pétrole afin d'obtenir des produits utilisables et qui correspondent aux attentes des consommateurs et aux spécifications des principaux standards internationaux.

1. Raffinage du pétrole :

Les principales opérations de traitement du brut sont (figure 3) :

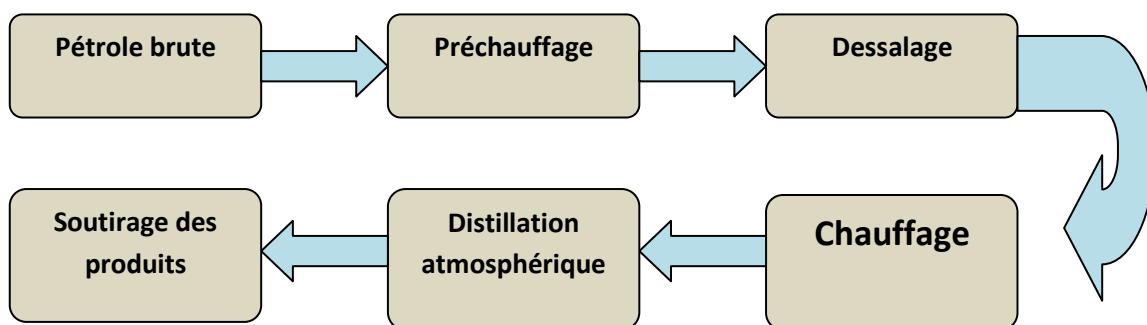


Figure 3 : Opérations de traitement du pétrole brut

- **Le préchauffage** : le but est d'aspérer le pétrole des bacs de stockage est le préchauffée dans une température variant entre 240 - 360°C.

- **Le dessalage** : cette option permet de réduire l'eau des sédiments et des Sels contenus dans le pétrole brut.
- **Le chauffage** : le brut issu du train de préchauffage et Chauffé davantage dans le four de charge pour atteindre la température de transfère 365-370°C.
- **La distillation atmosphérique** : Le brut subit une distillation atmosphérique à 650°C, dans une colonne de distillation à plateaux perforés.

La figure 4 présente les produits formés par la distillation du pétrole brut :

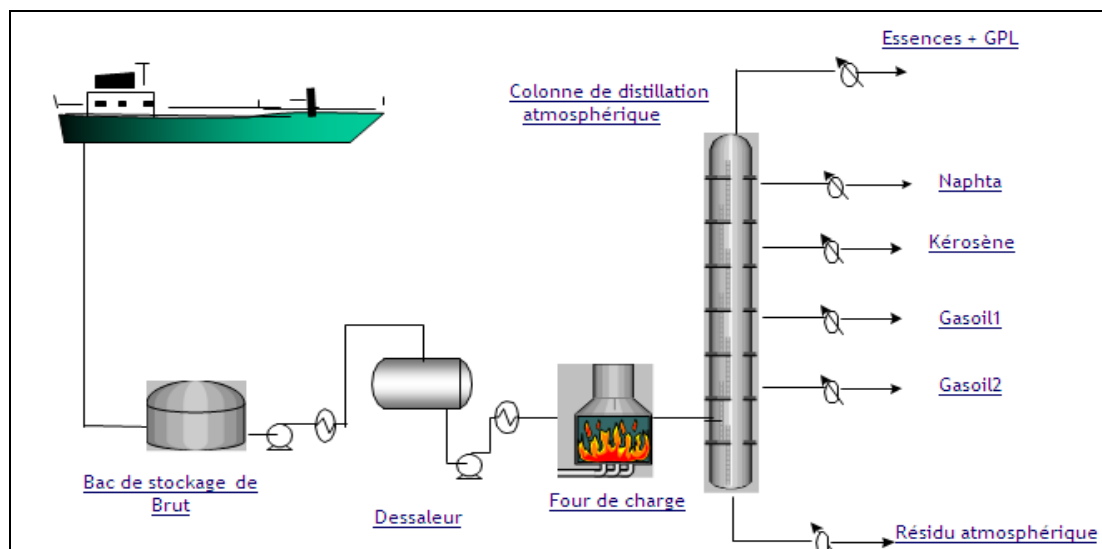


Figure 4 : Schéma descriptif de la distillation atmosphérique

2. Les différentes unités de la SAMIR :

La SAMIR dispose de plusieurs unités de production, de traitement de purification et de traitements de modifications qu'elle met en œuvre dans le but de livrer un produit aux caractéristiques spécifiées par le client La figure 5 représente l'ensemble des unités de la raffinerie

▪ Unités de Distillation :

La raffinerie a trois unités de distillation primaire d'une capacité globale de 6.250.000 T/An. A travers ces unités les différentes coupes de pétrole brut sont séparées par vaporisation et condensation fractionnée.

- **Unité de Reformage Catalytique (plateforming) :**

Celles-ci débarrassent l'essence des impuretés telles que le soufre et les composés azotés. La raffinerie dispose de deux unités de reformage pour une capacité globale de 930.000 T/An.

- **Unités d'Hydrodésulfuration (HDS) :**

Dans ces unités le Gasoil devient, conforme à la norme commerciale tandis que le Kérosène répond aux spécifications internationales des compagnies aériennes. La raffinerie dispose d'une unité d'hydrodésulfuration d'une capacité globale de 400.000T/A.

- **Unités de Traitement des Gaz :**

Ces unités de traitement des gaz, telles qu'illustrées sur la figure, sont des unités de lavage à la soude (NaOH). A l'issue de cette étape, les gaz obtenus sont ensuite séparés en :Gaz légers non incondensables et Propane et Butane commerciaux.

- **Complexe des Huiles, lubrifiants (CHL) :**

Après la distillation atmosphérique, une partie du résidu atmosphérique ou Fuel Oil subit une distillation, permettant ainsi la fabrication de quatre bases d'huiles plus au moins visqueuses. Pour donner naissance aux Huiles de Base, aux Bitumes Routiers, aux Bitumes Oxydés ainsi qu'aux Cires et Paraffines.

- **UPGRADE :**

Le projet de modernisation de la raffinerie SAMIR de Mohammedia dit Upgrade permettra à la SAMIR d'introduire les technologies les plus récentes dans le domaine du raffinage, tels que: l'hydrocraquage du fuel, la récupération du soufre et la régénération des amines national.

- **Installations off sites :** Ces installations comprennent Un parc de stockage de pétrole brut, deux centrales thermoélectriques pour produire les différentes utilités : vapeur, électricité, eau déminéralisée, air comprimé, eau tempérée, une unité de traitement des eaux résiduaires : STEP.

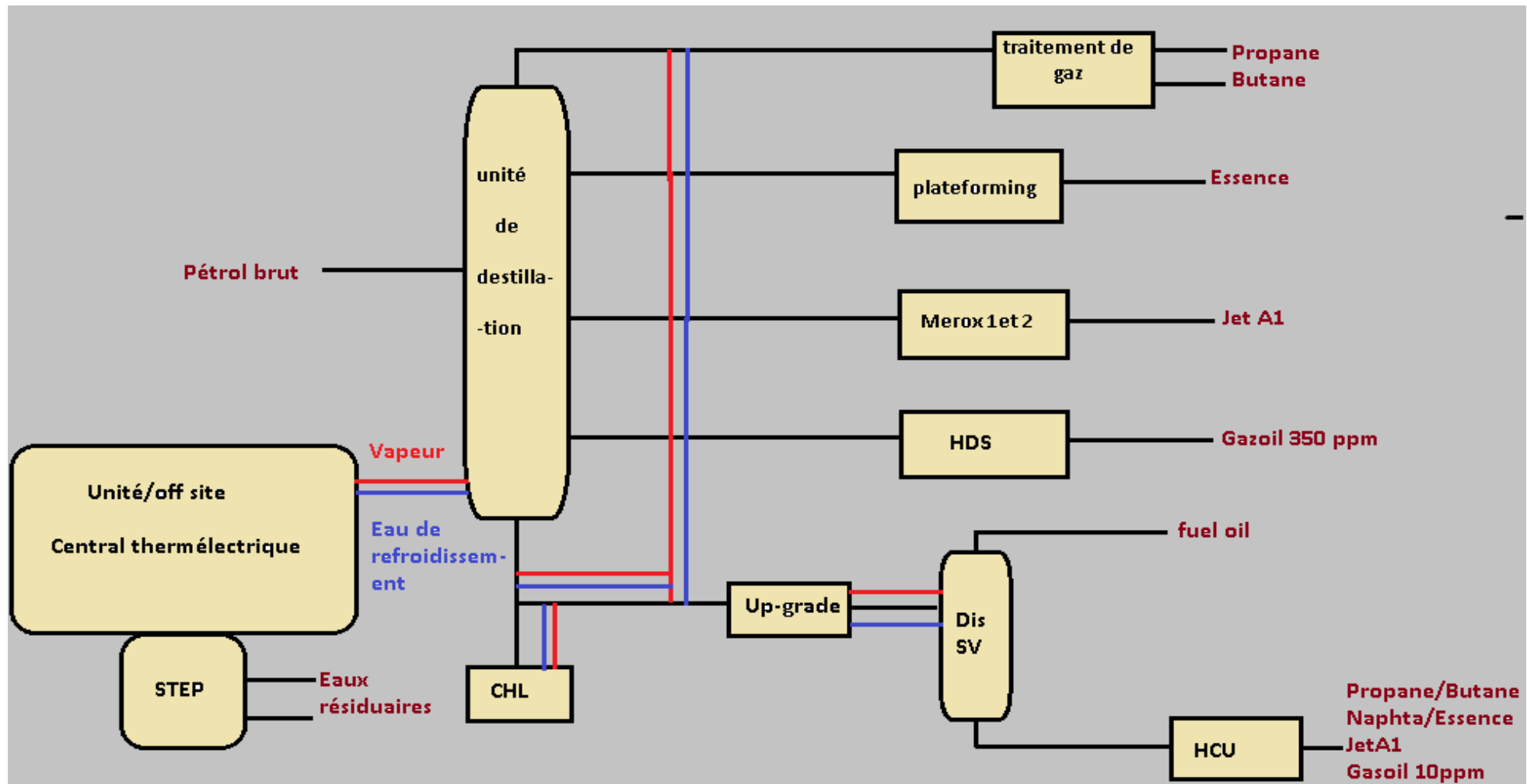


Figure 5: Schéma de principales unités à la SAMR

IV. Politique de protection de l'environnement à la SAMIR :

Depuis septembre 2005, un ambitieux programme d'amélioration de la situation Environnementale de la raffinerie de Mohammedia est en chantier, avec un budget de près de 816 Millions dollars US.

En effet, la SAMIR a toujours veillé à l'amélioration et le respect de l'environnement en mettant en place plusieurs projets dont certains sont déjà réalisés, d'autres sont en cours de réalisation, visant l'amélioration et le respect de l'environnement (CLEANTECH Group, 2006) dans toutes ses composantes (air, eau et sol). Il s'agit notamment de :

- La modernisation des dispositifs de raffinage pour l'amélioration de la qualité des carburants afin de contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air ambiant au niveau local et national.
- La construction d'une nouvelle station de traitement des EU de la raffinerie de Mohammedia dont le démarrage a eu lieu en juin 2006.
- L'installation sur des réservoirs d'essence des écrans flottants afin de réduire l'évaporation des essences et d'éviter la présence de ces vapeurs dans l'atmosphère.
- la réalisation d'une étude d'impact de l'activité de la SAMIR sur l'environnement dans le cadre du projet de modernisation et du développement de la raffinerie.
- L'aménagement d'une digue de protection du site de la raffinerie Mohammedia contre l'inondation et l'amélioration du réseau de collecte des eaux huileuses et pluviales dans la zone de stockage du pétrole brut.
- La réhabilitation des sites de production pétrolière.

V. Conclusion :

La SAMIR, comme toute entreprise de renommée et de poids économique et social dans le pays, a pris en considération la protection de l'environnement dans sa politique de gestion depuis longtemps. En effet, l'environnement n'a jamais été pour la société un luxe secondaire ou une découverte récente résultant de pression réglementaire conjoncturelle mais la SAMIR a toujours fait de la protection de l'environnement une priorité stratégique.

CHAPITRE 2 :

PROBLEMATIQUES ET

DESCRIPTION DE STEP

I. Introduction :

Au MAROC, il existe diverses variantes de stations d'épurations de type intensif ; requérant des sources d'énergie pour leur fonctionnement et de lourdes charges d'entretien. Les stations d'épurations de type intensif ont souvent une faible durée de vie et subissent des arrêts périodiques de fonctionnement quand elles ne font pas l'objet d'une bonne gestion d'exploitation et d'une optimisation très rigoureuse.

Les rejets industriels sans aucun traitement préalable présentent plusieurs impacts sur l'environnement en particulier sur le milieu marin. Parmi ces rejets, on peut citer les rejets de raffinerie.

Dans ce chapitre je vais expliquer le problématique et faire une description de la station de traitement des eaux de raffinerie.

II. Problématique :

Au mois d'avril et de juin, La Samir a changé de fournisseur de pétrole brut. Par conséquent la qualité du pétrole a changé du même que la quantité de métaux lourds qu'il contient.

Pendant ces deux mois les effluents issus de l'unité UPGRADE (hydrocraquage) qui arrivent à la station d'épurations sont chargés d'une forte concentration du phénol. Ce qui nous a permis de déduire que cette augmentation du phénol est liée au changement du pétrole brut

Le phénol est très répandu dans de nombreux effluents industriels. Il se trouve dans les eaux usées des usines de transformation du charbon et des raffineries du pétrole. Le phénol est un composé chimique aromatique de formule chimique C_6H_5OH portant une fonction hydroxyle $-OH$ lié à un atome de carbone du cycle benzénique.

Ce polluant est une substance toxique à un effet mortel sur la faune et la flore, entraînant le ralentissement ou le blocage de l'autoépuration par une faible biodégradabilité au niveau de traitement biologique. En effet si le traitement biologique reste de loin l'arme principale du traitement d'eau, certains produits organique sont réfractaires (produits non biodégradables)

voir même toxiques pour la flore microbienne et donc très nuisibles au bon fonctionnement de la station d'épuration.

Donc la SAMIR va s'intéresse à une méthode d'élimination de phénol en même temps qui doit être la moins coûteuse pour éviter la toxicité du phénol qui aboutissent à la modification des conditions de vie des espèces vivantes, voire à la disparition des quelques unes donc à une perturbation des écosystèmes aquatiques.

III. Origine des eaux résiduaires et type de polluant :

Les effluents qui arrivent à la station proviennent de 4 unités (figure 7) : HDS (hydrodésulfuration), CHL (Complexe des Huile Lubrifiant), CTE (Central Thermoélectrique) et l'UP-GRADE :

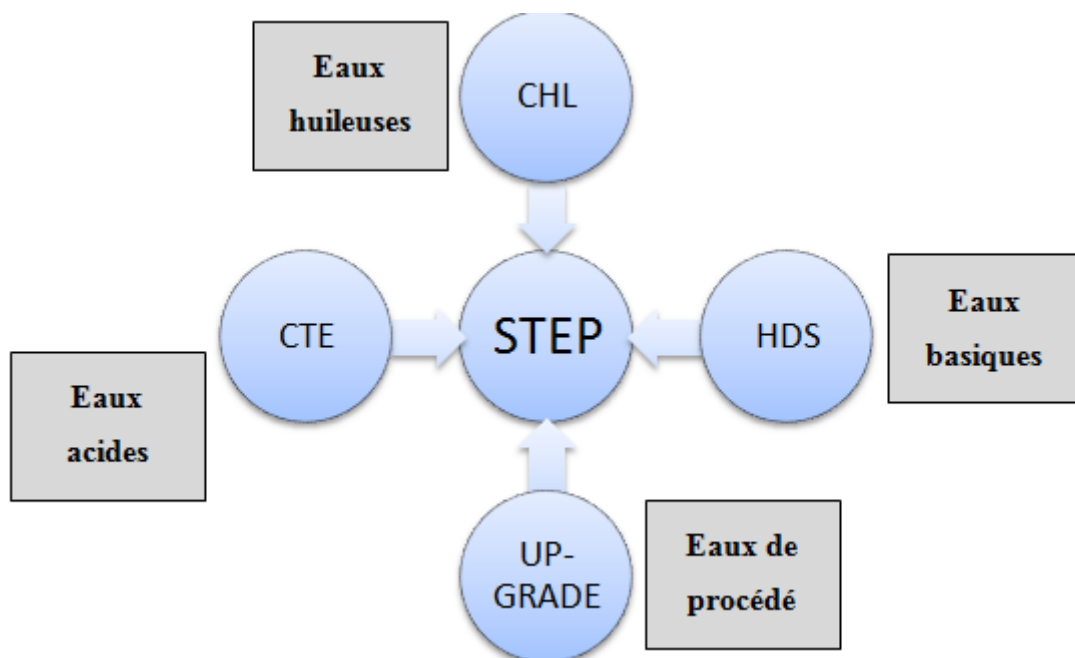


Figure 6: Schéma des 4 arrivées de la STEP

Les effluents subissent des traitements appropriés selon leur provenance et leur nature. Le tableau suivant illustre les types de polluants les plus représentatifs ainsi que les types de traitement adoptés :

Type de l'effluent	Origine	Type de polluant	Traitement
Eaux Propres	Eaux de refroidissement	Néant	Bassin d'inspection
Eaux huileuses	Purges des bacs Lavage des unités Poste de chargement Eaux de pluie	Hydrocarbures, sulfures, H ₂ S, solvants	Déshuilage (prétraitement) : <ul style="list-style-type: none"> • Décantation-Séparation Physico-chimique (primaire) : <ul style="list-style-type: none"> • Coagulation • Flocculation • Aéroflocculation Biologique (secondaire) <ul style="list-style-type: none"> • Aération • Clarification
Eaux de procédé	Condensats de vapeur de stripping Eaux de dessalage	Hydrocarbures, sulfures, H ₂ S, NH ₄ ⁺ , phénols, sels	
Eaux Acides	Eaux de régénération des chaînes de deminéralisation	Acide H ₂ SO ₄	Neutralisation dans des bassins avec de la soude
Eaux basiques	Lavage de l'essence légère et des GPL	Soudes, composés soufrés, RNa, Na ₂ S	Neutralisation en ligne avec les eaux acides

Tableau 3: Origine des effluents et type de traitement

Comme la montre le tableau ci-dessus (tableau 3) on trouve un pourcentage élevé de phénol dans les eaux de procédé qui proviennent de l'unité de craquage UPGRADE.

IV. Description de la station et étapes de traitement :

1. Capacité de traitement :

La station d'épuration est destinée pour traiter les eaux résiduaires de la raffinerie, aussi bien existantes que futures. D'une capacité de traitement de 500 m³ /h, répartie en deux lignes de traitement identiques et indépendantes de 250 m³ /h chacune. Il est à signaler que le débit normal maximal des effluents à traiter est évalué à 400 m³ /h. La capacité de la station présente de ce fait une marge de traitement additionnelle de 100 m³ /h.

2. Etapes de traitement :

La figure 8 présente les étapes de traitement des eaux résiduaires dans la station d'épuration :

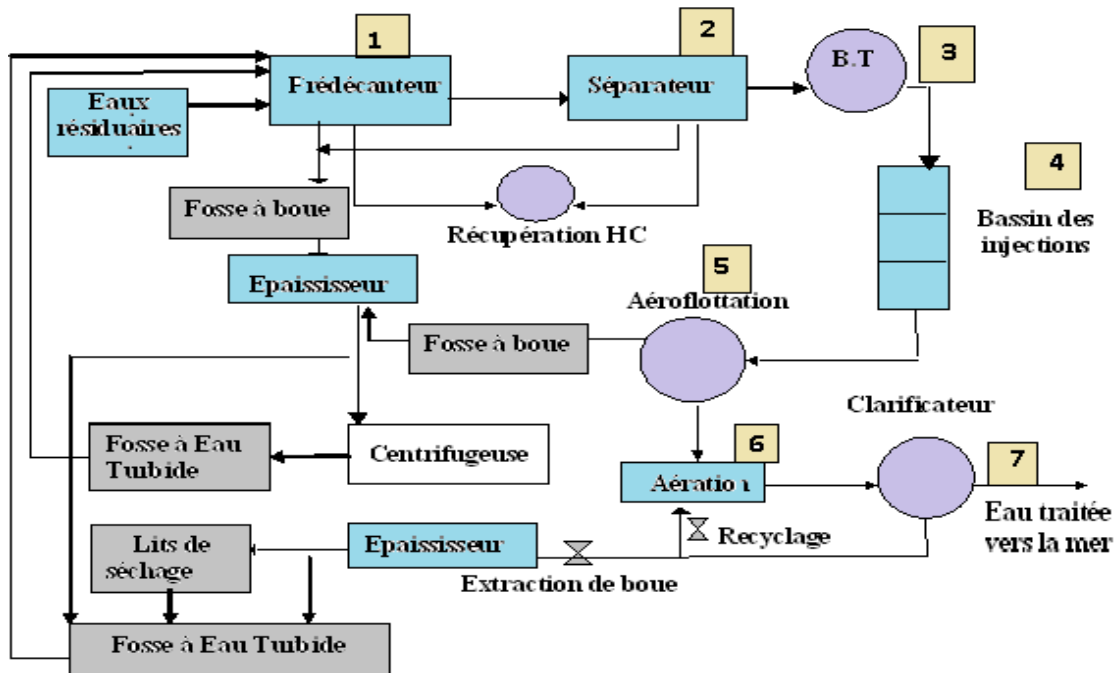


Figure 7 : Schéma de la STEP

Prétraitement :

Ce type de traitement est utilisé pour séparer par décantation les hydrocarbures, certains MES et l'eau par simple gravité naturelle, selon la différence des densités, dans des pré-décanteurs et séparateurs API (American Petroleum Institute). Ces pré-décanteurs et séparateurs API (bassin 1 et 2) (figure 8) sont des bassins rectangulaires à circulation longitudinale. Ils sont équipés de répartiteurs élaborés, d'un raclage de fond et de surface, de dispositifs de sortie de l'eau traitée et de dispositifs de reprise des huiles de surface et des boues. Ces déshuileurs sont constitués de deux cellules identiques isolables par des vannes murales, permettant d'effectuer d'éventuelles opérations d'entretien. Les séparateurs API ont le même descriptif que les pré-décanteurs sauf que les API sont de plus grandes dimensions.

L'effluent sortant des pré-décanteurs et séparateurs API rejoint ensuite Un bac d'égalisation ou bac Tampon (bassin 3) (figure 8) dont la capacité est de 5000 m^3 pour rôle

d'oxyder les sulfures, d'homogénéiser l'effluent et régulariser le débit avant d'entamer la phase de traitement intermédiaire.



Figure 8 : Séparateur API et bac d'égalisation

Traitement physico-chimique ou primaire :

L'effluent repris du réservoir d'égalisation passera ensuite dans une station de conditionnement chimique bassin d'injection (bassin 4) (figure 8) dans laquelle des agents coagulant et flocculant seront ajoutés à l'eau usée. Cette phase est prévue pour amorcer le processus de traitement physico-chimique, objet du traitement intermédiaire.

Le coagulant utilisé est le chlorure ferrique $FeCl_3$. L'injection du coagulant n'entraîne pas de modification significative du pH des effluents de la raffinerie. Ce pH étant proche de la neutralité se trouve dans la zone optimum du pH de coagulation.

Le $FeCl_3$ déstabilise les particules colloïdales en provoquant la neutralisation des charges.

Le flocculant, qui est un polymère (très longue chaîne moléculaire ramifiée, possédant des sites électrostatiques chargés positivement ou négativement, sur ces sites peuvent se fixer les colloïdes préalablement coagulés) ; va alors faire une agglomération des colloïdes déchargés (*SADOWASKI, 2002*), on aurait alors formation de floccs. Cette floculation résulte en effet des différentes forces d'attraction entre les particules mises en contact (figure 10).

Ainsi, l'ensemble:« polymère + colloïdes déchargés et fixés » pourra décanter spontanément sous forme de floc physico-chimique de taille supérieure à 1 mm.

L'effluent ainsi traité sera dirigé vers des bassins d'aéro-flottation(bassin 5) (figure 8) ou il y a injection d'air pour favoriser la flottation des floes constitués qui seront récupérées dans une fosse à boues puis envoyées vers un épaisseur huileux.

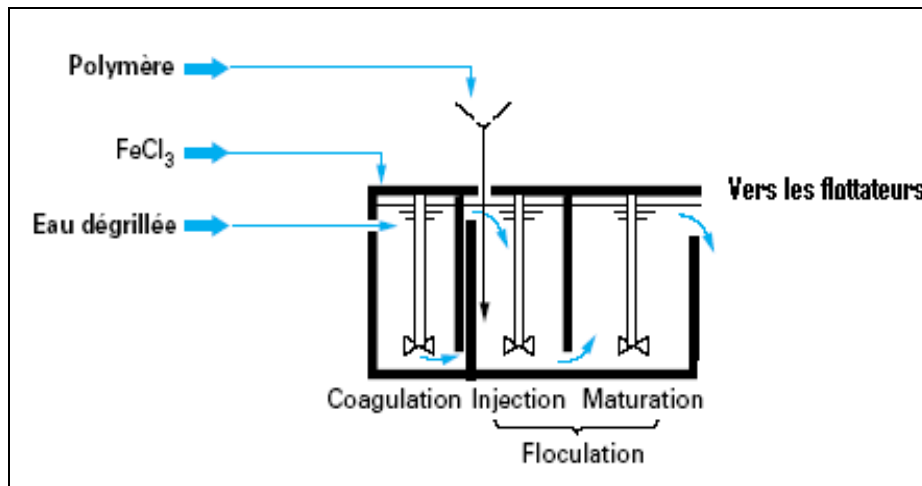


Figure 9: Bassin de coagulation-flocculation

Traitement biologique ou secondaire :

Ce traitement vise essentiellement la réduction de la teneur des effluents en matières organiques. Ceci par leur dégradation par des bactéries aérobies qui provoquent une oxydation directe à partir de d'oxygène dissous dans l'eau.

L'épuration biologique existe sous plusieurs formes, dont le choix est fonction de la quantité et de la nature de la DBO₅ à éliminer. La forme appliquée au sein de la raffinerie de pétrole de Mohammedia est le système à boues activées. Il s'agit d'un processus aérobie à culture libre. L'aération(bassin 6) (figure 8) et la clarification(bassin7) sont effectuées dans deux bassins séparés, et l'effluent final traité doit atteindre les caractéristiques maximales admises par la législation marocaine. Ces caractéristiques sont résumés dans le tableau 4:

Phénols (mg/l) < 1	DCO (mg/l) < 200
Plomb (mg/l) < 0.1	DBO5 (mg/l) < 60
Température ≤ 35°C	5.5 ≤ pH ≤ 8.5

Le procédé de traitement biologique adopté à la SAMIR est basé sur un système à boues activées, suivi d'une décantation secondaire. L'effluent quittant les flottateurs sera distribué uniformément sur deux bassins de traitement à boues activées. De l'acide phosphorique et de l'urée seront injectés en continu à l'entrée des bassins pour maintenir les éléments Carbone/Azote/Phosphore dans les proportions requises par le traitement biologique. L'aération des bassins, vitale pour le déroulement du processus de biodégradabilité, est assurée au moyen de 3 aérateurs de surface par bassin. Au cours du processus, la décomposition du carbone et la nitrification/dénitrification se produisent simultanément. Le maintien des conditions de traitement sera assuré notamment par le suivi en continu du taux d'oxygène, du pH et de température.

Après traitement, l'effluent sera déchargé vers les 2 bassins de clarification secondaire qui permettent non seulement de séparer les boues de l'eau, mais aussi d'épaissir la boue au fond de l'ouvrage. Les boues biologiques seront décantées au niveau du bassin clarificateur (figure 11) et recyclées dans une proportion de 1.2 fois le débit d'effluent entrant dans les bassins d'aération (figure 11). L'excédant sera envoyé vers la section épaissement

Les eaux usées ainsi traitées seront mesurées et échantillonnées avant d'être déchargées vers l'océan.



Figure 10: Clarificateur et bassin d'aération

Traitement des boues :

Les boues se présentent au départ sous forme liquide et avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible. Ces deux caractéristiques sont gênantes quelle que soit la destination des boues et imposent la mise en place d'une filière de traitement, c'est-à-dire une suite organisée de procédés qui agissent de façon complémentaire

On distingue trois grands types de traitement :

- des traitements de stabilisation, dont l'objectif est de réduire la fermentescibilité des boues pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs ;
- des traitements d'hygiénisation qui visent à éradiquer la charge en micro-organismes pathogènes. Ils ne sont mis en œuvre que dans des contextes particuliers ;
- des traitements de réduction de la teneur en eau des boues, visant à diminuer la quantité de boues à stocker et à épandre, ou améliorer leurs caractéristiques physiques (tenue en tas notamment).

Au sein de la raffinerie de pétrole de Mohammedia, les boues résultantes des différents traitements (prétraitement, physico-chimique et biologique) subissent un épaissement en passant par une déshydratation partielle, jusqu'à un séchage presque total pour but de réduire leur teneur en eau.

On traite les boues physico-chimiques (boues primaires) et les boues biologiques (boues secondaires) séparément.

A partir des pré-séparateurs, des séparateurs API, et des flottateurs proviennent les boues physico-chimiques qui seront regroupées dans une fosse à boues, avant d'être déshydratées par passage successivement dans l'épaisseur et dans la centrifugeuse (figure 13).

Les boues biologiques excédentaires seront déshydratées par passage dans l'épaisseur des boues biologiques suivi d'un étalage dans les lits de séchage (figure13).



Figure 11: Centrifugeuse et lits de séchage

CHAPITRE 3

PRÉSENTATION DES ANALYSES ET DISCUSSIONS DES RÉSULTATS

I. Introduction :

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressées à l'évaluation des performances du traitement biologique au sein de la station d'épuration de la SAMIR, à savoir la DBO₅, la DCO et les variations du phénol. Pour cela j'ai suivi les analyses de ces paramètres pendant le mois juin 2014.

II. Analyse des paramètres physico-chimiques :

1. Localisation des points de prélèvement :

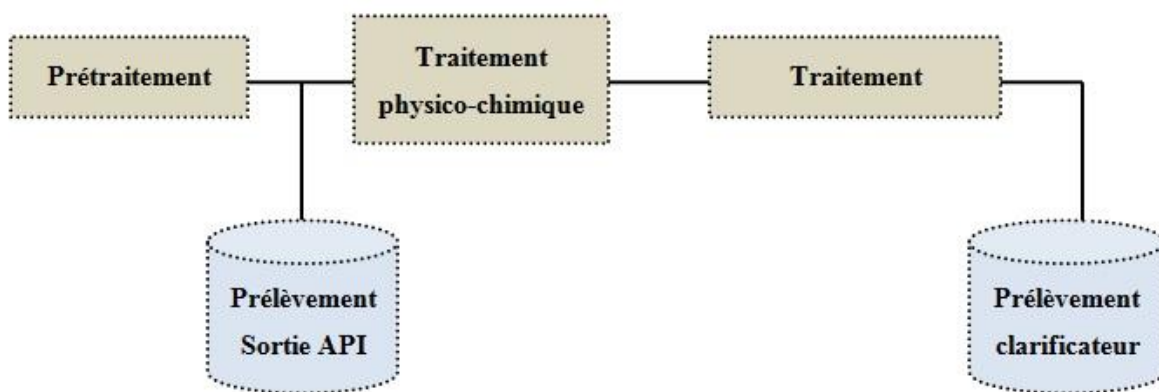


Figure 12 : Les points de prélèvement

J'ai prélevée les eaux usées au niveau de deux sorties. Au niveau de la sortie API après le prétraitement (bassin 2) (figure 8) et au niveau du clarificateur après le traitement biologique (bassin 7) (figure 8). Quatre prélèvements d'eau au total ont été réalisés au cours du mois de juin 2014.

Le choix de ces points de prélèvement permettra de bien suivre le déroulement du processus de traitement des eaux résiduaires dès son début jusqu'à bassin biologique afin d'optimiser les potentialités épuratoires de chaque composante vis-à-vis cette pollution.

La détermination des concentrations en phénol, plomb, et chrome a été effectuée uniquement sur les eaux prélevées à la sortie du clarificateur (bassin 7). Par contre les

analyses physico-chimiques de DBO₅, DCO, pH et la température ont été effectuées sur les eaux des deux bassins (7 et 8).

2. Méthodes d'analyses :

⇒ Température :

Il est primordial de connaître la température d'une eau. En effet, elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz.

Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau.

⇒ pH :

Le pH mesure la concentration des ions H⁺ dans l'eau. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique. La valeur du pH altère la croissance et la reproduction des micro-organismes existants dans une eau, la plupart des bactéries peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum est situé entre 6,5 et 8,5, Des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et la survie des micro-organismes aquatiques selon l'organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Le laboratoire de la Samir utilise le matériel de HACH LANGE, société spécialisée en électrochimie et photométrie et qui fabrique des produits et des appareils de mesure pour l'analyse de l'eau. Ces instruments de laboratoire sont plus sécurisés, faciles à utiliser et exactes.

Le mode opératoire est basé sur l'utilisation de la spectrophotométrie (figure 15) qui donne la mesure de chaque test en cuve 'kits' (figure 14) :



Figure 13: Spectrophotométrie



Figure 14: Les kits LCK

⇒ **Demande chimique en oxygène : DCO**

C'est une mesure de la quantité totale d'oxygène nécessaire pour oxyder toute la matière organique et inorganique oxydable d'une eau usée. Elle se fait par l'utilisation des Kits « LCK 314 »



Figure 15: Mécanisme de la DBO₅

⇒ **Demande biologique en oxygène : DBO₅**

Critère de pollution organique basé sur la quantité d'oxygène consommée à 20°C et à l'obscurité pendant un temps de référence pour assurer l'oxydation des matières organiques présentes dans l'eau par voie biologique.

La DBO₅ c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée après 5 jours d'incubation, est conventionnellement utilisée.

Il convient de noter que la DBO₅ n'est normalement représentative que de la pollution organique carbonée biodégradable. Le suivi de la DBO₅ en différents points de la station nous permet de contrôler la qualité du traitement.

Concentration de plomb, sulfure et phénol :

Les composés chimiques et les métaux lourds sont également mesurés par les kits, ces derniers sont préparés en suivant les étapes données par la feuille du kit (voir annexe). Les kits sont placés dans le spectrophotomètre pour avoir la concentration de chaque composé:

- Phénols kit utilisé : LCK345 » (voir annexe 1).
- Chrome kit utilisé : LCW053 » (voir annexe 2).
- Plomb kit utilisé : LCK306 » (voir annexe 3).

3. Résultats et discussion :

Les résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques spécifiques des effluents bruts de la raffinerie de Mohammedia durant la période juin 2014 sont donnés par le tableau 6.

MOIS	SORTIE API				SORTIE STATION						
	DBO5 mg/l	DCO mg/l	PH	T°c T°c	DBO5 mg/l	DCO mg/l	PH	T°c T°c	Phénols mg/l	Plomb mg/l	chrome mg/l
3-juin-14			8,4	30		480	7,2	27	3,16		
4-juin-14			8,2	30		368	7,1	28		0,1	
5-juin-14			8	31		361	7,2	28			0,01
6-juin-14	37	772	7,2	31	14	306	7,1	28			
9-juin-14			7,1	30		285	7,4	29			
10-juin-14			7,4	30		198	7,6	29	0,842		
11-juin-14			7,4	30		147	6,8	29		0,1	
12-juin-14			7,2	31		450	6,7	27			0,01
13-juin-14	46	908	7,2	31	16	578	6,7	26			
16-juin-14			7,3	30		580	6,5	26			
17-juin-14			7,3	30		673	6,7	25	7,25		
18-juin-14			7,4	30		675	6,8	24		0,1	
19-juin-14			7,4	31		700	6,5	23			0,01
20-juin-14	43	878,0	7,5	31	19	689	7,2	24			
23-juin-14			7,2	30		670	7,3	25			
24-juin-14			7,3	30		667	7,2	25	6,6		
25-juin-14			7,3	31		650	7,3	26		0,1	
26-juin-14			7,3	31		598	7,2	26			0,01
27-juin-14	42	858,0	7,4	30	13	475	7,3	27			
31-juin-14			7,5	30		340	7	28	3,2		
Moyenne Mensuelle	42,0	854,0	7,4	30,4	15,5	505,0	7,1	26,4	4,463	0,1	0,010

Tableau 5 : Analyses des eaux de la Station sortie API et clarificateur juin 2014

D'après les résultats ci-dessus on peut remarquer que :

- Le pH peut varier entre 7,5 et 8,4 durant le traitement primaire mais il diminue après le traitement biologique et atteint des valeurs oscillant entre 6 et 7,5.
- La température des eaux de la station d'épuration de la SAMIR, Mohammedia présente des fluctuations tout au long du processus de production.
A l'entrée de l'ouvrage de traitement, les températures varient entre 30°C et 31°C. A la sortie clarificateur, les valeurs moyennes de la température varient entre 25 °C et 29°C. Les valeurs atteintes sont inférieures à 35°C, valeur limite spécifique de rejet applicable aux déversements des raffineries de pétrole, selon les autorités gouvernementales chargées de l'Eau, de l'Environnement, de l'Industrie.
- La valeur moyenne de DBO₅ à l'entrer est de 42 mg d'O₂/l. A la sortie clarificateur varie entre 13 et 20 mg d'O₂/l. La valeur moyenne atteinte est de 15,5 inférieures à la limite spécifique qui est de 60 mg d'O₂/l.
- Les métaux toxiques plomb et chrome ont des valeurs moyennes stables qui sont respectivement de 0,1 et 0,01 mg/l, les deux valeurs ne dépassent pas la norme qui est de 0,1mg/l.
- La concentration du phénol est plus élevée, elle varie entre et 0,8 et 7,25 mg/l. la valeur moyenne atteinte 4,46mg/l est supérieure à la norme marocaine des rejets industriels qui est de 1 mg/l.
- La variation de la DCO montre une fluctuation entre l'entrée et la sortie de l'ouvrage de traitement. A l'entré DCO a une valeur moyenne de 845 mg d'O₂/l. A la sortie, les valeurs vont de 147 mg d'O₂/l à 700 mg d'O₂/l, ces valeurs sont plus grandes que la norme du DCO qui est de 200 mg/l. ce qui pose un problème environnemental pour ces eaux qui vont être rejeté dans la mer.
 - La concentration du phénol et le DCO ont des valeurs élevées
 - Les phénols sont hautement toxiques et ne sont pas facilement dégradés biologiquement à des concentrations supérieures à 200 mg/l. Les fortes concentrations du phénol dans l'effluent conduisent rapidement à l'absence de

croissance des micro-organismes ce qui entraîne une augmentation de DCO, augmentation de l'acidité de milieu et une diminution de la température.

Les analyses physico-chimiques ont donc montré des fluctuations des paramètres mesurés au niveau de la station d'épuration. Cette fluctuation causée par l'existence de fortes concentrations de phénol.

Du fait de cette charge polluante dangereuse pour la faune la flore et l'être humain, il est important d'épurer ces eaux, au niveau de la station d'épuration, avant de les rejeter dans l'environnement ou le milieu récepteur.

Le chapitre qui suit, visera l'optimisation de la purification des effluents de la station en testant deux types de procédés, afin de réduire voire éliminer le phénol contenu dans ces eaux polluées.



CHAPITRE 4

SOLUTIONS PROPOSÉES

I. Introduction

Le rejet d'eaux phénolées assez fortement chargées constitue un cas de pollution relativement fréquent pour lequel il n'existe pas actuellement de solutions techniques totalement fiables. Les procédés d'oxydation éliminent un taux important du phénol et semblent donc être très intéressants à tester.

L'oxydation du phénol donne tout d'abord des composés aromatiques : catéchol et ortho-quinone (LOUAULT, 2010) et fini par donner des acides carboxyliques à courtes chaînes carbonées. Le schéma suivant résume les étapes de l'oxydation de phénol :

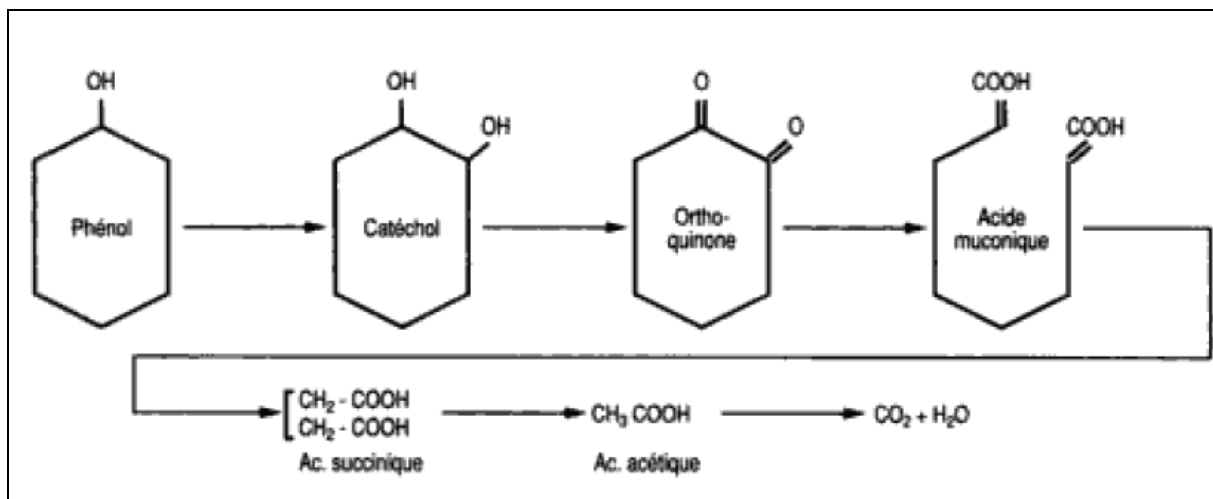
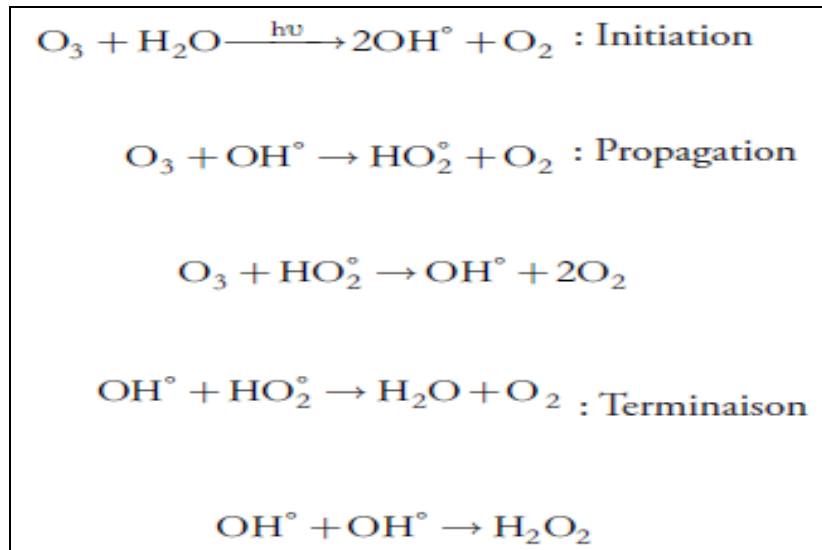


Figure 16: Mécanisme d'oxydation de phénol

Pour arriver à notre but, il y a 3 méthodes proposées :

⇒ **Couplage ozone/ultraviolet (O₃/UV) :**

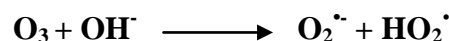
L'ozone en solution aqueuse absorbe les radiations UV avec un maximum d'adsorption à 253,7 nm (SCHALLER, 2011). Cette réaction conduit à la production de radicaux libres qui sont des espèces oxydantes très réactives et efficaces pour éliminer les polluants organiques et bactériens.



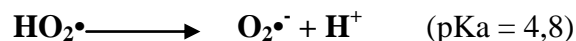
Contrairement à celles de l'ozone, les réactions à radicaux -OH sont fortement sélectives (SCHALLER, 2011). Les réactions indirectes dans un procédé d'oxydation à l'ozone peuvent être très complexes. D'une manière générale, une réaction indirecte selon les étapes suivantes:

Initiation :

La première réaction qui a lieu est accélérée par la décomposition de l'ozone par un type d'initiateur. Ceci peut être une molécule OH₂:

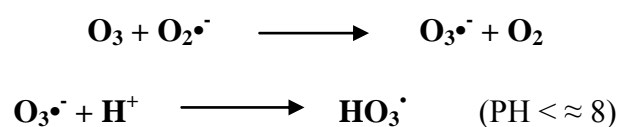


Ce radical a un équilibre acide/ base de pKa = 4,8. Au-dessus de cette valeur, ce radical ne se divise plus, parce qu'il forme un radical superoxyde, voir réaction:

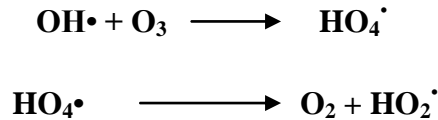


- Réaction en chaîne

Maintenant, une réaction en chaîne a lieu, durant laquelle des radicaux-OH sont formés. Le mécanisme de réaction est le suivant :



Les radicaux OH qui sont formés réagissent avec l'ozone selon le mécanisme de réaction suivant:

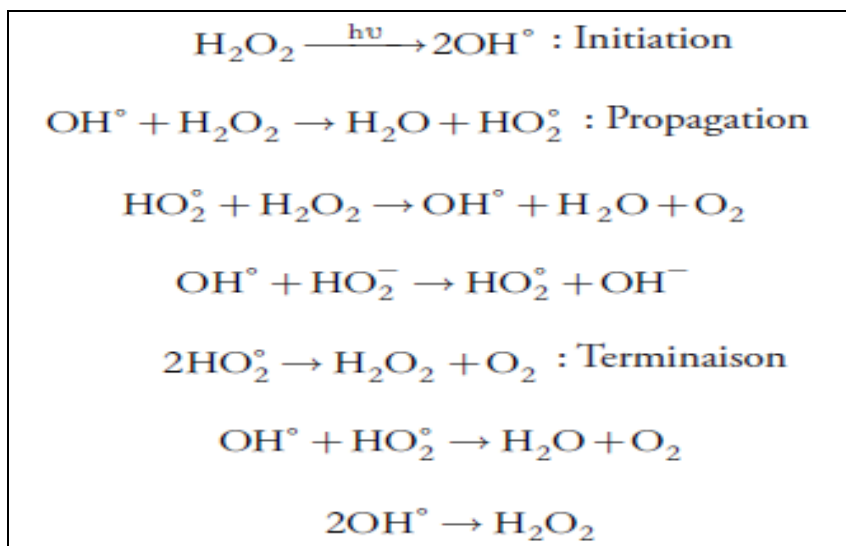


Lors de la dernière réaction, les radicaux $\text{HO}_2\cdot$ sont formés, ils peuvent relancer la réaction (*). Par conséquent, une réaction en chaîne se développe, qui est maintenue par ce qu'on appelle des promoteurs.

Les promoteurs sont des substances qui transforment les radicaux-OH en radicaux superoxydes. Diverses substances peuvent devenir des promoteurs, incluant des molécules organiques.

⇒ **Oxydation par peroxyde d'oxygène H_2O_2 :**

La photolyse du peroxyde d'hydrogène à des longueurs d'onde comprises entre 200 et 300 nm, provoque une coupure homolytique de la liaison O — O de la molécule de H_2O_2 (krou, 2010) et conduit à la formation de radicaux hydroxyles qui participent également, par des réactions secondaires, à la décomposition du peroxyde d'hydrogène :



⇒ **Procédé de charbon actif :**

Le charbon actif supprime certaines substances par réaction catalytique (AYRAL, 2009). Dans le cas de l'oxydation du phénol, la présence de charbon conduit à la formation d'acide 4-hydrox benzoïque, intermédiaire qui a un groupement $-COOH$ supplémentaire par rapport au phénol). Les groupements de surface du charbon (fonctions carboxyliques) pourraient donc ici réagir avec le phénol adsorbé pour donner ce composé.

Le couplage ozone/UV à plusieurs inconvénients (SCHALLER, 2011), Dégradation plus lente que les radicaux OH et Faible pénétration des rayonnements UV dans des eaux troubles. Aussi la faisabilité économique reste un des facteurs qui limite cette technique.

Le paragraphe qui suit est consacré à l'expérimentation des solutions mises en œuvre. Tout d'abord on va commencer par tester l'adsorption du phénol par le charbon actif, ensuite tester son oxydation par le peroxyde d'hydrogène. Les résultats obtenus vont permettre de choisir la solution convenable pour l'élimination du phénol.

II. Analyses d'adsorption du phénol par le charbon actif :

Dans 100 ml d'eau usée Samir issue de l'API nous avons analysé l'effet de l'adsorption du phénol sur le charbon actif (CA). Avec le spectrophotomètre on a fait les mesures à la longueur d'onde $\lambda=291\text{nm}$.

Les résultats sont compilés dans le tableau suivant (tableau8) :

Masse CA (g)	ABS	Rendement d'adsorption du phénol en %
0	0,293	-
0,5	0,195	33
1	0,167	43
2	0,106	64
4	0,081	72
8	0,025	91

Tableau 6: Résultats des analyses d'adsorption du phénol par le charbon actif

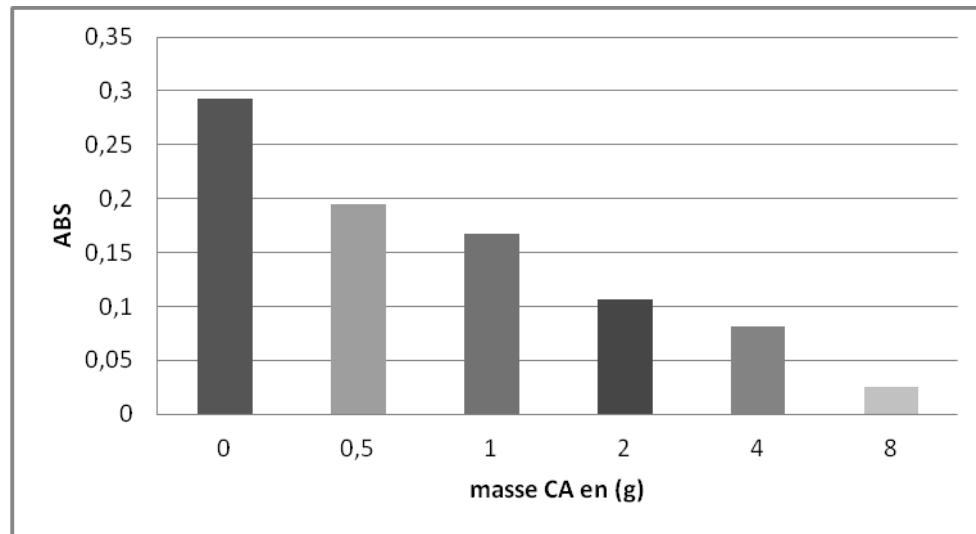


Figure 17: Diagramme illustrant l'adsorption du phénol par le charbon actif

- **Commentaire :**

Les résultats présentés dans la figure 20 montrent que lorsque on augmente la masse da charbon actif, l'absorbance diminue. Avec 4g de charbon actif on obtient un abattement de 72% du phénol et lorsque la masse est de 8g le rendement d'absorption du phénol devient 91%, presque l'absorbance totale du phénol par charbon actif.

- **Interprétation :**

Les analyses effectuées montrent que 4g de charbon actif adéquat pour avoir des résultats idéal.

- **Calcul des besoins en CA :**

Pour un rendement de 72% de réduction de phénol il nous faut 4g/100ml d'eau usée,

Ce qui fait 40 kg CA/m³. Pour 250 m³/h (débit des effluents) :

$$\text{Donc } 40\text{kg} \longrightarrow 1\text{m}^3$$

$$X \longrightarrow 250\text{m}^3$$

$$X=40*250=10000 \text{ Kg}=10 \text{ T/h}$$

Donc : 240T de CA/jour.

D'après ce résultat, la quantité du charbon actif dont nous avons besoin est excessive. Nous ne pouvons pas adopter cette méthode pour l'élimination du phénol même si le CA est régénérable.

III. Oxydation de phénol par le peroxyde d'hydrogène H₂O₂ :

- On prélève 100ml d'eau usée Samir de l'API et on met dans un bécher de 200ml.
- Nous avons utilisé un 1g de H₂O₂ 35% diluée, à raison d'obtenir 10 mg dans 10ml d'eau distillée. Deux essais ont été effectués :
- Pour l'essai 1 nous avons ajouté 2,5ml dans un bécher de 200 ml de concentration 1000mg/l de la solution diluée H₂O₂ dans 100ml d'eau usée Samir issue de l'API :

$$\text{On a } C_i \cdot V_i = C_f \cdot V_f \quad \text{donc } [H_2O_2] = (1000 \times 0,025) / 0,1 = 250 \text{ mg/l.}$$

- Pour l'essai 2 nous avons ajouté 5ml de solution H₂O₂ diluée dans 100ml d'eau usée issue de l'API : donc $[H_2O_2] = (1000 \times 0,005) / 0,1 = 500 \text{ mg/l.}$

Pendant les deux essais on procède une agitation rapide de 3 min les résultats sont combinés dans le tableau 9 :

[H ₂ O ₂] (mg/l)	phénol (mg/l)	DCO (mg/l)
0	8,5	741
250	2,33	375
500	0,75	180

Tableau 7: Résultats des analyses du phénol et DCO de l'eau traite par H₂O₂ à 35%

La figure ci-dessous (fig.20) montre la variation de la concentration du phénol et DCO par l'ajout de l'eau oxygénée :

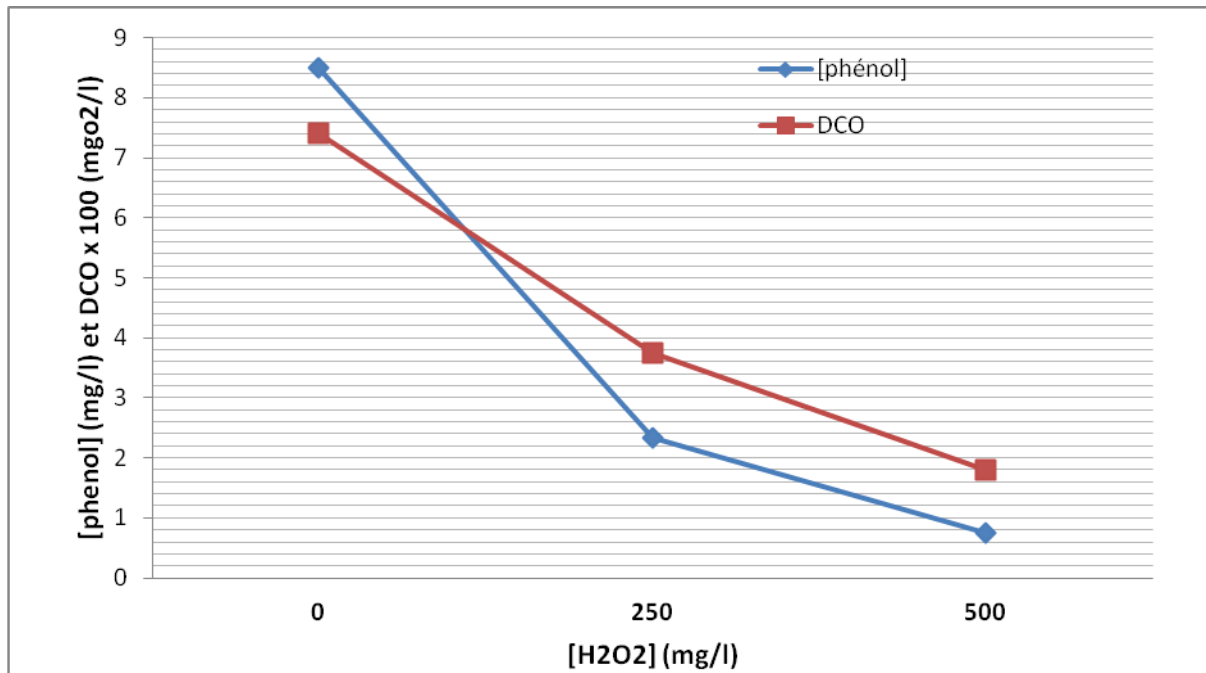


Figure 18: Évaluation du phénols et DCO par H₂O₂ à 35%

- **Commentaire :**

Nous constatons une diminution du taux du phénol et de la DCO. En effet, H₂O₂ oxyde les phénols et d'autre polluant, ce qui entraîne une baisse considérable de DCO environ 50%.

Les résultats suivants sont concluants et la concentration de H₂O₂ nécessaire pour baisser la concentration du phénol de 8,5 à 2,33 mg/l est de 250 mg soit un abattement de 73%.

- **Interprétation :**

Calcul des besoins en H₂O₂ :

On a la densité de H₂O₂ d= 1,13 kg/l et le débit des effluents dans le bassin d'aération est

$$Q = 250 \text{ m}^3/\text{h}$$

La concentration de H₂O₂ nécessaire pour baisser de 8,5 à 2,33 mg/l est de 250 mg donc :

$$[\text{H}_2\text{O}_2] = 250 \text{ mg/l} = 250 \text{ g/m}^3$$

$$=250 \text{ g/m}^3 * 250 \text{ m}^3/\text{h}=62500 \text{ g/h}$$

Donc: $[\text{H}_2\text{O}_2] = 62,5 \text{ Kg/h}$

Besoin de H_2O_2 en l/h puis l/J :

$$\text{Le } [\text{H}_2\text{O}_2] = \frac{62,5}{1,13} = 55,3 \text{ l/h}$$

Et en 24h:

$$[\text{H}_2\text{O}_2] = 55,3 * 24 = 1320 \text{ l}$$

Le tableau 10 résume les calculs du besoin de H_2O_2 dans la station :

$[\text{H}_2\text{O}_2]$ (mg/l)	250	500
Besoin de H_2O_2 a 35% pour traiter un débit de 250 m³/h en l/h	55,3	111
Besoin de H_2O_2 a 35% pour 24h en l	1327,2	2664

Tableau 8: Calcul le besoin de H_2O_2 dans la station par jour

Après avoir fait les analyses et les calculs : la quantité efficace de H_2O_2 pour diminuer la concentration du phénol dans la station est de 1 m³/J c'est une quantité acceptable et convenable pour le coût d'investissement du projet.

IV. Conclusion :

L'adsorption est un moyen efficace pour traiter des eaux usées contenant de faibles quantités de phénol. Elle ne pose que peu de problèmes. De plus, pour des raisons de coût du charbon actif, cette technique ne peut pas être utilisée pour traiter des eaux résiduaires, contenant de fortes concentrations de phénol sur charbon actif.

Au contraire l'oxydation par peroxyde d'hydrogène présente de nombreux avantages elle est peu coûteuse et est d'une efficacité sur la diminution de concentration de phénol.

CHAPITRE 5

CONCRÉTISATION DE LA

SOLUTION CHOISIE

I. Introduction :

La modification de peroxyde d'hydrogène dans les bassins biologique nécessite un bac de stockage relié par une pompe qui assure la bonne injection de H_2O_2 . Dans ce chapitre on va calculer les paramètres de la pompe afin de réaliser un dimensionnement conforme à notre projet.

II. Calcule de la hauteur manométrique totale H_{MT} de la pompe :

Pour véhiculer un liquide d'un endroit à un autre, la pompe doit fournir une certaine pression appelée hauteur manométrique totale (BENHAMOUDA,2001), cela dépend des conditions d'aspiration et de refoulement, la figure 22 schématise l'emplacement du pompe :

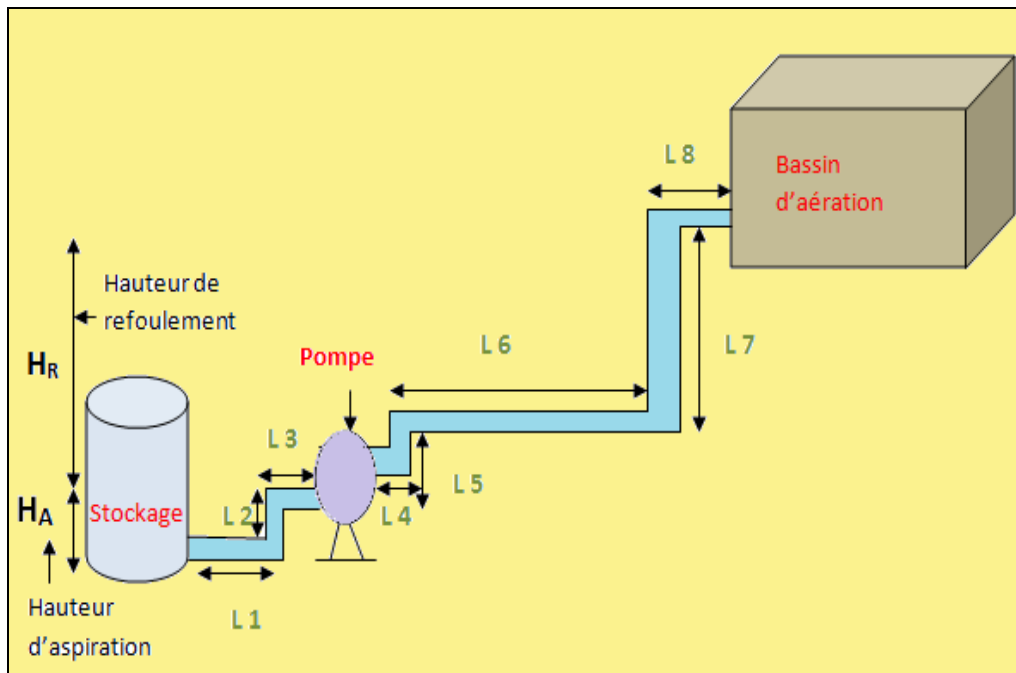


Figure 19: Schéma de l'injection de la pompe dans la station

On a $Q= 55,3$ l/h

On suppose que diamètre des conduites est égale $D= 0,75$ pouces

Et on a 1 pouce=2,54 cm Alors $D=2$ cm

on a : $S = \pi \times R^2 = \pi \times D^2 / 4$

$$\text{Donc } V = \frac{Q}{S} = \frac{4Q}{\pi \times D^2} = 175,05 \text{ m/h} = 4,86 \times 10^{-2} \text{ m/S}$$

V: vitesse d'écoulement en m/s

Q: Débit d'écoulement en m³/s

S : section du passage en m²

La hauteur manométrique est calculé par la différence entre charge de refoulement et d'aspiration d'une pompe :

A partir de l'équation de Bernoulli : $H_{MT} = H_2 - H_1$

H_2 : charge au refoulement de la pompe en m

H_1 : charge à l'aspiration de la pompe en m

➤ **Calcul de H_2 :**

D'après bernoulli : $H_2 = H_f + \Delta H_{2f}$

H_f : la charge en point 0 exprimé en (m)

ΔH_{2f} : perte de charge totale en (m).

- Calcul de la charge H_f :

D'après bernoulli $H_f = \frac{p}{\rho g} + Z_f + \frac{V^2}{2g}$

P : la pression en point 0 est $P_f = 10^2 \text{ Pa}$

V : la vitesse en point 0 exprimé est $V = 4,86 \times 10^{-2} \text{ m/s}$

g : intensité moyenne de pesanteur 9.81 m/s²

Z_f : le dénivellé vertical des conduits est de 10 m

$$\text{A.N : } \boxed{H_f = \frac{100}{9,81} + 10 + \frac{(4,86 \times 10^{-2})^2}{2 \times 9,81}} \quad \text{Donc } \boxed{H_f = 20\text{m}}$$

- Calcul de la perte de charge ΔH_{2f} :

$$\Delta H_{2f} = \Delta H_r + \Delta H_s$$

ΔH_r : perte de charge régulière de 0 à 1 en (m)

ΔH_s : perte de charge singulière de 0 à 1 en (m)

$$\text{Calcul de } \Delta H_r : \quad \boxed{\Delta H_r = \frac{\lambda}{D} * \frac{V^2}{2g} * L}$$

λ : Coefficient de perte de charge régulière

D : diamètre de l'écoulement en m.

L : longueur de l'écoulement en m.

À partir du schéma 21 longueur de l'écoulement en refoulement est

$$L = L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8$$

Et : $L_1 = 1\text{m}$; $L_2 = 0.5\text{m}$; $L_3 = 1\text{m}$; $L_4 = 1\text{m}$; $L_5 = 3\text{m}$

$L_6 = 11\text{m}$; $L_7 = 14\text{m}$; $L_8 = 1\text{m}$

$$\text{Donc : } \boxed{\Delta H_r = \frac{\lambda}{D} * \frac{V^2}{2g} * (L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8)}$$

Déterminant λ coefficient de la perte de charge régulière:

Pour déterminer λ dans le diagramme de Moody il faut calculer la rugosité relative ϵ_r et

Le nombre de Reynolds des particules :

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{D}$$

ϵ : rugosité absolue en mm

D : diamètre des conduits en mm

On a des conduites en inox, alors d'après la figure 22 on constate que :

$$\epsilon = 0,015 \text{ mm}$$

Valeurs usuelles indices de rugosité (K) en mm		
	Nature de la surface intérieure	Indice rugosité k
1	cuivre, plomb, laiton, inox	0,001 à 0,002
2	Tube PVC	0,0015
3	Acier inox	0,015
4	tube acier du commerce	0,045 à 0,09
5	Acier étiré	0,015
6	Acier soudé	0,045
7	acier galvanisé	0,15
8	Acier rouillé	0,1 à 1
9	fonte neuve	0,25 à 0,8
10	fonte usagée	0,8 à 1,5
11	fonte incrustée	1,5 à 2,5
12	tôle ou fonte asphaltée	0,01 à 0,015
13	ciment bien lissé	0,3
14	Béton ordinaire	1
15	béton grossier	5
16	bois bien raboté	5
17	bois ordinaire	1

Figure 20: Indice de rugosité absolue selon la nature de la surface intérieure

Et par conséquent
$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{D} = \frac{0,015}{20} = 7,5 \times 10^{-4}$$

Or
$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu}$$

Re : le nombre de Reynolds des particules

ρ : la masse volumique de fluide

μ : viscosité cinétique de fluide

Donc :
$$Re = 972000$$

D'après le diagramme de moody (voir annexe 4) le coefficient $\lambda = 0,022$

Alors : $\Delta H_r = 3,89 \times 10^{-3} \text{ m}$

Calcul de ΔH_s :
$$\Delta H_s = \frac{V^2}{2g} * 4k_1$$

K_1 : coefficient dépend de la nature de la résistance locale

Déterminant K_1 :

On a : $K = Ft \times 4$ Ft :coefficient selon le diamètre nominal

alors que
$$\frac{K_1}{4Ft} = 30 \quad (\text{voir Annexe 5})$$

Et : $4Ft = 0,025$ (voir Annexe 6)

D'où: $K_1 = 0,75$

Donc : $\Delta H_s = 3,54 \times 10^{-4} \text{ m}$, $\Delta H_{2f} = 4,24 \times 10^{-3} \text{ m}$ Et $H_2 = 20 \text{ m}$

➤ **Calcul de H_1 :**

$$H_1 = H_0 - \Delta H_{01} \longrightarrow H_0 = \frac{p}{\rho g} + Z_0 + \frac{V^2}{2g}$$

H_0 : la charge en point 0 exprimé en (m)

P : la pression en point 0 exprimé en (Pa)

V : la vitesse en point 0 exprimé en (m/s)

Z_0 : le denivelé vertical des conduits est $Z_0 = 2,5 \text{ m}$

V= nulle donc $H_0 = 12,5 \text{ m}$

$$\Delta H_{01} = \Delta H_r + \Delta H_s$$

ΔH_r : perte de charge régulière de 0 à 1 en (m)

ΔH_s : perte de charge singulière de 0 à 1 en (m)

ΔH_{01} : perte de charge totale en (m)

D'après la figure 21 la longueur de l'écoulement en aspiration est :

$$L=L_1+L_2+L_3 \quad \text{Donc :} \quad \Delta H_r = \frac{\lambda}{D} * \frac{V^2}{2g} * (L_1+L_2+L_3)$$

$$\Delta H_r = 3,24 \times 10^{-4} \text{ m}$$

- Calcul de ΔH_s : $\Delta H_s = \frac{V^2}{2g} * (2k_1 + K_v)$

Detrminant K_v : coefficient de perte de charge singulière

$$\frac{K_v}{4Ft} = 8 \quad ; \quad 4Ft = 0.025$$

D' où $K_v = 0,2$

$$\Delta H_s = 2 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Donc $\Delta H_{01} = 5,24 \times 10^{-4} \text{ m}$ et $H_1 = 12,49 \text{ m}$

$$\mathbf{H_{MT} = 7,51 \text{ m}}$$

Le diagramme suivant (PARKER, 2011) présent la relation entre la HMT et le débit :

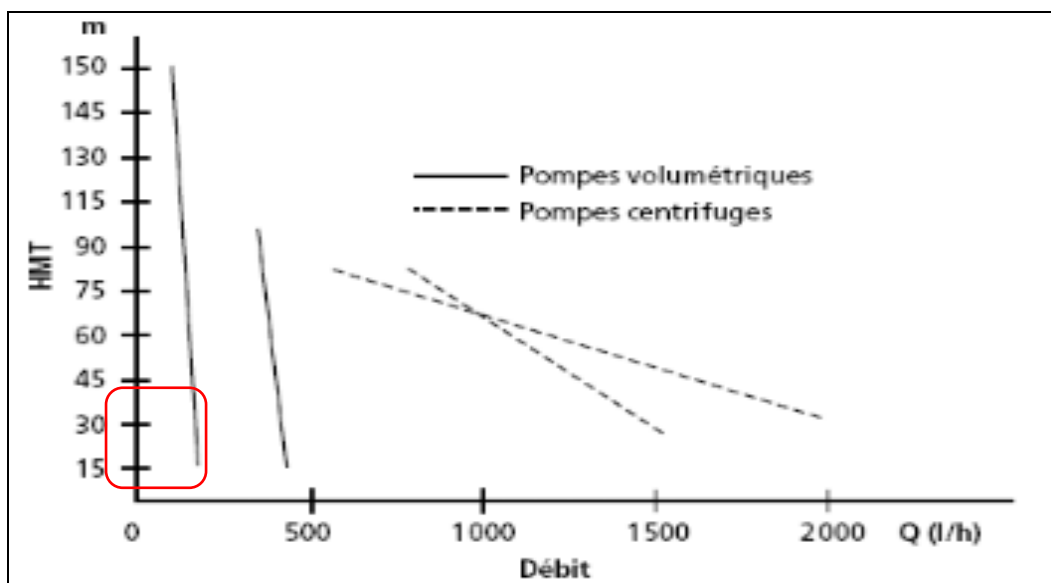


Figure 21: Le choix de la pompe selon le HMT et le débit

D'après le diagramme, la valeur de HMT et du débit impose l'utilisation d'une **pompe volumétrique**.

III.L'énergie mécanique en charge hydrostatique :

Pour calculer l'énergie mécanique on a :

$$P_h = \rho \cdot Q \cdot H_{MT} \cdot g$$

P_h : puissance transmise au fluide par la pompe en watt

Q : débit en m^3/s

ρ : masse volumique du liquide en kg/m^3

H_{MT} : hauteur de charge en mètre

g : intensité moyenne de pesanteur $P_h = 1,14903$ watt

Les caractéristiques de la pompe proposée sont résumées comme suivant :

Débit d'étude :	55,3 l/h
Température :	20°C
Charge de refoulement :	20 m
Charge d'aspiration:	12,49 m
H_{MT}:	7,51m
P_h:	1,14903watt
Fluide pompe :	l'eau oxygénée

IV. Estimation du coût de la concrétisation de la solution choisie :

La détermination du coût d'investissement d'un projet est une étape importante dans l'étude du sujet :

Sachant que le prix de H_2O_2 est de 7dh/l et que les besoins journaliers sont de $1m^3/j$, donc, le prix de l'utilisation de cette technologie pour éliminer le phénol est de 7000dh/j, donc pour une année de travail (365 jours), le coût est d'environ 2.555.000dh.

Le coût des instruments liés au projet est comme le suivant :

équipements d'installation	Prix Totale(DH)
2 Pompes (1 Service + 1 en Réserve)	250000
conduits	7574
Réservoir de stockage	58000

Tableau 9: Les prix des équipements d'installation

Le prix total des équipements est de 315,575 DH

CONCLUSION GÉNÉRALE

Dans la station d'épuration de la raffinerie SAMIR l'étude de suivi des analyses du traitement biologique du mois de juin 2014 a montré que les performances de ce traitement sont influencées par les fortes concentrations du phénol. Ce qui perturbe le traitement et par conséquent les performances de toute la station de la SAMIR.

L'objectif principal de ce projet est de choisir la méthode la plus performante (charbon actif ou peroxyde d'hydrogène) pour éliminer le phénol avant le rejet des eaux traitées dans la nature.

L'étude expérimentale a montré que l'utilisation de peroxyde d'hydrogène est une technique permettant de répondre entièrement à cet objectif.

Cette technique est basée sur la génération des radicaux hydroxyles pour dégrader le phénol dans un milieu aqueux. Son avantage réside dans l'utilisation de l'oxydant H_2O_2 non toxique et moins coûteux.

Les calculs faits ont montré que pour une oxydation optimum du phénol, la pompe d'injection de l'eau oxygénée doit avoir un débit de 55,3 l/h.

Ce projet va améliorer la qualité des effluents, réduire les impacts environnementaux et les coûts associés aux rejets. Il aura également des avantages en matière de développement durable, ce qui coïncide parfaitement avec les objectifs tracés par la SAMIR.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AYRAL, C.(2009). Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur charbon actif (thèse de doctorat, Université de Toulouse, 163 p).

BENHAMOUDA, R.(2001).Notions de mécanique des fluides, 135p.

BERNE, F.(1991). Epuration des eaux résiduaires de raffinage. Paris: TECHNIP, 306p.

CLEANTECH Group, (2006). Etude d'impacts sur l'environnement de la raffinerie SAMIR. Rapport interne SAMIR, 60p.

EHTASH, M.(2011). Purification des eaux polluées par du phénol dans un pertracteur à disques tournants (thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Rouen, 159 p).

KROU, J.(2010). Etude expérimentale et modélisation d'un procédé séquentiel AD-AX d'élimination de polluants organiques (thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, 191p)

LOUAULT, C(2010). Etude de l'oxydation de phénol, transfert couple électron-proton en milieu aqueux (thèse de doctorat, Université Diderot de Paris, 160p).

PARKER, H(2011). Pompes hydrauliques industrielles et mobiles, 40p

SADOWASKI, A(2002). Traitement des eaux usées. Paris : TELMARQUE, 554p.

SCHALLER, V(2011). Oxydation électrochimique du phénol (thèse de doctorat, Ecole polytechnique fédérale de LAUSANNE, 201p).

Webographie

www.samir.ma : le site officiel de la SAMIR.

www.lenntech.fr : Adsorption charbon actif (water treatment solutions)

www.faidherbe.org : Phénols et quinones chimie organique

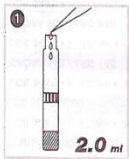
ANNEXES

❖ Annexe 1 :

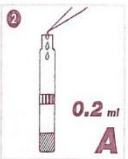
Les étapes de préparation du kit LCK 345 pour savoir la concentration du phénol :

LCK 345 10/1993


1 **2.0 ml** Probe pipettieren.
Pipetter **2.0 ml** d'échantillon.
Pipettare **2.0 ml** di campione.
2.0 ml monster pipettieren.
Pipette **2.0 ml** sample.



2 **0.2 ml** Lösung **A** (LCK 345 A) pipettieren.
Pipetter **0.2 ml** de la solution **A** (LCK 345 A).
Pipettare **0.2 ml** di soluzione **A** (LCK 345 A).
0.2 ml oplossing **A** (LCK 345 A) pipettieren.
Pipette **0.2 ml** solution **A** (LCK 345 A).




3

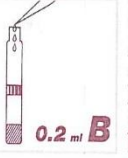


Küvette verschließen und schwenken.
Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite.
Tappare la cuvetta e mescolare.
Kuvet sluten en zwenken.
Close cuvette and invert a few times.

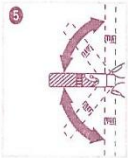
4 **2 min**



Nach **2 min** (Stoppuhr) **0.2 ml** Lösung **B** (LCK 345 B) in die gleiche Küvette pipettieren.
Attendre **2 min** (chronomètre) et pipetter **0.2 ml** de la solution **B** (LCK 345 B) dans la même cuve.
Aspettare **2 min** (cronometro), Pipettare **0.2 ml** di soluzione **B** (LCK 345 B) nella stessa cuvetta.
Na **2 min** (stopwatch) **0.2 ml** oplossing **B** (LCK 345 B) in hetzelfde kuvet pipettieren.
After **2 min** (stopwatch) pipette **0.2 ml** solution **B** (LCK 345 B) into the same cuvette.




5



Küvette verschließen und schwenken.
Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite.
Tappare la cuvetta e mescolare.
Kuvet sluten en zwenken.
Close cuvette and invert a few times.

6 **2 min**



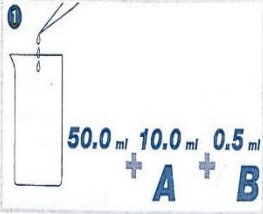
Nach **2 min** Küvette außen gut säubern und auswerten.
Attendre **2 min**, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.
Dopo **2 min** pulire bene la cuvetta esternamente e leggere.
Na **2 min** het kuvet van buiten goed reinigen en meten.
After **2 min** thoroughly clean the outside of the cuvette and evaluate.

❖ Annexe 2 :

Les étapes de la préparation du kit LCW053 pour savoir la concentration du chrome :

LCW 053
06/1990

1



50.0 ml + 10.0 ml + 0.5 ml

A + B

Leerwert / Valeur à blanc / Bianco / Blanco / Blank-value

In ein Becherglas pipettieren: **50.0 ml** destilliertes Wasser / **10.0 ml** Lösung **A** (LCW 053 A) / **0.5 ml** Lösung **B** (LCW 053 B)

Pipetter dans un becher: **50.0 ml** de l'eau distillée / **10.0 ml** de la solution **A** (LCW 053 A) / **0.5 ml** de la solution **B** (LCW 053 B)

Pipettare in un bicchiere: **50.0 ml** di acqua distillata / **10.0 ml** di soluzione **A** (LCW 053 A) / **0.5 ml** di soluzione **B** (LCW 053 B)

In een becherglas pipetteren: **50.0 ml** gedestilleerd water / **10.0 ml** oplossing **A** (LCW 053 A) / **0.5 ml** oplossing **B** (LCW 053 B)

Pipette into a beaker: **50.0 ml** distilled water / **10.0 ml** solution **A** (LCW 053 A) / **0.5 ml** solution **B** (LCW 053 B)

Analyse / Analiisi / Analysis

In ein Becherglas pipettieren: **50.0 ml** Probe / **10.0 ml** Lösung **A** (LCW 053 A) / **0.5 ml** Lösung **B** (LCW 053 B)

Pipetter dans un becher: **50.0 ml** d'échantillon / **10.0 ml** de la solution **A** (LCW 053 A) / **0.5 ml** de la solution **B** (LCW 053 B)


Pipettare in un bicchiere: **50.0 ml** di campione / **10.0 ml** di soluzione **A** (LCW 053 A) / **0.5 ml** di soluzione **B** (LCW 053 B)

In een becherglas pipetteren: **50.0 ml** monster / **10.0 ml** oplossing **A** (LCW 053 A) / **0.5 ml** oplossing **B** (LCW 053 B)

Pipette into a beaker: **50.0 ml** sample / **10.0 ml** solution **A** (LCW 053 A) / **0.5 ml** solution **B** (LCW 053 B)

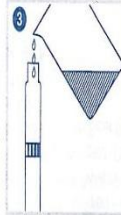
LASA 1/plus/20

2 10 min



Mischen und **10 min** stehen lassen.
Mélanger et laisser reposer pendant **10 min**.
Mescolare e lasciare riposare per **10 min**.
Mengen en **10 min** laten staan.
Mix and allow to stand for **10 min**.

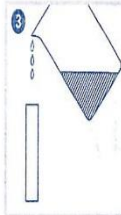
3



In **Rundküvetten** (LCW 906) umfüllen.
Transférer dans les **cuves rondes** (LCW 906).
Travasare nelle **cuvette rotonde** (LCW 906).
Overgieten in **rondkuvetten** (LCW 906).
Transfer to **round cuvettes** (LCW 906).


**LP1W/LP2W, CADAS 30/30S/50/50S/100/200
ISIS 6000/9000, LASA 30/100, XION 500**

3




In **10 mm Rechteckküvetten** umfüllen.
Transférer dans les **cuves rectangulaires de 10 mm**.
Travasare nelle **cuvette rettangolari da 10 mm**.
Overgieten in **10 mm rechteckkuvetten**.
Transfer to **10 mm rectangular cuvettes**.

4



Küvetten außen gut säubern und auswerten.
Bien nettoyer l'extérieur des cuves et mesurer.
Pulire bene le cuvette esternamente e leggere.
Küvetten van buiten goed reinigen en meten.
Thoroughly clean the outside of the cuvettes and evaluate.

4



Küvetten außen gut säubern und auswerten.
Bien nettoyer l'extérieur des cuves et mesurer.
Pulire bene le cuvette esternamente e leggere.
Küvetten van buiten goed reinigen en meten.
Thoroughly clean the outside of the cuvettes and evaluate.

❖ Annexe 3 :

Les étapes de la préparation du kit LCK 306 pour savoir la concentration du plomb :

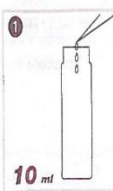
01/1995

LCK 306
Pb / Pb 902

Analysenküvette (1.) / Cuve d'analyse (1.) / Cuvetta d'analisi (1.) / Analyse-kuvet (1.) / Sample cuvette (1.)

1. Vorbehandlung / Préparation / Preparazione / Voorbehandeling / Pretreatment

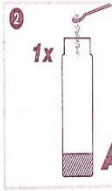
1



10 ml

In ein Reaktionsglas **10 ml** Probe pipettieren.
Pipetter **10 ml** d'échantillon dans une éprouvette de réaction.
Pipettare **10 ml** di campione in un provettone di reazione.
10 ml monster in een reactieglas pipetteren.
Pipette **10 ml** sample to a reaction tube.

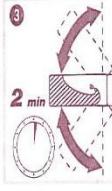
2



1x

1 Löffel Reagenz **A** (LCK 306 A) dosieren.
Doser **1 cuillère** du réactif **A** (LCK 306 A).
Aggiungere **1 cucchiaino** di reattivo **A** (LCK 306 A).
1 doseerlepel reagens **A** (LCK 306 A) dosieren.
Add **1 dosing spoon** reagent **A** (LCK 306 A).

3

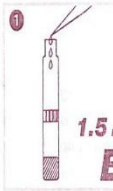


2 min

Reaktionsglas verschließen, mehrmals schwenken und **2 min** warten.
Fermer l'éprouvette de réaction et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite et attendre **2 min**.
Tappare il provettone e mescolare più volte. Attendere **2 min**.
Het reactieglas sluiten meerdere keren zwenken en **2 min** wachten.
Close reaction tube, invert repeatedly and wait **2 min**.

2. Analyse / Analisi / Analysis

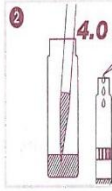
1



1.5 ml

In Küvetten-Test pipettieren: **1.5 ml** Lösung **B** (LCK 306 B).
Pipetter dans le Test en Cuve: **1.5 ml** de la solution **B** (LCK 306 B).
Pipettare nella cuvetta-test: **1.5 ml** di soluzione **B** (LCK 306 B).
In kuvettentest pipetteren: **1.5 ml** oplossing **B** (LCK 306 B).
Pipette into the Cuvette Test: **1.5 ml** solution **B** (LCK 306 B).


2



4.0 ml

In die gleiche Küvette pipettieren: **4.0 ml** vorbereitete Probe.
Pipetter dans la même cuve: **4.0 ml** d'échantillon préparé.
Pipettare nella stessa cuvetta: **4.0 ml** di campione pretrattato.
In hetzelfde kuvet pipetteren: **4.0 ml** voorbereideld monster.
Pipette into the same cuvette: **4.0 ml** pre-treated sample.

3

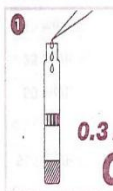


2 min

Küvette verschließen und schwenken. Nach **2 min** Küvette außen gut säubern und auswerten (Analysenküvette (1.)).
Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite. Attendre **2 min**, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer (cuve d'analyse (1.)).
Tappare la cuvetta e mescolare. Dopo **2 min** pulire bene la cuvetta esternamente e leggere (cuvetta d'analisi (1.)).
Kuvet sluiten en zwenken. Na **2 min** het kuvet van buiten goed reinigen en meten (analyse-kuvet (1.)).
Close cuvette and invert a few times. After **2 min** thoroughly clean the outside of the cuvette and evaluate (sample cuvette (1.)).

Analysenküvette (2.) / Cuve d'analyse (2.) / Cuvetta d'analisi (2.) / Analyse-kuvet (2.) / Sample cuvette (2.)


1



0.3 ml

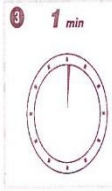
In die gleiche Küvette pipettieren: **0.3 ml** Lösung **C** (LCK 306 C).
Pipetter dans la même cuve: **0.3 ml** de la solution **C** (LCK 306 C).
Pipettare nella stessa cuvetta: **0.3 ml** di soluzione **C** (LCK 306 C).
In hetzelfde kuvet pipetteren: **0.3 ml** oplossing **C** (LCK 306 C).
Pipette into the same cuvette: **0.3 ml** solution **C** (LCK 306 C).

2



Küvette verschließen und schwenken, außen gut säubern.
Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite. Bien nettoyer l'extérieur de la cuve.
Tappare la cuvetta e mescolare, pulire bene la cuvetta esternamente.
Kuvet sluiten en swenken, van buiten goed reinigen.
Close cuvette and invert a few times, thoroughly clean the outside of the cuvette.

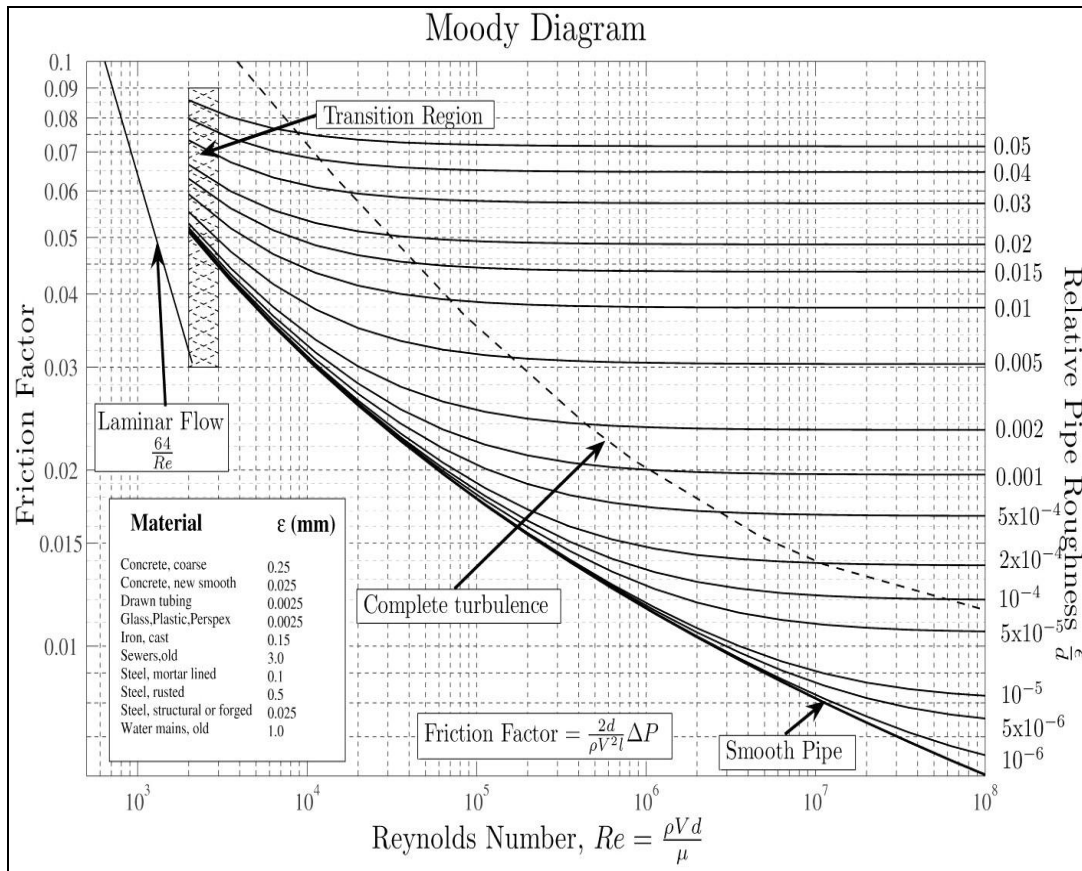
3



1 min

Nach **1 min** Küvette auswerten (Analysenküvette (2.)).
Attendre **1 min**, mesurer (cuve d'analyse (2.)).
Dopo **1 min** leggere (cuvetta d'analisi (2.)).
Na **1 min** meten (analyse-kuvet (2.)).
After **1 min** evaluate (sample cuvette (2.)).

❖ Annexe 4 : diagramme de Moody



❖ Annexe 5 : valeur du rapport $K/(4 \cdot f_t)$

Désignation	$K/(4 \cdot f_t)$
Isolement (Totalement ouvert)	
- Robinet vanne	8
- Robinet à soupape	340
- Robinet à soupape, angle (45 degré type Y)	55
- Robinet à soupape, angle (90 degré)	150
- Vanne papillon (2" to 8")	45
- Vanne papillon (10" to 14")	35
- Vanne papillon (16" to 48")	25
- Robinet boisseau sphérique - orifice non réduit	3
- Robinet boisseau sphérique - orifice réduit : $d1/d2 = 0.8$	7
- Robinet boisseau sphérique - orifice réduit : $d1/d2 = 0.7$	12
- Robinet boisseau sphérique - orifice réduit : $d1/d2 = 0.6$	23
Clapet de non retour (Totalement ouvert)	
- Clapet de non retour à soupape	600
- Clapet de non retour à battant	50
- Clapet de non retour à disque levable (2" à 8")	40
- Clapet de non retour à disque levable (10" à 14")	30

Annexe 6 : valeur du coefficient

Coefficient f_t		
Diamètre nominal en	f_t	$4 \cdot f_t$
0.5	0.00675	0.027
0.75	0.00625	0.025
1	0.00575	0.023
1.25	0.055	0.022
1.5	0.00525	0.021
2	0.00475	0.019
2.5	0.0045	0.018
3	0.0045	0.018
4	0.00425	0.017
5	0.0040	0.016
6	0.00375	0.015
8	0.0035	0.014
10	0.0035	0.014
12	0.00325	0.013
14	0.00325	0.013
16	0.00325	0.013
18	0.0030	0.012



Université CADI AYYAD
Faculté des sciences et techniques
LST-EE 2014/2015

