



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

**Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et
Techniques**

**Etude de la performance de la STEP de la CBGN Et Traitement des
effluents bruts par coagulation-floculation**

Présenté par:

SENNOUNI Chaimae Imane

Encadré par:

-Mr.FAHMI Al khammar, CBGN

- Pr.CHTIOUI Hicham, FST Fès

Soutenu Le 27 Juin 2011 devant le jury composé de:

- Mr. CHTIOUI Hicham**
- Mr. KHALIL Fouad**
- Mr. LHASSANI Abdelhadi**
- Mr. ASSOUIK Jamal**

Stage effectué à : la compagnie des boissons gazeuses du nord (CBGN)

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents, pour avoir veillés sur mon éducation, pour leur aide permanente, pour leur soutien et leur affection

Mes frères que j'aime très fort et auxquels je souhaite une longue vie pleine de réussite et de bonheur.

Mon cher époux, Youssef pour son soutien moral, son encouragement et son affection.

Tous les professeurs qui ont fait de leurs mieux afin de nous offrir de bonne formation et qui se sont montrés très compréhensifs à notre égard.

Tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

A tous ceux qui nous sont chers.

Remerciements

Avant d'entamer la rédaction de ce projet de fin d'études, j'aimerais tout d'abord remercier toute personne ayant contribué au bon déroulement de mon stage au sein de la compagnie des boissons gazeuses du nord (C.B.G.N).

En premier lieu, je remercie *Mr. KHOUATI Mohammed*, le directeur d'exploitation de la C.B.G.N qui m'a permis d'accomplir mon stage au sein de la compagnie.

Le Chef de service Contrôle Qualité, *Mr.FAHMI Alkhammar* qui m'a aidé à réaliser cette étude et fait de son mieux pour que la période de stage soit intéressante, agréable et fructueuse.

Mes remerciements anticipés à *Mr.BENABIDATE*, professeur responsable de la formation, pour tous ses énormes efforts déployés afin de réussir cette formation.

Je tiens à remercier tout particulièrement mon encadrant, *Mr.CHTIOUI Hicham*, professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, pour avoir régulièrement suivi et guidé la réalisation de ce travail, son entière disponibilité ainsi que ses fructueux conseils et qui ont facilité l'avancement de ce travail .Je vous prie d'accepter ma gratitude pour votre encouragement.

Mes profondes et vives reconnaissances s'adressent aussi aux membres de jury : *Mr. KHALIL*, *Mr. EL HASSANI* et *Mr. ASSOUIK* d'avoir accepté le jugement de ce modeste travail, qu'ils trouvent ici l'expression de ma gratitude pour l'intérêt qu'ils m'ont témoignés.

A cette occasion, qu'il me soit permis d'exprimer particulièrement, mes sentiments de reconnaissance et satisfaction à *Mr.MANSOUR Omar*, techniciens de la Step qui n'a épargné aucun effort pour me venir en aide avec beaucoup d'attention et de bienveillance tout au long de mon séjour à la STEP de la CBGN.

Sommaire

Liste des tableaux :	6
Liste des figures :	7
Introduction générale.....	10
Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise	12
I- Présentation de la CBGN :	12
1- Historique de la CBGN	12
2- Identification de la CBGN :.....	12
3- Mission de la CBGN :	13
4- activités de la CBGN :.....	13
5- Produits fabriqués :.....	13
II- Présentation des unités de production	13
1- Traitement d'eau de process :.....	13
2- La siroperie :.....	15
3- L'embouteillage :	16
4- Emballage et stockage des produits finis :	17
Chapitre 2 : Station d'épuration des eaux usées de la C.B.G.N	18
I- Sources et type de pollution générée par la CBGN :.....	18
II- Type de traitement adopté par la station d'épuration de la CBGN:	19
1- Bases du choix du type de traitement :.....	19
2- Avantages et inconvénients du traitement par boues activées :.....	19
3- Dimensionnement de la station de la CBGN:.....	20
III- descriptif du procédé du traitement des effluents à la CBGN:	21
1- Pré-traitements :	21
2- Traitement primaire:.....	23
3- traitement secondaire (biologique) :.....	25

4- Traitement tertiaire	26
5- Traitement de la boue :	29
6- Station d'ajustement des produits d'addition	31
Chapitre 3 : Etude de la performance de la Step de la CBGN.....	33
I- Mesure de la performance de la STEP	33
II- Caractérisation physico-chimique de l'effluent.....	33
III- Détermination des paramètres physico-chimiques :	35
1- Matériel et méthodes	35
2- Résultats et discussion.....	37
CONCLUSION	47
Chapitre 4 : traitement de l'effluent par le procédé de coagulation-floculation.....	48
I- Procédé de coagulation-floculation	48
1- généralités.....	48
2- avantages et inconvénients du procédé de coagulation-floculation : [12].....	49
3- coagulants et flocculants :	49
4- Essais de coagulation-floculation « Jar-Test » :	51
II- Etude expérimentale :	51
1- Suivi des essais	51
2- Résultats et interprétation :	52
Conclusion.....	61
Annexe	62
Bibliographie	65
Références webigraphique	66

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Caractéristiques des effluents bruts pris en compte lors du dimensionnement

Tableau 2 : normes marocaine pour les rejets d'eau épurées

Tableau 3 : Normes de Coca Cola pour les rejets des eaux épurées

Tableau 4 : résultats d'analyses physico-chimique dans les différentes étapes de traitement

Tableau 5 : avantages et inconvénients du procédé de la coagulation-floculation

Tableau 6 : rendement épuratoire dans les différentes étapes de traitement

Tableau 7 : Caractéristiques des principaux coagulants

Tableau 8 : résultats d'optimisation de la dose du sulfate ferrique

Tableau 9 : résultats d'optimisation du pH

Tableau 10 : résultats d'optimisation de la dose du flocculant

Tableau 11 : traitement au sulfate ferrique dans les conditions optimales suivi ou non d'un traitement à la chaux

Tableau 12 : résultats d'optimisation de la dose du chlorure ferrique

Tableau 13 : résultats d'optimisation du pH

Tableau 14 : optimisation du flocculant

Tableau 15 : traitement au chlorure ferrique dans les conditions optimales suivi ou non d'un traitement à la chaux

Tableau 16 : comparaison entre l'E.B et les eaux du traitement de coagulation-floculation

Liste des figures :

- Figure 1** : Différentes étapes du processus de traitement de l'eau de process
- Figure 2** : dégrilleur grossier de la STEP de la CBGN
- Figure 3** : station de relevage de la STEP de la CBGN
- Figure 4** : tamis fin de la STEP de la CBGN
- Figure 5** : bassin d'homogénéisation et les supprimeurs du bassin d'homogénéisation
- Figure 6** : bassin de répartition de la STEP de la CBGN
- Figure 7** : réacteur biologique 2 de la STEP de la CBGN
- Figure 8** : Bassin de floculation de la STEP de la CBGN
- Figure 9** : le flottateur et la séparation de l'eau traitée des boues
- Figure 10** : bassin de désinfection de la STEP de la CBGN
- Figure 11** : bassin des boues de la STEP de la CBGN
- Figure 12** : pompes d'extraction des boues
- Figure 13** : centrifugeuse des boues séparées de la STEP de la CBGN
- Figure 14** : bac des boues déshydratées
- Figure 15** : station d'ajustement des produits d'addition
- Figure 16** : Pompes doseuses d'hypochlorite de sodium et d'acide sulfurique
- Figure 17** : conteneur d'urée
- Figure 18** : conteneur du phosphate d'ammonium
- Figure 19** : station de préparation du polymère
- Figure 20** : Evolution de la MES dans les différentes étapes de traitement
- Figure 21** : Rendement d'élimination de la MES dans les différentes étapes de traitement
- Figure 22** : Evolution de la DCO dans les différentes étapes de traitement
- Figure 23** : Rendement de la DCO dans les différentes étapes de traitement
- Figure 24** : Evaluation de la DBO5 dans les différentes étapes de traitement
- Figure 25** : Rendement de la DBO5 dans les différentes étapes de traitement
- Figure 26** : Evolution de l'azote total dans les différentes étapes de traitement
- Figure 27** : Rendement d'élimination des NTK dans les différentes étapes de traitement
- Figure 28** : Evolution du phosphore total dans les différentes étapes de traitement

Figure 29: Rendement d'élimination du phosphore total dans les différentes étapes de traitement

Figure .30 Schématisation du procédé de coagulation-floculation

Figure 31 : Appareillage de Jar-Test

Figure 32 : variation de la DCO et des MES en fonction de la dose du sulfate ferrique

Figure 33 : variation de la DCO et des MES en fonction du pH

Figure 34 : variation de la DCO et des MES en fonction de la dose du flocculant

Figure 35 : variation de la DCO et des MES en fonction de la dose du chlorure ferrique

Figure 36 : variation de la DCO et des MES en fonction du pH

Figure 37 : variation de la DCO et des MES en fonction de la dose du flocculant

Liste des abréviations

C.B.G.N : compagnie des boissons gazeuses du nord

NABC: North Africa Bottling Company

PET : polyéthylène et téréphtalate

MES : matière en suspensions

DCO : demande chimique en oxygène

DBO₅ : demande biologique en oxygène mesurée pendant 5 jours

NTK: l'azote total

P_{total} : phosphore total

T°: température

Step: Station d'épuration

EB : eau brute

EBH : entrée bassin d'homogénéisation

SBH : sortie bassin d'homogénéisation

SBR : sortie bio-réacteur

SSTEP : sortie step

Max : maximum

Min : minimum

R : rendement

Introduction générale

Les accroissements démographiques, économiques et urbains sont à l'origine de différentes sources de pollution environnementale telles que la production d'eaux usées souvent rejetées dans le milieu récepteur (mer, rivières, sols) sans aucun traitement préalable et qui provoque par la suite la dégradation de la qualité physico-chimique et biologique de ce milieu et génère de nombreuses maladies hydriques.

La dépollution des eaux usées et l'assainissement des réserves d'eau potable sont aujourd'hui une préoccupation majeure à l'échelle mondiale. Au Maroc seuls 8 % des eaux usées sont épurées, 52% sont déversées directement dans la mer et 32% sont déversées dans le réseau hydrographique et les fosses septiques. Ce qui entraîne une pollution importante du littoral, des cours d'eau et des nappes phréatiques. [1]

A Fès, la gestion des déchets liquides ne cesse de s'accroître. Dans cette ville, la pollution engendrée par le secteur industriel est plus importante. Le débit des eaux usées industrielles et domestiques est d'environ 105000 m³/j, la charge polluante de 1.200000 équivalent-habitants et la quantité de matière organique de 70 tonnes de DBO₅ /jour. Ces effluents sont directement rejetés dans la rivière de Sebou sans aucun traitement préalable. Par conséquent, ils provoquent une dégradation physico-chimique et biologique de l'écosystème aquatique de cette rivière par la présence des substances toxiques. [1]

Dans le but de répondre aux besoins de l'industrie agro-alimentaire en matière de traitement des eaux usées, la Compagnie des Boissons Gazeuses du Nord de Fès (CBGN) utilise le procédé de traitement biologique par boues activées pour traiter ses effluents caractérisés par une forte pollution organique à base de sucre et qui nécessite un traitement extensif avant le rejet dans le milieu récepteur.

Dans ce cadre, mon stage au sein de la step de la CBGN consiste, d'une part, à faire un suivi des différentes étapes de traitement des effluents CBGN et de déterminer le rendement épuratoire de ces différentes étapes et d'autre part, de faire une étude de coagulation-floculation sur l'effluent brut en utilisant deux types de coagulants à savoir le chlorure ferrique et le sulfate ferrique, effectuée à la faculté des sciences et techniques de Fès.

Le présent travail est réparti en 4 chapitres :

- ✓ 1^{er} chapitre : présentation de la compagnie des boissons gazeuse du nord et des différentes étapes de production
- ✓ 2^{ème} chapitre : présentation de la station d'épuration des eaux résiduaires de la CBGN et des différentes étapes de traitement
- ✓ 3^{ème} chapitre : une étude de la performance de la step en se basant sur la qualité du rejet final par rapport aux normes de rejets de la CBGN et sur la performance des différents traitements mesurée par l'abattement obtenu au niveau de chaque étape de traitement pour différents paramètres
- ✓ 4^{ème} chapitre : présente les résultats de l'étude de traitement de l'effluent par le procédé de coagulation-floculation en utilisant le chlorure ferrique, le sulfate ferrique et la chaux. Une comparaison des résultats obtenus à ce niveau avec ceux de la step CBGN est présentée par la suite.

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise

Dès 1947, La coca Cola Compagnie a pénétré le marché marocain par l'intermédiaire des soldats américains en poste à Tanger, qui ont importé les premières bouteilles sur le marché. Les premières machines d'embouteillage sont ensuite arrivées sur le sol marocain par le biais des bateaux de la Navigation américaine, présents dans la mer méditerranée. Puis des usines se sont peu à peu établies au Maroc : Tanger, Casablanca, Fès, Oujda, Marrakech, Agadir et Rabat.

I- Présentation de la CBGN :

1- Historique de la CBGN

- Créée en 1952, la CBGN a été implantée à la place de l'actuel hôtel SOFIA.
- En 1971, elle fût transférée au niveau du quartier industriel Sidi Brahim.
- Durant ces années et jusqu'à 1987, la CBGN ne fabriquait que Colca Cola et Fanta Orange.
- En 1991, lancement des bouteilles en plastiques.
- En 1997, la société a acquis l'unité SIM dans le but d'augmenter sa part de marché et de générer des profits supplémentaires.
- Après deux ans, la compagnie a été achetée par « The Coca-Cola holding »
- En 2002, le groupe ECCBC (Equatoriale bottling compagnie) achète la CBGN
- Aujourd'hui, la CBGN dispose d'un site de production avec quatre lignes : deux lignes en verre et deux lignes en PET et son territoire comprend des centres de distribution : Fès, Er-rachidiaa, Sidi Slimane, Khenifra et des dépôts stratégiques : Azrou, Timahdet, Midelt , Boumia, Arfoud, Ain aicha.

2- Identification de la CBGN :

- **Forme juridique** : société anonyme
- **Siège sociale** : quartier industriel Sidi Brahim Fès
- **Boîte postale** : 2284
- **Téléphone** : 035 96 50 00 - 035 96 50 96
- **Fax** : 035 96 50 15 - 035 96 50 25

- **Capital** : 3 720 000 Dhs
- **N° de patente** : 13245421
- **N° d'identification fiscale** : 102054
- **Directeur d'exploitation** : Mr. KHOUATI Mohammed
- **Superficie** : environ un hectare
- **Limite territoriale** : région de centre
- **Norme de personnel** : 240 permanents (atteint 350 dans la haute saison)

3- Mission de la CBGN :

La CBGN est dotée de 2 usines, une chargée à la fois de la production et l'administration et l'autre de la distribution. Ses missions sont :

- La mise en bouteille et la commercialisation de coca-cola sur Fès et ses environs
- L'assurance de la disponibilité de Coca-Cola dans les 6 centres de distribution
- Le respect des prix au niveau des points de vente

4- activités de la CBGN :

- L'achat du concentré de la boisson
- La production et la mise en bouteille
- La commercialisation et la distribution des produits
- L'exécution de commande, le stockage de la marchandise et l'assortiment des points de vente

5- Produits fabriqués :

La CBGN fabrique des boissons gazeuses de différents goûts (Coca-Cola, Fanta, Sprite...) formes (PET, verre) et volumes (35 cl, 20cl, 1L, 1.5L, 2L.)

II- Présentation des unités de production

1- Traitement d'eau de process :

Suite à la politique du groupe NABC et ses engagements de garantir à ses clients un produit qui respecte les normes de qualité, toutes les matières utilisées par les processus de fabrication doivent suivre les normes d'hygiène et plus particulièrement l'eau qui constitue environ 220 à 300% du volume du produit fini. D'où la nécessité du traitement des eaux provenant du réseau de distribution de l'eau de ville, pour éliminer des impuretés qui peuvent exister tels que : MES, matière organique, substances sapides et odorantes, micro-organismes et l'alcalinité.

Les différentes étapes du traitement des eaux sont les suivantes :

1-1: Chloration de l'eau :

Cette première étape de désinfection s'impose pour éliminer les germes pathogènes qui se trouvent dans l'eau par ajout du chlore en petite proportion (entre 1 et 3 ppm).

1-2: Coagulation et floculation :

L'eau reçoit un réactif (sulfate d'alumine) destiné à provoquer l'agglomération des particules en suspension en agrégats floconneux facilement décantables.

1-3: Filtration sur filtre à sable :

Cette étape est montée juste après l'injection du coagulant pour diminuer le taux de la turbidité de l'eau.

1-4: Décarbonatation de l'eau :

Grâce à une résine échangeuse d'ions (RCOOH), les bicarbonates de calcium et de magnésium contenus dans l'eau échangent leurs cations par de l'hydrogène avec formation de CO₂. Ainsi, on réduit le taux d'alcalinité de l'eau de 75 %

1-5: Stockage dans le 2ème bassin :

L'eau issue du décarbonateur est stockée dans un deuxième bassin où une injection de chlore est réalisée (entre 2 et 4 ppm).

1-6: Filtration sur charbon actif:

Sert à éliminer le chlore et les substances sapides et odorantes susceptibles de donner un goût anormal au produit par adsorption sur charbon actif.

1-7: Filtration sur filtres polisseurs :

Consiste à éliminer les particules du charbon ou de sables susceptibles d'échapper du filtre à charbon ou du filtre à sable.

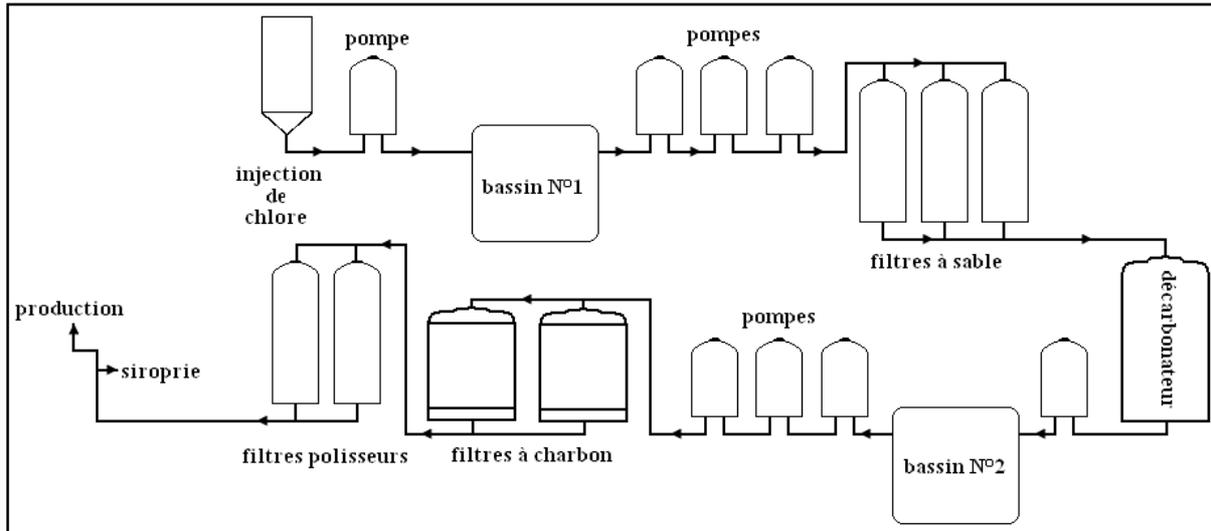


Figure 1 : Différentes étapes du processus de traitement de l'eau de process

1-8 : Adoucissement de l'eau :

L'adoucisseur possède une résine de type R-Na échangeuse d'ions qui permet de diminuer la dureté de l'eau à 98% par échange des ions Mg^{2+} et Ca^{2+} contre Na^+ pour éviter la formation du calcaire $CaCO_3$. L'eau adoucie est utilisée par la suite au niveau des chaudières et des laveuses de bouteilles.

2- La siroperie :

L'étape de préparation de sirop est découpée en deux étapes :

2-1 : Préparation du sirop simple :

Un mélange de l'eau traitée et de sucre tamisé est soumis à $T^{\circ} = 80^{\circ}C$ pendant 40min dans une cuve, dite contimol, à circuit fermé pour favoriser la dissolution complète du sucre, on obtient le « sirop simple » qu'on pasteurise à une température de $85^{\circ}C$. Ensuite, le sirop est clarifié par ajout de quantités bien définies du charbon actif en poudre pour éliminer les impuretés et les mauvaises odeurs. Ces particules de charbon et les MES sont ensuite éliminés par filtration, le sirop est par la suite refroidi à $20^{\circ}C$ avant d'être stocké.

2-2 : Préparation du sirop fini :

Le sirop simple est mélangé avec des concentrés de base et des ingrédients, selon la boisson désirée, pour donner finalement un mélange nommé le sirop fini.

2-3 : Sanitation :

Pour obtenir un sirop conforme aux normes prédéfinies d'hygiène et de qualité, une opération de sanitation et de nettoyage s'impose pour détruire toutes les bactéries pathogènes

des surfaces en contact avec le sirop. Le nettoyage des cuves de sirop fini est effectué chaque fois qu'il y a changement de produit ou épuisement du sirop.

3- L'embouteillage :

C'est la mise en bouteille de la boisson et toutes les opérations qui en découlent. On distingue dans ce processus deux types de lignes de production : une pour les bouteilles en verre et l'autre pour les bouteilles en PET (polyéthylène téréphtalate).

3-1 : La ligne de bouteille en verre :

▪ Dépalitisation et décaissement :

Dépalitisation c'est l'action de mettre les caisses, chargées de bouteilles vides en verre, sur le convoyeur qui les achemine vers la décaisseuse permettant d'enlever les bouteilles des caisses et de les poser sur un autre convoyeur qui alimente la laveuse.

▪ Lavage de bouteilles : s'effectue alors selon les étapes suivantes :

- ❖ **Lavage à la soude** : deux bains sont utilisés pour enlever les étiquettes et pour la stérilisation. Le premier contient de l'eau chaude et la soude caustique (2 à 2.5 %) et le deuxième bain sodique (2 à 2.5 %) à 75°C
- ❖ **Pré-rinçage** : par deux bains d'eau chaude afin de débarrasser les bouteilles de tout résidu de soude.
- ❖ **Rinçage** : final par l'eau froide et chlorée pour assurer la propreté et la stérilisation.

▪ Inspection des bouteilles lavées :

- ❖ **Mirage vide** : pré inspection visuelle des bouteilles lavées pour enlever celles présentant un certain défaut (bouteilles sales, ébréchées, très usées, contenant des traces de soude...)
- ❖ **Inspection automatique** : pour détecter les bouteilles présentant l'un des défauts cités ci-dessus et qui sont difficiles à vérifier par l'œil nue.

▪ Préparation de la boisson :(carbonation et refroidissement) :

Mélange du sirop fini à l'eau traitée et CO₂ dans un mixeur pour obtenir un produit fini carbonaté et refroidi : la boisson gazeuse.

▪ Soutirage et bouchage de la boisson :

La soutireuse assure le remplissage automatique des bouteilles par la boisson et la boucheuse assure le bouchage de chaque bouteille remplie.

▪ Codage des bouteilles :

Indique la date de production, de préemption ou d'expiration, numéro de la ligne de production et de la première lettre de la ville où l'usine est installée.

▪ **Mirage plein :**

Inspection des bouteilles pour éliminer celles qui sont mal remplies ou mal bouchées.

▪ **Étiquetage :**

L'étiquetage est l'habillage de la bouteille par une étiquette contenant toutes les informations sur le produit.

▪ **Encaissage :**

Les bouteilles remplies passent à travers des convoyeurs vers l'encaisseuse pour les mettre en caisse, et enfin les stocker.

3-2: La ligne de bouteilles en PET (polyéthylène et téréphtalate) :

Tout d'abord, les préformes (forme initiale des bouteilles) sont chauffés dans un four à lampes infrarouges ($140 < T \text{ (}^\circ\text{C)} < 180$) et introduites par la suite dans des moules où ils sont soufflés avec une forte pression de 40 bars et transformées à la forme désirée. Les bouteilles sont ensuite refroidies et envoyées grâce à un convoyeur à air vers la rinceuse pour la stérilisation.

Après rinçage, les bouteilles suivent la même procédure que pour les bouteilles en verre : la soutireuse, la boucheuse, le codage, le mirage plein, l'étiquetage et la stricheuse.

4- Emballage et stockage des produits finis :

Encaissement des bouteilles en verre dans des caisses en plastique et les bouteilles en PET sont plastifiées et rangées en paquets, les deux produits sont manutentionnés par la suite vers le magasin produit fini à partir duquel commencera la distribution.

Remarque :

Un service « contrôle de qualité » est chargé de contrôler le processus de fabrication des boissons gazeuses du début jusqu'à obtenir une boisson prête à être consommée « boisson qui répond aux normes de qualité ». Le service est chargé aussi de l'étalonnage des différents appareils existant dans le laboratoire et veille sur leur bon fonctionnement.

Chapitre 2 : Station d'épuration des eaux usées de la C.B.G.N

La ville de Fès, principale agglomération sur le bassin de Sebou, étendue sur une superficie de 10.000 hectares, génère avec sa population d'un million d'habitants, son parc industriel diversifié de 400 unités (2ème rang national) en plus de ses ateliers d'artisanat une pollution conséquente qui engendre une panoplie de préjudices pour l'économie de la région, soit 40% de la pollution totale du bassin de Sebou. [2].

Dans le cadre du respect des législations et la prise de conscience environnementale, la CBGN à travaillé dans le respect de son milieu environnant. Au sein de ce contexte, elle a lancé un projet de réalisation d'une station d'épuration assurant le traitement de ses eaux résiduaires avant qu'elles soient versées dans le réseau d'assainissement de la ville de Fès.

I- Sources et type de pollution générée par la CBGN :

L'eau est une matière première essentielle dans la production de boissons gazeuses, avec un usage de 2,5 à 3,5 litres d'eau pour un litre de boisson gazeuse [13], donc 60% d'eau consommée pendant la production est éliminée sous forme de rejets.

L'eau « gaspillée » dans cette industrie provient principalement du :

- lavage des filtres à sable, à charbon et filtres polisseurs utilisés dans le traitement des eaux de process ;
- régénération des adoucisseurs et du décarbonateur ;
- lavage et rinçage des bouteilles en verre (laveuse n° 1 et n° 2) ; Les substances utilisées sont détergentes, chlore et une solution de NaOH à 2.5% ;
- lavage des équipements de préparation et de filtration du sirop simple ;
- sanitation des équipements de préparation et de stockage du sirop fini, des mixeurs et des équipements servant au remplissage des bouteilles (conduites et soutireuse) ;
- lavage du sol : présence d'une très grande quantité des détergents ;
- laboratoire : les boissons qui restent dans les bouteilles après les analyses.

Les principaux contaminants dans l'effluent sont donc la soude caustique et le saccharose. La soude provient des rejets de lavage des bouteilles en verre et du système de sanitation mis en service après chaque changement de produit et provoque une augmentation du pH ($9 < \text{pH} < 12$), tandis que le saccharose est généré par l'opération de préparation des sirops.

Cette dernière est l'étape la plus polluante puisque les rejets chargés en sucre causent une augmentation de la DCO et de la DBO₅.

Les effluents dépendent du programme de production et se caractérisent par une variété sur le plan qualitatif et quantitatif en fonction de :

- ✓ la durée de fonctionnement des lignes de verre (lavage des bouteilles) ;
- ✓ le changement de produits (sanitation des équipements et des conduites en contact avec le sirop fini et le produit fini) ;
- ✓ le type de sanitation.

En termes de quantité, l'opération de lavage des bouteilles en verre et les systèmes de sanitation constituent les sources les plus importantes de rejet d'eaux.

Les flux de pollution rejetés sont de moyenne charge ($300 < \text{DCO} < 3000$) et il s'agit essentiellement d'une pollution organique dissoute biodégradable (à base de sucre).

II- Type de traitement adopté par la station d'épuration de la CBGN:

1- Bases du choix du type de traitement :

Après une caractérisation des effluents de l'usine et une étude approfondie sur leur biodégradabilité à l'aide du test de respirométrie, le procédé de traitement choisi est le traitement biologique par boues activées.

L'efficacité du traitement dépend de l'activité des bactéries qui dépend de leur concentration, de l'apport en oxygène et en nutriments, de l'agitation permanente qui favorise le contact entre les bactéries et la pollution.

2- Avantages et inconvénients du traitement par boues activées :

Le procédé de traitement par boues activées est actuellement le procédé le plus répandu d'épuration biologique des eaux résiduaires. Ses grands avantages sont :

- ✓ plus économique en exploitation [14] ;
- ✓ adapté aux charges organiques importantes ; [3]
- ✓ bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (surtout en ce qui concerne la DBO₅ et la DCO), très bonne qualité de traitement du carbone et d'azote et adaptation aisée au traitement du phosphore ; [3] [4]
- ✓ adaptée pour la protection des milieux récepteurs sensibles ; [4]
- ✓ boues légèrement stabilisées ; [4]

- ✓ superficie réduite, ce qui favorise l'intégration dans le site de la société dont l'effluent est concerné par le traitement; [4]

Pour les inconvénients, on cite :

- ✓ exige en plus d'un apport régulier en éléments nutritifs, une réactivation des bactéries de la station afin qu'elle puisse reprendre leur processus de digestion et donc de traitement.
- ✓ dysfonctionnements possibles dus à des pannes
- ✓ inadaptation aux variations brutales et importantes des flux de pollution [14] ;
- ✓ les baisses de température des effluents ralentissent les processus biologiques [14] ;
- ✓ production de boues conséquentes nécessitant un traitement adapté suivant la capacité des ouvrages ; [3]
- ✓ consommation énergétique importante ; [4]
- ✓ nécessité d'une exploitation attentive (extraction régulière des boues, adaptation de l'aération aux besoins, etc.) réalisée par un personnel ayant suivi une formation adéquate. [5]

3- Dimensionnement de la station de la CBGN:

Le dimensionnement et l'installation des équipements ont été réalisés par Ondeo Industrial Solutions (Ondeo IS), filiale de SUEZ ENVIRONNEMENT, acteur majeur dans le domaine des services, de l'ingénierie et des équipements pour le traitement de l'eau industrielle.

La STEP a été dimensionnée pour assurer le traitement des eaux résiduaires purement industrielles de la CBGN à l'aide des données de base retenues dans l'étude technique concernant les débits et les concentrations de l'effluent brut (tableau 1).

Paramètres	Valeur
Débit moyen journalier	750 m ³ /j
Débit moyen horaire	31,3 m ³ /h
Débit de pointe horaire	100 m ³ /h
DCO max (entrée)	2 500 mg/l
DBO₅ max (entrée)	1 200 mg/l
MES (entrée)	600 mg/l
NTK (entrée)	12 mg/l
P total (entrée)	4 mg/l
pH maximum (entrée)	12
T° moyenne (entrée)	30 °C
T° moyenne/maximum (entrée)	35 °C

Tableau 1 : Caractéristiques des effluents bruts pris en compte lors du dimensionnement [6]

ONDEO INDUSTRIAL SOLUTIONS a garanti une qualité de traitement qui répond aux spécifications techniques transmises par la CBGN suivant les normes de rejets indirects selon le projet des normes marocaines (tableau 2).

Paramètres	Normes
DCO max	1000 mg/l
DBO₅ max	500 mg/l
MES max	600 mg/l
pH	6 à 9

Tableau 2 : normes marocaine pour les rejets d'eau épurées [6]

Alors que les normes des rejets exigées par Coca Cola sont plus sévères que celles prises en considération lors du dimensionnement (tableau 3).

Paramètres	Norme
Rendement (DCO)	90 %
DBO₅ max	50 mg/l
MES max	25 mg/l
pH	6.5 à 8

Tableau 3 : Normes de Coca Cola pour les rejets des eaux épurées [6]

III- descriptif du procédé du traitement des effluents à la CBGN:

Le traitement choisi est composé de deux filières, une pour le traitement des eaux et l'autre pour le traitement de la boue.

1- Pré-traitements :

1-1 : Dégrillage :

Assure la protection des ouvrages en aval contre l'arrivée de gros objets, (papiers, bouchons, matières plastiques, objets divers...) susceptibles de provoquer des débouchages, et de séparer et évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau. Il permet aussi d'éviter le colmatage des pompes de relevage et des canalisations de transfert.



Figure 2 : dégrilleur grossier de la STEP de la CBGN

❖ **Procédé :**

- arrivée par gravité des effluents bruts de la CBGN jusqu'à la fosse N°1 ;
- passage des effluents à travers le dégrilleur grossier (figure 2) de la fosse N°1 vers la fosse N°2 de relevage
- les eaux contenues dans la fosse N°2 sont ensuite relevées jusqu'au niveau du tamis fin.

1-2: Station de relevage :

Permet de raccorder grâce à 2 pompes immergées d'un débit de 50m³/h chacune (figure 3), les effluents grossièrement prétraités depuis la fosse N°2 vers un tamiseur fin.



Figure 3 : station de relevage de la STEP de la CBGN

❖ **Procédé :**

Une seule pompe se déclenche ou les deux à la fois ; d'une façon automatique ; selon le niveau d'eau dans le bassin N°2.

1-3: Le tamisage :

Assuré par un tamis rotatif (400 mm de diamètre et 790 mm de long) cette opération complète le dégrillage et permet de retenir des corps de dimension supérieure à 1mm qui nuisent au fonctionnement des installations. (figure4)



Figure 4 : tamis fin de la STEP de la CBGN

❖ **Procédé :**

- l'eau qui arrive par pompage de la fosse 2 est tamisée par un tamis rotatif fonctionnant en continu avec un débit de 100 m³/h et équipé d'un système de nettoyage automatique avec l'eau de la RADEEF.
- l'eau tamisée et dirigée vers le bassin d'homogénéisation. Alors, que les déchets récupérés (refus du tamis fin) sont stockés dans une benne.

2- Traitement primaire:

2-1 : Homogénéisation :

Effectuée dans un bassin d'homogénéisation (figure 5) de capacité de 800m³ :

- ❖ 200 m³ de volume fixe : maintien d'une hauteur d'effluent brut dans le bassin pour disposer d'un temps de séjour minimum de 6 heures ;
- ❖ 600 m³ de volume variable : prise en compte des variations de débit estimées dues aux cycles de productions.

Pour homogénéiser l'ensemble des eaux brutes contenues dans le bassin et éviter leur stagnation et l'apparition de nuisances olfactives, le bassin d'homogénéisation est aéré par diffusion d'air du fond du bassin, distribué sur 157 diffuseurs d'air, avec un débit de 2600m³/h à l'aide de deux suppresseurs (un en marche et l'autre en secours) de type VIBRAIR GM.

La pression de soufflage d'air est de 1BAR. Ces suppresseurs assurent un meilleur rendement de dissolution de l'oxygène.



Figure 5 : bassin d'homogénéisation (à gauche) et (à droite) les suppresseurs du bassin d'homogénéisation

❖ **Procédé :**

- l'eau tamisée alimente le bassin d'homogénéisation aérée ;
- la régulation de niveau du bassin et son contrôle est assuré par l'installation d'un capteur à ultrasons qui indique le niveau du bassin rempli ;

- une partie de la matière organique facilement biodégradable commence à être éliminée à ce stade.

2-2: Répartition :

La régulation du débit, la neutralisation ainsi que l'ajout des nutriments sont réalisés dans un même bassin appelé bassin de répartition (figure 6).



Figure 6 : bassin de répartition de la STEP de la CBGN

a- Régulation du débit :

Les effluents sont repris depuis le bassin d'homogénéisation par un ensemble de trois pompes centrifuges de débit ($16\text{m}^3/\text{h}$) immergées dans le bassin et assurant le transfert de l'effluent à traiter à débit constant.

b- Neutralisation :

Une fois dans le bassin de répartition, le pH des effluents ; précédemment basique ; est ajusté entre 7 et 8 par ajout d'acide sulfurique pour optimiser le développement des micro-organismes favorables à la dégradation des effluents.

❖ Procédé :

- la mesure du pH est effectuée par une sonde de pH calibrée une fois par semaine et étalonnée une fois par trois mois par le responsable de la métrologie.
- l'ajout d'acide sulfurique est assuré par une des deux pompes doseuses de débit maximal de 21 l/h.

c- Ajout des nutriments :

Le développement des bactéries nécessite la présence en quantités suffisantes d'éléments nutritifs : le carbone, l'azote et le phosphore. Ces derniers existent naturellement dans les eaux à traiter mais avec des quantités insuffisantes (phosphore et azote).

❖ procédé

- l'apport en azote est assuré par l'ajout d'urée stockée dans un bac de préparation agité de 500 litres et l'injection est conditionnée par des pompes doseuses de 14.7 l/h.

- l'apport en phosphore est réalisé par l'ajout du phosphore d'ammonium stocké dans un bac de préparation agité de 500 litres et l'injection se fait à l'aide d'une des deux pompes doseuses de débit maximal de 14,7 l/h.

Le bassin de répartition est muni d'un agitateur qui assure l'homogénéisation du mélange composé d'eau homogénéisée-acide sulfurique-urée-phosphate d'ammonium.

Afin de maintenir une biomasse suffisante dans les réacteurs biologiques, le fonctionnement du procédé repose sur le recyclage par pompage, dans le bassin de répartition, d'une partie des boues stockées dans le bassin des boues.

3- traitement secondaire (biologique) :

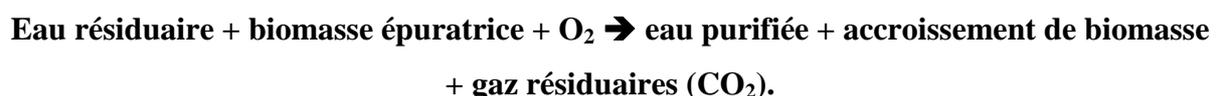
L'épuration par boues activées consiste à mettre en contact les eaux usées avec une biomasse épuratrice (mélange riche en bactéries) par brassage pour dégrader la matière organique en suspension ou dissoute et transformer par la suite la pollution en gaz et tissus cellulaires plus denses que l'eau qu'on peut séparer ensuite par floculation-flottation. Ces bactéries permettent l'élimination des pollutions carbonées (matières organiques), azotées et phosphorées, nocives pour l'environnement.

Pour accélérer la dégradation des composés organiques, il faut apporter artificiellement de l'oxygène dans les eaux usées.



Figure 7 : réacteur biologique 2 de la STEP de la CBGN

La biodégradation peut être décrite par la réaction simplifiée suivante :



❖ Procédé :

- le traitement biologique au sein de la CBGN est opéré dans deux bassins rectangulaires construits en béton armé de 400m³ chacun (figure 7), recevant l'effluent provenant du bac de répartition ;

- la présence de deux suppresseurs assure l'alimentation en air comprimé, injecté dans le fond des deux réacteurs biologiques, puis distribué par des diffuseurs d'air ;
- en présence des nutriments et de l'oxygène, les bactéries assurent la biodégradation des matières polluantes ;
- le taux d'oxygène dissous est mesuré au moyen de deux oxymètres ;
- en sortie du réacteur, nous obtenons une liqueur mixte composée de boues floclées et d'eau épurée.

Remarque :

- L'apport des nutriments rend le milieu riche et empêche l'apparition des bactéries filamenteuses caractéristiques d'un dysfonctionnement de la station d'épuration.
- La qualité de la biomasse peut être vérifiée régulièrement en mesurant l'indice de boues et en observant les indices visuels comme la couleur de la liqueur mixte, la présence et les caractéristiques de la mousse, l'état de floculation ou autres.

4- Traitement tertiaire

4-1 : Floculation :



Figure 8 : Bassin de floculation de la STEP de la CBGN

La floculation est le phénomène physico-chimique au cours duquel les micelles et les MES forment des flocons par ajout d'un flocculant, s'agrègent en un floc, ce qui détruit la stabilité de la solution et entraîne leur sédimentation. [15]

Pour améliorer la qualité du floc, on ajoute un flocculant de façon automatisée. La séparation eau épurée-boues s'effectue ainsi de manière plus aisée.

❖ Procédé :

- l'effluent sortant des réacteurs biologiques est envoyé, à l'aide d'une conduite inoxydable, vers un bassin de floculation (figure 8) assurant le mélange de l'effluent avec un flocculant injecté grâce à un agitateur ;

- l'injection du polymère (floculent) est réalisée par une pompe doseuse d'un débit maximal de 65,6 l/h. Les boues sont alors agglomérées sous forme de floes.

4-2: Clarification :



Figure 9 : à gauche le flottateur à droite la séparation de l'eau traitée des boues

La clarification est effectuée au moyen d'un flottateur (figure 9) permettant la séparation eau/boues. Une partie des eaux traitées est récupérée et pressurisée par une pompe spécifique dans un ballon de pressurisation. La détente de cette eau pressurisée libère les fines bulles d'air qui ; en remontant à la surface ; entraînent dans ce mouvement les particules préalablement floculées pour les flotter à la surface avant de les éliminer par simple raclage. La partie raclée ou le concentrât est désigné par le terme de « boues » ou « boues résiduelles ». Elle est envoyée vers le bassin à boues.

❖ Procédé :

- le flottateur est un ouvrage cylindrique, équipé d'un dispositif de raclage des boues superficielles et des boues de fond. L'eau floculée est introduite verticalement à la base de la chambre inférieure où elle est mise en contact avec les microbulles d'air apportées par l'eau pressurisée provenant d'un ballon de pressurisation et sort sous une cloison siphonoïde périphérique vers une trémie de collecte et de sortie sous forme d'eau traitée ou clarifiée.
- à ce niveau, l'eau épurée est renvoyée vers le circuit de pressurisation et le surplus vers le bassin de désinfection ;
- la fraction solide due à la séparation ou les macro-flocs (MES), fixés aux microbulles sont entraînés à la surface du flottateur, où le racleur à fonctionnement temporisé, les récupère et les envoie vers une trémie de collecte des boues flottées ;
- certaines MES se déposent dans le fond du flotatteur, pour cela des racleurs de fond les entraînent vers une trémie de fond d'où sont extrait via une purge automatique à fonctionnement temporisé (ouverture pendant 15 secondes et fermeture pendant 10

minutes), ces boues décantées sont extraites et puis envoyées vers le bassin des boues ou vers l'étape de déshydratation.

4-3 : Mélange final et désinfection de l'effluent :

Les traitements primaires et secondaires ne détruisent pas complètement les germes présents dans les rejets industriels pour cela des procédés d'élimination supplémentaires sont employés lorsque les eaux traitées sont rejetées dans des rivières comme le cas de l'oued de SBOU.

Au niveau de la STEP, la désinfection des eaux épurées est réalisée par une chloration par l'hypochlorite de sodium (eau de javel).

A coté de la désinfection, une dernière injection de l'acide sulfurique est effectuée pour assurer l'ajustement du pH dans la norme exigée par Coca Cola ($6,5 < \text{pH} < 8$)



Figure 10 : bassin de désinfection de la STEP de la CBGN

❖ Procédé :

- la neutralisation finale du pH de l'eau épurée et sa désinfection sont réalisées dans le bassin de désinfection (figure 10) construit en béton armé ;
- la mesure du pH se réalise à l'aide d'une sonde de pH et son ajustement, entre 6,5 et 8, se fait automatiquement par ajout de l'acide sulfurique à l'aide d'une pompe de débit maximal de 14,7 l/h ;
- l'ajout de l'hypochlorite de sodium se fait à l'aide d'une pompe doseuse de débit maximal de 6,34 l/h et le dosage du désinfectant permet d'avoir un résiduel en chlore dans l'eau de rejet.

4-4 : évacuation de l'eau traitée :

65% de l'eau sortante du bassin de désinfection rejoignent le réseau d'assainissement de la ville de Fès et les 35% restants sont utilisés pour l'arrosage des espaces verts de la CBGN.

5- Traitement de la boue :

En parallèle du circuit de traitement de l'eau, la STEP comporte également une chaîne de traitement des boues :

5-1 : extraction et recirculation des boues biologiques :

❖ Procédé :

- les boues flottées, collectées en surface du flottateur et les boues décantées éliminées au fond du flottateur par purge, sont transférées par gravité vers un bassin de stockage, construit en béton armé (bassin à boues) de 20m³ de capacité. Elles sont homogénéisées par un agitateur immergé de 2.5 KW.



Figure11 : bassin des boues de la STEP de la CBGN

- une partie des boues du bassin des boues est recirculée vers les bioréacteurs afin d'y maintenir une biomasse épuratrice optimale. Cette recirculation est assurée par des pompes à rotor de 7m³/h chacune évitant le développement des bactéries filamenteuses.
- la mesure du débit de recirculation est assurée par un débitmètre électromagnétique placé sur la tuyauterie d'amenée dans les bioréacteurs.
- lorsque le niveau du bassin des boues arrive à 45%, l'opération de recirculation des boues se déclenche automatiquement et elle s'arrête lorsque le niveau atteint 32%.

5-2 : extraction et déshydratation des boues biologiques :

L'extraction des boues assure le maintien d'un équilibre entre la biomasse épuratoire et la pollution à traiter. Les boues extraites subissent une déshydratation dans une centrifugeuse.

❖ Procédé :

- la déshydratation devient nécessaire lorsque la quantité des MES dans les réacteurs biologiques atteint 3000mg/l. Cependant, les boues épaissies sont reprises par deux pompes (figure 12) et acheminées vers la décanteuse centrifugeuse à un débit de 3m³/h. on ajoute le polymère DKFLOC K-436 pour améliorer la déshydratation.



Figure 12 : pompes d'extraction des boues

- grâce à des compresseurs d'air, la centrifugeuse déshydrate le surplus des boues. Elle est installée en hauteur de manière à ce que l'évacuation de l'effluent traité vers le bac de boues déshydratées soit gravitaire.



Figure 13 : centrifugeuse des boues séparées de la STEP de la CBGN

- les boues déshydratées sont récupérées dans une benne et sont mises en décharge.



Figure 14 : bac des boues déshydratées

- l'eau qui sort de la centrifugeuse est envoyée vers la fosse de relevage pour être retraitée.
- le processus de déshydratation s'arrête lorsque le niveau dans le bassin des boues atteint 28%.

N.B. La déshydratation permet d'alléger le transport et les coûts de mise en décharge, réduit au maximum les rejets des MES et des nuisances olfactives et microbiologiques et facilite la manutention des boues en excès.

6- Station d'ajustement des produits d'addition



Figure 15 : station d'ajustement des produits d'addition

Cette station regroupe les équipements d'ajustement des différents produits ajoutés lors du processus d'épuration. L'injection des réactifs se fait de manière automatique grâce à des pompes doseuses qui assurent le maintien des concentrations des produits constantes et conditionnent l'ajout en fonction des besoins.

On y trouve :

- ❖ pompes doseuses d'hypochlorite de sodium pour le dosage de l'eau de javel dans le bassin de désinfection (figure 16) ;
- ❖ pompes doseuses d'acide sulfurique qui permet de neutraliser le pH dans le bassin de répartition et de désinfection (figure 16) ;



Figure 16 : Pompes doseuses d'hypochlorite de sodium à gauche et d'acide sulfurique à droite

- ❖ conteneur d'urée pour l'ajustement de la concentration d'azote dans le bassin de répartition (figure 17) ;



Figure 17 : conteneur d'urée

- ❖ conteneur de phosphate d'ammonium (figure 18) pour ajuster la concentration du phosphore dans le bassin de répartition ;



Figure 18 : conteneur du phosphate d'ammonium

- ❖ Station de préparation du polymère (figure 19) (POLYPACK APS-MAX-400): Assure la dilution du polymère (DKFLOC K-436) en poudre utilisé pour la floculation des boues activées.



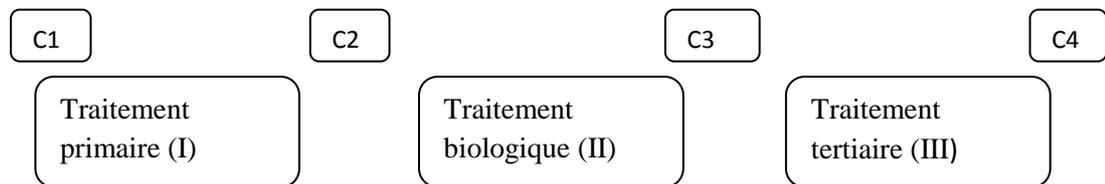
Figure 19 : station de préparation du polymère

N.B. Cette installation est aussi commune à la préparation de polymère pour la déshydratation des boues.

Chapitre 3 : Etude de la performance de la Step de la CBGN

I- Mesure de la performance de la STEP

La performance de la station est appréciée en se basant sur la qualité du rejet final par rapport aux normes de rejets de la CBGN et sur la performance des différents traitements mesurée par l'abattement obtenu au niveau de chaque étape de traitement à savoir le traitement primaire, le traitement secondaire (biologique) et le traitement tertiaire. Les trois abattements sont calculés selon le schéma suivant :



C1 : Entrée bassin d'homogénéisation

C2 : sortie bac tampon, entrée bio-réacteur

C3 : sortie réacteur biologique.

C4 : sortie flotateur

$$\text{Abattement du traitement primaire} = (C1 - C2) / C1 * 100 = x \%$$

$$\text{Abattement du traitement secondaire} = (C2 - C3) / C2 * 100 = y \%$$

$$\text{Abattement du traitement tertiaire} = (C3 - C4) / C3 * 100 = z \%$$

Avec C est la concentration du paramètre analysé caractérisant le degré de pollution de l'eau (DBO, DCO, MES, NTK, P total...).

Afin d'évaluer la performance de la STEP, il faut comparer les abattements x%, y % et z% par rapport aux résultats prévus par le concepteur et aussi par rapport aux normes.

II- Caractérisation physico-chimique de l'effluent

La caractérisation physico-chimique est incontournable si on espère définir avec bonne qualité, les caractéristiques d'un procédé de traitement.

1- Echantillonnage :

Le point d'échantillonnage doit être situé à un endroit caractéristique de l'effluent où il y a suffisamment de turbulence pour assurer l'homogénéité du rejet. [7]

2- Température :

Elle joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et la détermination du pH. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau. [7]

3- pH :

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). [7]

4- Matières en suspension (MES) :

Correspond à la pollution insoluble particulaire, c'est-à-dire à la totalité des particules solides véhiculées par les eaux résiduaires. Les impuretés présentes dans l'eau ont pour origine des substances minérales, végétales ou animales. Leur taille varie entre 40 micromètres et 5 millimètres et qui se déposent sans aucun traitement physique et chimique. [7]

5- Matières organiques :

- **DBO5 :**

Représente la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours à 20 °C. Elle correspond à la quantité de dioxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau [8]. Elle est exprimée en mg O₂/l.

- **DCO :**

La demande chimique en oxygène représente la concentration en oxygène équivalent à la quantité des oxydants chimiques forts utilisés pour consommer les matières dissoutes et en suspension de l'eau. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux usées.

6- Matières azotées:

L'azote rencontré dans les eaux usées peut avoir un caractère organique ou minéral, il se présente sous quatre formes: l'azote organique, l'azote ammoniacal (NH_4), l'azote nitreux (NO_2^-) et l'azote nitrique (NO_3^-).

La forme la plus abondante dans les eaux usées est l'azote ammoniacal, les concentrations des formes oxydées sont faibles. [7]

7- Composés phosphorés :

Dans les eaux usées, le phosphore se trouve soit sous forme d'ions orthophosphates isolés, soit sous forme d'ions phosphates condensés ou sous forme d'ions phosphates condensés avec des molécules organiques. [7]

III- Détermination des paramètres physico-chimiques :

1- Matériel et méthodes

1-1 : Détermination de la température et du pH

La mesure de la température des rejets se fait manuellement via un thermomètre à mercure et le résultat de la mesure est donné en degré Celsius.

La mesure de pH des échantillons est réalisée à l'aide d'un pH-mètre de type EUTECH INSTRUMENTS pc 510.

1-2 : Détermination de la demande chimique en oxygène DCO [9]

▪ Principe :

Les substances oxydables réagissent avec le bichromate de potassium sulfurique, en présence de sulfate d'argent. Le chlorure est masqué avec du sulfate de mercure. La coloration verte du Cr^{3+} sera déterminée photo métriquement.

NB : 1mole de dichromate (Cr_2O_7) équivalent à 1,5 mole d' O_2

- **Domaine d'application** : Eaux de rejet, dont la DCO compris entre 100 et 2000 mg/l.
- **Appareillage** : Thermostat et Spectrophotomètre
- **Réactifs** : Réactifs préparés : réf : LCK 514
- **Mode opératoire** : (voir annexe)

1-3 : Détermination de la demande biologique en oxygène DBO₅ [9]

▪ principe :

La quantité d'oxygène consommée biologiquement (DBO₅) est mesurée numériquement au moyen d'un DBO-mètre. L'échantillon prélevé est incubé pendant cinq jours, les

microorganismes présents consomment l’oxygène dissous. Le gaz carbonique dégagé est piégé (ou absorbé) par l’hydroxyde de sodium.

- **Appareillage** : Système de mesure de la DBO de type Lovibond Oxydirect, armoire thermorégulatrice de type Lovibond
- **Réactif** : graines de la soude ou de KOH.
- **Mode opératoire** : (voir annexe)
- **Interprétation des résultats** : La valeur de DBO mesurée est exprimée en mg d’O₂/ l.
- Le résultat est significatif si l’allure de la courbe des résultats suit l’allure type A de la courbe ci dessous.

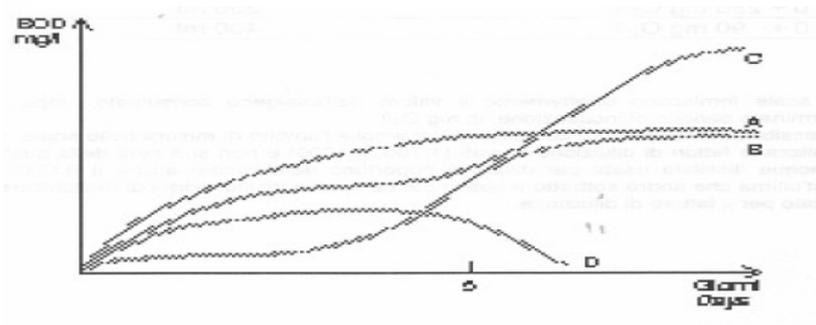


Figure : évolution de la DBO₅ (mg/l) pendant 5 jours

1-4: Détermination des matières en suspension (MES) [9] :

- **Principe** :
La détermination des MES dans l’eau est réalisée par filtration d’un volume aliquote. La masse des matières filtrées est déterminée par pesée après séchage à 105 °C. Le résultat est exprimé en mg de matière en suspension par litre d’échantillon.
- **Appareillage** : Balance de précision à ±0,0001g, étuve (ECOCELL), membranes de filtration 0,45µm, rampe de filtration et pompe à vide
- **Mode opératoire** : (voir annexe)
- **Expression des résultats** :

$$MES = (M2-M1)*1000/V$$

V : Volume en millilitre de l’échantillon M1 : Masse en mg du filtre sèche avant utilisation

M2 : Masse en mg du filtre+MES après séchage

1-5: Détermination de l’azote total (NTK) : [9]

- **Principe** :

L'azote de composition organique et inorganique s'oxyde en présence de Péroxydisulfate et se transforme donc en nitrates. Les ions nitrates réagissent dans une solution d'acides sulfurique et phosphorique avec du 2-propanol

- **Domaine d'application** : Eaux usées brutes et épurées dont la concentration de NTK est comprise entre 1 et 16mg/L. Le pH d'échantillon doit être compris entre 3 et 12 et la température échantillon/réactifs entre 15 et 25°C
- **Appareillage** : Thermostat (HACH LANGE LT 200), Spectrophotomètre (HACH LANGE DR 2800) ; Pipettes de 1 ml
- **Réactifs** : Réactifs préparés Réf : LCK 138
- **Mode opératoire** : (voir annexe)

1-6: Détermination du phosphore total [9] :

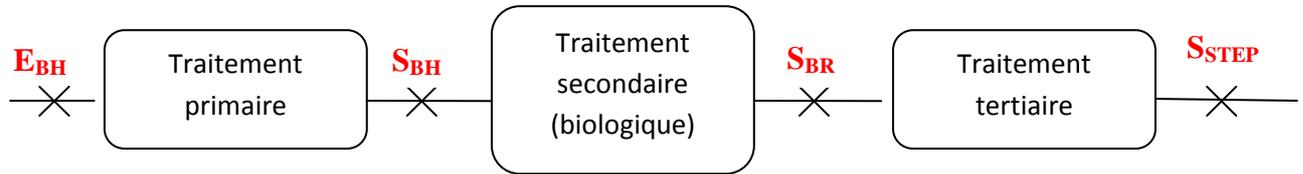
- **Principe** :
Les ions phosphates réagissent en solution acide avec les ions molybdates et antimoinés pour donner un complexe molybdate d'antimoine. Celui-ci est réduit par l'acide ascorbique en bleu de phosphore molybdène.
- **Domaine d'application** : Analyses des eaux usées brutes et épurées
- **Appareillage** : thermostat, Spectrophotomètre, Pipettes graduées
- **Réactifs** : Réactifs préparés Réf : LCK 349
- **Mode opératoire** : (voir annexe)

2- Résultats et discussion

Les résultats des analyses des NTK, MES, DCO et DBO5, Phosphore total pour chaque étape de traitement ainsi que les rendements des différents traitements sont représentés dans les tableaux suivants :

Ces résultats d'analyses sont représentés graphiquement dans les figures (20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 et 29), accompagnés d'interprétations et de discussions.

Le schéma ci-dessous, rappelle les points d'échantionnage :



EBH : entrée bassin d'homogénéisation

SBH : sortie bassin d'homogénéisation

SBR : sortie bio-réacteur

SSTEP : sortie Step

2-1 : MES :

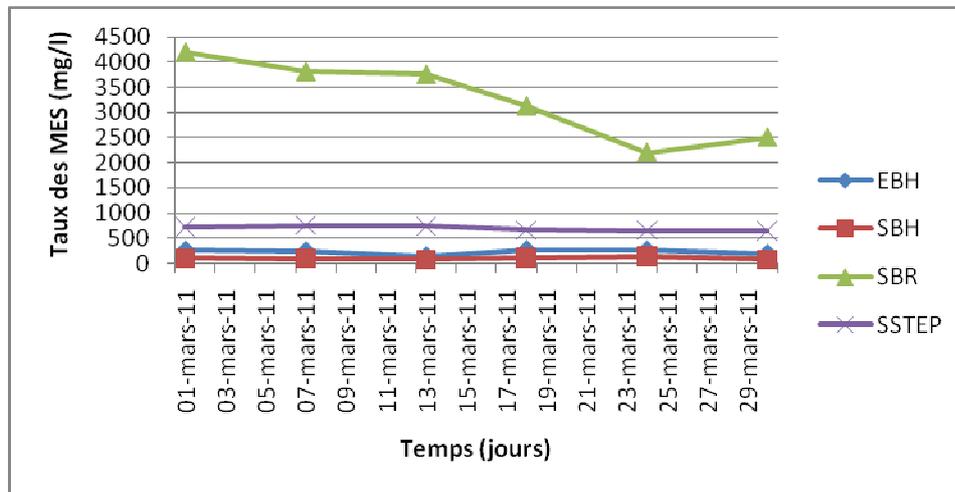


Figure 20 : Evolution de la MES dans les différentes étapes de traitement

❖ Discussion et interprétation :

Les résultats montrent que les MES à l'entrée ont comme valeur maximale 272mg/l et 639mg/l comme valeur minimale à la sortie de la station, qui est nettement supérieure à 25 mg/l (norme CBGN).

On représente ainsi le rendement épuratoire en MES pour chaque étape de traitement (figure) :

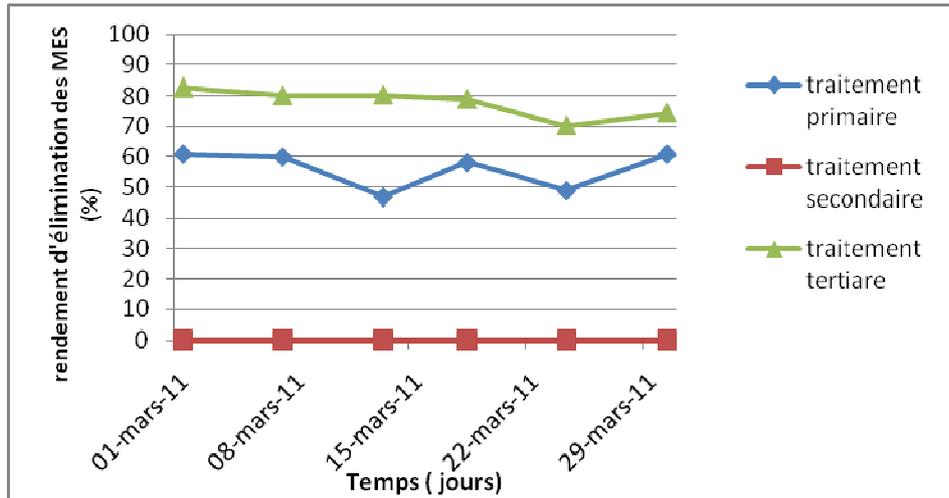


Figure 21 : Rendement d'élimination de la MES dans les différentes étapes de traitement

❖ Discussion et interprétation

- ✓ Pour le traitement primaire le rendement varie de 46,89 à 60,93 %, ce qui représente un rendement moyen
 - ✓ Pour le traitement secondaire le rendement est nul, on remarque même une augmentation de MES ce qui peut être dû aux particules bio-organiques formées lors du traitement biologique et qui ont une taille non assez suffisante pour décanter.
 - ✓ Pour le traitement tertiaire le rendement varie de 70,22 à 82,86 % un bon rendement.
- ⇒ Le rendement global de la station concernant l'élimination des MES est nul puisque le taux des MES à la sortie est élevé par rapport à l'entrée. D'après ces résultats on conclue que c'est le traitement physico-chimique qui élimine une grande partie des MES, cela s'explique par le fait que les matières colloïdales se déstabilisent et s'agglomèrent ce qui facilite leur élimination.

2-2: DCO :

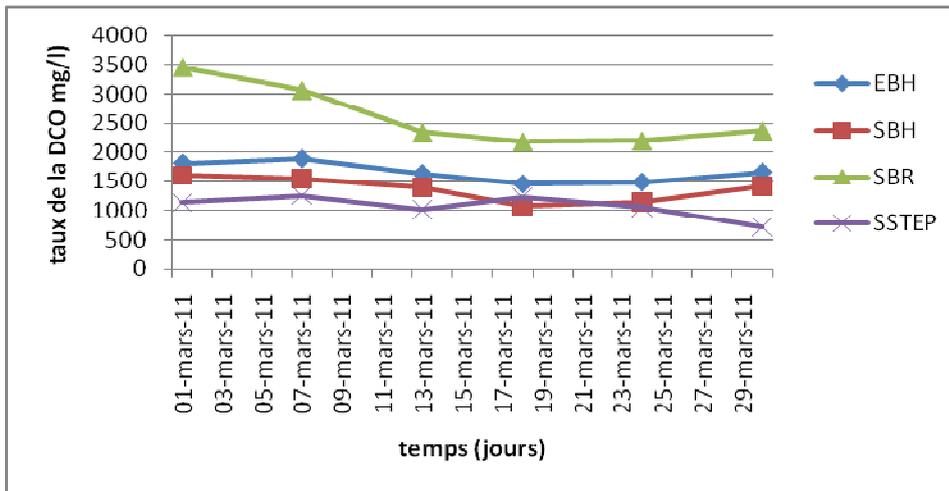


Figure 22: Evolution de la DCO dans les différentes étapes de traitement

❖ **Discussion et interprétation**

La valeur de la DCO à l'entrée de l'ouvrage de traitement varie de 1456 à 1883mgO₂/l comme valeurs minimale et maximale, quant à la valeur à la sortie elle varie entre 720 et 1014mgO₂/l.

Le rendement épuratoire de chaque étape de traitement est représenté par les courbes ci-dessous :

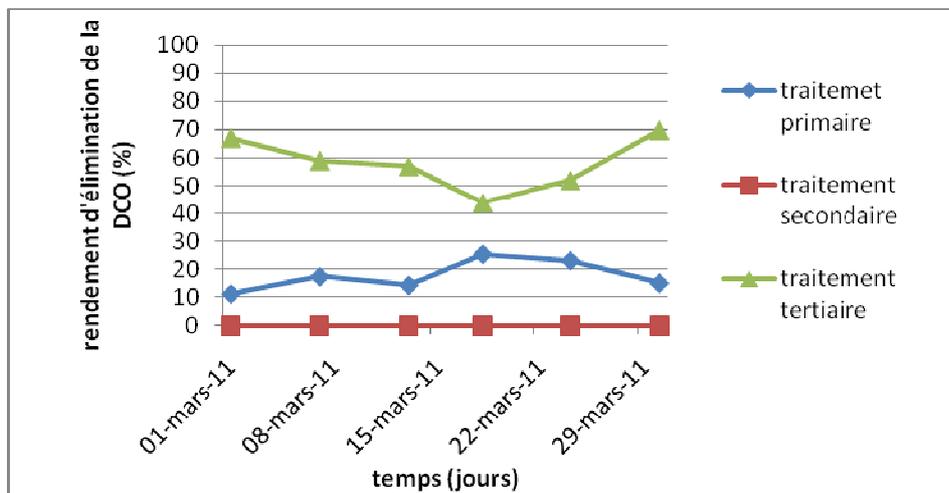


Figure 23: Rendement de la DCO dans les différentes étapes de traitement

❖ **Discussion et interprétation**

- ✓ Pour le traitement primaire le rendement varie de 11,43 à 25,34 %, ce qui représente un rendement assez bas.
- ✓ Pour le traitement secondaire le rendement reste nul (on assiste à une augmentation comme pour les MES).

✓ Pour le traitement tertiaire le rendement ne dépasse pas 69,73 %, qui est un rendement assez bon.

⇒ On trouve comme rendement global de la station 35,24 comme valeur maximale d'élimination de la DCO.

2-3: DBO₅

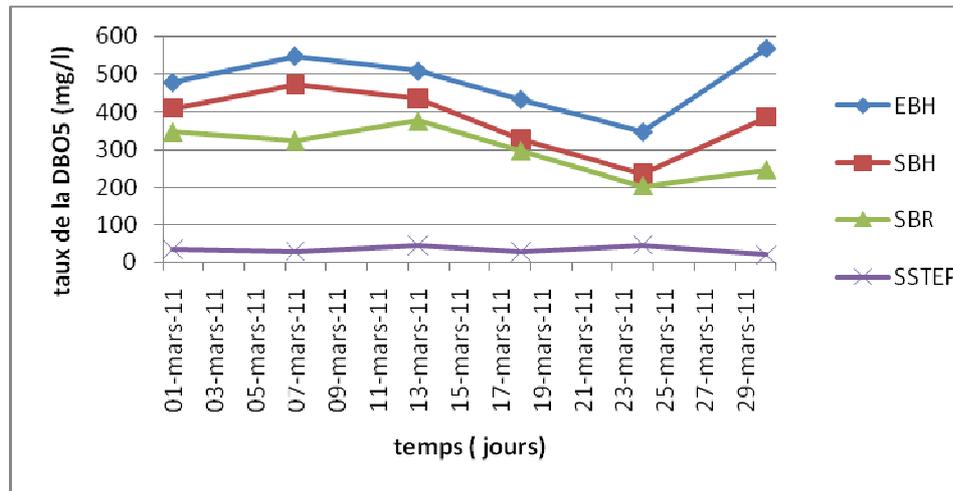


Figure 24 : Evaluation de la DBO₅ dans les différentes étapes de traitement

❖ Discussion et interprétation

La DBO₅ montre des variations assez considérables. D'après, les courbes la DBO₅ diminue tout au long du traitement pour les différents essais effectués

Les valeurs de la DBO₅ à l'entrée de la station vont de 347 à 548 mg d'O₂/l et les valeurs à la sortie de la station vont de 20 à 46 mg d'O₂/l comme valeurs minimales et maximales. La valeur maximale à la sortie de la station d'épuration reste inférieure à 50mg d'O₂/l ; valeur limite spécifique de rejet (législation CBGN).

Le rendement épuratoire de chaque étape de traitement est représenté par les courbes ci-dessous

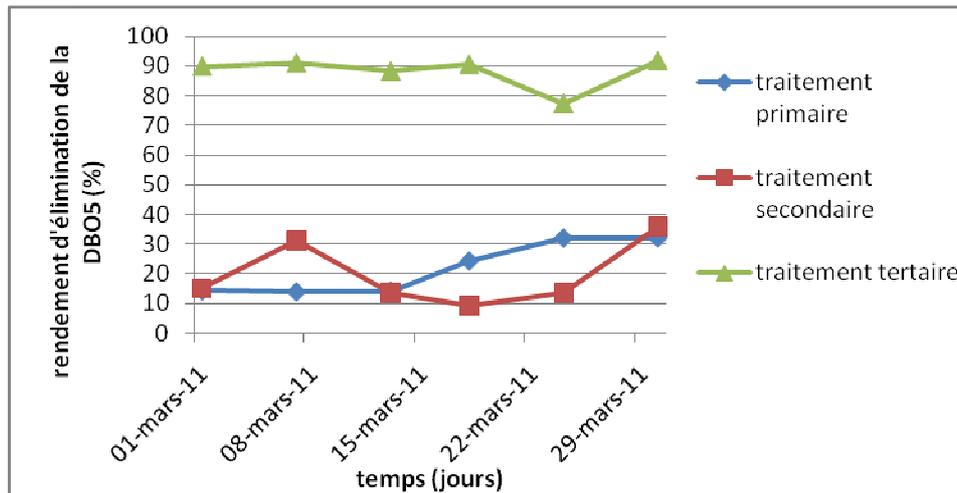


Figure 25 : Rendement de la DBO₅ dans les différentes étapes de traitement

❖ **Discussion et interprétations :**

- ✓ Pour le traitement primaire le rendement varie de 13,86 à 32,04%, ce qui représente un rendement moyen
 - ✓ Pour le traitement secondaire le rendement varie de 9,14 à 36,01%, c'est un rendement moyen
 - ✓ Pour le traitement tertiaire le rendement varie de 77,45 à 91,9 %, c'est un très bon rendement
- ⇒ On trouve comme rendement global de la station des valeurs qui peuvent atteindre 96,47 % ce qui prouve l'efficacité du traitement en DBO₅. On peut conclure que le traitement physico-chimique élimine le plus la DBO₅.

2-4: NTK :

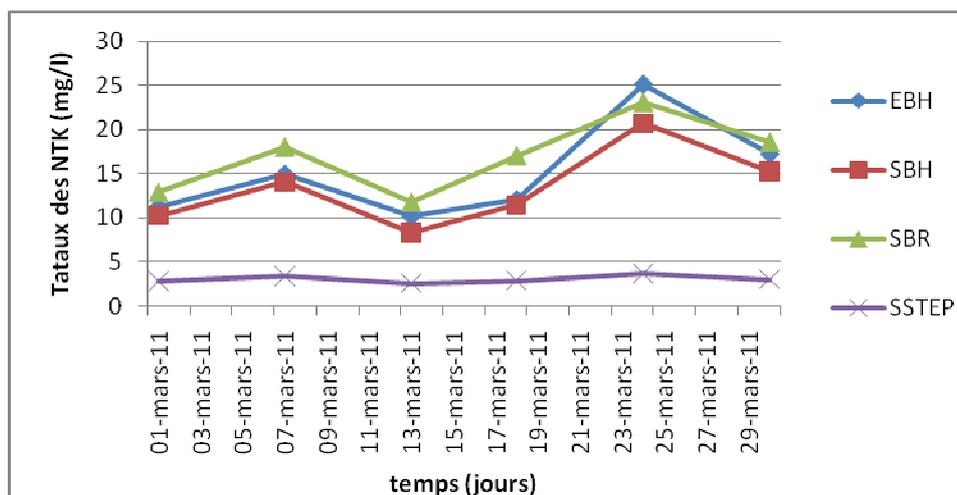


Figure 26 : Evolution des NTK dans les différentes étapes de traitement

❖ **Discussion et interprétation**

Les valeurs des concentrations de l'azote à l'entrée de la station peuvent atteindre une valeur maximale de 25,08 mg/l, et des valeurs à la sortie atteignant 3,69 mg/l sachant que la valeur limite de rejet est de 5 mg/l, ce qui explique que le procédé de traitement appliqué est efficace en matière d'élimination de l'azote.

Le rendement épuratoire de chaque étape de traitement est représenté par les courbes ci-dessous

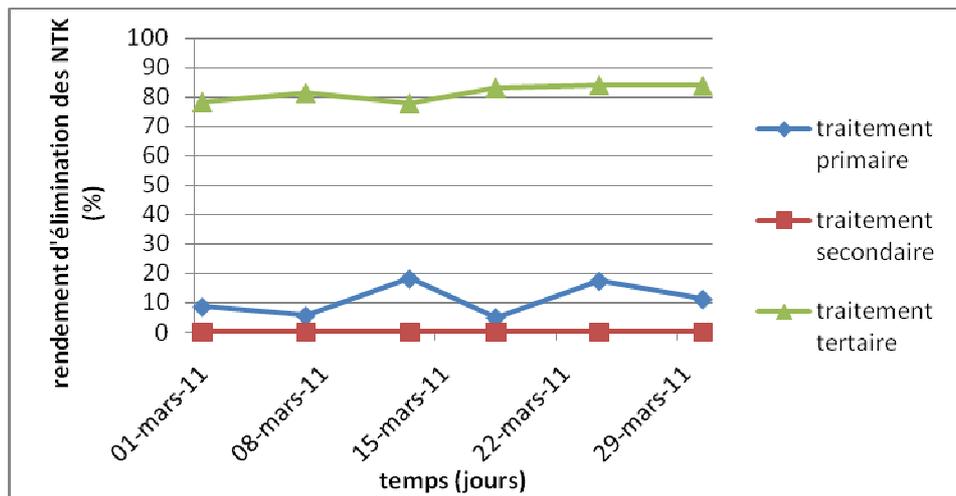


Figure 27 : Rendement d'élimination des NTK dans les différentes étapes de traitement

❖ Discussion et interprétation.

- ✓ Pour le traitement primaire le rendement varie de 5,7 à 18,27 %, un rendement faible
 - ✓ Pour le traitement secondaire le rendement (par rapport à la sortie traitement primaire) est nul puisque il y'a ajout des éléments nutritifs et parmi eux l'azote pour conditionner l'activité des micro-organismes.
 - ✓ Pour le traitement tertiaire le rendement varie de 77,99 à 84,02 %, un bon rendement
- ⇒ On trouve comme rendement global de la station des valeurs qui peuvent atteindre 81.28 % concernant l'élimination de l'azote total. On remarque donc que c'est le traitement physico-chimique qui assure le plus l'élimination de l'azote. Il faut signaler que dans le traitement biologique une grande partie d'azote est utilisée par les microorganismes pour la dégradation, mais les particules bio-organiques formées peuvent rester en suspension vu leurs tailles et au cours du traitement physico-chimique l'utilisation du flocculent permet de les rassembler et les éliminer par flottation.

2-5 : Phosphate total :

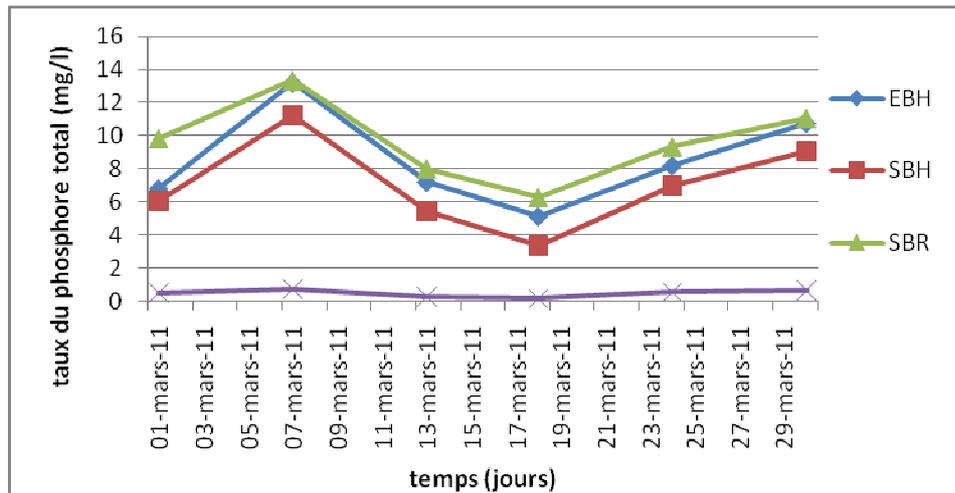


Figure 28 : Evolution du phosphore total dans les différentes étapes de traitement

❖ Discussion et interprétation

Les valeurs des concentrations du phosphore à l'entrée de la station peuvent atteindre une valeur maximale de 13,2 mg/l, et des valeurs à la sortie atteignant 0.723 mg/l sachant que la valeur limite de rejet est de 1 mg/l, ce qui explique que le procédé de traitement appliqué est efficace en matière d'élimination du phosphore.

Le rendement épuratoire de chaque étape de traitement est représenté par les courbes ci-dessous

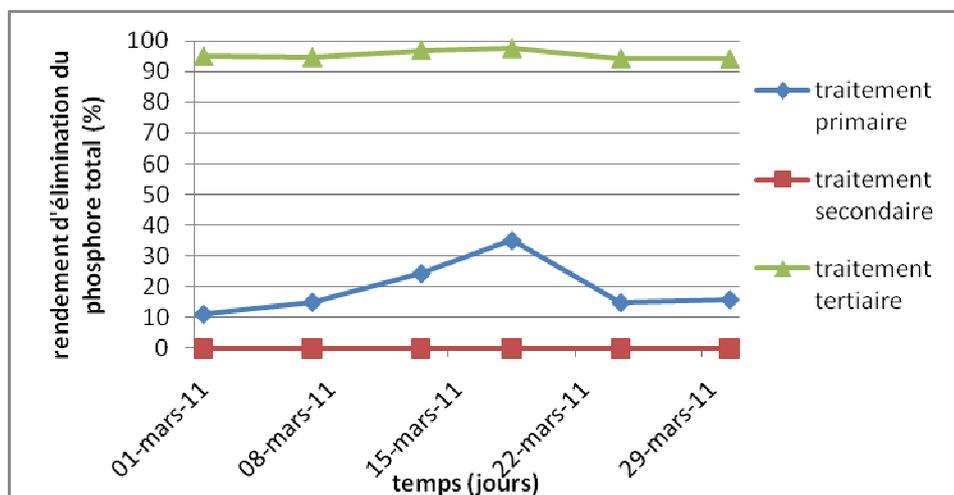


Figure 29: Rendement d'élimination du phosphore total dans les différentes étapes de traitement

❖ Discussion et interprétation

- ✓ Pour le traitement primaire le rendement varie de 11.02 à 35.08 %, un rendement faible
- ✓ Pour le traitement secondaire le rendement est nul (par rapport à la sortie traitement primaire) puisque y'a ajout du phosphore nécessaire pour la survie des micro-organismes.
- ✓ Pour le traitement tertiaire le rendement atteint 97,47 un très bon rendement

⇒ On trouve comme rendement global de la station des valeurs qui peuvent atteindre 97% concernant l'élimination du phosphore. Le traitement physico-chimique est le procédé le plus efficace pour éliminer le phosphore. Il faut signaler que dans le traitement biologique une grande partie du phosphore est utilisée par les microorganismes pour la dégradation, mais les particules bio-organiques formées peuvent rester en suspension vu leurs tailles et au cours du traitement physico-chimique l'utilisation du floculent permet de les rassembler et les éliminer par flottation.

CONCLUSION

Les rendements d'élimination des matières polluantes de la station sont :

- 96,47% pour la DBO5
- 81.29 % pour NTK
- 97 % pour le phosphore total
- 35,24 % pour la DCO
- Nul pour les MES

Pour les trois premiers paramètres (DBO, NTK, P total), les rendements épuratoires sont élevés et leurs valeurs à la sortie de la STEP respectent les normes de rejets.

Pour les deux derniers (MES, DCO) :

- ✓ MES : le rendement épuratoire est nul et les valeurs à la sortie dépassent les normes de rejets
- ✓ DCO : le rendement épuratoire ne répond pas aux normes de rejets.

Donc la station d'épuration présente une performance très élevée concernant l'élimination de la DBO, NTK, P total, tandis que, les rendements de la DCO et les MES restent relativement faibles.

Afin d'améliorer la performance de la Step en matière des deux paramètres, DCO et MES, on a effectué des essais de coagulation-floculation sur des échantillons de l'effluent brut de la CBGN tout en utilisant deux types de coagulants à savoir le sulfate ferrique et le chlorure ferrique, cette étude sera détaillée dans le chapitre suivant.

Chapitre 4 : traitement de l'effluent par le procédé de coagulation-floculation

Afin d'améliorer la qualité des floccs et d'augmenter le rendement épuratoire de la station, elle dispose d'un site de floculation placé en amont du flotatteur et en aval du bio-réacteur. Ce dernier assure l'agglomération de la pollution sous forme de floccs faciles à éliminer par flottation.

La qualité des floccs dépend surtout des propriétés quantitatives et typiques du coagulant/floculant utilisé pendant l'étape de coagulation floculation. En principe, plusieurs types de ces derniers sont présents dans le marché, la problématique s'impose dans le choix d'un entre eux qui répondra aux exigences du rapport qualité/prix.

De sa part, la CBGN utilise le DKFLOC K-436, ce dernier joue double rôle, coagulant et floculant, mais n'assure pas la formation de floccs bien distingués et par la suite l'eau à la sortie du flottatteur est souvent chargée en MES.

I- Procédé de coagulation-floculation

1- généralités

La coagulation a pour but principal de déstabiliser les fines particules en suspension pour faciliter leur agglomération. Le plus souvent la dispersion instantanée d'un sel métallique neutralise et déstabilise les particules colloïdales pour mener à la formation des floccs. [10]

La floculation est le phénomène physico-chimique au cours duquel les micelles et les MES forment des flocons par la mise en œuvre de deux mécanismes : l'adsorption et la réticulation : Les particules s'adsorbent sur un polymère chimique (floculant) puis le polymère s'enroule sur lui-même créant ainsi un flocc qui grâce à un volume plus important et une masse plus grande va décanter. [10], ou flotter (lorsque on fait appel à la flottation par l'injection des micros bulle d'air) (figure 30).

L'intensité du brassage est habituellement forte lors de la coagulation pour assurer l'homogénéisation et faible pendant la floculation pour permettre aux particules d'entrer en contact plus facilement. En augmentant la taille des particules, le procédé de floculation accroît le taux de captage des floccs lors de la filtration. [10]

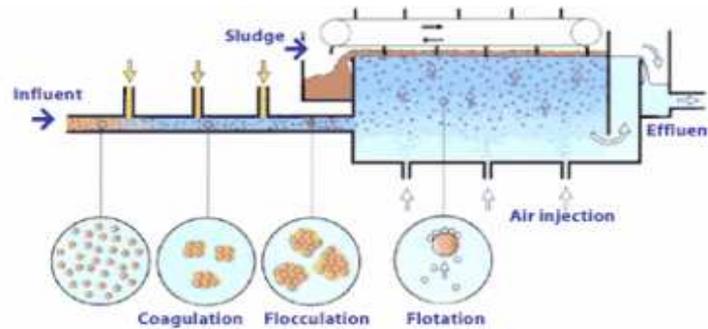


Figure.30 Schématisation du procédé de coagulation-floculation [11]

Le procédé de coagulation-floculation peut-être employé pour retirer plusieurs types de substances organiques et inorganiques.

2- avantages et inconvénients du procédé de coagulation-floculation : [12]

Avantages	Inconvénients
<p>-procédé très répandue ; présence des équipements et agents chimiques</p> <p>- La présence de composés toxiques dans l'effluent à traiter ne gêne pas et le système reste stable lorsqu'il est soumis à des T° variables</p> <p>- Contrairement aux systèmes biologiques, un système de coagulation-floculation chimique requiert moins d'espace, coûts d'installation moins importants, accommode une grande variété de charges et de débits.</p> <p>- réduction quasi complète du phosphore, azote, micropolluants, métaux lourds, bactéries et virus</p>	<p>-addition de coagulant, principalement le CaO, peut augmenter le volume des boues jusqu'à 50 %</p> <p>- Pour les pays en voie de développement, les coagulants chimiques peuvent être trop coûteux</p> <p>- La toxicité d'Al et Fer résiduel peut entraîner des problèmes importants pour la santé comme l'Alzheimer</p> <p>- Beaucoup d'essais à l'échelle laboratoire sont nécessaires pour trouver un traitement optimal. Une surdose de coagulant chimique peut diminuer l'efficacité du système;</p>

Tableau 6 : avantages et inconvénients du procédé de la coagulation-floculation

3- coagulants et floculants :

Le choix du bon coagulant ou floculant dépendra essentiellement de deux facteurs : l'efficacité et le coût.

Actuellement, les sels métalliques sont indéniablement les coagulants les plus utilisés dans le procédé de coagulation-floculation. Récemment, plusieurs types de coagulants et de

floculants inorganiques sous formes de polymères ont été développés et sont maintenant largement utilisés dans le monde. D'autres recherches montrent que l'utilisation de polymères d'origine biologique est une avenue forte prometteuse. [12]

3-1 : coagulants de type sels métalliques : [12]

Plusieurs sels métalliques sont utilisés dans le domaine du traitement des eaux usées, voici un aperçu des principaux qui sont :

<i>Nom</i>	<i>Formule</i>	<i>Remarques</i>
Sulfate d'Aluminium	$Al_2(SO_4)_3, 18 H_2O$	-obtention d'une eau de très faible turbidité -poudre irritante, corrode les métaux ferreux
Chlorure Ferrique	$FeCl_3, 6 H_2O$	-pour les eaux chargées en matière organique -réactif acide (fort), - oxydant hautement corrosif, - toxique
Sulfate Ferrique	$Fe(SO_4)_3, 9 H_2O$	oxydant corrosif
Sulfate Ferreux	$FeSO_4, 7 H_2O$	-corrode les métaux ferreux -généralement utilisé avec le CaO pour réduire la dureté de l'eau
Oxyde de Calcium	CaO	-permet la coagulation des matières particulaires et de certains métaux. -généralement utilisé avec d'autres coagulants puisque de très grandes quantités de CaO sont souvent nécessaires lorsqu'il est utilisé seul.

Tableau 7 : Caractéristiques des principaux coagulants

3-2: Floculants de type polymères (polyélectrolytes) synthétiques :

Composés de haut poids moléculaires. Une fois dissout dans un solvant polaire comme l'eau, se dissocie et la floculation est extrêmement marquée par la formation de ponts entre les particules grâce aux longues chaînes ramifiées ainsi que la très forte diminution de la résistance de la boue permettant un drainage plus rapide de l'eau. [16]

- Avantages [12]:
- Pas besoin d'un dosage très précis et d'un ajustement de pH
 - Réduit le volume de boues produites
 - augmente la résistance des floccs
- Inconvénients [12]:
- peuvent être toxiques pour la faune.
 - coûteux

4- Essais de coagulation-floculation « Jar-Test » :

Le traitement par coagulation-floculation dépend de plusieurs paramètres dont les quantités de réactifs à ajouter, le pH et les vitesses d'agitation du milieu réactionnel qui peuvent être déterminées en fonction de l'eau à traiter. [17]

La détermination de ces grandeurs en laboratoire est réalisée par le jar test qui consiste en une rangée de béchers alignés sous un appareillage permettant de tous les agiter en même temps. Les différents béchers contiennent une même quantité de l'eau à traiter, avec changement des paramètres (concentration coagulant, concentration floculant ou pH). On peut jouer même sur la vitesse d'agitation. On détermine ainsi, les doses optimales des réactifs et la vitesse à utiliser pour avoir un rendement optimal. [17]

II- Etude expérimentale :

La composition de l'effluent de la CBGN est variable et dépend des types de matières premières utilisées dans le processus de fabrication du produit fini. Dans le but d'éliminer au maximum la pollution contenue dans cet effluent, des essais de Jar-Test ont été effectués pour optimiser les paramètres suivants :

- pH de la coagulation
- Nature et dose du réactif du coagulant
- Dose du floculant

Les réactifs utilisés dans ce procédé sont :

- Le chlorure ferrique ($\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$)
- Le sulfate ferrique ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$)
- La chaux

1- Suivi des essais

1-1: mode opératoire :



Figure 31 : Appareillage de Jar-Test

- Dans les 4 béchers qu'on utilise, on verse 500 ml d'échantillon puis on les place dans le flocculateur.
- On met en marche les agitateurs à une vitesse d'environ 120tr/mn.
- On ajoute aux différents échantillons la dose de coagulant convenable
- Après dix minutes d'agitation rapide, on ajoute aux différents béchers la dose convenable de flocculant et on diminue la vitesse d'agitation à 10 tr/min pendant 20 min ;
- On relève les hélices, et on laisse décanter pendant 30mn ;
- Puis on récupère le surnageant, les matières en suspension et la DCO de chaque bêche pour évaluer l'eau présentant les meilleurs résultats.
- Une vérification du pH est nécessaire au niveau de la coagulation.

1-2: optimisation de la dose du coagulant :

L'essai consiste à varier les doses du coagulants avec le maintien de la concentration du flocculant constante et du pH dans la zone de sa prédominance qui est entre 5 et 7 pour le sulfate ferrique et entre 5.5 et 8.5 pour le chlorure ferrique.

1-3: optimisation du pH :

Après avoir obtenu la dose optimale du coagulant, on fait des essais avec cette dose de coagulant tout en variant le pH pour obtenir un pH optimum correspondant à la nature de l'eau traitée.

1-4: optimisation du flocculant :

Cette fois ci, on varie les doses de flocculant avec le maintien de la concentration du coagulant constante et du pH dans son optimum.

2- Résultats et interprétation :

Les résultats des essais effectués sont représentés dans les tableaux et graphes suivants.

Remarque :

Le manque des réactifs déterminant le taux des NTK et du P_{total} et des flacons suffisants pour le lancement de la DBO_5 au laboratoire de la STEP, a limité l'étude aux deux paramètres: les MES et le Rendement (DCO).

2-1 : Essais au sulfate ferrique :

a- Optimisation de la dose du sulfate ferrique :

Les conditions et les résultats des essais sont illustrées dans le tableau 8 :

	E.B	1	2	3	4	5	6
Concentration sulfate ferrique (g/l)	-	1.6	2	2.4	2.8	3.2	3.6
Concentration floculant (mg/l)	-	2	2	2	2	2	2
pH	11,71	6,75	6,43	5,87	4,59	2,9	2,87
MES (mg/l)	1470	260	245	265	295	420	365
DCO (mg/l)	2678	2438	2208	2243	2276	2178	2376

Tableau 8 : résultats d'optimisation de la dose du sulfate ferrique

La figure 32 représente l'évolution de la DCO et MES de l'eau traitée en fonction de la concentration du coagulant :

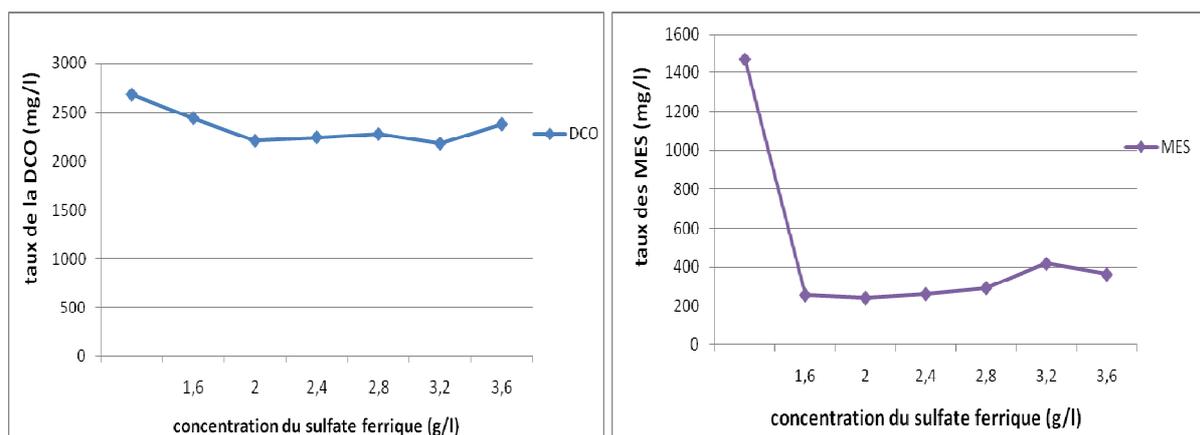


Figure 32 : à gauche variation de la DCO en fonction de la dose du sulfate ferrique à droite la variation des MES en fonction de la dose du sulfate ferrique

❖ **Interprétation :**

D'après ces résultats obtenus, on peut dire que :

- De point de vue MES on a une bonne diminution, par contre pour la DCO, on assiste à une diminution mais ca reste insuffisante.
- Le taux d'abattement en MES atteint 83% dans le deuxième essai,
- Le taux d'abattement pour le même essai est de 18% en DCO

⇒ La dose de coagulant à choisir dans ce cas est 2 g/l.

b- Optimisation du pH :

Les conditions et les résultats des essais sont illustrées dans le tableau 9 :

	E.B	1	2	3	4	5	6	7	8
Concentration sulfate ferrique (g/l)	-	2	2	2	2	2	2	2	2
Concentration floculant (mg/l)	-	2	2	2	2	2	2	2	2
pH	10,13	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8
MES (mg/l)	165	60	35	30	25	25	35	50	56
DCO (mg/l)	1608	1116	1113	1113	1108	1088	1143	1149	1156

Tableau 9 : résultats d'optimisation du pH

La figure 33 représente l'évolution de la DCO et MES de l'eau traitée en fonction du pH

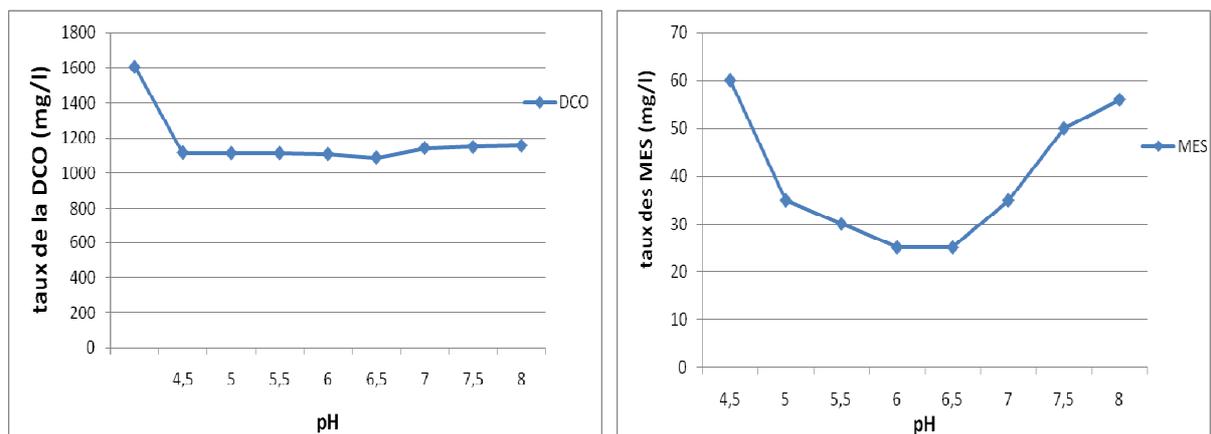


Figure 33 : à gauche variation de la DCO en fonction du pH et à droite la variation des MES en fonction du pH

❖ **Interprétation :**

- D'après la figure 33 on peut conclure que :

- Les taux de MES dans l'eau traitée est meilleure pour un pH entre 6 et 6.5 (25mg/l de MES). Ce pH correspond à celui trouvée dans la bibliographie : pH dans l'intervalle [5-7].
- La même chose pour la DCO qui atteint une valeur de 1088mg/l
- Les taux d'abattement obtenus sont de : 85 % pour les MES et 31% pour la DCO

⇒ **Le taux de traitement à choisir dans ce cas est 2 g/l avec un pH optimum de entre 6 et 6.5**

c- Optimisation de la dose du floculant :

Les conditions et les résultats des essais sont illustrées dans le tableau 10

	E.B	1	2	3	4	5	6	7	8
concentration sulfate ferrique (g/l)	-	2	2	2	2	2	2	2	2
Concentration floculant (mg/l)	-	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2
pH	10,76	6,44	6,68	6,61	6,51	6,48	6,53	6,7	6,57
MES (mg/l)	248	55	45	36	25	35	35	30	35
DCO (mg/l)	2172	1511	1466	1432	1155	1176	1159	1158	1300

Tableau 10 : résultats d'optimisation de la dose du floculant

La figure 34 représente l'évolution de la DCO et MES de l'eau traitée en fonction de la concentration du floculant

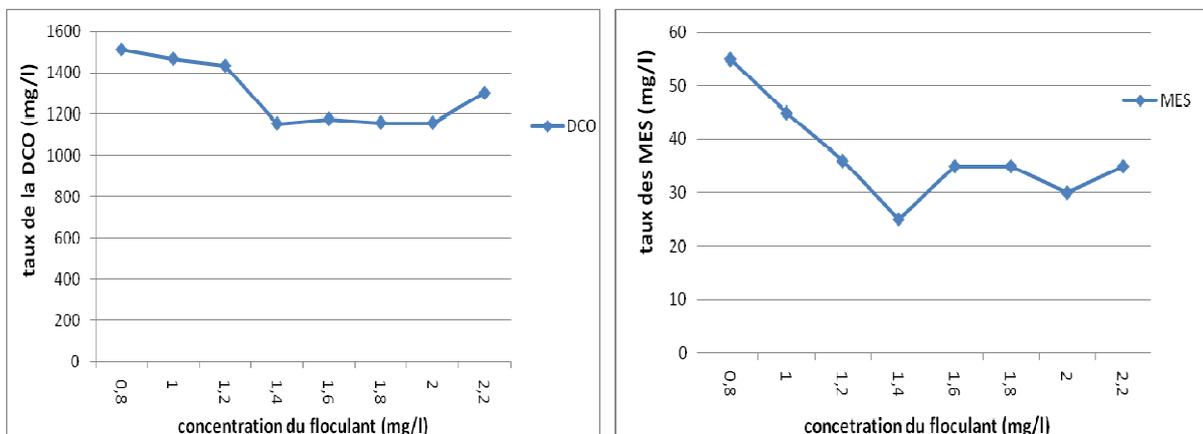


Figure 34 : à gauche variation de la DCO en fonction de la dose du floculant et à droite la variation des MES en fonction de la dose du floculant

❖ Interprétation :

On peut remarquer que :

- le meilleur résultat est obtenu pour le quatrième essai.
- Le taux de réduction des MES est de 90%.
- Le taux d'abattement en DCO est de 47%.

⇒ **Le traitement à choisir dans ce cas est 2 g/l pour le coagulant et 1,4 mg/l pour le floculant avec un optimum de pH entre 6 et 6.5**

d- Amélioration de la qualité de l'eau par ajout de la chaux :

Dans le but d'améliorer la qualité de l'eau traitée, on a effectué deux autres essais dans les conditions optimales pour l'essai au sulfate ferrique. L'eau obtenue dans l'un des béchers a subi un traitement à la chaux (pH légèrement supérieur à 12). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau (11) suivant :

	pH	MES	DCO
eau brute	11,36	260	2475
Eau traitée au sulfate ferrique dans les conditions optimales	7,23	20	1732
Traitement au sulfate ferrique dans les conditions optimales suivi d'un traitement à la chaux	7,17	0	730

Tableau 11 : traitement au sulfate ferrique dans les conditions optimales suivi ou non d'un traitement à la chaux

2-2: Essais au chlorure ferrique :

a- Optimisation de la dose du chlorure ferrique :

Les conditions et les résultats des essais sont illustrées dans le tableau 12

	E.B	1	2	3	4	5	6	7
concentration chlorure ferrique (g/l)	-	2	2.4	2.8	3.2	3.6	4	4.4
Concentration floculant (mg/l)	-	2	2	2	2	2	2	2
pH	10,97	7,08	6,82	6,88	6,81	7,01	7,07	7,03
MES (mg/l)	130	85	65	45	35	35	40	47
DCO (mg/l)	2095	765	688	700	632	655	732	748

Tableau 12 : résultats d'optimisation de la dose du chlorure ferrique

La figure 35 représente l'évolution de la DCO et MES de l'eau traitée en fonction de la concentration du coagulant :

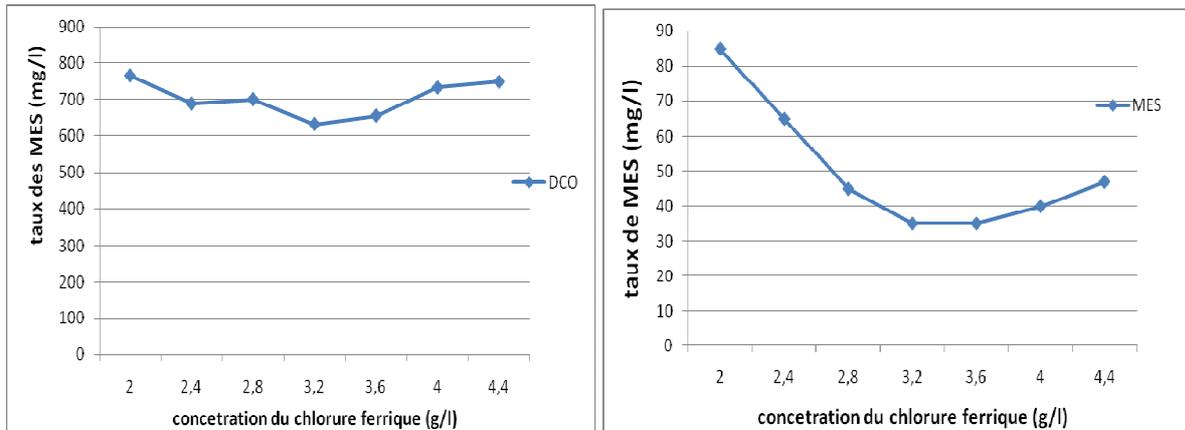


Figure 35 : à gauche variation de la DCO en fonction de la dose du chlorure ferrique et à droite la variation des MES en fonction de la dose du chlorure ferrique

❖ **Interprétation :**

D'après ces résultats obtenus, on peut dire que :

- On assiste a une diminution des MES et de la DCO
- Le taux d'abattement en MES atteint 75% dans le 4^{ème} et le 5^{ème} essais,
- Le taux d'abattement en DCO pour le 4^{ème} bécher est de 70%

⇒ La dose à choisir dans ce cas est 3.2 g/l.

b- Optimisation du pH

Les conditions et les résultats des essais sont illustrées dans le tableau 13 :

	E.B	1	2	3	4	5	6	7	8
concentration chlorure ferrique (g/l)		3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Concentration floculant (mg/l)		2	2	2	2	2	2	2	2
pH	9,29	4	5	5,5	6	6,5	7	7.5	8
MES (mg/l)	225	65	65	35	25	25	25	45	45
DCO (mg/l)	2215	958	899	745	662	691	707	758	818

Tableau 13 : résultats d'optimisation du pH

La figure 36 représente l'évolution de la DCO et MES de l'eau traitée en fonction du pH:

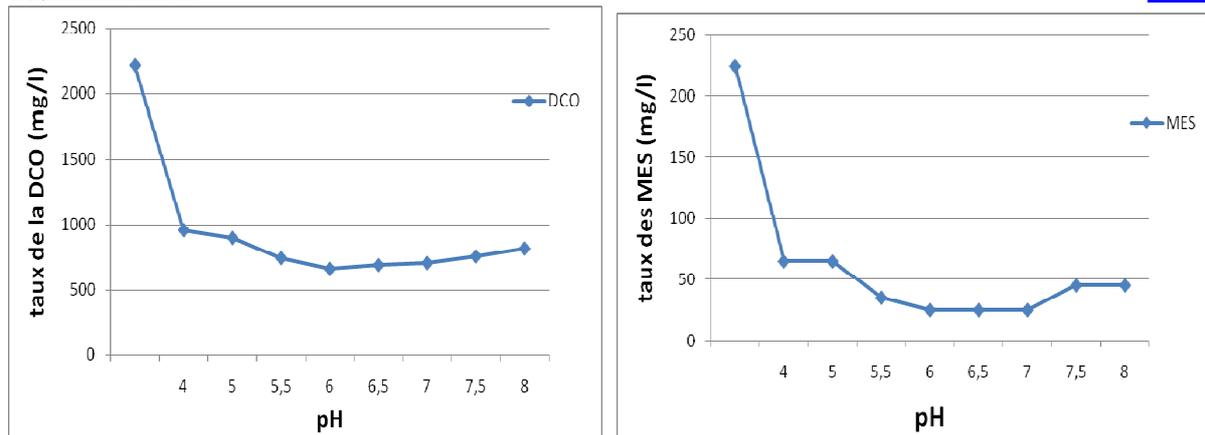


Figure 36 : à gauche variation de la DCO en fonction du pH et à droite la variation des MES en fonction du pH

❖ **Interprétation :**

D'après les résultats obtenue, on peut conclure que :

- Les taux des MES et de la DCO dans l'eau traitée sont meilleure pour un pH entre 6 et 7 (25mg/l de MES). Ce pH correspond à celui trouvée dans la bibliographie : pH dans l'intervalle [5,5-8,5].
- La DCO qui atteint une valeur de 662mg/l dans le 4^{ème} essai
- Les taux d'abattement obtenus sont de : 89 % pour les MES et 70% pour la DCO

⇒ **Le taux de traitement à choisir dans ce cas est 3,2 g/l avec un pH optimum de entre 6 et 7**

c- Optimisation de la dose du floculant

Les conditions et les résultats des essais sont illustrées dans le tableau 14

	E.B	1	2	3	4	5	6	7	8
concentration du coagulant (g/l)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Concentration floculant (mg/l)		0.8	1	1,2	1,4	1.6	1.8	2	2,2
pH	9,29	6,7	6,54	6,48	6,66	6,78	7	6,85	7,32
MES (mg/l)	789	85	80	74	60	52	30	30	25
DCO (mg/l)	2438	1025	998	952	877	884	821	738	600

Tableau 14 : optimisation du floculant

La figure 37 représente l'évolution de la DCO et MES de l'eau traitée en fonction de la dose du polymère :

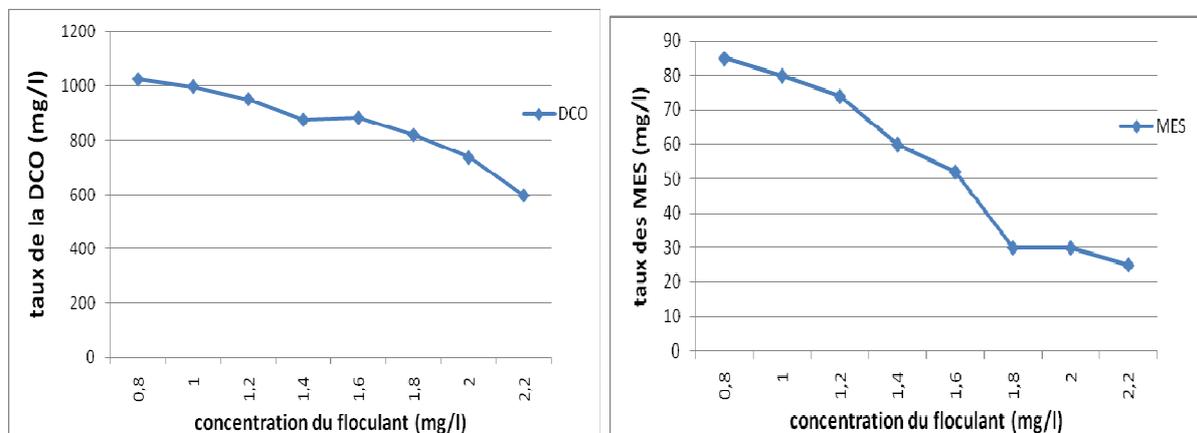


Figure 37 : à gauche variation de la DCO en fonction de la dose du flocculant et à droite la variation des MES en fonction de la dose du flocculant

❖ Interprétation :

On peut remarquer que :

- le meilleur résultat est obtenu pour le dernier essai.
- Le taux de réduction des MES est de 97%.
- Le taux d'abattement en DCO est de 75%.

⇒ **Le traitement à choisir dans ce cas est 3,2 g/l pour le coagulant et 2,2 mg/l pour le flocculant avec un optimum de pH entre 6 et 7**

d- Amélioration de la qualité de l'eau par ajout de la chaux :

Dans le but d'améliorer la qualité de l'eau traitée, on a effectué deux autres essais dans les conditions optimales pour l'essai au chlorure ferrique. L'eau obtenue dans l'un des béciers a subi un traitement à la chaux (pH légèrement supérieur à 12). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

	pH	MES	DCO
eau brute	9.29	789	2438
Eau traitée au chlorure ferrique dans les conditions optimales	7,23	25	600
Traitement au chlorure ferrique dans les conditions optimales suivi d'un traitement à la chaux	7.39	0	609

Tableau 15 : traitement au chlorure ferrique dans les conditions optimales suivi ou non d'un traitement à la chaux

2-3 : Comparaison entre les résultats obtenus par le traitement par coagulation floculation (au sulfate ferrique et chlorure ferrique) et ceux des E.B la Step de la CBGN

	MES (%)	DCO (%)	DBO ₅ (%)	NTK (%)	P _{total} (%)	Aspect visuel de l'eau
EB (Step CBGN)	0	58	96	81	97	jaunâtre
Sulfate ferrique	90	47	-	-	-	Peu jaunâtre
Sulfate ferrique avec la chaux	100	70	-	-	-	Très clair
Chlorure ferrique	97	75	-	-	-	Peu jaunâtre
Chlorure ferrique avec la chaux	100	75	-	-	-	Très clair

Tableau16 : comparaison entre l'E.B et les eaux du traitement de coagulation-floculation

D'après les résultats regroupés dans le tableau, on assiste à une augmentation des taux d'abattement (DCO et MES) pour les différents traitements effectués.

Le sulfate ferrique permet la réduction des MES de 90 % et de la DCO de 47 %, et lorsqu'il est complété par la chaux la DCO est réduite de 70 % et le rendement d'élimination des MES est de 100 %

Pour le chlorure ferrique, les MES sont réduites de 97 % et la DCO de 75 % et l'ajout de la chaux permet d'atteindre un taux d'abattement de 100% pour les MES.

Conclusion

Au cours de ce travail, une étude de la performance de la Step, basée sur la comparaison des caractéristiques du rejet final par rapport aux normes de rejets de la CBGN et aussi sur la détermination des rendements des différentes étapes de traitements, primaire, secondaire et tertiaire, a été effectuée dans le but de connaître la capacité de la STEP au terme d'élimination de la pollution générée par l'usine.

D'après les résultats obtenus, le traitement permet l'élimination de la DBO, azote et phosphore, tandis que le rendement d'abattement en DCO et en MES reste à améliorer

Au cours de ce travail, l'abattement de ces deux paramètres a été étudiée par le procédé de coagulation floculation à l'aide de deux types différents de coagulants (sulfate ferrique et le chlorure ferrique).

Pour le sulfate ferrique, les MES présentent une bonne réponse au traitement (taux d'abattement est de 90%), tandis que le rendement épuratoire de la DCO reste moyen (47 %)

Pour le chlorure ferrique, les deux paramètres sont réduits et avec des rendements élevés. (Taux d'abattement des MES est de 97% et celui de la DCO est de 75 %)

Une étude en utilisant le sulfate ferrique et le chlorure ferrique suivis par un traitement à la chaux a permis d'améliorer le taux d'abattement : élimination totale des MES (pour les deux types de coagulants) et réduction de la DCO de 70% pour sulfate ferrique et de 75% pour le chlorure ferrique.

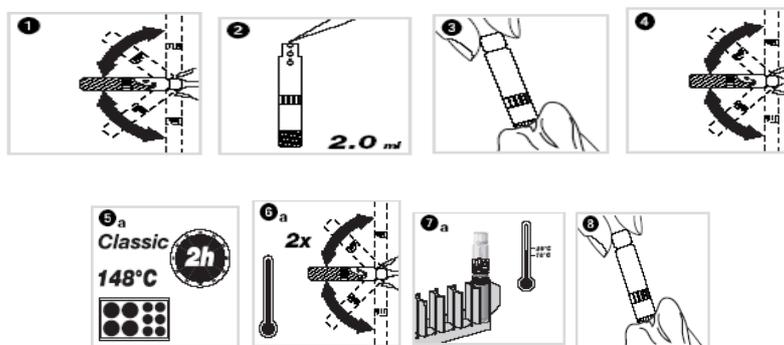
Ces résultats sont largement satisfaisants par rapport aux résultats de la step CBGN (de point de vue MES et DCO) mais, il est préférable de refaire les essais de coagulation-floculation tout en étudiant les autres paramètres DBO5, phosphore, NTK... Si les résultats sont confirmés on peut s'en passer du traitement biologique.

Annexe

Modes opératoire

A- Mode opératoire de la DCO :

1. Mélanger le contenu de la cuve (tube contenant les réactifs de la DCO prêt à utiliser) pour avoir une solution homogène.
2. Pipeter 2.0 ml d'échantillon d'eau usée avec précaution
3. Fermer la cuve et nettoyer l'extérieure de celle-ci
4. Bien mélanger le tube
5. Chauffer dans le thermostat : 2h à 148°C
6. Sortir la cuve chaude : Retourner 2 fois avec précaution
7. Laisser refroidir à température ambiante dans le support de cuve
8. Bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer : les résidus doivent être complètement éliminés avant l'évaluation. Bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer dans le spectrophotomètre



B- Mode opératoire de la DBO :

1. Mettre 157 ml dans le flacon de DBO bien rincé après homogénéisation de l'échantillon.
2. Ajout du barreau magnétique dans le flacon pour l'agitation douce pendant l'incubation.
3. Mise en place des capsules avec 3 à 4 grains dedans de KOH) à l'entrée du flacon.
4. Ajout d'inhibiteur de nitrification.
5. Après stabilisation à 20°C pendant 15 à 30 min dans l'incubateur (20°C), appliquez les sondes enregistreuses de DBO sur les flacons, placer les sur le support à flacon et lancer l'enregistrement

6. laissez incuber dans l'obscurité pendant 5 jours
7. la lecture

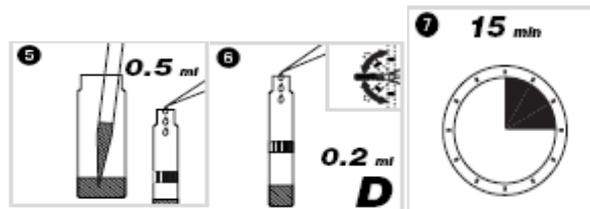
C- mode opératoire des MES :

1. Sécher le filtre pendant quelques minutes dans l'étuve
2. Laisser refroidir le filtre pendant quelques minutes (pour ne pas absorber l'humidité)
3. Peser le filtre : Soit M1
4. Placer le filtre dans le dispositif de filtration (Aspiration sous vide)
5. Prélever 100ml de l'échantillon à analyser
6. Filtrer l'échantillon en mettant en service la pompe sous vide
7. Rincer les parois internes par l'eau distillée
8. Libérer le dispositif pour retirer avec précaution le filtre
9. Sécher le filtre dans l'étuve à $105 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 1 heure
10. Peser le filtre comme précédemment : Soit M2

D- Mode opératoire des NTK :

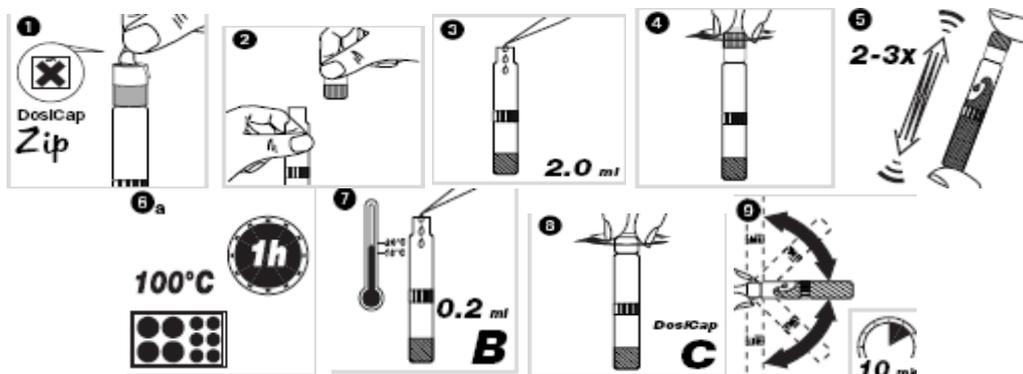
- 1- Doser à la suite, consécutivement dans une éprouvette de réaction sèche : 1.3 ml d'échantillon, 1.3 ml de solution A (LCK 138 a), une tablette B (LCK 138/238/338B) fermer immédiatement ne pas mélanger
- 2- Chauffer directement dans le Thermostat pendant 60 min à 100°C
- 3- Refroidir et ajouter 1 Micro Cap C (LCK 138/238/338 C)
- 4- Fermer l'éprouvette de la réaction et mélanger jusqu'à ce que le lyophilisat soit complètement dissous du Micro Cap C et qu'il n'y ait aucune particule restante.
- 5- Pipeter lentement dans le Test en Cuve : 0.5 ml d'échantillon désagrégé (échantillon d'eau usée)
- 6- Pipeter lentement 0.2 ml de solution D (LCK138/238/338D). fermer immédiatement la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite jusqu'à qu'aucun dépôt ou agrégat ne soit observable.
- 7- Attendez 15 min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer dans le spectrophotomètre.





E- Mode opératoire du P_{total} :

- 1- Enlever délicatement la feuille de protection du DosiCap Zip détachable.
- 2- Dévisser le DosiCap Zip
- 3- Pipeter 2 ml d'échantillon
- 4- Vissez le DosiCap Zip, dirigeant le cannelage vers le haut.
- 5- Secouer énergiquement
- 6- Chauffer dans le thermostat 60 min à 100 °C
- 7- Pipeter dans la cuve une fois refroidie :0.2ml de réactif B (LCK 348/349/350 B). fermer immédiatement le réactif B après emploi
- 8- Visser un DosiCap C (LCK 348/349/350) gris sur la cuve.
- 9- Mélanger le contenu de la cuve en la retournant plusieurs fois de suite. Attendre 10 min, mélanger de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.



Bibliographie

- [1] : Article. Contribution à l'optimisation du traitement biologique des effluents agroalimentaires par le réacteur séquentiel discontinu : M.FAOUZI, M. MERZOUKI, H. El FADEL, M.BENLEMLIH, laboratoire de biotechnologie, faculté des sciences Dhar Mehraz BP : 1796, Atlas, Fès, Maroc.
- [2] : service assainissement RADEEF, fiche de publication des travaux de la station d'épuration des eaux usées de Fès 2007 << créer le réseau d'assainissement de la ville de Fès>>, RADEEF.
- [3] : Fiche technique sur l'assainissement collectif n° 5 : La filière Boues Activées
- [4] : guide procédé extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités (500-5000 eq-hab) mise en œuvre de la directive du conseil n°91/271 du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires.
- [5] : AERM - Procédés d'épuration des petites collectivités du bassin Rhin-Meuse – Juillet 2007 Boues activées - p 13/13
- [6] : Ondeo Industrial Solutions, EQUATORIAL COCA COLA ERADI Fès et Marrakech, 22 Mars 2007.
- [7] : Cours : différentes filières de traitement des eaux, Dr. R. SALGHI : Professeur Habilité à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir
- [8] : Projet de fin d'étude : Conception et développement de l'outil multicritère d'aide à la décision pour le choix optimal d'un système d'épuration des eaux usées, Mlle H.BEN NAJIM, Mlle H. MRABET
- [9] : manuel d'analyses physico-chimiques de la step de la CBGN
- [10] : Le traitement des eaux, Desjardins, R (1997). Édition de l'École Polytechnique de Montréal. Montréal. 304 p.
- [11] : MPS – Meat Processing Systems (2005) Aqua industrial wastewater treatments, Coagulation. En ligne.
- [12] : évaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles ; Colin Lafleur, Julien Fortier, Lynda Kharoune. École de technologie supérieure (ÉTS) 1100, rue Notre-Dame Ouest Montréal (Qc), H3C 1K3 Février 2008

[13] : Gestion de la demande en eau et production industrielle saine : cas d'une industrie de mise en bouteille à Marrakech – Maroc E. Ait Hsine¹, A. Benhammou¹ et M-N. Pons²

Références webiographique

[14] : http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0506/bei/bei_ere/1/html/binom2/choix2.htm

[15] : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Floculation>

[16] : <http://step.ouvaton.org/tech15.htm>

[17] : http://fr.wikipedia.org/wiki/Coagulation-floculation#Le_jar_test



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: SENNOUNI Chaimae Imane

Année Universitaire : 2010/2011

Titre: Traitement par coagulation-floculation des effluents de la CBGN par deux types de coagulant (sulfate ferrique et le chlorure ferrique)

Résumé :

Dans le but de répondre aux besoins de l'industrie agro-alimentaire en matière de traitement des eaux usées, la Compagnie des Boissons Gazeuses du Nord (CBGN) a installé une step de traitement biologique pour traiter ses effluents.

Dans ce cadre, mon travail au sein de la step de la CBGN consiste, d'une part, de déterminer le rendement épuratoire dans les différentes étapes de traitement et d'autre part, de faire une étude de coagulation-floculation sur l'effluent brut en utilisant deux types de coagulants à savoir le chlorure ferrique et le sulfate ferrique.

Pour le sulfate ferrique, le taux d'abattement des MES est de 90%, tandis que le rendement épuratoire de la DCO reste moyen (47 %).

Pour le chlorure ferrique, les taux d'abattement sont 97 % pour les MES et 75 % pour la DCO.

Une étude effectuée en utilisant les deux coagulants suivi chacun par un traitement à la chaux a permis l'élimination totale des MES (pour les deux types de coagulants) et la réduction de la DCO de 70% pour sulfate ferrique et de 75% pour le chlorure ferrique.

Mots clés: traitement des eaux usées industrielles, Step CBGN, coagulation, floculation, chlorure ferrique, sulfate ferrique, chaux.