

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Bejaia



Département : Hydraulique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention d'un diplôme master en hydraulique

Option : hydraulique urbaine

Thème :

**Elimination de la pollution carbonée, azotée et
phosphatée des eaux usées de la station Sidi Ali
Lebhar avec un réacteur pilote du laboratoire
en zone anoxie en tête**

Présentés par :

Melle. Labiba RAHMOUNI

Melle. Souhila BALOUL

Encadrés par:

Mr. A.SAOU

Mr. A. HAMI

Jury :

Président :

Examineur :

Année Universitaire 2012/2013

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné la volonté d'arriver à accomplir ce modeste travail.

Que tous ceux qui nous ont aidé à réaliser ce modeste travail, trouve ici l'expression de nos profondes gratitudees : nous encadreurs M_r SAOU.A et M_r HAMI.A pour le savoir qu'ils nous ont inculqué, pour leur précieux conseils et orientation, et surtout pour le soutien qu'ils nous ont témoigné : pour tous cela on vous dit « merci ».

Nous tenons également à remercier les enseignants et les techniciens de laboratoire chimie industriels pour l'aide précieuse pour leur disponibilité permanente.

Nous exprimons toute notre reconnaissance à l'ensemble du personnel de la station d'épuration des eaux usées (SIDI ALI LABHAR) qui ont mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour l'élaboration de ce travail.

Nous remercions aussi tous les enseignants du département d'hydraulique qui ont contribué à notre formation tout au long de notre cursus.

Notre respect aux membres de jury qui nous feront l'honneur de juger ce modeste travail, nous les remercions vivement.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Bejaia



Département : Hydraulique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention d'un diplôme master en hydraulique
Option : hydraulique urbaine

Thème :

**Elimination de la pollution carbonée, azotée et
phosphatée des eaux usées de la station Sidi Ali
Lebhar avec un réacteur pilote du laboratoire
en zone anoxie en tête**

Présentés par :

Melle. Labiba RAHMOUNI
Melle. Souhila BALOUL

Encadrés par:

Mr. A.SAOU
Mr. A. HAMI

Jury :

Président :
Examineur :

Année Universitaire 2012/2013

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail:

A mes parents qui m'ont toujours soutenue dans tous mon cursus et à qui je serais éternellement reconnaissante. Que dieu puisse leur accorder longue vie afin qu'ils puissent trouver en moi toute gratitude et l'attention voulue.

A mes chères frères : Riadh et Mounir

A mes chères sœurs : Lamia et Chahrazed

A ma grande sœurs Nabila et son marie Yacine sans oublier leurs adorable petite fille Lina qui est l'ange de notre famille.

A tous les membres de ma grande famille.

A tous mes amies auxquels je tiens et particulièrement : Wafa, Atika et Ilham.

Au groupe de scout 8 mais 45 kherrata qui m'ont permis de passer des moments inoubliables.

A mes copines de chambre F409 : Kafia, Nassima, Yacmina et chanez.

A tous mes camarades de notre promo : Aida, Fatima, Chahinez, Massi, A. Nour, Hakim, Mourad et plus particulièrement à mon amie et collègue Souhila et tous ceux qui nous ont aidé pour réaliser ce modeste travail de loin ou de près.



Labiba

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail aux deux être les plus chers pour moi, mes parents et je ne saurais jamais les remercier assez pour leur éducation et les principes qu'ils m'ont inculqués ainsi que leur soutien depuis ma naissance.

★ *À mes sœurs : Soraya, Nora et son mari Fares ; Souad et son mari Mouloud.*

★ *À mes frères : Riad, Karimou, Azdine et sa femme Rebiha.*

★ *Aux anges de la famille Amina, Bilele, Merieme et Rayan.*

★ *À la mémoire de mes grands-parents maternelles et mon grand-père paternelle que dieu les accueille dans son vaste paradis.*

★ *À ma grand-mère, à mes cousines et cousins, à mes tantes et oncles, à toute la grande famille.*

★ *À mes très chères amies sans exception.*

★ *À ma précieuses Labiba avec qui j'ai eu le plaisir de travailler.*

★ *À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce modeste travail.*

Ma réussite est le seul cadeau que je puisse vous offrir pour le moment.

SOUHILA

Liste des abréviations

A : Age des boues [j].

Abs : Absorbance.

AGV : Acide gras volatile.

ATP : Adénosine triphosphate.

ADP : Adénosine di-phosphate

Be : Quantité des boues recyclé.

°C : Degré cils suce.

CE : Conductivité électrique.

COT : Carbone organique totale.

CO : Carbone organique.

C_H : Charge hydraulique[m/j].

C_m : Charge massique [Kg DBO₅/Kg MVS.J]

C_v : Charge volumique [kg DBO₅/m³.j].

Cu : Cuivre.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

Cd : Cadmium

Cr : Chrome.

d : Densité.

DCO : Demande chimique en oxygène [mg/l]

DBO : Demande biochimique en oxygène [mg/l].

H₂O : Dioxyde d'hydrogène.

I_m : Indice de Mohlman [l/kg].

K : Coefficient de biodégradabilité.

Kg poly/Tm.MS : Kilogramme polyélectrolyte par temps moyen en matière en suspension.

Kgss/j : Kilogramme solide en suspension par jour.

L₀ : Charge organique totale.

MES : Matière en suspension.

MVS : Matière volatile sèche.

MMS : Matière minérale sèche.

MOX : Matière organique oxydable.

MO : Matière organique.

Mg O₂/l : Milligramme d'oxygène par litre.

MLSS : Mixte alcools solide en suspension.

ml : Millilitre.

m.c.a : Mètre colonne à l'aspiration.

m.c.e : Mètre colonne d'eau.

nm : Nanomètre.

NGL : Azote globale.

NTK : Azote Kjeldahl.

NH₄⁺ : Azote ammoniacal.

NO₂⁻ : Nitrite.

NO₃⁻ : Nitrate.

N₂ : Azote gazeux.

η : Rendement.

P : Phosphore.

Pt : Phosphore totale.

Pb : Plombe.

pH : Potentielle d'hydrogène.

PHB : Polyhydroxybutyrate.

PVC : Polychlorure de vinyle.

Q : Débit [m^3/s].

Q₀ : Débit brut [m^3/s].

STEP : Station d'épuration.

T : Temps de séjour[h].

T_R : Taux de recyclage [%]

μS/cm : Micro-siémens par centimètre.

μm : Micromètre.

V : Volume [m^3].

V₃₀ : Volume des boues après 30 minutes de décantation [m^3].

Zn : Zinc.

K₂CrO₇ : Dichromate de potassium.

KH₂PO₄ : Dihydrogénophosphate de potassium sec.

(NH₄)₆MoO₂₄·4H₂O : Molybdate d'ammonium.

S_nCl₂·2H₂O : Chlorure stanneux.

F_ecl₃ : Chlorure ferrique.

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Les différentes origines de la pollution.

Tableau I-2 : Impacts du type de réseau sur la station d'épuration.

Tableau I-3 : Classification des eaux d'après leurs conductivités.

Tableau I-4 : Echelle de valeurs de DBO₅.

Tableau I-5 : Normes Algérienne des rejets des eaux résiduaires.

Tableau II-6 : Condition de fonctionnement du bassin d'aération d'une station à boue activées.

Tableau III-7 : Caractéristiques des eaux arrivant à la station du Sidi Ali Lebhar.

Tableau III-8 : Les conditions d'épuration du bassin d'aération.

Tableau III-9 : Les caractéristiques du décanteur secondaire.

Tableau III-10 : Présentation du bilan de boue.

Tableau III-11 : Les caractéristiques prévisionnelles du fonctionnement de la station pendant la période d'essai.

Tableau IV-12 : Composition moyenne d'eau usée à épurer (à l'entrer).

Tableau IV-13 : Influence de la charge hydraulique et la charge volumique sur l'élimination de la pollution.

Tableau IV-14 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage 40h.

Tableau IV-15 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage 20h.

Tableau IV-16 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage 10h.

Tableau IV-17 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage 6,67h.

Tableau IV-18 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage 5h.

Tableau IV-19 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ et PO₄⁻³ avec un temps de passage de 40h.

Tableau IV-20 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{-3} avec un temps de passage de 20h.

Tableau IV-21 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{-3} avec un temps de passage de 10h.

Tableau IV-22 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{-3} avec un temps de passage de 6,67h.

Tableau IV-23 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{-3} avec un temps de passage de 5h.

Tableau IV-24 : Influence du taux de recyclage (T_R) et la concentration en substrat (C_i) sur l'élimination de la pollution.

Tableau IV-25 : Influence du temps de fonctionnement et le taux de recyclage sur l'élimination N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{-3} avec temps de passage de 20h.

Tableau IV-26 : Influence du temps de fonctionnement et le taux de recyclage sur l'élimination N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{-3} avec temps de passage de 10h.

Tableau IV-27 : Influence du temps de fonctionnement et le taux de recyclage sur l'élimination N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{-3} avec temps de passage de 6,67h.

Tableau IV-28 : Influence du temps de fonctionnement et le taux de recyclage sur l'élimination N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{-3} avec temps de passage de 5h.

Liste des figures

Figure I-1: Origine des eaux usées.

Figure I-2: Les différentes d'azote dans l'eau.

Figure II-3: Mécanisme rationnels de la métabolisation aérobie de la pollution.

Figure II-4: Les différentes phases de la métabolisation anaérobie de la pollution carbonée.

Figure II-5: Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique.

Figure II-6: Principe de fonctionnement d'un système à boue activée.

Figure II-7: Développement d'une culture bactérienne.

Figure II-8: Protozoaires rencontrés dans les boues activées.

Figure II-9: Protozoaires rencontrés dans les boues activées.

Figure II-10: Les différentes installations d'élimination biologique de l'azote.

Figure II-11: Principal étape du dé phosphatation biologique.

Figure III-12 : Localisation de la station Sidi Ali Lebhar.

Figure III-13 : Schéma général de la station.

Figure III-14 : Dégrilleurs.

Figure III-15 : Vue d'ensemble sur la séparation du sable et de la graisse.

Figure III- 16 : Le réacteur biologique système Carrousel.

Figure III-17 : Présentation du clarificateur.

Figure III- 18: Schéma de la circulation des liquides et boues.

Figure III-19 : Présentation de l'étape de désinfection.

Figure IV-20 : Réacteur biologique avec étage préliminaire de dénitrification.

Figure IV-21 : Schéma du fonctionnement du réacteur biologique.

Figure IV-22 : Schéma de la vue de face du réacteur biologique.

Figure IV-23 : Schéma de la vue arrière du réacteur biologique.

Figure IV-24 : Multi paramètre type inoLAB*pH/ON/Cond 750.

Figure IV-25 : Colorimètre type DR/890 Colorimeter.

Figure IV-26 : Plaque chauffante.

Figure IV-27: DBO mètre type OXITop® IS 6.

Figure IV-28 : Influence de la charge volumique sur la DCO résiduelle.

Figure IV-29 : Influence de la charge hydraulique sur les rendements.

Figure IV-30 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 40h.

Figure IV-31 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 20h.

Figure IV-32 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 10h.

Figure IV-33 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 6,67h.

Figure IV-34 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 5h.

Figure IV-35 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un temps de passage de 40h.

Figure IV-36 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un temps de passage de 20h.

Figure IV-37 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un temps de passage de 10h.

Figure IV-38 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un temps de passage de 6,67h.

Figure IV-39 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un temps de passage de 5h.

Figure IV-40 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 50%.

Figure IV-41 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 100%.

Figure IV-42 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 200%.

Figure IV-43 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 300%.

Figure IV-44 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 400%.

Figure IV-45 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 50%.

Figure IV-46: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 100%.

Figure IV-47 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 150%.

Figure IV-48 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 200%.

Figure IV-49 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 66%.

Figure IV-50 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 100%.

Figure IV-51 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 133%.

Figure IV-52 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 50%.

Figure IV-53 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 75%.

Figure IV-54 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un taux de recyclage de 100%.

Figure IV-55: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 50%.

Figure IV-56: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 100%.

Figure IV-57: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 200%.

Figure IV-58: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 300%.

Figure IV-59: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 400%.

Figure IV-60: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 50%.

Figure IV-61: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 100%.

Figure IV-62: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 150%.

Figure IV-63: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 200%.

Figure IV-64: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 66%.

Figure IV-65: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 100%.

Figure IV-66: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 133%.

Figure IV-67: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 50%.

Figure IV-68: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 75%.

Figure IV-69: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- , et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 100%.

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralité sur les eaux résiduaires	2
I-1- Introduction	2
I-2- Caractéristique des eaux résiduaires	2
I-2-1- La pollution des eaux	2
I-2-1-1- Type de pollution	2
I-2-1-1-1- La pollution organique	2
I-2-1-1-2- La pollution inorganique	2
I-2-1-1-3- La pollution biologique	4
I-2-1-1-4- Les nouveaux polluants	4
I-2-1-1-5- Les retombées acides	4
I-2-2- Définition et origine des eaux usées	5
I-2-2-1- Définition d'une eau résiduaire	5
I-2-2-2- Origine des eaux usées	6
I-2-2-2-1- Les eaux usées domestiques	6
I-2-2-2-2- Les eaux usées industrielles	6
I-2-2-2-3- Les eaux usées agricoles	7
I-2-2-2-4- Les eaux usées pluviales	7
I-3- Les réseaux d'assainissement	8
I-3-1- Le réseau séparatif	8
I-3-2- Le réseau unitaire	8
I-3-3- Le réseau pseudo séparatif (mixte)	8
I-3-4- Impacts du type de réseau sur la station d'épuration	9
I-4- Les paramètres de pollution	10
I-4-1- Les paramètres physiques	10
I-4-1-1- La température	10
I-4-1-2- L'odeur	10
I-4-1-3- La couleur	10
I-4-1-4- La turbidité	10
I-4-1-5- Les matières en suspension	10
I-4-2- Les paramètres chimiques	11
I-4-2-1- Le potentiel d'hydrogène (pH)	11
I-4-2-2- La conductivité électrique (CE)	12
I-4-2-3- L'oxygène dissous	13
I-4-2-4- La demande biochimique en oxygène (DBO)	13
I-4-2-5- La demande chimique en oxygène (DCO)	13
I-4-2-6- La biodégradabilité (K)	14
I-4-2-7- Matières oxydables (MOX)	15
I-4-2-8- Le carbone organique total (COT)	15
I-4-2-9- L'azote	15
I-4-2-10- Phosphore total	16
I-4-2-11- Micro éléments	16
I-4-3- Les paramètres biologiques	16
I-5- Impacte de la pollution	17
I-5-1- Sur le milieu naturel	17
I-5-1- Sur l'économie	17

I-5-1- Sur la santé	17
I-6- Estimation des rejets d'eau usées	18
I-6-1- Définition de l'équivalent habitant	18
I-6-2- Valeur de l'équivalent habitant.....	18
I-7- Norme de rejet.....	18
I-8- Conclusion.....	19
Chapitre II : Epuration biologique des eaux résiduaire	20
II-1- Introduction	20
II-2- Les prétraitement	20
II-2-1- Le dégrillage.....	20
II-2-2- La dilacération.....	21
II-2-3- Le tamisage	21
II-2-4- Le dessablage	21
II-2-5- Le déshuilage.....	22
II-3- Le traitement primaire de décantation	22
II-4- Les traitement biologique	22
II-4-1- Principe du l'épuration biologique	23
II-4-1-1- Etude du métabolisme aérobie	23
II-4-1-1-1- Elimination de la pollution organique carbonée.....	23
II-4-1-2- Etude du métabolisme anaérobie	26
II-5- Les différentes procédés biologique	27
II-5-1- Procédé naturel.....	27
II-5-1-1- Le lagunage naturel	27
II-5-1-2- L'épandage par le sol	27
II-5-2- Procédés artificiels aérobies	27
II-5-2-1- Culture fixe (lit biologique, disque biologique)	27
II-5-2-1-1- Lit biologique (lit bactériens)	27
II-5-2-1-1- Disque biologique.....	28
II-5-2-2- Culture libre (boue activée)	29
II-5-2-2-1- Evolution d'une culture bactérienne	30
II-5-2-2-2- Paramètres de calcul et de dimensionnement des installations de traitement par boues activées.....	31
II-5-2-2-3- Condition de fonctionnement	33
II-5-2-2-4- Problèmes de décantation des boues	34
II-5-2-2-5- Composition et propriété du floc biologique.....	35
II-6- Les traitements tertiaire ou complémentaire	38
II-6-1- Introduction	38
II-6-2- Elimination de l'azote et le phosphore.....	38
II-6-2-1- L'eutrophisation.....	38
II-6-2-2- L'azote des eaux résiduaires	38
II-6-2-2-1- Réaction de transformation de l'azote par voie biologique.....	39
II-6-2-3- Le phosphore des eaux résiduaire	43
II-6-2-3-1- Origine du phosphore	43
II-6-2-3-2- Les formes chimique du phosphore.....	43
II-6-2-3-3- Mécanisme d'élimination biologique du phosphore	44
II-6-2-3-4- Traitement physicochimique du phosphore.....	46
II-7- La désinfection	46
II-8- Conclusion.....	46
Chapitre III : Présentation de la station d'épuration Sidi Ali Lebher (Bejaïa)	48
III-1- Conception et réalisation.....	48
III-2- Caractéristiques du site	48
III-2-1- Localisation de la station Sidi Ali Lebhar	48
III-3- Caractéristique générale	49

III-3-1- Caractéristiques des eaux	49
III-3-2- Objectif du traitement	50
III-4- Description de la station d'épuration Sidi Ali Lebher	51
III-4-1- Filières de traitement	52
III-4-1-1- Arrivée de l'eau	52
III-4-1-1-1- Puits et grille grossière	52
III-4-1-1-2- Puits de pompage	53
III-4-1-2- Prétraitement.....	53
III-4-1-2-1- Dégriillage	54
III-4-1-2-2- Dessablage et dégraissage	55
III-4-1-3- Traitement biologique par boues activées	58
III-4-1-3-1- Configuration du réacteur biologique	59
III-4-1-3-2- Elimination additionnelle du phosphore	60
III-4-1-4- Décantation secondaire	60
III-4-1-5- Recirculation des boues et évacuation des boues en excès	61
III-4-1-6- Boue en excès	62
III-4-1-7- Epaississement des boues	63
III-4-1-8- Déshydratation.....	63
III-4-1-9- Désinfection des eaux traitées	64
III-5- Conclusion	67
Chapitre IV : Etude expérimentale	68
IV-1- Introduction	68
IV-2- Appareillage	68
IV-2-1- Configuration du réacteur	69
IV-3- Matériels et méthodes	72
IV-3-1- Prélèvement des échantillons	72
IV-3-2- Phase d'ensemencement	72
IV-3-3- Méthode analytiques	72
IV-3-3-1- Mesure des paramètres analytiques	73
IV-4- Résultats et discussion.....	76
IV-4-1- Caractéristiques des eaux de la station.....	76
IV-4-2- Influence de la charge hydraulique (C_H) et la charge volumique (C_V) sur la performance du réacteur	78
IV-4-3- Influence de la charge hydraulique (C_H) sur l'élimination des $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$ et PO_4^{-3}	85
IV-4-4- Influence de taux de recyclage (T_R) et la concentration initiale en substrat (C_i) sur l'élimination de la pollution avec les différents temps de passage	89
IV-4-5- Influence du taux de recyclage (T_R) et les concentrations en substrat (C_i) sur l'élimination de $N-NO_2^-$ et $N-NO_3^-$	96
Conclusion générale	105

Références bibliographiques

Annexes

Introduction générale

Les dispositions réglementaires relatives aux normes de rejets d'eaux usées dans le milieu récepteur imposent l'élimination préalable de la pollution carbonée et les pollutions azotées et phosphatées, pour éviter l'eutrophisation des milieux aquatiques et autres inconvénients rencontrés lors de la potabilisation des eaux naturelles chargées en azote et en phosphore.

Ces dites eaux doivent subir, avant d'être rejetées dans le milieu naturel, des traitements complémentaires. Ces derniers doivent permettre de diminuer les quantités de phosphore et de l'azote contenu dans ces eaux.

La majorité des stations d'épuration biologique existantes reçoivent un effluent traité dans la phase liquide qui répond au degré de traitement de la pollution organique. Les teneurs en azote ne sont que peu modifiées et la nitrification de l'ammoniaque est faible. Les teneurs en phosphore ne sont pratiquement pas touchées.

La ville de Bejaia, à l'instar des autres villes de l'Algérie se caractérise par une expansion démographique et une activité industrielle galopante, c'est pourquoi, il faut redimensionner les stations en construisant de nouveaux ouvrages ou en procédant à l'extension de ceux déjà existants.

C'est le cas de la station de Sidi Ali Lebhar nouvellement construite, qui traite les trois formes de pollution (organique, azotée et phosphatée).

L'objectif de ce travail consiste à étudier au laboratoire l'influence des conditions hydrauliques (débit, taux de recyclage) et biochimiques (concentration en substrat) sur l'élimination simultanée de la pollution hydrocarbonée, azotée et phosphatée des eaux usées dans une unité pilote de laboratoire à boues activées avec zone anoxique en tête.

Chapitre I :

Généralités sur les eaux résiduaires

I-1- Introduction

Quand on parle des eaux usées, la première idée qui nous vient c'est que l'eau peut se contaminer par plusieurs types de pollution, donc l'eau est le véhicule privilégié de substances vitales ou toxiques pour le corps humain et les végétaux.

I-2- Caractéristiques des eaux résiduaires

I-2-1- La pollution des eaux

La pollution des eaux est une modification néfaste par l'agent de substances susceptible d'altérer leur qualité, leur aspect esthétique et compromettre leur consommation.

L'agent polluant peut être de nature organique, physique, chimique, ou biologique, il provoque soit un gêne, une nuisance ou une contamination.

I-2-1-1- Types de pollution

Il existe divers types de pollution de l'eau qui varient selon leurs origines, ils sont récapitulés dans le tableau (I-1).

I-2-1-1-1- Pollution organique

C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries agroalimentaires. Ils provoquent une consommation d'oxygène dissous de ces eaux, entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement de fermentation anaérobie (putréfaction) génératrices de nuisances olfactives [04].

I-2-1-1-2- Pollution inorganique

a) Pollution physique

La pollution physique représente les éléments solides (agents physique) entraînés par l'eau. Ils se subdivisent en plusieurs catégories selon leur nature et leur dimension, suivant

leur origine domestique ou industrielle. On peut la répartir en trois classes: mécanique, thermique et radioactive.

a-1) Pollution mécanique

La pollution mécanique résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux résiduaires industriels, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension MES.

a-2) Pollution thermique

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries..); ont une température de l'ordre de (70 à 80°C). Elle diminue jusqu' à (40 à 45°C) lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène. En outre tout changement de température cause des effets significatifs sur la survie des organismes aquatiques. Un abaissement important de température ralenti la plupart des réactions chimiques vitales voire les arrêter. Au contraire, des augmentations de température peuvent tuer certaines espèces, mais également favoriser le développement d'autres organismes causant ainsi un déséquilibre écologique [34].

a-3) Pollution radioactive

C'est la pollution occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets, qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes. Elle peut aussi provenir d'une radioactivité naturelle ou d'une contamination atmosphérique causée par des explosions nucléaires.

Les dommages causés par l'accumulation de radioéléments dans l'organisme se présentent sous forme de lésions biologique (irradiation, brûlures, cancer...) et par des répercussions d'ordre génétique grave, en particulier les malformations congénitales parmi la descendance [08].

b) Pollution chimique

La pollution chimique est due à la présence de substance dissoute, elle provoque des déséquilibres biologiques à court ou à long terme.

Parmi les nombreux polluants chimiques d'origines diverses on distingue les minéraux dissous, pesticides, hydrocarbures, métaux lourds et détergents qui constituent les micro-polluants.

b-1) Pollution minérale

La pollution minérale est due essentiellement aux rejets industriels, qui modifient la composition de l'eau, et encore les métaux lourds hautement toxiques qui ont la fâcheuse propriété de s'accumuler dans certains tissus vivants, ils constituent une pollution différée pour les espèces de chaîne alimentaire.

b-2) Pollution par les hydrocarbures

Les hydrocarbures rejetés ont des effets toxiques très graves pour les écosystèmes, et certains dérivés du pétrole sont cancérogènes à long terme.

Un litre d'essence suffit pour dégrader entre 1000 et 5000 m³ d'eau [11].

I-2-1-1-3- Pollution biologique

La Pollution biologique est due à la présence des micro-organismes pathogènes dans l'eau (bactéries, virus, champignons), elle provient des effluents agricoles, domestiques et des hôpitaux.

I-2-1-1-4- Les nouveaux polluants

Ce sont principalement des médicaments rejetés dans l'eau à travers des réseaux de collecte d'effluents :

- Les hormones de synthèse (perturbateurs endocriniens) ;
- Les antidépresseurs, bétabloquants.

Ils n'étaient pas recherchés jusqu'à récemment car ils n'entraînent pas de mort immédiate, mais agissent sur le cycle reproductif des espèces [07].

I-2-1-1-5- Les retombées acides

La pollution acide est générée par les retombées des polluants industriels et urbains (soufre, azote, ammoniac) sous l'effet des vents et des pluies. Elle est considérée comme en partie responsable de la dégradation des forêts, de l'altération des sols, de la disparition de la

faune aquatique dans les rivières et les lacs, de la corrosion des pierres et autre matériaux [07].

Tableau I-1 : Les différents types et origines de pollution de l'eau [07].

Type de pollutions	Activités dominantes	Indicateurs
Physique		
Pollution thermique	Centrales thermiques	Température
Pollution mécaniques	Ruissellement de la pluie sur les toitures et chaussées, mines, carrières, extractions de graviers, industries	Matières en suspension
Pollution radioactives	Centrales nucléaire, hôpitaux	Becquerels (unité de mesure)
Organiques et oxydables		
MO fermentescibles et MOX	Effluents domestiques, élevages, agro-alimentaire, pâte à papier	Oxygène dissous, DBO, DCO, glucides, liquides, protides
Chimique		
Fertilisation, pesticides	Agriculture, lessives	Nitrates, phosphores
Métaux et métalloïdes	Mégisseries, agriculture, mines, traitement des métaux, combustion,	Eléments métalliques Pb, Cu, Zn, Cr, Cd
Hydrocarbures, organochlorés, micropolluants organiques de synthèse	Industries pétrolières, industries	Très nombreuses molécules
Pollutions microbiologique	Effluents domestiques, élevages, agroalimentaire, hôpitaux.	Germes fécaux

I-2-2- Définition et origine des eaux résiduaires

I-2-2-1- Définition d'une eau résiduaire

L'eau utilisée par différents usagers, contient plusieurs substances modifiant sa composition ou son état, en générale se sont les pathogènes, les matières en suspensions, les éléments nutritifs et même pour certaine effluent des substances toxique, proviennent des différentes origines, qui la rend usée.

I-2-2-2- Origine des eaux usées

Selon l'origine et la qualité de substances polluantes, on distingue quatre catégories d'eau usée :

I-2-2-2-1- Les eaux usées domestiques

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts. Elles Constituent généralement des eaux ménagères et des eaux vannes.

- Les eaux vannes

Les eaux vannes correspondent aux eaux de toilettes, elles contiennent des matières fermentescibles, elles peuvent être un danger pour la santé car elles véhiculent des maladies d'origine virale et bactérienne.

- Les eaux ménagères

Les eaux ménagères correspondent à tous les autres usages : lave-linge, lave-vaisselle, douche/bain, etc.

La composition des eaux usées d'origine domestique peut être extrêmement variable, ces eaux sont chargées essentiellement des matières directement liées aux excréations humaines, des matières fécales, des huiles...etc. Elles sont de nature biodégradable.

I-2-2-2-2- Les eaux usées industrielles

Elles sont différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphatées, elles sont chargées en différentes substances chimique, organique et métalliques.

Selon leur origine industrielle elles peuvent également contenir :

- des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage) ;
- des hydrocarbures (raffineries) ;
- des métaux (traitement de surface, métallurgie) ;
- des acides, des bases et divers produits chimiques ;
- de l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques)
- des matières radioactives (centrale nucléaire, traitement des déchets radioactives).

Avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, ces eaux industrielles doivent faire l'objet d'un traitement pour qu'elles ne représentent aucun danger sur ces réseaux et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épuration des eaux usées domestiques [32].

I-2-2-2-3- Les eaux usées agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeables car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées et phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues [32].

Les effluents agricoles renferment diverses substances d'origine agricole ou animale. Il s'agit des solutions d'engrais lessivés par les sols fortement fertilisés, des produits phytosanitaires (pesticides) et déjections animales (purins et lisier de bétail) [25].

I-2-2-2-4- Les eaux usées pluviales

Ce sont de même nature que les eaux domestiques sauf que les eaux pluviales, peuvent contenir en plus, des métaux lourds comme plomb, zinc et des toxiques comme hydrocarbures rejetée par les véhicules et du lavage des toitures chargées de poussières, elle sont contaminé par la pollution atmosphérique diffère d'une région à une autre tous dépend d'un site géographique et le type d'activité industrielle, ce qui rend les eaux de pluie parfois acides. Ces eaux sont acheminées vers une station d'épuration, par les rivières entraînant aussi une pollution intense du milieu aquatique.

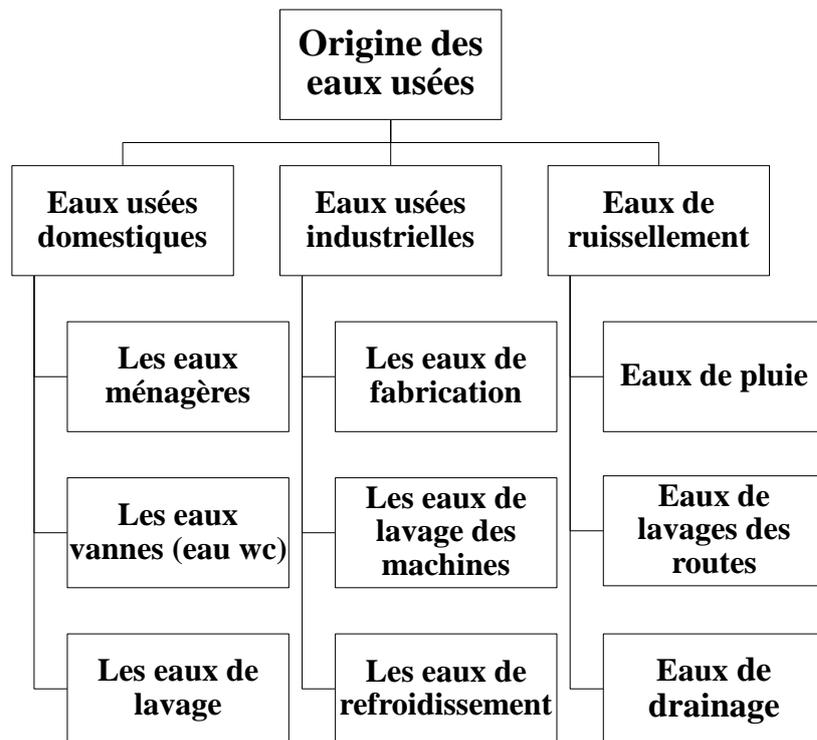


Figure I-1 : Origine des eaux usées

I-3- Les réseaux d'assainissement

Pour pouvoir évacuer les eaux usées qui proviennent des différentes activités humaines et aussi des eaux de ruissellement on peut distinguer ces trois types de réseaux :

I-3-1- Le réseau séparatif

C'est le réseau d'assainissement qui est constitué de deux canalisations, l'une évacue les eaux usées domestiques, et l'autre évacue les eaux pluviales, dont elles sont déversées directement vers les cours d'eau, par contre le réseau des eaux domestiques étant seul raccordé à la station d'épuration.

I-3-2- Le réseau unitaire

Dans ce système d'évacuation, un seul collecteur assure à la fois le transport des eaux usées et les eaux pluviales.

I-3-3- Le réseau pseudo séparatif (mixte)

C'est le réseau qui constitue suivant les zones en une partie un système unitaire et d'autre partie un système séparatif, c'est pour cela on l'appelle un système mixte.

I-3-4- Impacts du type de réseau sur la station d'épuration

Pour traiter les eaux usées, chaque type de réseau à sa trace dans la conception et le fonctionnement de la station d'épuration, le tableau (I-2) résume les avantages et les inconvénients pour ces deux types.

Tableau II-2 : Impacts du type de réseau sur la station d'épuration [38].

Réseau séparatif	Réseau unitaire
Avantages	
<ul style="list-style-type: none"> - Régime de fonctionnement plus stable (débit et charge). - Conception et exploitation plus simple. - Limitation des coûts d'investissement et d'exploitation. - Ouvrages de traitement plus petits. 	<ul style="list-style-type: none"> - Traitement de l'ensemble des eaux sur une seule station
Inconvénients	
<ul style="list-style-type: none"> - 2 stations - 2 traitements une pour les eaux usées et l'autre pour les eaux pluviales - Mais possibilité de 2 types de traitement distincts. 	<ul style="list-style-type: none"> - Construction d'un bassin d'orage - Respect des contraintes de temps sec et de temps de pluie en conception. - Difficulté d'exploitation (surcharges, vitesse ascensionnelle, temps de séjour, cinétiques ...). - Surcoûts d'exploitation (énergie ...).

I-4- Les paramètres de pollution

I-4-1- Les paramètres physiques

I-4-1-1- La température

La température est un facteur important des milieux aqueux, son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique.

La nitrification est optimale pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C.

La température est aussi l'un des facteurs qui entre dans la solubilité des sels et des gaz en particulier l'oxygène et dans les variations du pH [11].

I-4-1-2- L'odeur

L'eau d'égout fraîche a une odeur fade qui n'est pas désagréable, par contre en état de fermentation, elle dégage une odeur nauséabonde. En effet, toute odeur est signe de pollution ou de la présence de matière organique en décomposition [26].

I-4-1-3- La couleur

La couleur des eaux usées domestiques généralement grise, signe de présence de matières organiques dissoutes. Une couleur noir indique une décomposition partielle, tandis que les autres teintes indiquant un apport d'eaux résiduaires industrielles.

I-4-1-4- La turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspensions (MES) présentes dans l'eau.

I-4-1-5- Les matières en suspension

Il s'agit de matières qui ne sont ni solubilisées ni colloïdales. On peut considérer qu'ils représentent un intermédiaire entre les particules minérales du type sable ou poussières de charbon et les particules minérales de type mucilagineuse.

Elles comportent des matières organiques et des matières minérales. Les techniques actuelles utilisées pour le dosage des matières en suspension sont:

- Séparation par filtration (filtres en papier, membranes filtrantes) ;
- Centrifugation et d'autres appareils de mesures [17].

Les « MES » contribuent aussi à déséquilibrer le milieu aquatique en accroissant la turbidité et peuvent avoir un effet néfaste direct sur l'appareil respiratoire du poisson. Les effets négatifs des matières en suspension sont notamment l'augmentation de la turbidité de l'eau, le ralentissement du processus de photosynthèse et la création des dépôts propices aux fermentations consommant de l'oxygène. Les matières en suspension s'expriment par la relation :

$$\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{ MVS}$$

➤ **Les matières volatiles en suspension (MVS) :**

Elle représente la fraction organique de MES qui sont obtenus par calcination de ces MES à 525 °C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à 105 °C et les MES à 525 °C donne la teneur de MVS en (mg/l) d'une eau.

➤ **Les matières minérales en suspensions (MMS) :**

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau. C'est-à-dire son « extrait sec » constitue à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorure, les phosphate, etc.

L'abondance des matières minérales en suspensions dans l'eau augmente la turbidité, réduit la luminosité et par se fait abaisse la productivité d'un cours d'eau, entraînant ainsi une chute en oxygène dissous et freinant le phénomène photosynthétiques qui contribuent à la réaération de l'eau [19].

I-4-2- Les paramètres chimiques

I-4-2-1- Le potentielle d'hydrogène (pH)

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et la flore aquatique n'est possible que si la valeur du pH est comprise entre 6 et 9 [41].

Le pH des eaux usées urbaines est généralement près de la neutralité, entre 7 et 7.5 environ. Le pH joue un rôle important dans :

- Les propriétés physico-chimiques (agressivité, entartrage)
- Le processus biologique (oxydation, nitrification, dénitrification)
- L'efficacité de certains traitements exemple, pour coagulation floculation [44].

I-4-2-2- La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau. Sa mesure est utile car au-delà de la valeur limite de la salinité correspondant à une conductivité de $2500\mu\text{S}/\text{cm}$, la prolifération de microorganismes peut être réduite d'où il y'aura un abaissement du rendement épuratoire.

Comme la température, des contrastes de la conductivité permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange. La conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau comme le montre le tableau (I-3). [40]

Tableau I-3 : Classification des eaux d'après leurs conductivités [18].

Conductivité en ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Type d'eau
0.005	Eau déminéralisée
$10 < X < 80$	Eau de pluie
$30 < X < 100$	Eau peu minéralisée, domaine granitique
$300 < X < 500$	Eau moyennement minéralisée, domaines des roches carbonatées (Karst)
$500 < X < 1000$	Eau très minéralisées
$1000 < X < 3000$	Eau très minéralisées, saumâtre ou salines
$X > 30000$	Eau de mer

I-4-2-3- L'oxygène dissous

L'oxygène, toujours présent dans l'eau, n'est pas un élément constitutif. Sa solubilité est en fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité.

L'oxygène dissous conserve ses propriétés oxydantes, soit par une réaction purement chimique, soit par des phénomènes électrochimiques, d'où son importance dans le phénomène de corrosion. La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l. elle est en fonction de l'origine de l'eau : les eaux superficielles peuvent contenir des quantités relativement importantes proche de la saturation ; par contre, les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre.

L'eau saturée d'air, à 20°C et sous la pression normale contient 9,1 mg/l d'oxygène [41].

I-4-2-4- La demande biochimique en oxygène (DBO) :

La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène exprimée en mg/l, consommée dans les conditions de l'essai d'incubation à 20°C et à l'obscurité, pendant 5 jours pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau usée. Pour être complète, l'oxydation biologique demande un temps de 21 à 28 jours. On obtient alors la DBO ultime ou DBO₂₁ ou DBO₂₈. Par convention, la DBO₂₁, trop long à obtenir, est remplacée par la DBO₅, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée après 5 jours d'incubation.

On constate que l'oxydation des produits carbonés se fait la première. Celle des produits azotés qui suit, conduit au phénomène de nitrification.

Tableau I-4 : Echelle de valeur de DBO₅ [18].

Type de l'eau	DBO ₅ (mg/l)
Eau naturelle pure et vive	<1
Rivier légèrement pollué	1-3
Egout	100-400
Rejet de station d'épuration	20-40

I-4-2-5- La demande chimique en oxygène (DCO)

Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant, le bichromate de potassium. Ce

paramètre caractérise de manière peut complète les matières oxydables présent dans l'échantillon mais certains hydrocarbures ne sont pas oxydés. La DCO peut être réalisée plus rapidement que la DBO_5 et donne une estimation de la matière organique présent, même si le développement de micro-organismes est impossible (présence d'un toxique, par exemple).

Les études expérimentales effectuées sur les eaux usées domestiques ont montré que la $DCO = DBO_{21}$ on parle alors de la DBO ultime. Pour un échantillon d'eau usées domestique le rapport $DCO_{ultime} / DBO_5 = 1.5$ [47].

I-4-2-6- La biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui intervient dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité a été normalisée à l'échelle de plusieurs institutions internationales. A titre d'exemple, la norme de biodégradabilité adoptée par l'union européenne pour les molécules commercialisées en Europe par les industries chimiques exige qu'une substance ne puisse être classée comme biodégradable que si elle est dégradée à 80 % en 28 jours à la température de 20°C [39].

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K tel que, $K = DCO/DBO$

- Si $1 < K < 1.5$, cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matière biodégradable ;
- Si $1.5 < K < 2.5$: cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- Si $K > 2.5$: les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K élevé peut traduit la présence dans l'eau, d'élément inhibiteur de croissance bactérienne, tels que, les sels métallique, les détergents, les phénols, les hydrocarbures....etc. La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter.

Si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique sinon ce sera un traitement physico-chimique [26].

I-4-2-7-Matières oxydables (MOX)

Ce paramètre est utilisé pour caractériser la pollution organique de l'eau. Il se définit à partir de la DBO₅ et de la DCO selon la formule suivante : **MOX = (2DBO₅+DCO)/3 [15]**.

I-4-2-8- Le carbone organique total (COT)

Le COT est définie comme la concentration en mg de carbone par litre d'échantillon, c'est une méthode directe pour mesurer la teneur en matières organiques d'une eau. Il consiste à brûler l'échantillon d'eau à 950°C sous l'action de l'oxygène gazeux et de mesurer le CO dégagé, et par suite de mesurer le carbone total (organique et minéral) [30].

I-4-2-9- L'azote**I-4-2-9-1- L'Azote globale (NGL)**

Dans les eaux usées domestiques la concentration globale en azote total (NGL) est de l'ordre de 15 à 20 % de celle de la DBO₅ ; l'apport journalier en NGL est compris entre 10 et 15 g par habitant [12].

On distingue 5 formes d'azote dans l'environnement :

- **Azote organique** : elle participe dans la construction des cellules végétales ou animales.
- **Azote ammoniacal (ammonium NH₄⁺)** : provient de la décomposition de l'azote organique par les bactéries (ammonification), ou des rejets directe d'animaux (urines, excréments).
- **Les nitrites (NO₂⁻)** : Se trouve souvent en quantité très faibles car c'est une forme chimique très instable.
- **Les nitrates (NO₃⁻)** : Résultats de la nitrification
- **L'azote gazeux (N₂)** : Cette forme est très présente dans l'air (environ 70%), et très soluble dans l'eau.
- **Azote Kjeldahl (NK, anciennement NTK)** : L'azote kjeldahl comprend l'azote sous les formes organiques et ammoniacale (NH₄), à l'exclusion des formes nitreux (nitrites) et nitrique (nitrates).

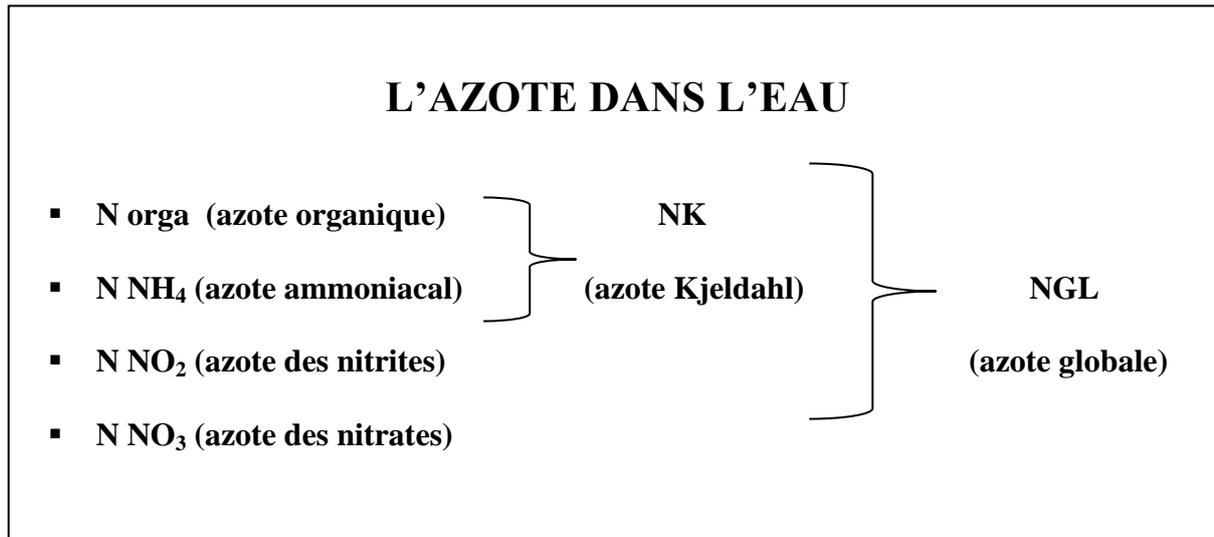


Figure I-2 : Les différentes formes d'azote dans l'eau.

I-4-2-10- Phosphore totale (pt)

C'est la somme des trois formes du phosphore (orthophosphates, polyphosphates et phosphore organique). A la sortie de la station d'épuration, le phosphore est à 90% sous forme d'orthophosphates [33].

L'Apport journalier de phosphore est d'environ 4g par habitant. Il est dû essentiellement au métabolisme de l'individu et à l'usage de détergents. Les rejets varient d'ailleurs suivant les jours de la semaine [25].

I-4-2-11- Micro – éléments

Les éléments nocifs les plus importants sont les métaux lourds. Leur principale origine est industrielle. Le cuivre, le zinc, le cadmium, le chrome, le plomb, le mercure, le nickel sont les polluants les plus fréquemment rencontrés [14].

I-4-3-Les paramètres biologiques :

Les eaux résiduaires urbaines transportent de nombreux micro-organismes dont certains sont pathogènes (bactéries, virus, protozoaires, helminthes).

Les bactéries pathogènes les plus fréquemment rencontrées sont les salmonelles dont la concentration est de l'ordre de 10^2 à 10^3 par ml.

Les germes test les plus fréquemment utilisés sont les coliformes totaux ainsi que les coliformes fécaux, formé essentiellement des *Escherichia coli* et parfois des *Streptocoques fécaux*.

Dans 100 ml d'eau résiduaire sont dénombrés le plus souvent de 10^7 à 10^8 coliformes totaux et 10^6 à 10^7 coliformes fécaux [25].

I-5- Impacte de la pollution

I-5-1- Sur le milieu naturel

L'incidence des rejets sur notre environnement peut s'apprécier au regard des élévations de températures, des modifications du pH, des consommations d'oxygène du milieu ainsi que des effets spécifiques inhérents à chaque polluant. Ceci conduit à la modification de l'équilibre des écosystèmes.

Les modifications de température de pH, perturbent le développement normal de la faune et de la flore. Le rejet de matière organique entraîne une surconsommation d'oxygène par les micro-organismes et en prive d'autant les poissons. Les matières en suspension conduisent aussi au colmatage des branchies des poissons, les rejets d'azote et du phosphore favorisent l'eutrophisation des lacs [29].

I-5-2- Sur l'économie

Il faut se rendre compte que dépolluer reste encore actuellement une activité de riches. Personne ne peut nier l'absolue nécessité de prendre en compte notre environnement. En France comme dans les pays développés, à la plus part des collectivités et les industries prennent en charge leurs rejets [29].

I-5-3- Sur la santé

Les maladies liées à la présence d'éléments pathogènes ou de molécules toxiques sont très répandues. Les parasitoses d'origine hydrique dominant très largement la pathologie des habitants du tiers monde :

- Paludisme (un million de décès par an, 100 à 150 millions de cas annuels dont 90% en Afrique, et 300 millions de porteurs de parasites) ;
- Filaires (maladie due à un vers injecté par des moustiques sous les climats chauds et humides) ;
- Le choléra, du aux vibrions cholériques présent dans les eaux souillées ;
- L'hépatite A (due à un virus présent aussi dans les eaux polluées) ;

- Et les autres comme les dysenteries d'origines parasitaires, bactériennes et virales aux conséquences qui peuvent être très grave chez le jeune enfant.

Les métaux lourds comme le mercure, le plomb, le cadmium, le cuivre présentent la particularité de se concentrer dans la chaîne biologique. Ils ne sont pas dégradables, leur présence est donc rémanente. Ils conduisent à des pathologies diverses en fonction de leurs natures, pathologies qui peuvent être très graves, voir mortelles [29].

I-6- Estimation des rejets d'eaux usées

Pour estimer une pollution en vue de dimensionner un système d'épuration, on prend comme unité de pollution, l'équivalent habitant.

I-6-1-Définition de l'équivalent habitant

L'équivalent habitant est la quantité de matières organiques biodégradables rejetées par un habitant et par jour.

La notion d'équivalent habitant est utilisée pour quantifier la pollution émise par une agglomération à partir de la population qui y réside et des autres activités non domestiques.

I-6-2- Valeur de l'équivalent habitant

En France, on estime qu'un équivalent habitant correspond à une DBO₅ de l'ordre de 75 gramme par jour pour une eau brute (non décantée).

Pour l'Algérie, la valeur de l'équivalent habitant n'est pas encore déterminée ; de ce fait, pour concevoir une station d'épuration des eaux usées, on se base sur les normes françaises ou européennes.

I-7-Normes de rejet

Le Décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993, du Journal Officiel de la République Algérienne, réglementant les rejets d'effluents liquides dans son chapitre I, article 2, fixe, en son annexe 1, les valeurs limites de ce rejet. Ces mêmes valeurs viennent d'être renforcées par un nouveau texte réglementaire ; le Décret Exécutif n°06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 Avril 2006, section 1, article 3. Les valeurs limites maximales de rejet d'effluents fixées par ces deux décrets sont regroupées dans le tableau (I-5).

Tableau I-5 : Normes Algériennes des rejets des eaux résiduaires.

Paramètre	Unités	Valeurs limites
Température	°C	30
pH	-	6,5 à 8,5
O ₂	mg/l	5
Conductivité	μS/cm	1250
MES	mg/l	35
DBO ₅	mgO ₂ /l	35
DCO	mgO ₂ /l	120
Phosphates	mgO ₂ /l	02
Nitrates	mg/l	40

I-8- Conclusion

Pour déterminer les caractéristiques d'une eau usée et connaître son degré de pollution, il est impératif de déterminer ses différentes composantes et les paramètres qui sont mis en jeu. Cependant, selon le besoin, nous sommes, souvent, amenés à déterminer les paramètres essentiels qui entrent directement dans la conception d'un procédé d'épuration.

L'épuration biologique des eaux résiduaires

II-1- Introduction

Les eaux usées qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle, sont collectées par un réseau d'assainissement complexe pour être dirigées et traitées dans une station d'épuration, avant d'être rejetées dans le milieu naturel. La station rassemble une succession de dispositifs, empruntés tour à tour par les eaux usées.

Chaque dispositif est conçu pour extraire au fur et à mesure les différents polluants contenus dans les eaux. La succession des dispositifs est bien entendu calculée en fonction de la nature des eaux usées recueillies sur le réseau, des types de pollutions à traiter, le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitements sont définis : les prétraitements, le traitement primaire et le traitement secondaire. Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible.

II-2- Les prétraitements

En entend par prétraitement physique une série d'épuration qui a pour but d'éliminer la fraction la plus grossière des particules entraînées, et de retirer l'effluent des matières susceptibles de gêner les traitements ultérieurs. Les étapes qui suivent cette opération sont les suivantes :

- Le dégrillage
- La dilacération
- Le tamisage
- Le dessablage
- Le déshuilage et dégraissage

II-2-1- Le dégrillage

C'est un procédé qui consiste à tenir dans ces grilles, les éléments de grand diamètre retrouvant dans l'eau à traiter, afin d'éviter les bouchages dans les différentes unités

d'installation ce qui engendre un déséquilibre pour la station qui influe sur l'efficacité du traitement qui suit cette étape.

Son principe consiste à faire passer l'eau brute à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60° à 80° sur l'horizontal [06].

Suivant le mode d'élimination des refus, on distingue les grilles manuelles et les grilles mécaniques. Les grilles manuelles sont réservées aux très petites installations. Leurs nettoyage se fait à l'aide de râdeaux.

II-2-2- La dilacération

Il s'agit d'une opération de broyage des déchets qui sont évacués avec l'eau brute. Ce système nécessite beaucoup d'impératifs liés à la nature des déchets, et à l'efficacité de traitement. Les broyeurs sont de deux types : broyeurs à marteau et tambours à râteau.

L'utilisation de la dilacération revient chère à une station, par la maintenance délicate de ce système, et également par les conséquences d'un mauvais fonctionnement (obstruction des canalisations, engorgement des pompes) [21].

II-2-3- Le tamisage

C'est le même principe avec le dégrillage, sauf que les grilles sont remplacées par des toiles mécaniques ou des tissus ce qui nécessite un débit inférieur.

Le tamisage est en fait un dégrillage poussé, et consiste en une filtration sur toile mettant en œuvre des mailles de différentes dimensions. Il existe un macro-tamisage (mailles supérieures à 0,3 mm) et un micro-tamisage (mailles inférieures à 100 µ).

Le macro-tamisage est le stade le plus important et est destiné à retenir les matières en suspensions flottantes, les débris végétaux, les herbes, insectes etc... La charge de la pollution est ainsi réduite et allège la station d'épuration [21].

II-2-4- Le dessablage

C'est un procédé mécanique qui permet d'éliminer les sables présents dans l'effluent brut, afin de protéger les conduites et les pompes contre l'abrasion et d'éviter le colmatage des canalisations par une sédimentation au cours du traitement.

II-2-5- Le déshuilage

C'est l'élimination des matières huileuses rassemblées à la surface de l'effluent. Et on favorise l'émulsion des corps gras des eaux résiduaires en injectant de l'air comprimé ; il est alors facile de les éliminer, car ils sont responsables de la formation d'écumes [09].

II-3- Le traitement primaire de décantation

La décantation est un procédé de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc dont la densité est supérieure à celle de l'eau ; elle s'effectue selon un processus dynamique, en assurant la séparation des deux phases solide-liquide de façon continue. Les particules décantées s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée, elle est dirigée vers un autre stade d'épuration.

La décantation primaire, permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de 1,2 m/h, 40 à 60% des matières en suspensions, soit 40% de matières organique, 10 à 30% des virus, 50 à 90% des helminthes et moins de 50% des kystes de protozoaire et entraîne également avec elle une partie de micropolluants [20].

La fraction des matières en suspensions éliminée peut être augmentée si le processus de décantation est précédé d'un traitement de coagulation-floculation, ce dernier est réalisé le plus souvent par des sels de fer d'aluminium, de la chaux et les polyélectrolytes. Par coagulation-floculation on peut éliminer jusqu'à 90 à 95 % de MES.

La décantation, processus essentiel du traitement primaire a pour but :

- De retenir une fraction importante de la pollution organique ;
- D'alléger la charge du traitement biologique ultérieur ;
- De réduire les risques de colmatage des systèmes de traitement biologique par culture fixe (lits bactériens, disque biologique) ;
- D'éliminer 30 à 35 % de la DBO₅, et 90 % de matières décantables.

II-4- Les traitements biologiques

Les processus de traitement biologiques sont les plus souvent utilisés pour le traitement secondaire des eaux résiduaires urbaines et industrielles. Dans leur configuration de base, ils sont essentiellement employés pour l'élimination des composés carbonés présents

sous forme soluble tels que sucres, graisses, protéines, etc. ou lesquels les solutions par voie physico-chimique sont souvent peu efficaces, coûteuses ou difficiles à mettre en œuvre. Ceux-ci sont nocifs pour l'environnement puisque leur dégradation implique la consommation de l'oxygène dissous dans l'eau et nécessaire à la survie des animaux aquatiques.

II-4-1- Principe du l'épuration biologique

Le but des traitements biologiques est d'éliminer les matières organiques carbonées biodégradables qui sont mesurées par la DBO₅ au moyen de micro-organismes hétérotrophes en utilisant ces substances organiques pour la synthèse cellulaire, et comme une source de carbone et d'énergie, et d'autre groupes de micro-organismes autotrophes sous l'action de l'énergie solaire, utilisent le gaz carbonique et les sels dissous dans l'eau pour synthétiser la matière vivante et élimine des ions indésirables dans l'eau, comme les composés azotés et phosphatés.

Le rôle principal dans ce procédé revient aux bactéries, qui secrètent les enzymes qui dégradent les substances organiques, et ces derniers peuvent être soit des enzymes extracellulaires qui provoquent la destruction des structures moléculaires trop complexes pour pénétrer au sein des capsules bactériennes, ou des enzymes intracellulaires, qui assurent l'assimilation, et aussi sont à l'origine des phénomènes vitaux à la base de la prolifération des cellules.

Les conditions spécifiques au milieu peuvent conditionner la nature de la réaction : elle sera aérobie en présence d'oxygène, et anaérobie en absence d'oxygène. On peut alors parler de bactéries aérobies et de bactéries anaérobies. Notons toutefois, que la vitesse de dégradation des matières organiques est plus élevée en milieu aérobie et la production d'une masse cellulaire beaucoup plus importante, c'est la raison pour laquelle, les installations d'épuration biologique fonctionnent généralement en présence d'oxygène [21].

II-4-1-1- Etude du métabolisme « aérobie »

II-4-1-1-1- Elimination de la pollution organique carbonée

Biologiquement parlant, ce sont les mêmes phénomènes aérobies qui interviennent dans les deux types de culture libre ou fixée.

Le processus d'épuration aérobie, s'impose par des micro-organismes hétérotrophes, ils utilisent à la fois le carbone organique comme source d'énergie et pour la synthèse cellulaire, ces mécanismes s'effectuent en trois étapes essentielles successives :

- Une phase d'adsorption et d'absorption des matières polluantes solubles et colloïdales de l'effluent par les cellules bactériennes, au niveau de leurs membranes extérieures de ces cellules, et qui ne dure pas très longtemps.
- Une phase d'oxydation biochimique et dégradation enzymatique des matières ainsi fixées. Elle est plus lente, cette opération fournit l'énergie aux micro-organismes (catabolisme), qui sera nécessaire à la synthèse cellulaire et à la multiplication des micro-organismes (anabolisme), aboutissant à un accroissement de la masse cellulaire totale, au cours de laquelle aussi, il a eu lieu une décomposition tels que CO_2 et H_2O ;
- Une phase autodestruction (respiration endogène) de la matière cellulaire, ou la bactérie rentre dans la respiration endogène quand l'alimentation en substance organique est arrêtée.

La figure suivante montre les mécanismes réactionnels de la métabolisation aérobie de la pollution.

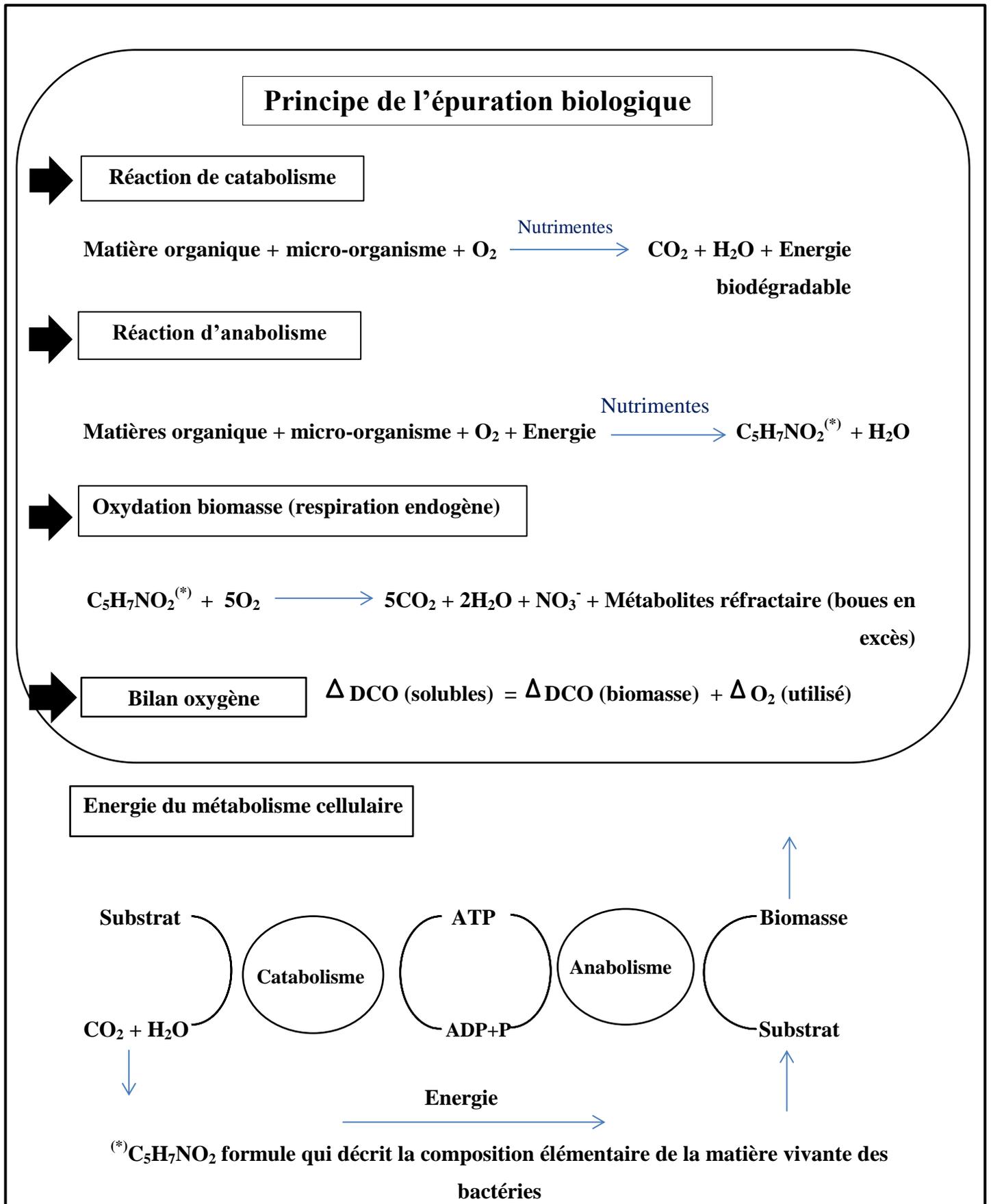


Figure II-3: Mécanismes réactionnels de la métabolisation aérobie de la pollution [03]

II-4-1-2- Etude du métabolisme « anaérobie »

La dégradation de la matière organique en milieu anaérobie qui s'appelle fermentation méthanique s'effectue en deux étapes principales qui sont :

- Une phase acide de liquéfaction (hydrolyse) des composants organiques aboutissant à la formation d'acide gras volatils (AGV) ;
- Une phase gazéification ou méthanogénèse dont les produits finals sont le gaz CH₄ (méthane) et CO₂.

A chaque phase de fermentation intervient un groupe spécifique de micro-organismes.

On distingue plus particulièrement :

- Les bactéries fermentatives, responsables de l'hydrolyse de la matière organique (protéines, lipides, polysaccharides) et de leur dégradation en acide gras volatils (essentiellement acide acétique, propioniques et butirique), en alcool (éthanol), en H₂ et CO₂ ;
- Les bactéries acidogènes « produisant H⁺ » et utilisant les substrats précédents pour produire des acétates, de l'hydrogène et quelquefois du CO₂ ;
- Les bactéries méthanogènes qui produisent le biogaz (CH₄+CO₂) à partir des substrats élaborés dans les phases précédentes.

La figure suivante présente les différentes phases de la métabolisation anariobie.

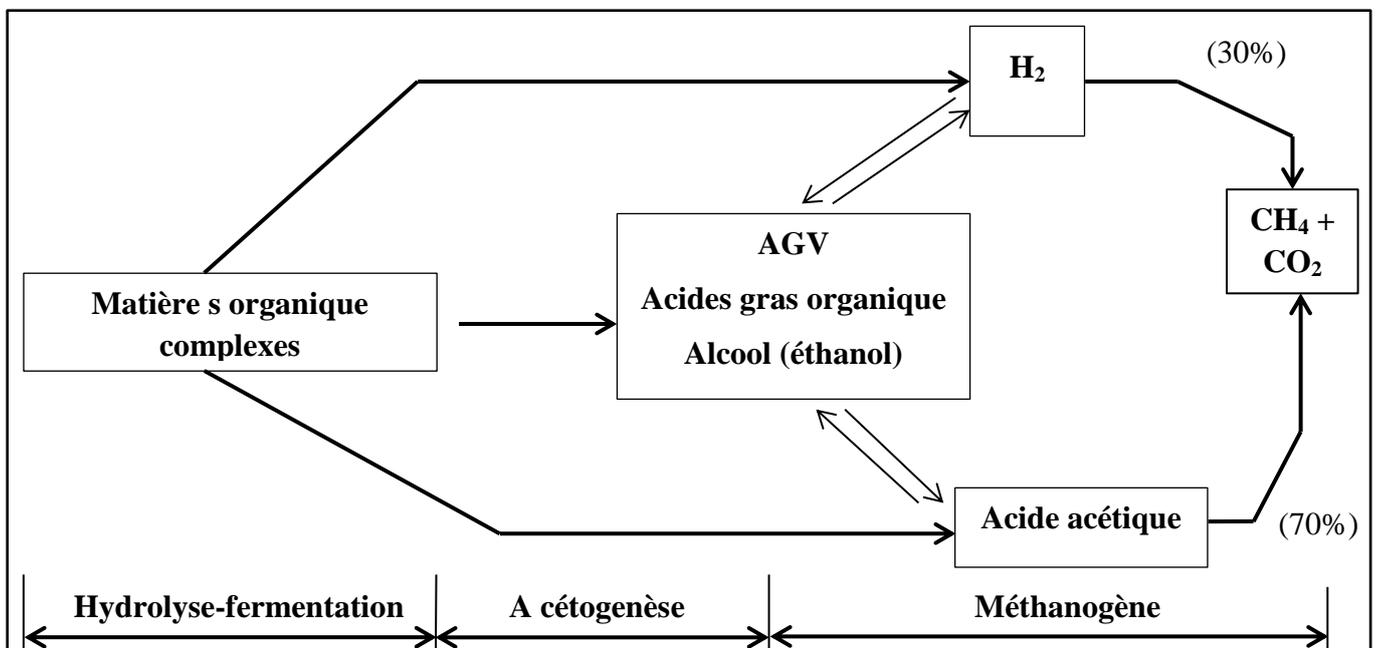


Figure II-4 : les différentes phases de la métabolisation anaérobie de la pollution carbonée [03]

II-5- Les différents procédés de traitement biologique

II-5-1- Procédés naturels

Les procédés naturels sont utilisés dans le domaine d'épuration des eaux usées, elles permettent d'éliminer la pollution dans son milieu naturel.

II-5-1-1- Le lagunage naturel

Le lagunage est un procédé extensif d'épuration biologique des eaux dans le principe se repose sur la symbiose algo-bactérienne. Les bactéries dégradent les polluants organiques en sel minéraux et en CO₂ qui sont utilisées par les algues comme nutriments le quelles à leur tour fournissent l'oxygène nécessaire aux bactéries [43].

II-5-1-2- L'épandage par le sol

L'épandage a pour but de recycler l'eau et les éléments fertilisants dans le sol, les racines des végétaux peuvent ainsi absorber ces éléments minéraux, donc minéraliser la matière organique. Cependant, il faut que les effluents reçus par le sol ne soit pas trop chargés en matières organique pour qu'il y'ait plus d'efficacité [31].

Le rejet à traiter par épandage ne doit pas être toxique pour la faune et la flore du sol. Le sol doit être normalement exploité ou régulièrement travaillé pour maintenir la flore et la faune à leur degré d'activité maximale [35].

II-5-2- Procédés artificiels aérobies

II-5-2-1- Culture fixe (Lit biologique, Disque biologique)

II-5-2-1-1- Lits biologiques (Lits bactériens)

Ce traitement est basé sur le principe d'infiltration à travers le sol. Un lit bactérien se présente comme une colonne circulaire pouvant atteindre 4 à 5 mètres de hauteurs dans laquelle se trouve un matériau poreux. Les eaux à traiter ruissellent à la surface de la pellicule biologique qui prolifère sur le support, celles-ci renferment une forte concentration de bactéries et de champignons. Ces organismes absorbent et métabolisent la matière organique de l'effluent [24].

➤ **Avantages et inconvénients du disque biologique.**

• **Avantage**

Un bon rendement est atteint avec un choix convenable du matériau et des dimensions des pores (augmentation de la surface spécifique). Les lits bactériens sont aussi performants dans le cas d'effluents urbains ou dans le cas de certaines industries spécifiques (parfumeries, agro-alimentaires), l'exploitation d'une station à lits bactériens reste très simple et il n'y a pas de gestion de stock de boues.

• **Inconvénients**

Les traitements préalables doivent être performants, un encrassage progressif. Les apparaît qui contrainent à vider, laver et remettre en place le matériau du lit.

On enregistre de plus de fréquentes odeurs liées au changement de saisons [36].

II-5-2-1-2- Le disque biologique :

Dans le procédé à biodisque, le support est constitué par des disques parallèles régulièrement espacés sur un axe horizontal, tournant à faible vitesse et immergés sur la moitié de leur hauteur. Ce mouvement induit une oxygénation de la culture pendant la période d'immersion.

Les performances de ce procédé sont liées à :

- La profondeur d'immersion des disques (généralement deux mètres) ;
- La vitesse de rotation de l'arbre qui doit être optimale pour permettre une aération et une fixation des bactéries convenable ;
- La température qui doit être comprise entre 15 et 29°C [27].

➤ **Avantages et inconvénients du disque biologique**

• **Avantage**

Ce procédé économique est d'une extrême simplicité d'exploitation.

• **Inconvénients**

Les disques biologiques ne s'adaptent pas au traitement à forte charge. Ils sont très sensibles à la qualité des eaux à traiter, aux pointes excessives des concentrations et de débits. Ils ne s'adaptent qu'au traitement des effluents de petites agglomérations.

La figure suivante présente une STEP avec disque biologique.

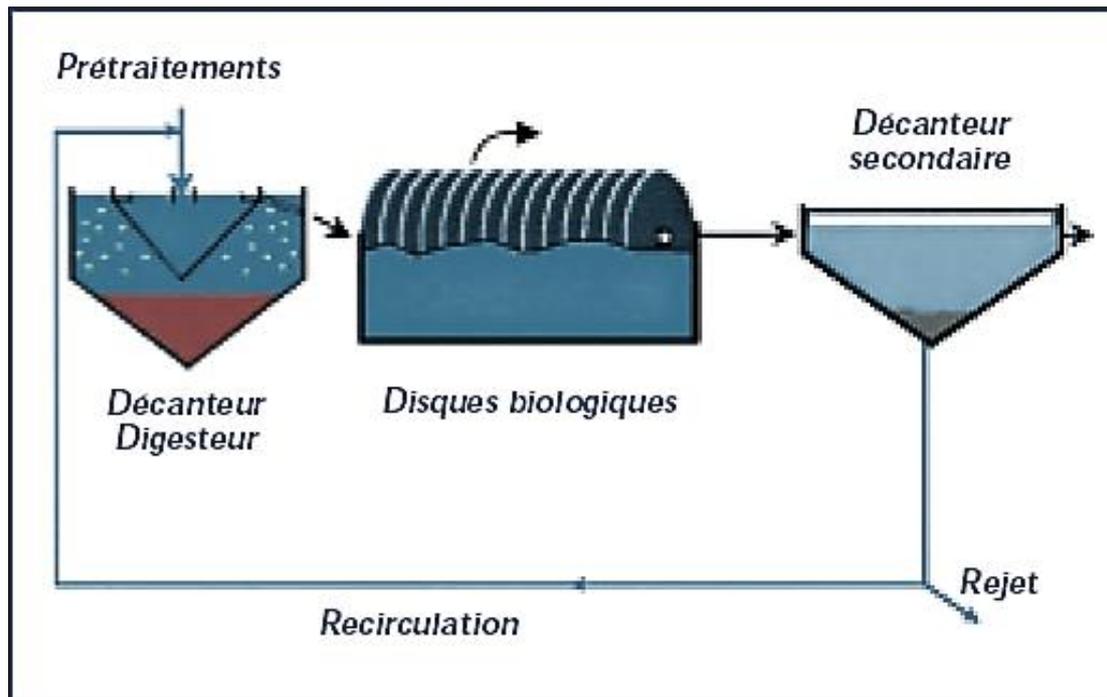


Figure II-5 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique

II-5-2-2- Culture libre (boue activé)

Le procédé par boues activées, également appelé procédé d'activation est le procédé biologique le plus utilisé pour l'épuration des eaux usées. Il est constitué d'un réacteur biologique aérobie où l'on provoque le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons appelés "bio flocons", le réacteur est alimenté en eau polluée et le mélange eau usée- bio flocons est appelé "liqueur mixte", la liqueur est maintenue dans un régime turbulent par un système d'aération, de l'oxygène dissous est ainsi introduit dans la masse de la liqueur mixte lequel est nécessaire pour la respiration et le développement des micro-organismes aérobies.

L'aération peut être assurée en surface par des turbines ou des brosses, ou dans le fond par des procédés de rampe de distribution de bulles d'air alimentées par un suppresseur.

Le système de boues activées s'accompagne toujours d'une décantation appelée «Clarification» ou « Décantation secondaire » d'où sont extraites les boues. Le temps de séjour de ces boues dépend de la vitesse de décantation des particules en suspension et du mode de collecte des boues.

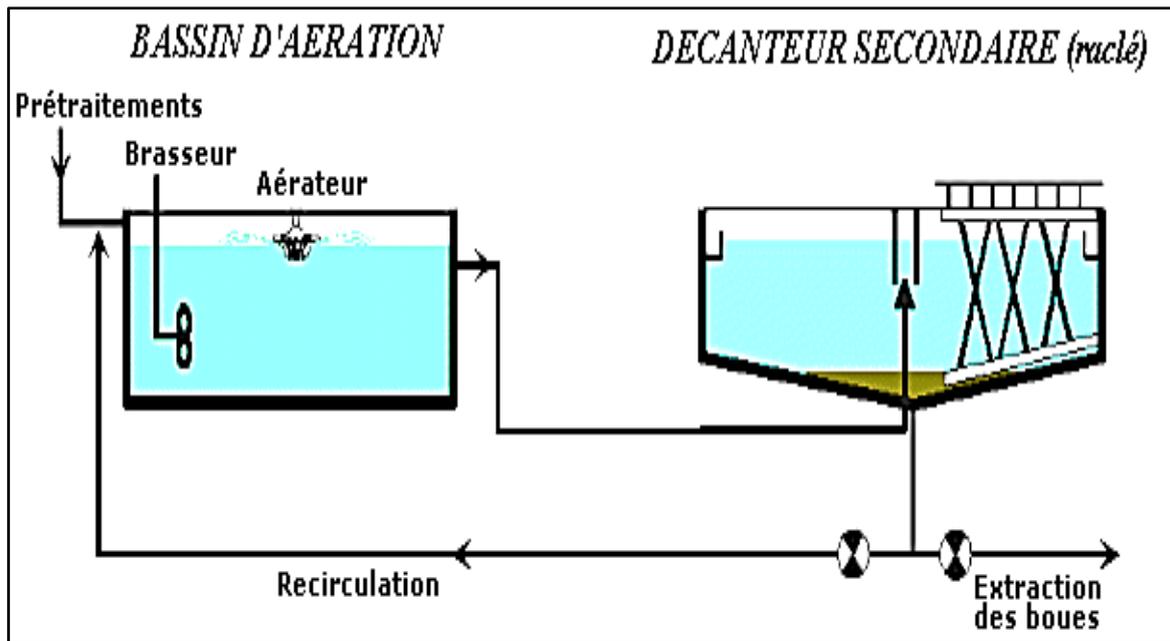


Figure II-6: Principe de fonctionnement d'un système à boue activées

II-5-2-2-1- Evolution d'une culture bactérienne

Après ensemencement, une culture bactérienne se développe jusqu'à épuisement du milieu nutritif si l'environnement est favorable. Si on suit l'évolution d'une culture bactérienne en fonction du temps, on remarque la succession de plusieurs phases se succèdent, les phases classiques de développement des populations bactériennes sont observées :

- **Phase de latence (adaptation) (1):** C'est la phase d'adaptation de microorganismes au nouveau milieu ;
- **Phase de croissance accélérée (2):** Courte phase de transition entre la phase de latence et la phase exponentielle. La vitesse de croissance des microorganismes augmente progressivement jusqu'à atteindre sa valeur maximale à la fin de la phase.
- **Phase de croissance exponentielle (3):** (diminution rapide de la DBO) commence lorsque la vitesse de croissance devient constante, les microorganismes sont vivants, et par conséquent leur nombre augmente parallèlement à la quantité de la biomasse. La vitesse de croissance reste constante jusqu'au moment où se manifeste l'insuffisance de substrat ;
- **Phase de ralentissement des synthèses cellulaires (4):** C'est une transition courte entre la phase exponentielle et la phase stationnaire, on peut la considérer comme l'extrapolation de la phase exponentielle.

- **Phase stationnaire (5) :** L'augmentation du nombre de microorganismes fait que la concentration du substrat diminue et la concentration de produits métaboliques augmente. Ceci entraîne soit la faim, soit l'intoxication des cellules, ce qui en premier lieu, cause l'inhibition de la croissance et ensuite la mort des microorganismes. La phase stationnaire commence lorsque le nombre de cellules mortes est égale au nombre de cellules naissantes. Cette phase se caractérise par l'épuisement du substrat dans la solution et l'arrêt de croissance des cellules
- **Phase de déclin :** commence après la fin de la phase stationnaire. L'insuffisance de substrat engendre la mort des microorganismes et leur minéralisation progressive, et ainsi la masse de la biomasse diminue.

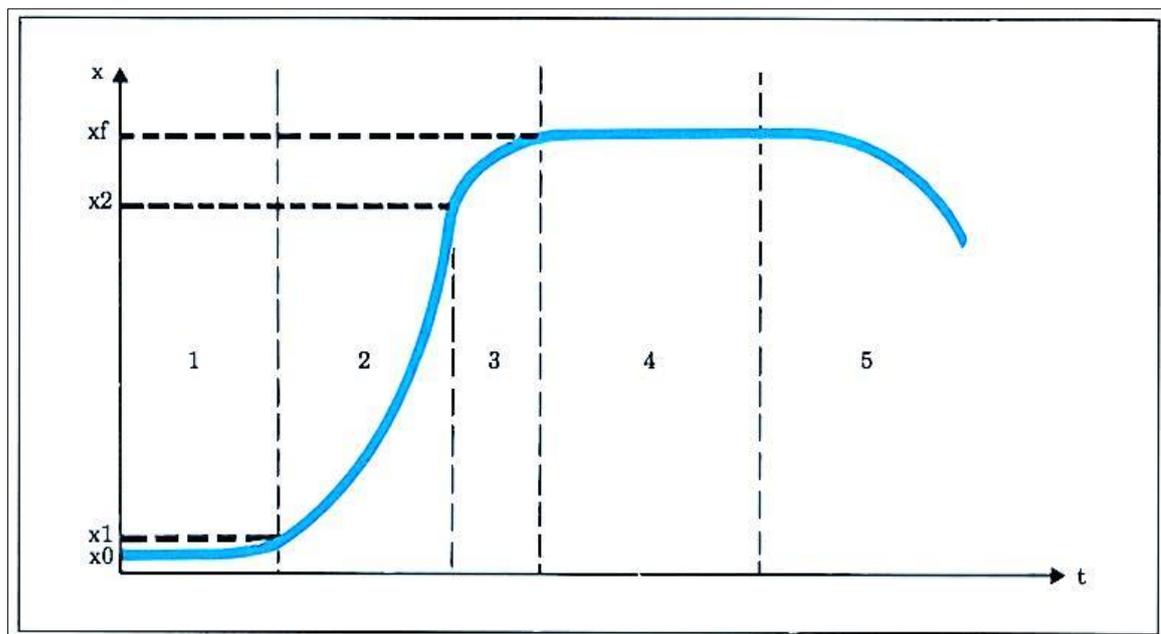


Figure II-7: Développement d'une culture bactérienne [16]

II-5-2-2-2- Paramètres de calcul et de dimensionnement des installations de traitement par boues activées

Le dimensionnement d'une installation de traitement par boue activées, soit des rejets industriels ou urbains, il est nécessaire de connaître un certain nombre de paramètres qui sont :

- Les caractéristiques d'élimination de la pollution organique (biodégradabilité, cinétique de métabolisation) et les besoins en éléments nutritifs ;
- Les besoins en oxygène ;
- La production des boues en excès ;

- Les caractéristiques de décantation de la biomasse épuratrice.

Si ces paramètres sont connus pour les eaux usées domestiques, il n'est pas de même pour les eaux résiduaires industrielles pour lesquelles presque toujours, il convient de les définir par des essais de traitabilité à l'échelle du laboratoire [26].

Les principaux paramètres qui déterminent la performance d'un procédé d'épuration sont les suivant :

a) La charge massique (C_m) ou facteur de charge

C'est le rapport entre la masse de nourriture exprimée généralement en termes de DBO_5 , entrant journallement dans le réacteur et la masse de boue contenue dans ce réacteur, exprimée en (Kg DBO_5 /Kg MVS.J)

$$C_m = \frac{Q \cdot S_0}{V \cdot X}$$

b) La charge volumique (C_v)

On appelle charge volumique C_v , la masse de nourriture qui est habituellement DBO_5 , entrant journallement par unité de volume de réacteur, exprimée en kg $DBO_5/m^3.j$

$$C_v = \frac{Q \cdot S_0}{V}$$

Q : le débit journalier d'eau résiduaire à épurer (m^3/j) ;

So : la concentration en substrat (kg/m^3) ;

X : la concentration en matières volatiles en suspension dans le bassin d'aération (kg de MVS/ m^3) ;

V : le volume du réacteur (m^3).

c) Age des boues

C'est le rapport entre une quantité de boue en aération et la quantité de boues extraites par jour, c'est une notion importante corrélée à la production des boues, dite aussi le temps de rétention moyen des bactéries dans un réacteur biologique.

$$A = \frac{V \cdot X}{Q_{be} \cdot X_{be}}$$

V : le volume du bassin d'aération (m^3) ;

X : concentration en biomasse dans le bassin (Kg/m^3) ;

Q_{be} : débit des boues en excès (m^3/j) ;

X_{be} : concentration en biomasse dans les boues en excès (Kg/m^3) ;

A : âge des boues (j).

d) Indice de Mohlman (l/kg)

C'est le rapport entre le volume des boues après 30 mn de décantation en $l.m^{-3}$ et la concentration nominale en MES ($kg.m^{-3}$).

$$I_m = \frac{V_{30}}{MES}$$

La mauvaise décantabilité de la boue indique que l'indice I_m est élevées. Généralement, la boue a une bonne décantation pour les valeurs comprise entre 80 et 150, en dessous de 50, elle a un aspect granuleux et risque de former des dépôts, au delà de 150 à 200, la boue est en gonflement (bulking) et mal décanté [15].

e) Besoins en oxygène

C'est un paramètre très important pour le mieux fonctionnement d'une biomasse dans le bassin d'aération. Pour une aération optimale, les concentrations en oxygène dans le bassin d'aération devraient osciller entre 2 à 4 mg/l [47].

L'oxygène consommé permet de fournir l'énergie nécessaire pour la synthèse cellulaire par l'oxydation directe de la pollution organique carbonée, la respiration endogène des boues (auto-oxydation des matières organique issue des corps cellulaires lysés) et pour l'oxydation de l'ammoniaque (nitrification), ou chaque kilogramme d'azote nitrifié demande 4,57 kg d'oxygène [03].

II-5-2-2-3- Conditions de fonctionnement

Le tableau (II-6) présente la classification des procédés à boue activées en fonction de la charge appliquée sur le bassin d'aération.

Tableau II-6: Condition de fonctionnement du bassin d'aération d'une station à boue activées [35].

	Faible charge	Moyenne charge	Forte charge
Charge massique appliquée (C_m) en Kg DBO₅/ Kg MVS.j⁻¹)	$0,07 < C_m < 0,15$	$0,15 < C_m < 0,40$	$0,4 < C_m < 1,2$
Charge volumique appliquée (C_v) en (Kg DBO₅/m³.j)	$C_v < 0,35$	$0,35 < C_v < 1,5$	$1,5 < C_v < 3$
Concentration en boue (X) en (Kg MVS/m³)	4	3	2 à 3
Age des boues (A) en (jour)	10 à 30	4 à 10	1,5 à 4
Remarques	rendement $\geq 90\%$ nitrification possible	rendement $\sim 80-90\%$ nitrification possible	Rendement $< 80\%$

II-5-2-2-4- Problèmes de décantation des boues

Nous avons vu précédemment que l'indice de Mohlman caractérisait une boue par son aptitude à la décantation. Lorsque celui-ci était élevé, il indiquait une mauvaise décantation de la boue. De différentes causes sont attribuées à cette mauvaise décantation pouvant être d'origines diverses.

a) Flocc dispersé

La boue activée ne se sépare pas de l'effluent traité. On observe un mélange trouble qui ne se clarifie quelques fois qu'après plusieurs heures de repos. La DBO₅ de l'effluent traité est alors très élevée. Ce cas peut être observé pendant la période de constitution de la flore microbienne. Le cas devient grave lorsque cette période est trop longue, et conduit à une défloculation des boues [21].

b) Défloculation des boues activées

Ce phénomène est provoqué quelques fois dans des conditions de faible charge appliquée. En effet, la minéralisation des boues résultant de la faible proportion de matières

organiques présentent dans le bassin, et des longs temps de séjour, se traduit par une suspension de flocons qui altère les conditions de rejet, surtout au niveau des MES même si, souvent la DBO₅ de l'effluent traité est satisfaisante. Une cause de ce phénomène est l'apport accidentel de produits toxiques (minéraux ou organiques) qui tue une partie de la flore microbienne. Ceci se traduit par le rejet d'un effluent contenant des matières en suspension élevées (boues mortes) et une DBO₅ élevée [21].

c) Boues houleuses

Il arrive que l'on observe la formation de nuages de boues dans le décanteur secondaire. Ces nuages intermittents sont souvent le résultat d'un mauvais dimensionnement de l'ouvrage de décantation tant au niveau de sa conception que de sa réalisation.

d) Bulking

C'est le phénomène le plus grave qui peut se produire dans une station d'épuration, car il s'accompagne d'un changement de la flore microbienne. La sédimentation est nulle ou très lente. [21]

II-5-2-2-5- Composition et propriété du floc biologique

La boue activée apparaît comme une suspension de particules floconneuses de quelques dixièmes de millimètres à quelques millimètres de diamètres, constituée de bactéries, de matières organiques inertes ou minérales, maintenues par une substance musilagineuse, produit de l'activité bactérienne. Une boue activée normale contient également une microfaune abondante de protozoaires et métazoaires.

Les populations microbiennes des boues activées sont complexes et ne peuvent se définir qu'au moyen des principaux groupes écologiques : bactéries, champignons, protozoaires et métazoaires.

L'essentiel de l'épuration est dû à des bactéries hétérotrophique **Gram négatives mobiles**, parmi les quelles nous citerons : **Pseudomonas**, **Aeromonas**, **Arthrobacter**, **Flavobacter**, **Achromobacter**. Il faut également signaler certaines espèces dont la présence est gênante qui interviennent pour contrarier la décantation des boues : ce sont les bactéries filamenteuses dont l'espèce la plus connue est **Sphaerotilus**. Ces bactéries se développent souvent dans les milieux déséquilibrés en azote et riches en éléments facilement assimilables (cas des rejets laitiers, sucreries). La microfaune est représentée surtout par des protozoaires, organismes prédateurs, de taille comprise entre 20 et 200 µm. On y trouve des **flagellés**, des

rhizopodes et surtout des **ciliés**. Les métazoaires de taille supérieure (100 à 150µm) sont peu représentés; ce sont surtout des **rotifères**, parfois des **nématodes** et des vers **cligochètes** [03].

Les figures (II-8) et (II-9), présentent la composition générale des boues activées.

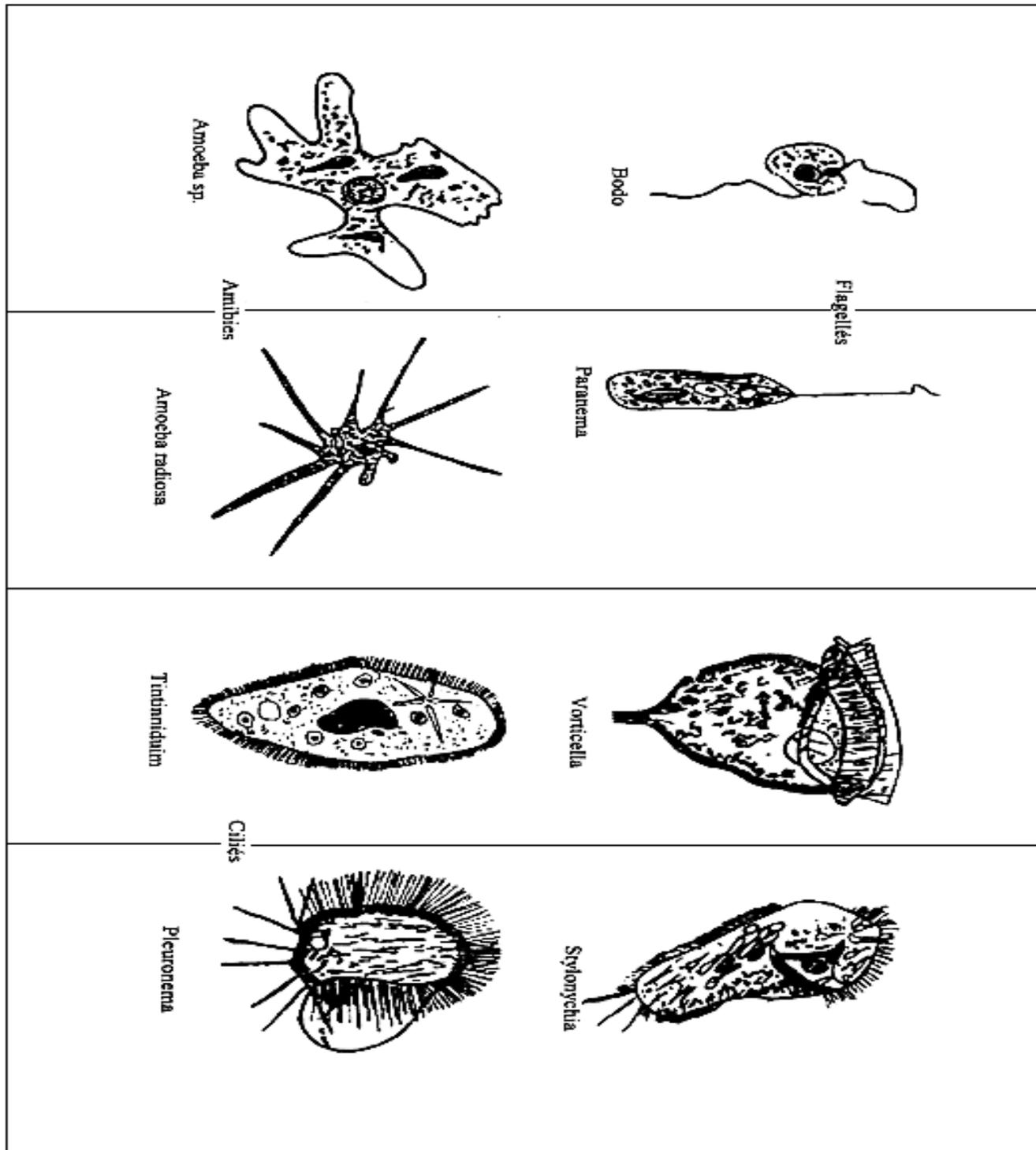


Figure II-8 : Protozoaires rencontrés dans les boues activées [22]

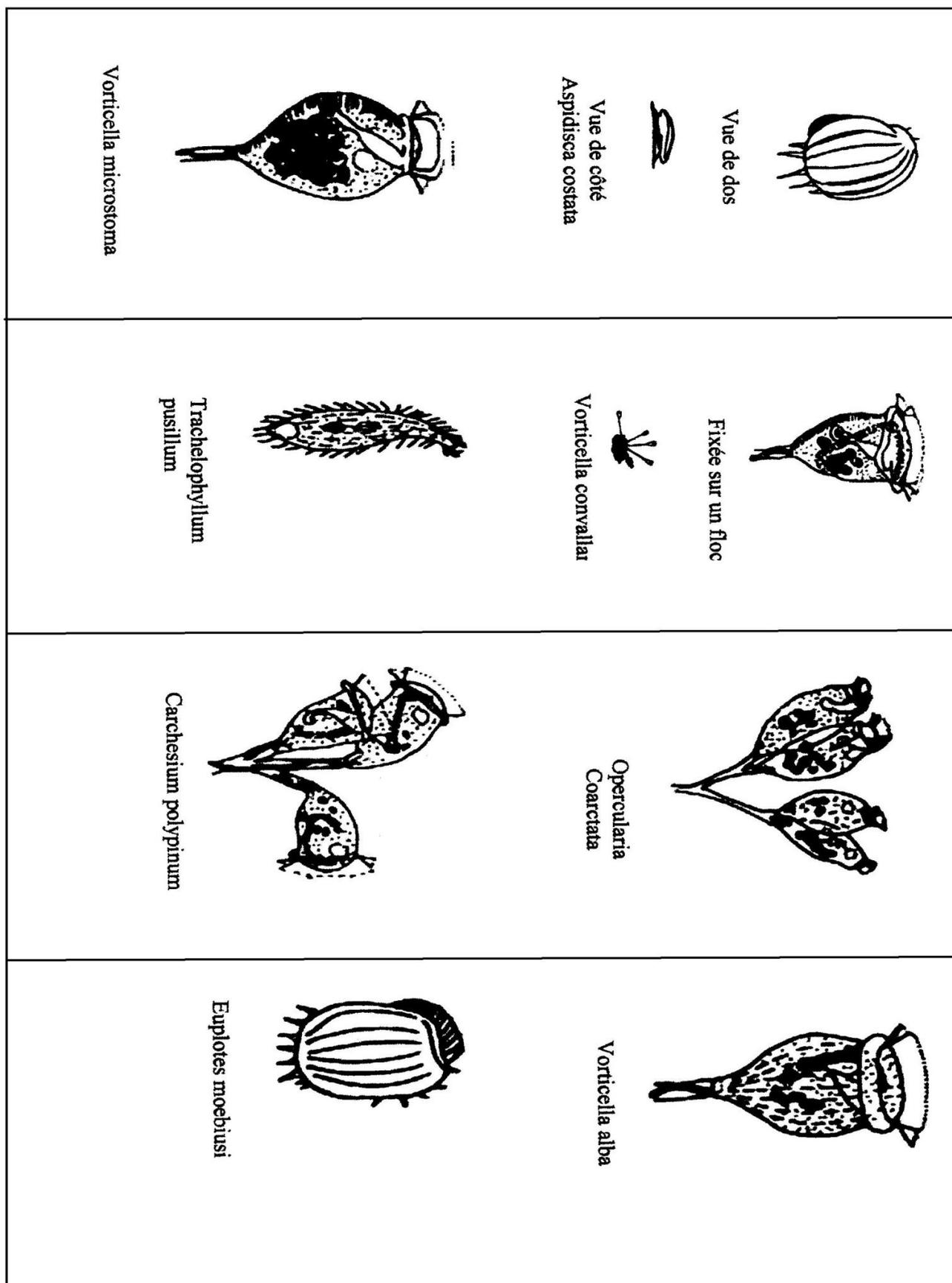


Figure II-9: Protozoaires rencontrés dans les boues activées [22]

II-6- Les traitements tertiaire ou complémentaire

II-6-1- Introduction

Ce sont des procédés qui permettent d'améliorer les caractéristiques d'une eau résiduaire après un traitement biologique ou physico-chimique.

Ces procédés ont pour but :

- le traitement d'élimination de l'azote et du phosphore ;
- Le traitement d'élimination des boues en excès ;
- La désinfection.

II-6-2- Elimination de l'azote et le phosphore

Les composés azoté et phosphorés obtenues après le traitement de l'effluent, sont des fertilisants que l'on considère comme les principaux responsable de l'eutrophisation des plans d'eau naturels [42].

II-6-2-1- L'eutrophisation

C'est un phénomène qui se passe généralement dans les rivières, les lacs et les réservoirs, par l'enrichissement en composés azoté et phosphorés utilisés par les végétaux pour leur croissance, conduisant à un développement excessif d'algues et de plancton aquatique entraînant un déséquilibre de l'écosystème comme une diminution ou parfois la disparition des poissons et des espèces animales, car l'excès de végétaux consomme l'oxygène disponible en absence de lumière.

L'eutrophisation est le processus d'apport d'éléments fertilisant (azotés et phosphatés), dans les eaux naturelles, qui aboutit à la formation d'une végétation aquatique (biomasse) excessive, tendant à obstruer l'écoulement et à asphyxier le cours d'eau par suite des phénomènes de photosynthèse [48].

II-6-2-2- L'azote des eaux résiduaires :

L'azote présent dans les eaux résiduaire provient principalement des déjections humaines. Les urines contribuent largement à cet apport essentiellement sous forme d'urée, d'acide urique et d'ammoniaque. Par ailleurs, les eaux de cuisine véhiculent des protéines

comportant des acides aminés, et certains agents de surface (assouplissant,...) qui incluent dans leurs molécules des radicaux azotés d'ammonium [37].

L'azote peut être séparé des eaux par différents mécanismes: physique (par décantation lorsqu'il est lié aux matières en suspension), physico-chimique (stripping sous forme de gaz ammoniac lorsque le pH est basique, oxydations et réductions chimiques) et biologique (incorporation aux bactéries produites, transformation en nitrates puis en azote gazeux lors des processus de nitrification dénitrification).

À l'heure actuelle les voies physico-chimiques d'élimination de l'azote des eaux résiduaires urbaines n'ont pas donné lieu, pour des raisons économiques, à des applications industrielles du fait de la nature essentiellement soluble de l'azote de ces eaux et de leur faible concentration.

II-6-2-2-1- Réaction de transformation de l'azote par voie biologique

L'élimination des composés azotés dans une station d'épuration par boues activées en aération prolongée implique que les phases de nitrification et dénitrification soient conduites dans de bonnes conditions. Bien qu'antagonistes, ces conditions sont soit réunies simultanément dans le bassin d'aération soit séparées. Dans ce dernier cas, la phase de nitrification est réalisée dans le bassin d'aération. Quant à la phase de dénitrification, elle peut être accélérée et intensifiée dans une zone anoxique. La zone anoxique est installée à l'amont immédiat du bassin d'aération. Les boues recirculées et la liqueur mixte concentrée en nitrates sont ramenées en entrée de la zone anoxique. La présence de substrat carboné véhiculé par l'eau résiduaire active la dénitrification assurée par les bactéries hétérotrophes présentes dans les boues.

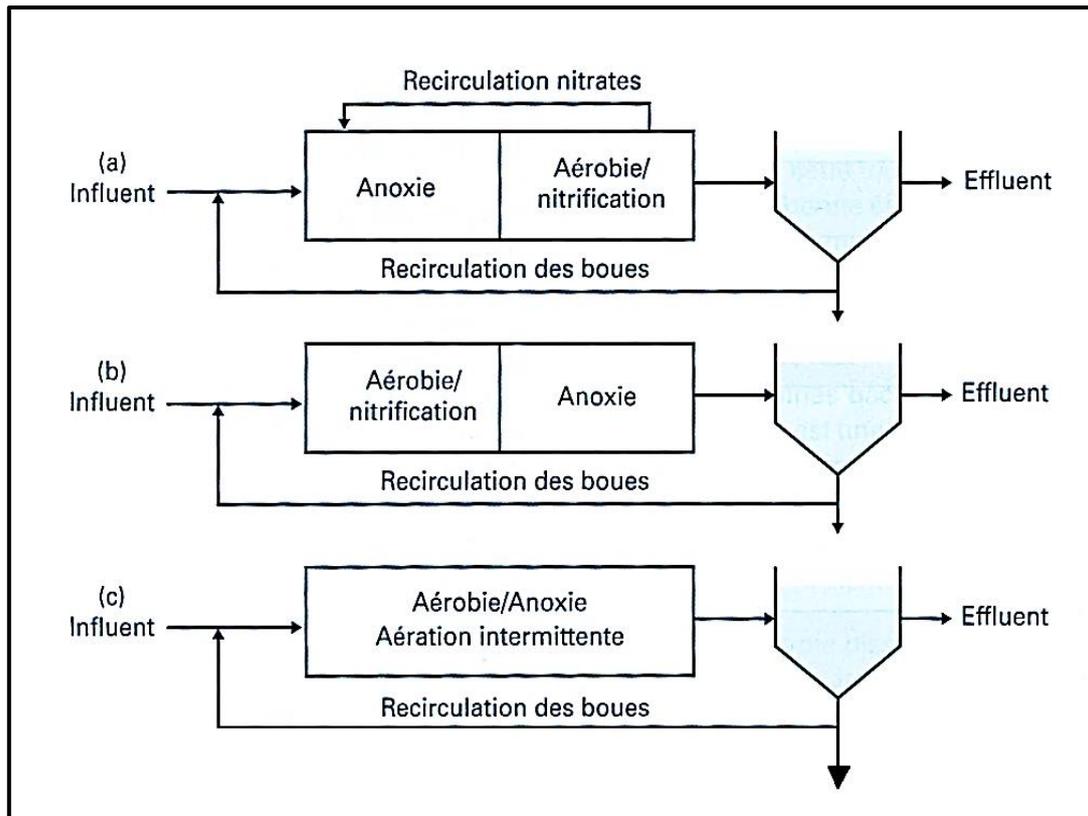
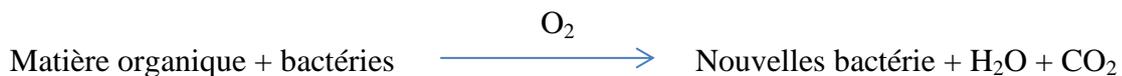


Figure II-10 : Les différentes installations d'élimination biologique de l'azote. [16]

Les étapes d'élimination biologique de la pollution azotée sont les suivantes :

a) Assimilation

La réaction d'assimilation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes en présence d'oxygène dissous peut être représentée comme suit :

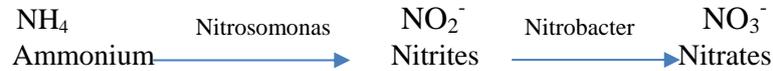


Ces bactéries assurant le traitement de la charge polluante organique ont besoin pour leur métabolisme de nombreux éléments chimiques. L'azote vient au premier rang de ces éléments puisqu'il est un composant important de la cellule bactérienne représentant environ 5 % de sa matière sèche. Les besoins en azote sont de l'ordre de 5 % de la DBO₅ éliminée par la culture bactérienne.

Compte-tenu de l'apport supplémentaire de matières minérales et de la séquestration d'azote organique particulière, les boues extraites des systèmes d'épuration biologique présentent une teneur en azote de l'ordre de 7% des matières en suspension (MES) en moyenne [12].

b) La nitrification biologique

La nitrification est l'oxydation de l'azote ammoniacal en nitrite puis en nitrate. Elle s'effectue en deux stades par des micro-organismes autotrophes, Nitrosomonas et Nitrobacter,



La réaction globale simplifiée de la nitrification peut s'écrire :



La nitrification n'est possible que si l'azote est présent au départ sous forme ammoniacale. La vitesse de la transformation de l'ammonium en nitrate dans un procédé par boues activées est voisine de 3 mg de N-NH₄ oxydé en NO₃⁻ par g.de M.V.et par h, il s'agit donc d'une valeur relativement élevée. Elles tirent leur énergie de l'oxydation du carbone présent dans le dioxyde de carbone ; par contre, elles ont besoin d'oxygène pour leur respiration. La nitrification dépend de plusieurs facteurs, dont les principaux sont :

- **La charge massique:** Le développement des bactéries autotrophes est plus lent que celui des bactéries hétérotrophes. Ainsi, pour assurer une nitrification importante, il faut favoriser l'accroissement de la biomasse nitrifiante. Cela se traduit par une faible charge massique, ou un âge de boues important (l'âge des boues doit être supérieur à 18 jours).
- **La concentration en oxygène dissous (influence forte):** Le rendement augmente avec le taux d'oxygène dissous dans l'eau, et l'on considère généralement qu'une concentration d'au moins 2 mg O₂/l est souhaitable ;
- **La température:** Le développement optimal des bactéries se situe autour de 30°C, et une baisse de la température implique un temps de résidence plus long pour obtenir un même taux de nitrification. Les Nitrobacter serait plus sensible que les Nitrosomonas à des fluctuations de température ;
- **Le pH:** En dehors de la gamme 6,0 à 9,6, le procédé de nitrification est totalement inhibé, mais il semble délicat de définir la gamme optimale de pH. Certains donnent 8,0 à 9,0, d'autres 7,5 à 8,5, ou encore 7,2 à 9,0. En outre, le procédé consommant de l'alcalinité, le pH a tendance à diminuer. La solution consiste alors à stripper le CO₂ afin de limiter l'acidification du milieu ;

- **Le phosphore:** Les concentrations nécessaires varient beaucoup selon les auteurs, mais une concentration minimum de 0,5 mg/l ne serait pas limitante [45].

c) La dénitrification

C'est la réaction de réduction des nitrates en azote gazeux, par voie biologique à l'aide des bactéries, ces bactéries peuvent être autotrophes, mais l'activité de celles-ci est faible. C'est la raison pour laquelle on met généralement en œuvre des bactéries hétérotrophes.

Cette réduction se produit à travers différentes réactions que l'on peut schématiser comme suit :



Globalement, on admet la réaction suivante :



Le donneur d'électrons sera de préférence du carbone organique ou, en l'absence de celui-ci, la masse bactérienne elle-même. [15]

Les principaux facteurs influençant la dénitrification sont :

- **Concentration en substrat:** La concentration en carbone est un facteur limitant dans la mesure où un apport insuffisant entraîne une dénitrification incomplète. En outre, la qualité de l'apport carboné est primordiale car il s'est avéré que les composés à un seul carbone constituent les substrats idéaux. En termes de quantité, le procédé est ralenti si le rapport DBO_5/N à dénitrifier devient inférieur à 2 mg/L.

- **La concentration en oxygène dissous:** de façon générale, l'oxygène inhibe la synthèse des enzymes nécessaires à la dénitrification. Il faut donc une absence totale d'oxygène. Cependant, s'il y a eu des conditions anoxiques favorisant cette synthèse enzymatique, l'apparition de conditions légèrement aérobies ne remet pas en cause la dénitrification ;

- **La température:** l'optimum se situe dans la gamme 25 à 30°C, mais le processus peut avoir lieu entre 5 et 50 °C. Si une baisse de température ne constitue pas un frein à la cinétique de la réaction, une augmentation de température active la dénitrification de façon très nette ;

- **Le pH:** l'efficacité de la dénitrification diminue fortement en dehors de la gamme 6,0 à 8,0, avec un optimum se situant aux alentours de 7,0 – 7,5. En outre, on observe une augmentation

de l'alcalinité, qui ne compense cependant pas celle de l'acidité lors de la nitrification, l'évolution du pH durant la dénitrification dépend alors du pouvoir tampon des eaux à traiter [45].

II-6-2-3- Le phosphore des eaux résiduaires

II-6-2-3-1- Origine du phosphore

L'origine du phosphore dans les eaux usées est déduite de la connaissance des sources de phosphore naturel et de son utilisation.

Le phosphore provient :

- **Du métabolisme humain :** Un homme excrète entre 1 et 2 grammes du phosphore « P » par jour. Il s'agit de l'apport principal en phosphore dans les cours d'eau ;
- **Des produit lessiviels et de nettoyage :** 1 à 2 grammes du phosphore «P» par jour et par habitation (en diminution) ;
- **Des rejets industriels :** Les effluents d'industries agro-alimentaire, d'abattoirs, de laverie industrielles, d'industries de traitement de surface et d'industries chimique spécialisées. Il véhicule une quantité de composés phosphorés à peu près équivalente à celle des eaux usées domestique, pour des régions relativement urbanisées ;
- **Les rejets agricoles :** Ou d'origine naturelle sont retenus dans les sols et ne se retrouvent pas dans les eaux usées. Les eaux de surface peuvent éventuellement en contenir en raison de l'érosion et du ruissellement entraînant des particules de sol dans les cours d'eau [13].

II-5-2-3-2- Les formes chimique du phosphore :

Le phosphore des eaux usées, particulaire ou soluble, est essentiellement constitué :

- De phosphore organique (essentiellement des polyphosphates) et des orthophosphates dont une part provient de l'hydrolyse des premiers ;
- De phosphore organique : phospho-lipides, esters, polynucléotides, ATP, ADP, ...

Les phosphates de sodium et de potassium sont solubles dans l'eau, les phosphates monocalciques et les phosphates de magnésium le sont également, mais dans une moindre mesure. Les autres phosphates sont insolubles.

Le phosphore total est la somme du phosphore inorganique et organique.

II-6-2-3-3- Mécanisme d'élimination biologique du phosphore

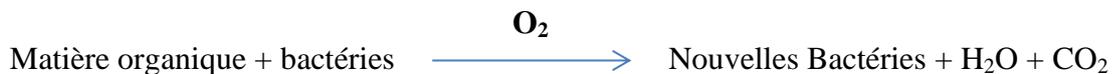
Le traitement biologique, au sens large, englobe d'une part l'assimilation du phosphore par la biomasse pour ses besoins métaboliques minimaux, et d'autre part la suraccumulation du phosphore par des bactéries déphosphatantes au-delà de leurs besoins métaboliques.

Par convention, on parle de traitement biologique du phosphore (au sens strict) lorsqu'il s'opère une suraccumulation du phosphore.

a) L'assimilation du phosphore

Le phosphore, de même que l'azote, est un composant essentiel de la biomasse épuratrice, bactéries et protozoaires ce qui représente de l'ordre de 1 à 2 % de la matière sèche des boues activées non déphosphatantes, exprimée en matière volatile en suspension [13].

La réaction d'assimilation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes en présence d'oxygène dissous peut être représentée par la réaction simplifiée suivante :



Les besoins en phosphore pour la synthèse des nouvelles bactéries sont de l'ordre 1 % de la DBO₅ éliminée par la biomasse épuratrice. L'assimilation ne permet en aucun cas une élimination poussée du phosphore puisque le rapport P/DBO₅ est nettement plus élevé que 0,01 et se situe à 0,04 environ.

b) Processus de suraccumulation du phosphore

Dans le procédé d'élimination biologique du phosphore par boues activées, la biomasse est exposée à une alternance de conditions anaérobies et aérobies.

Le schéma général de l'élimination du phosphore est donné sur la figure (II-11) ;

- Dans la zone anaérobie :

Les substances organique (acétate, éthanol) sont transportées dans les cellules bactériennes, ce que nécessite de l'énergie qu'est apportée par l'hydrolyse des phosphates et parallèlement à la synthèse de polyhydroxybutyrates (PHB) ce qui explique le relargage accéléré du phosphate à l'extérieure de la cellule.

- Dans la zone aérobie :

- Oxydation des polymères organiques avec production d'énergies stockées par la synthèse des polyphosphates
- Le PHB est hydrolysé en acétoacétates, et le phosphate inorganique est transporté à l'intérieur de la cellule.

La déphosphatation biologique est donc liée à l'émergence des populations bactériennes possédant un métabolisme capable d'utiliser les conditions anaérobie et aérobie pour stocker de l'énergie.

L'importance de l'alternance de phase aérobie/anaérobie se situe dans le fait qu'elle privilégie le stockage du substrat en anaérobiose par les bactéries déphosphatante de façon à favoriser leurs croissances ultérieures dans le bassin d'aération.

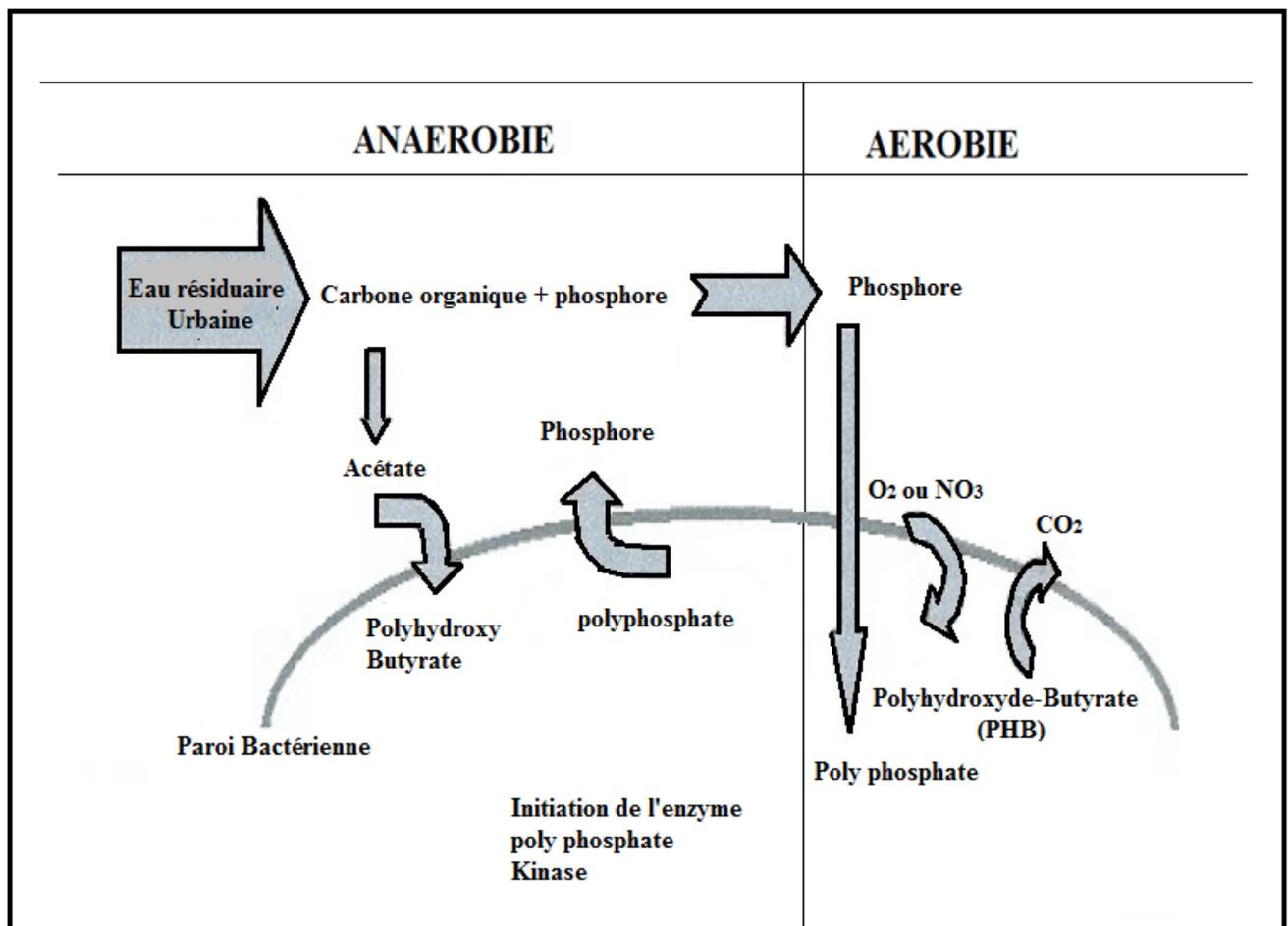


Figure II-11 : Principale étapes de la dé-phosphatation biologique [22].

II-6-2-3-4- Traitement physico-chimique du phosphore

- **Principe :**

Le traitement du phosphore par voie physico-chimique consiste à « piéger » le phosphore dissous sous forme particulaire. Ce changement de phase a lieu au contact de cations (ions calcium, magnésium ou ferriques) apportés soit par les eaux usées (précipitation naturelle), soit par ajout de réactifs à base de fer, d'aluminium ou de chaux (précipitation forcée).

Les principaux mécanismes intervenant sont au nombre de trois :

- Précipitation chimique de complexes hydroxo-métalliques ;
- Adsorption sélective d'espèces phosphorées dissoutes sur la surface complexes déjà précipités ;
- Flocculation et co-précipitation de matière colloïdale finement dispersée [13].

II-7- La désinfection

En général, les techniques d'épuration, même les plus performant, laissent passer dans l'eau épurée des matières organiques difficilement biodégradables et échappent à la meilleure décantation. Ainsi même après un traitement secondaire l'eau véhicule presque toujours des micro-organismes et des micropolluants. Si une éventuelle réutilisation de cette eau est envisagée, il convient par conséquent d'utiliser des procédés d'élimination de cette pollution résiduelle. On parlera donc de corrections chimiques ce qui permettra de donner à l'eau une qualité meilleure pour sa réutilisation. La principale méthode utilisée est la désinfection par le chlore, qui doit être appliquée avec des doses très fortes et des temps de contact longs. Mais il convient de signaler suite à cette opération, que des toxiques pour la vie aquatique peuvent être formés, il faut donc procéder à une opération de déchloration avant le rejet.

II-8- Conclusion

Les stations d'épurations permettent alors de limiter la pollution des eaux en passant par plusieurs dispositifs successifs qui permet une élimination progressive de la quasi-totalité de la pollution.

Les traitements complémentaires visent à l'amélioration de la qualité de l'eau par rapport à celle qui peut être obtenue à partir des traitements secondaires.

Le coût excessif du traitement tertiaire explique pourquoi dans la majorité des stations d'épuration ce type de traitement est inexistant. Ce coût ne se représente pas seulement le prix des réactifs ou des équipements mais aussi celui d'un personnel hautement qualifié.

CHAPITRE III :

Présentation de la station d'épuration de Sidi Ali Lebhar (ville de Bejaia)

III-1-Conception et réalisation

La station d'épuration des eaux usées de Sidi Ali Lebhar a été conçue en 2008 par la direction d'hydraulique de la wilaya de Bejaïa, en collaboration avec une entreprise espagnole COMSA ou la base de dimensionnement de cette STEP a été fixée pour 2010 et une extension est prévue pour 2030, et sa mise en essais a été le 01/02/2013;

C'est une station d'épuration du type boues activées à faible charge, avec un débit de 3000 m³/j, et une capacité de 25000 équivalent habitant pour 2010, et un débit de 9600 m³/j, et une capacité de 80000 équivalents habitant pour 2030 ; elle traite aujourd'hui une partie des rejets d'eaux usées déversées par la ville de Sidi Ali Lebhar et la résidence universitaire d'Iryahen.

Le prétraitement a été dimensionné pour 2030 et le traitement biologique avec épaissement des boues pour 2010, donc il sera nécessaire une seconde phase de travaux pour l'amplitude au 2030.

III-2- Caractéristiques Du Site

III-2-1- Localisation de la station de Sidi Ali Lebhar

La station d'épuration des eaux usées de Sidi Ali Lebhar se situe à 2 Km au nord-est de la ville de Bejaïa longeant la route national N°09 aux coordonnées 36° 43'' et 14.37'' de longitude entre 5° 04 et 37.84'' de latitude.



Figure III- 12 : Localisation de la station de Sidi Ali Lebhar

III-3- Caractéristiques générales

Les eaux usées se classent généralement en deux catégories : les eaux d'égouts et les eaux industrielles. La station d'épuration de Sidi Ali Lebhar traite les eaux usées d'égouts de cette ville; ces eaux proviennent des eaux d'origine domestiques.

Elles sont acheminées à la station par un réseau séparatif à écoulement gravitaire.

III-3-1- Caractéristiques des eaux

La capacité nominale de traitement et qualité moyenne requise des eaux usées avant traitement est illustrée dans le tableau (III- 7) pour la période de 2010 à 2030.

Tableau III-7: Caractéristiques des eaux arrivant à la station du Sidi Ali Lebhar.

Type de réseau		Séparatif
Nature des eaux brutes		Domestique
Population raccordée		
Charge hydraulique :		
- Débit journalier (2010)	m ³ /j	3000
- Débit moyen journalier (2010)	m ³ /h	125
- Débit journalier (2030)	m ³ /j	9600
- Débit moyen journalier (2030)	m ³ /h	400
Charge polluante :		
- DBO ₅		
• Charge journalier	Kg/j	1350
• Concentration	mg/l	450
- DCO		
• Charge journalier	Kg/j	25000
• Concentration	mg/l	833
- MES		
• Charge journalier	Kg/j	1750
• Concentration	mg/l	583
- NTK		
• Charge journalier	Kg/j	300,75
• Concentration	mg/l	100
- P		
• Charge journalier	Kg/j	45
• Concentration	mg/l	15

III-3-2- Objectif du traitement

Les eaux épurées doivent répondre aux conditions suivantes :

- DBO₅ inférieurs ou égale à 30 mg/l sur un échantillon moyen de 24 heures.
- MES inférieurs ou égale à 30 mg/l sur un échantillon moyen de 24 heures.

- DCO inférieurs ou égale à 60 mg/l sur un échantillon moyen de 24 heures.
- pH compris entre 6,5 et 8
- concentration moyenne en azote total inférieurs ou égale à 40 mg/l.
- concentration moyenne en phosphore total inférieurs ou égale à 2 mg/l.

Remarque : la comparaison des résultats d'analyse de la station se fait par rapport aux normes « Espagnole »

III-4- Description de la station d'épuration de sidi Ali Lebhar

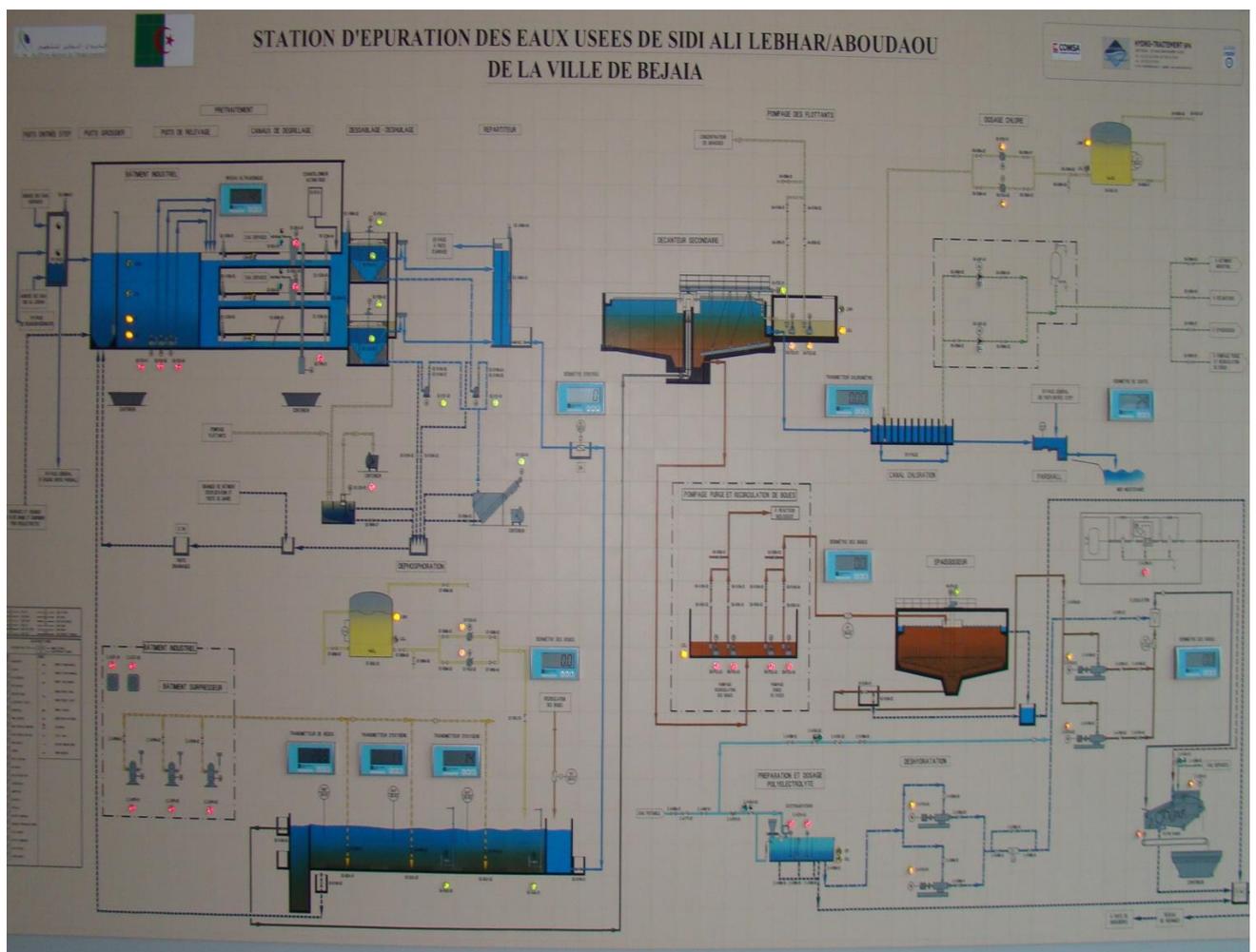


Figure III-13 : Schéma générale de la station.

III-4-1- Filières de traitement

La filière d'épuration des eaux usées utilisée dans la station est la suivante :

- Dégrillage grossier par grilles avec râteau manuel et mécanique.
- Dessablage et dégraissage par le biais de canaux dessableurs aérés, avec écumage.
- Traitement biologique dans des réservoirs à boues activées.
- Décantation dans des décanteurs secondaires, circulaires à racleur.
- Dégrillage moyen par grilles avec râteau manuel dans le canal des boues activées de retour.
- Désinfection au chlore.
- Les boues excédentaires provenant du procédé d'épuration subissent le traitement suivant :
 - Epaissement dans des épaisseurs à grille racleuse.

III-4-1-1- Arrivée de l'eau**III-4-1-1-1-Puits et grille grossière**

C'est le premier élément du procès, avec section rectangulaire et font conique, est dimensionné pour garantir la sédimentation des éléments plus lourds.

Les dimensions du puits de grossières sont :

Largeur :	3m
Longueur :	3m
Profondeur :	1,3m
Profondeur inclinée :	1m
Volume utile :	20,7 m ³

Le temps de séjour dans ce puits est de 5,1 minutes à débit maximal 2010 et 1,79 minute à débit maximal au 2030.

Une cuillère de bivalve de 100 L de capacité pour l'extraction des solides et matières grossières sédimentés au fond du puits a été installée. La cuillère est transportée pour un palan automatique.

Le passage du puits de grossières au puits de pompage se réalise à travers d'une grille verticale de nettoyage manuel et de passage des barreaux de 50 mm, qui protège les pompes d'eau brute.

III-4-1-1-2-Puits de pompage

Les dimensions du puits de relèvement sont :

Largueur : 4,2 m

Longueur : 7 m

Profondeur : 2 m

Volume : 58,8 m³

Le groupe de pompes résiduelles du traitement est composé par (2+1) pompes submersibles de 125 m³/h à 7 m.c.a.

Les impulsions de toutes les pompes sont réalisées par une conduite d'un diamètre de 250 mm, qui débouchent de forme indépendante dans le canal de tamisage.

La capacité maximale qu'on peut pomper par deux pompes est de 250 m³/h. On renvoi l'eau jusqu'à l'entrée de la conduite de dégrillage.

Le puits de pompage permettra un temps de séjours de 14 minutes pour un débit pointe à 2010 et un temps de séjours de 5 minutes pour un débit pointe à 2030.

Un débitmètre est installé dans le collecteur de pompage des eaux.

III-4-1-2- Prétraitement

L'égout d'amenée déverse les eaux usées dans un ouvrage de réception à l'amont du dégrillage et permettra la répartition des débits vers ce dernier.

Le tamisage est réalisé dans un canal de 0,50 m de largeur qui se trouve isolé par des vannes motorisées, situées en amont et en aval. Dans le canal il y a un tamis pour tamisage fin à nettoyage automatique de 3 mm de passe.

A la sortie de la zone de tamisage l'eau est conduite jusqu'à un canal qui accède au dessableurs isolé par des vannes motorisées. Ces éléments ont des vidanges indépendantes qui

débouchent dans le puits de grossiers à travers du bassin de surnageant de la séparation des huiles.

Le canal est dimensionné pour le débit pointe. Dans le futur il sera prévu un autre canal identique. L'ensemble des canaux traitera le débit pointe pour 2030

Nombre de canaux :	1+1
Débit maximum par canal :	348 m ³ /h
Débit moyen par canal :	200m ³ /h
Largueur de canal :	500 mm
Longueur de canal :	5,760 mm
Hauteur d'eau :	670 mm
Hauteur total du canal :	1,350 mm
Vitesse à débit moyen avant dégrillage :	0,1 m/s
Vitesse à débit maximale avant dégrillage :	0,2 m/s

III-4-1-2-1- Dégrillage

Il y a deux modes de fonctionnement :

Une grille d'acier inoxydable à nettoyage automatique installée dans le canal principal, dont ces dimensions sont les suivants :

Largeur de la grille :	500 mm
Séparation entre barreaux :	3 mm
Hauteur total grille :	2,880 mm
Type de grille :	automatique

Dans le canal de by-pass on installera une grille manuelle :

Largeur de la grille :	500 mm
Séparation entre barreaux :	12 mm

Inclination :	60°
Hauteur total grille :	2,880 mm
Type de grille :	manuel



Figure III-14: Dégrilleurs

Pour transporter, drainer et compacter des matières dégrillées, une vis de 8m de largeur est installée juste sous chaque dégrilleur, les matières retenues par la grille sont collectées par un conteneur qui est placé juste à la sortie de la presse.

En total il y a trois conteneurs de 4,45 m³ pour les graisses, sables et refus de dégrillage.

III-4-1-2-2- Dessablage et dégraissage

Il est toujours à craindre une présence importante de sable, graisses et huiles pouvant gêner ou freiner le fonctionnement de l'installation. Dans cette phase de prétraitement, il est nécessaire d'installer un équipement pour le dessablage et le déshuilage.

Il y a une ligne de dessablage- déshuilage avec une largeur unitaire de 3 m et une longueur de 10 m, aéré et circulaire. Il sera prévu une autre ligne identique pour 2030.

L'apport d'air au dessableur-déshuileur se réalise grâce à deux turbines submersibles. Chaque turbine aura une puissance de 0,75 Kw, et si le volume correspondant à flottation est de 56 m^3 nous auront $26,7 \text{ W/m}^3$.

Le dessablage- déshuilage est fourni d'un pont qui court longitudinalement tout au long du canal, à bord duquel se trouve la pompe d'extraction de sable. Cette pompe aspire le sable du fond du dessableur et elle la pousse vers des canaux centraux qui conduisent le mélange eau/sable vers un classificateur de sable, qui décharge le sable dans un collecteur. Le débit de la pompe de sable qui se trouve à bord des ponts est de $12 \text{ m}^3/\text{h}$ et il assure que le sable ne se dépose pas au fond du dessableur.

Le ramassage des huiles est réalisé grâce à un système de raclettes de surface, qui pousse la graisse accumulée vers la partie latérale des dessableurs-déshuileurs, jusqu'à un canal de ramassage qui se trouve dans la partie postérieure du même, puis cette graisse et les flottants ramassés dans ce canal sont amenés jusqu'au séparateur des huiles qui se trouve près du dessableur-déshuileur. La séparation des huiles est du type à chaîne sans fin et avec des raclettes de surface, par contre, le classificateur de sable, est de type à vis, puisque il est considéré plus efficace.



Figure III-15 : Vue d'ensemble sur la séparation du sable et de la graisse.

La sortie du dessableur-déshuileur se réalise par une décharge, le dessableur dispose d'une décharge indépendante, avec des conduites et une valve de 150 mm.

Débit maximal par dessableur pour 2010 est de $240 \text{ m}^3/\text{h}$

Débit maximal par dessableur pour 2030 : $240 \text{ m}^3/\text{h}$

a) Dimensions

Largeur totale de la zone dessablage-déshuilage : 3 m

Hauteur prismatique : 2,55 m

Hauteur pyramidal : 0,8 m

Longueur totale : 10 m

Surface : 30 m²

Volume utile total : 89,38 m³

b) Besoins d'air

Le débit d'air nécessaire pour le dessableur a été calculé d'après l'expérience dans d'autres installations de caractéristiques similaires avec des aérateurs égaux. Les besoins d'air pour l'élimination des sables sont 20-30 W/m³.

Pour le dessableur on a les caractéristiques suivantes :

Besoin d'agitation : 20-30 W/m³

Volume zone dégraisseur : 56 m³

Nombre d'aérateurs : 2 ut

Puissance unitaire : 0,75 Kw

Puissance total : 1,5 Kw

Besoin d'agitation : 26,8 W/m³

c) Production du sable

Le calcul de la production de sable totale est fait à partir d'un taux de 60 g de sable par m³d'eau traitée et une concentration du mélange eau-sable aspiré du dessableur du 0,1%.

Quantité de sable extraite : 180 Kg/ jour

Débit du mélange eau-sable : 180 m³/jour

III-4-1-3- Traitement biologique par boues activées

Après une étude minutieuse des différentes alternatives de traitement secondaire biologique pour traiter les eaux de Sidi Ali Lebhar, le système choisi pour ce traitement est le système de Carrousel.

Le système choisie doit être un système de :

- Haute rendement d'élimination de DBO.
- Haute rendement d'élimination d'azote, nitrification et dénitrification.
- Haute flexibilité opérative pour obtenir la qualité exigée.
- Haute flexibilité opérative pour obtenir la qualité exigée aux conditions d'hiver, c'est-à-dire avec une température supposé de 14°C.

Le système de Carrousel est un système de boues activées a faible charge type canaux d'oxydation représenté dans la figure (III-14). Est très facile pour exploiter et contrôler les conditions anaérobique, anoxiques et oxique pour obtenir les rendements nécessaires pour chaque situation de charge polluante ou scénario.

Le réacteur a été dimensionné pour faire l'élimination de la pollution organique et la nitrification et dénitrification.

Le procès est dimensionné pour 2010 au 2030 ou sera nécessaire une amplitude de deux lignes en plus.

Concentration moyenne DBO ₅	450 mg/l
Charge en DBO ₅	1350 kg/jour
Concentration moyenne DCO	833 mg/l
Charge en DCO	2500 kg/jour
Concentration moyenne MES	583 mg/l
Charge en MES	1750 kg/jour
Concentration moyenne NTK	77,5 mg/l
Charge en NTK	232,5 kg/jour

Le rendement de ce réacteur est désigné comme suit :

$$R(\text{DBO}_5) = 93,33\%$$

$$R(\text{DCO}) = 92,79\%$$

R (azote) = 48,39 %

III-4-1-3-1- Configuration du réacteur biologique

Nombre de bassin :	1
Type :	Carrousel
Largeur unitaire :	15 m
Longueur unitaire :	58.8
Profondeur total :	5 m
Hauteur d'eau :	4,5 m
Volume utile unitaire :	4,359 m ³
Temps permanence :	35 h à débit moyenne (125 m ³ /h)

Si le volume anoxique nécessaire son 1162 m³ y le volume total 4359 m³, le pourcentage de zone anoxique sera de 26 %.



Figure III-16: Réacteur biologique (système Carrousel)

Pour les besoins en agitation P_{minimale} :	4359 m ³ .air/h
Densité de l'air à 20°C et pression atmosphérique :	1,202 Kg/m ³
Pourcentage en poids d'O ₂ dans l'air :	23 %
Densité des diffuseurs :	43 %
Profondeur aération :	4,3 m

Le tableau suivant reflète les conditions d'opération :

Tableau III-8: Les conditions d'opération du bassin d'aération

Condition	O ₂ st. total Kg O ₂ / h	Diffuseurs Ut	Air Nm ³ /h
Moyenne	258	840	3770
Maximal	326,3	840	4665

L'apport total d'air entre 3770 et 4665 Nm³/h. un 20 % plus qu'en condition moyennes.

La distribution d'air par toute la cuve est réalisée par 30 modules, de diffuseurs EPDM de 30 mm de diamètre.

III-4-1-3-2- Elimination additionnelle du phosphore

Le système biologique installé donne lieu à une production de boues en excès de 1260 KgSS/jour, pourtant 12,6 Kg P/j sera éliminé (1%). Si la concentration de phosphore dans l'eau de sortie est de 6 Kg/j donc il sera nécessaire une élimination du phosphore avec précipitation du chlorure ferrique commercial (26,4Kg P/jour à éliminer voie chimique), qui présente une richesse du 40% et une densité de 1,425 Kg/l.

La consommation journalière du chlorure ferrique (FeCl₃) est 480 l/jour

III-4-1-4-Décantation secondaire

Les performances de l'épuration biologique résultent de l'action du bassin d'aération et du décanteur secondaire qui est sur le plan technique, forment une seule unité.

Le décanteur circulaire installé à des caractéristiques suivantes :

Nombre :	1
Surface unitaire :	254,47 m ²
Diamètre :	18 m
Hauteur d'eau partie cylindrique :	3,6 m
Pente de fond :	10 %
Volume utile total :	916 m ³



Figure III-17: Présentation du clarificateur

Le tableau suivant résume les caractéristiques du décanteur secondaire

Tableau III-9: Les caractéristiques du décanteur secondaire

	2010	
	Débit moyen 125 m ³ /h	Débit de pointe 240 m ³ /h
Vitesse ascensionnelle (m ³ /m ² h)	0,49	0,94
Charge MLSS(Kg MLSS/ m ² h)	1,96	3,77
Temps de séjour (h)	7,3	3,8
Charge sur déversoir (m ³ /ml h)	2,7	4,28

III-4-1-5- Recirculation des boues et évacuation des boues en excès

Les boues reprises au centre du décanteur sont dirigées gravitairement par l'intermédiaire de tuyauterie vers la station de pompage des boues secondaires pour être recirculées en tête de bassin d'aération ou refoulées vers le traitement des boues.

La recirculation dont le but est de maintenir la concentration nécessaire en boues activées, dans le bassin d'aération pour l'obtention des rendements épuratoires requis, est effectuée par des groupes électropompes.

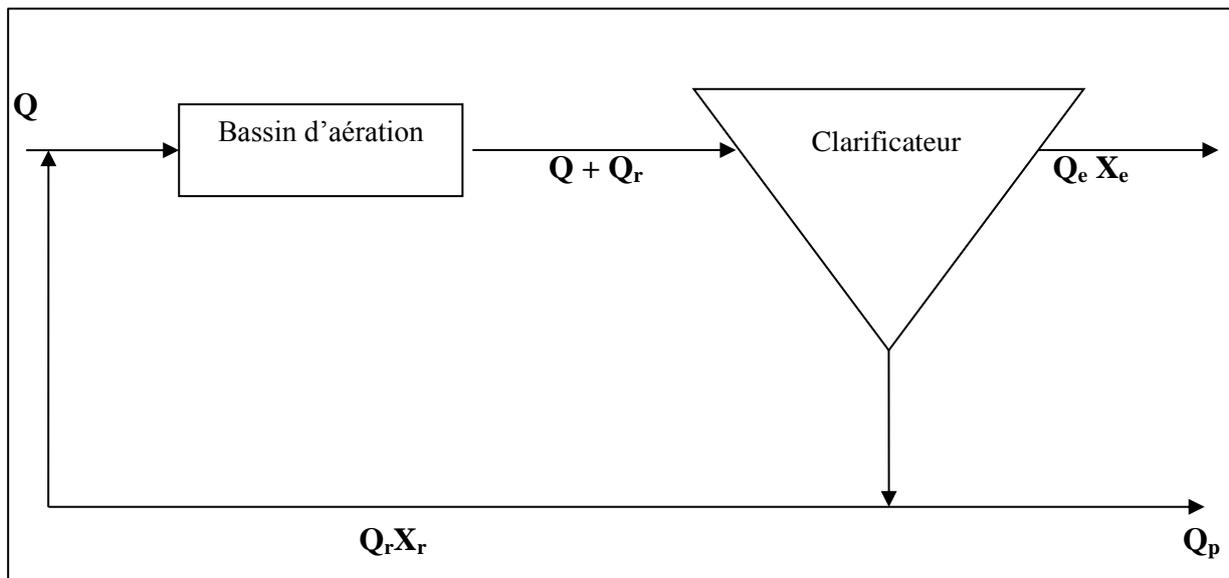


Figure III-18: Schéma de la circulation des liquides et boues

La recirculation de la liqueur mixte se fait par les caractéristiques suivantes :

Pompe installées :	1+1
Débit par pompe :	125 m ³ /h
HMT :	5 m.c.e
Capacité de retour installée :	250 m ³ /h
Pourcentage recirculation :	100 %
Débit recerclée :	2664 m ³ /jour

III-4-1-6- Boue en excès

Une partie des boues produites au niveau du décanteur secondaire en excès lesquels on ne recycle pas, sont envoyées vers un système d'épaississement des boues, par (1+1) pompes submersibles de 20 m³/h.

La production journalière de boues en excès est 1260+216 Kg MS/jour. En considérant que les boues provenant du décanteur ont une teneur en matières sèches de 8 g/l, le volume maximum journalier des boues sera de 185 m³/j.

Le temps de purge de boue journalière est de 10 h/jour.

III-4-1-7- Epaissement des boues

L'épaissement consiste principalement en une cuve cylindrique en béton, fournie d'un équipement d'épaissement mécanique actionné au niveau central. Les boues épaisses sont extraites de la trémie du fond de l'épaisseur qui est connectée avec le pompage de boues à séchage.

Les caractéristiques de ce poste sont :

Débit d'entrée :	185 m ³ /j
Production de boues biologiques en excès de :	1260 Kg/j
Production de boues chimique en excès de :	216 Kg/j
Diamètre :	7 m
Surface :	38,48 m ²
Hauteur eau :	3,6 m
Volume total :	138,5m ³

Tableau III-10: Présentation du bilan de boues.

Quantité de boues Kg/j	Concentration moyenne à l'extraction g/l	Concentration moyenne à l'entrée g/l	Débit à l'entrée m ³ /j	Débit d'extraction m ³ /j
1476	20	8	184	74

III-4-1-8- Déshydratation

L'introduction de déshydratation de boues se fonde sur un filtre bande et dimensionné au principe pour qu'elle puisse fonctionner avec une durée journalière de 10 heures.

Les installations proposées sont :

➤ **Pompage des boues digérées par déshydratation**

Le débit d'entrée sera de 10 m³/h, les pompes (1+1) hélicoïdales installées porteront les boues épaisses vers le filtre bande. Et comme conditionnement chimique à la déshydratation on utilise du polyélectrolyte.

➤ Dosage du polyélectrolyte

Le dosage nécessaire est de 3-4 Kg poly/Tm MS : pour un dosage de 4 Kg poly/Tm MS sera nécessaire 5,9 Kg poly/jour.

Le dosage du polyélectrolyte est réalisé par un équipement de dosage continu avec deux (dont une de réserve) pompes de dosage de 200-600 l/h à 10 m.c.a, une équipe automatique de préparation de polyélectrolyte de 1000 litre de volume total d'acier inoxydable INOX-304 avec deux électro-agitateurs, et un groupe d'alimentation d'eau, avec tuyère de dilution et débitmètre de mesure.

Pour le lavage de la bande de filtration il est nécessaire d'utiliser une eau a pression, on installera un groupe de pression de débit 8,5 m³/h et 10 Kg/cm² de pression. L'eau de lavage ne doit pas contenir des solides supérieurs à 150 µ.

III-4-1-9- Désinfection des eaux traitées

La désinfection de l'effluent se réalise avec hypochlorite de sodium. Le dimensionnement de cet étage est pour la moitié des débits du 2030. À la future ampliation il sera nécessaire une autre ligne identique.

Les caractéristiques de ce poste sont les suivantes :

- Débit d'entré moyen de design (50 % 2030) :	200m ³ /j
- Débit d'entré pointe de design (50 % 2030) :	350m ³ /j
- Débit d'entré moyen 2010 :	125m ³ /j
- Débit d'entré moyen 2010 :	240 m ³ /j
- Temps de contact :	20 min
- Hauteur d'eau :	2 m
- Longueur :	13,2 m
- Largeur :	6,6 m
- Volume total :	174 m ³
- Temps de contact à débit moyen :	83 min
- Temps de contact à débit moyen :	43 min

Le dosage hypochlorite de sodium pour débit moyen 2010 est de 5 l/h, ce qui veut dire que la consommation journalière des dosages est 120 l/jour.

Pour le stockage du réactif, un bac de stockage de 5000 litres de capacité présentés dans la figure III-19, il est installé avec deux pompes de dosage de 20 l/h.



Figure III- 19: Présentation de l'étape de désinfection.

Tableau III-11 : Caractéristiques prévisionnelles de fonctionnement de la station pendant la période d'essai.

Paramètre	Symboles	Unités	Valeurs numérique
Charge volumique	C_v	$\text{KgDBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{j}$	0,3
Charge massique	C_m	$\text{KgDBO}_5/\text{kg} \cdot \text{j}$	0,077
Charge organique total de l'effluent à traiter	L_0	KgDBO_5/j	180-460
Débit total de l'effluent	Q_0	m^3/j	700-800
Volume du bassin d'aération (débit unitaire)	V	m^3	4359
Demande chimique en oxygène.	DCO	Mg/l	325-391
Phosphore totale	Pt	Mg/l	4,6-5,95
Nitrate	NO_3^-	Mg/l	2.2
Nitrite	NO_2^-	Mg/l	0,34
L'ammonium	NH_4	Mg/l	36
Les matières en suspensions.	MES	Mg/l	86,1
Volume des boues après 30 min	V_{30}	Mg/l	02-07
Taux de recyclage	R	%	Pas de recyclage
Quantité des boues en excès	Be	$\text{Kg m.s}/\text{m}^3 \cdot \text{j}$	Pas de production suffisante
Besoins moyen en oxygène	Q_{O_2}	$\text{Kg}/\text{O}_2/\text{j}$	N'est pas fixe

III-5- Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons essayé de décrire les principaux ouvrages de la station d'épuration de Sidi Ali Lebhar à partir des données du dossier technique d'étude et réalisation de la station.

A l'état actuel la station est en période d'essais, le débit entrée est plus faible que celui auquel elle est dimensionnée, il est entre 700 et 800 m³/j, la production des boues est aussi très faible, ce qui rend le rendement de la station moins important.

Chapitre IV: Etude expérimentale

IV-1- Introduction

L'objectif de la présente étude consiste à déterminer les performances d'un réacteur biologique à boue activée en zone anoxique en tête sur l'élimination de la pollution carbonées (MES, DCO), de l'azote ammoniacal (nitrification), des nitrates (dénitrification) et des phosphates (déphosphatation).

Les principales variables opératoires sont :

- La charge hydraulique (exprimée par le débit brute Q_0)
- Le taux de recyclage des boues secondaires (exprimé par le rapport Q_r/Q_0)
- La concentration en substrat (taux de pollution à l'entrée)

IV-2- Appareillage

L'appareillage utilisé est un mini réacteur biologique du laboratoire d'épuration relevant du département d'hydraulique. Il est du type **behrotest[®] KLD4** avec étage préliminaire de dénitrification (IV-20).

La description du montage est illustrée sur les figures (IV-22), (IV-23) et le principe de fonctionnement est représenté sur la figure (IV-21).



Figure IV-20 : Réacteur biologique avec étage préliminaire de dénitrification

IV-2-1- Configuration du réacteur

Le réacteur est constitué par :

- Un bac en PVC assurant le stockage d'eau usée à traiter d'un volume de 30 litres ;
- Un vase en verre d'une capacité de 04 litres, assurant la dénitrification en anoxie. Il est alimenté en continue en eau usée par une pompe péristaltique à débit variable et soumis à une agitation permanente ;

- Un vase en verre d'une capacité de 04 litres, qui est agité et aéré en continu et il est alimenté par gravité à partir du vase de dénitrification. Il assure l'oxydation de la matière organique en ammoniacque puis en azote nitrate ;
- Un vase de décantation en verre, de forme cylindrique à fond conique possédant un volume de 2 litres assurant la séparation de l'eau épurée avec les boues arrivant du bassin d'aération par gravité ; celles-ci seront en parti recyclées dans le bassin d'anoxie et l'autre sera extraite (boues en excès) ;
- Un bac en PVC d'une capacité de 30 litres, assurant la collecte des eaux traitées.

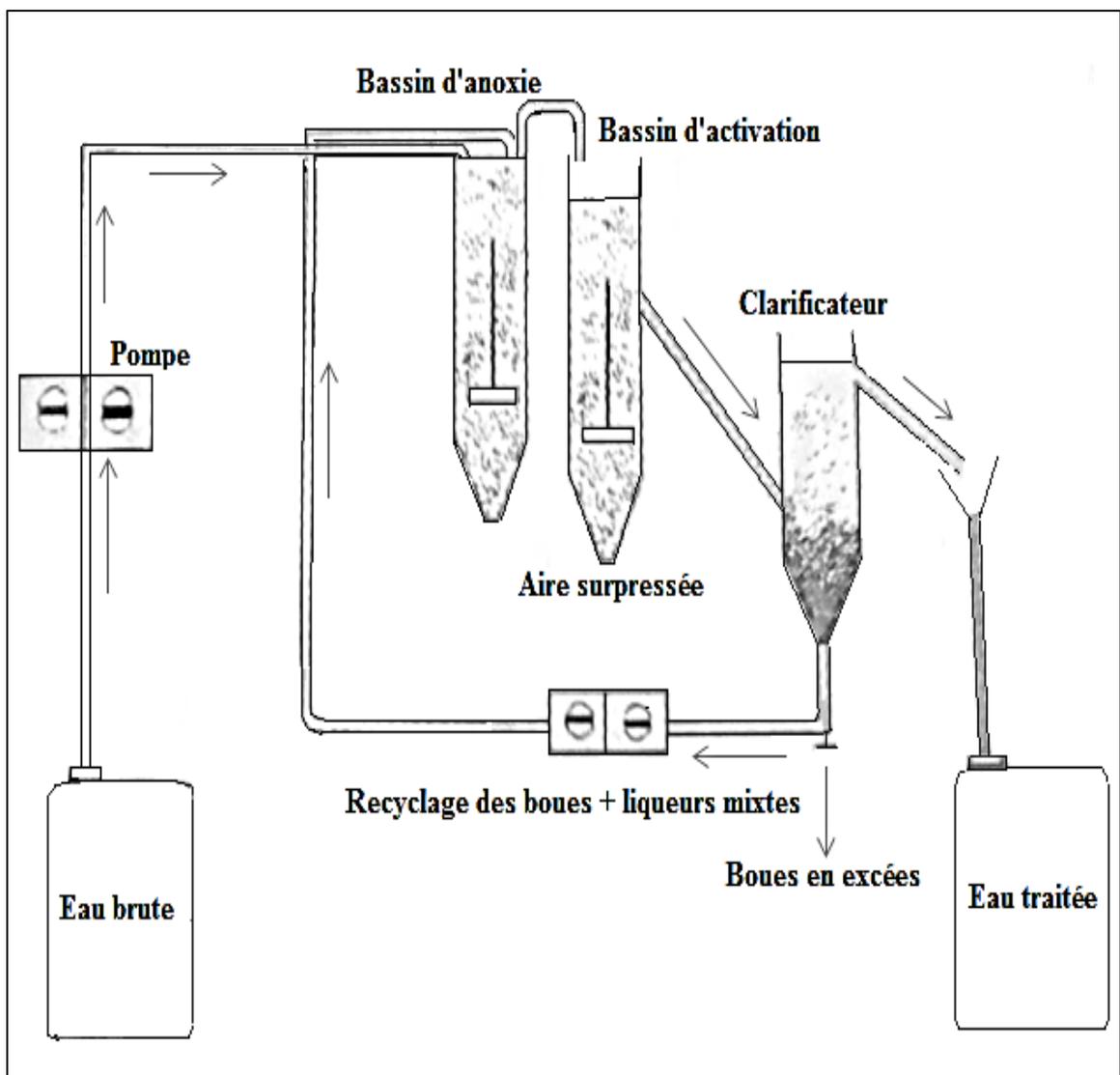


Figure IV-21 : Schéma du fonctionnement du réacteur biologique

Légende de vues de faces	
1.	Réservoir de stockage 1 pour l'eau d'arrivée.
2.	Fritte de ventilation.
3.	Vase d'anoxie.
4.	Oxymètre.
5.	Tubulure d'écoulement d'alimentation.
6.	Remueur (agitateur) pour le bassin d'anoxie.
7.	Tubulure d'écoulement de nitrification.
8.	Remueur (agitateur) pour le bassin d'aération.
9.	Vase d'aération.
10.	Tubulure d'écoulement de décantation finale.
11.	Tableau de commande.
12.	Entonnoir d'écoulement.
13.	Vase de décantation finale
14.	Tube de dépôt.
15.	Robinet à trois voies.
16.	Réservoir de stockage 2 pour l'eau épurée.
17.	Rouleau, blocable.

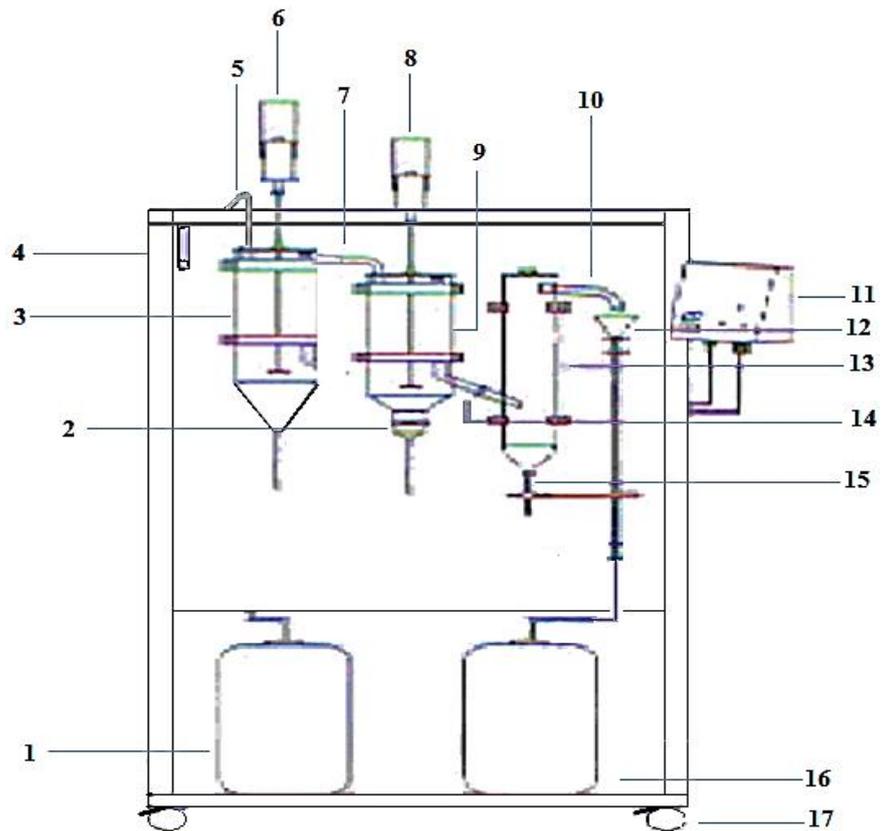


Figure IV-22 : Schéma de la vue de face du réacteur biologique

Légende de vues arrière	
6.	remueur (agitateur).
8.	Remueur (agitateur).
18.	Pompe à diaphragme
19.	Pompe tubulaire 1 pour la boue de recyclage.
20.	Commutateurs principale, rouge lumineux.
21.	Prise au secteur.
22.	Pompe tubulaire 2 pour l'eau d'arrivé.
23.	Barre de distribution du courant.

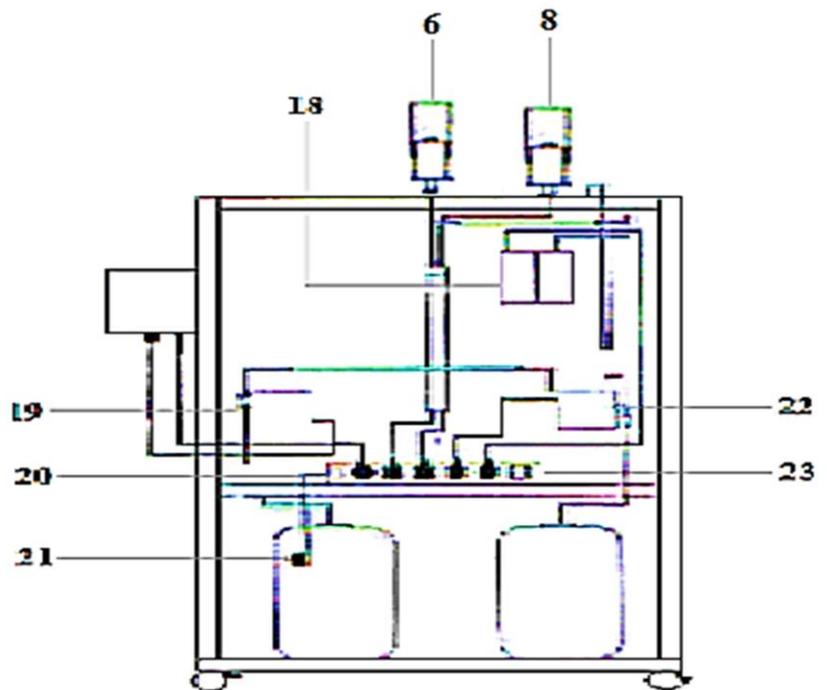


Figure IV-23 : Schéma de la vue arrière du réacteur biologique

IV-3- Matériels et méthodes

IV-3-1- Prélèvement des échantillons

Le prélèvement des échantillons a été effectué durant la période allant de février à avril 2013. Les échantillons d'eau usée destinés au traitement biologique ont été prélevés après l'ouvrage de prétraitement de la station de SIDI ALI LEBHAR.

Les échantillons d'un volume de 30 litres ont été prélevés dans des récipients en plastique préalablement rincés avec l'eau à épurer, ensuite transportés au laboratoire le plus rapidement possible.

IV-3-2- Phase d'ensemencement

L'ensemencement a été réalisé avec l'eau résiduaire de la station d'épuration de SIDI ALI LEBHAR. Cette phase qui a duré presque quatre semaines, a permis d'observer la formation des boues biologiques au fond du clarificateur. Durant cette phase, le réacteur fonctionne avec des conditions minimales d'agitation, d'aération et avec un débit de fonctionnement de 0,25 l/h.

IV-3-3- Méthode Analytiques

Les analyses physico-chimiques de l'eau usée avant et après traitement ont porté sur les paramètres suivants : la température, le pH, la conductivité, l'oxygène dissous, les matières en suspensions, la demande chimique en oxygène, la demande biochimique en oxygène en 5 jours, les nitrates, nitrites et les orthophosphates.

Après chaque opération d'analyse, le rendement est exprimé en pourcentage selon la formule suivante :

$$\eta (\%) = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

C_i : Concentration initiale.

C_f : concentration finale.

IV-3-3-1- Mesures des paramètres analytiques

Les différentes mesures analytiques ont été élaborées selon les protocoles qui suivent :

- **La température et le potentiel hydrique**

La mesure se fait à l'aide d'un thermomètre intégré à pH-mètre. Cette mesure est effectuée à l'aide d'un multi paramètres de marque **inoLAB* pH/ION/Cond 750** avec une sonde thermométrique. Nous avons plongé la sonde de pH dans un bécher rempli d'eau à analyser et nous avons atermoyé la stabilisation de la valeur affichée sur l'écran.

- **L'oxygène dissous et la conductivité**

Pour la mesure de l'oxygène dissous et la conductivité électrique, nous avons aussi utilisé le multi paramètres, seulement avec d'autres sondes destinées pour l'O₂ dissous et la conductivité.

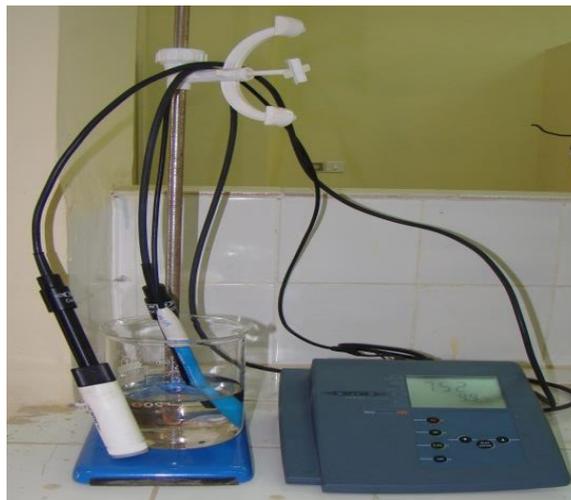


Figure IV-24 : Multi paramètres type inoLAB* pH/ION/Cond 750

- **Les matières en suspension (Méthode photométrique)**

Les matières en suspension ont été mesurées à l'aide d'un colorimètre (**DR/890 Colorimeter**).

La méthode photométrique de détermination des matières en suspension est une mesure directe qui ne nécessite ni filtration, ni séchage, ni pesée comme dans la méthode gravimétrique.



Figure IV-25 : Colorimètre type DR/890 Colorimeter

- **La demande chimique en oxygène (DCO)**

On a utilisé la méthode au dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$). Le principe de la détermination est basé sur l'oxydation des substances organiques par un excès de dichromate de potassium en milieu sulfurique à l'ébullition en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure.

L'excès de bichromate est dosé par une solution titrée de sulfate.

$$DCO = \frac{8000 (V_0 - V_1) \cdot T}{V}$$

V_0 : Volume de du sulfate de fer et d'ammonium ($Fe(NH_4)_2 (SO_4)_2$) nécessaire à l'essai à blanc en (ml) ;

V_1 : Volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage en (ml) ;

T : titre de ($Fe(NH_4)_2 (SO_4)_2$) à blanc ;

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



Figure IV-26 : plaque chauffante

- **La demande biochimique on oxygène (DBO₅)**

Les analyses ont été réalisées par la méthode manométrique à l'aide d'un DBO mètre de type **OXITop® IS 6**.



Figure IV-27: DBO mètre type OXITop® IS 6

- **Les nitrates**

Les nitrates sont dosés en présence de salicylate de sodium, qui confère à l'eau une coloration jaune susceptible d'un dosage spectrophotométrie à la longueur d'onde de 415 nm.

- **Les phosphates**

Les orthophosphates, sont dosés à l'aide d'un spectrophotomètre avec une longueur d'onde de 690 nm et ce, en présence de l'acide molybdate.

IV-4- Résultats et discussion

IV-4-1- Caractéristiques des eaux de la station

Avant chaque essai d'épuration biologique, un échantillon est prélevé pour pouvoir déterminer les principales caractéristiques des eaux résiduaires à épurer (l'eau à l'entrer).

Les valeurs moyennes des analyses effectuées sur les eaux usées de la station de Sidi Ali Lebhar. Sont illustrées dans le tableau (IV-12).

Tableau IV-12 : Compositions moyennes des eaux usées à l'entrée de la station Sidi Ali Lebhar.

Paramètres analytiques	Valeurs moyennes	Normes Algériennes des rejets
Couleur	Brunâtre ou trouble	/
Température	9°C	≤ 30 °C
pH	7,47	6,5 à 8,5
O₂ dissous	0,18 mg/l	≤ 5 mg/l
CE	2223,38 µS/cm	≤ 1250 µS/cm
MES	163,25 mg/l	≤ 35 mg/l
DCO	465,87 mg/l	≤ 120 mg/l
DBO₅	211,35 mg/l	≤ 35 mg/l
Biodégradabilité K=DCO/DBO₅	2,2	/
NO₃⁻	0,80 mg/l	≤ 40 mg/l
NO₂⁻	0,19 mg/l	/
PO₄⁻³	3,91 mg/l	≤ 2 mg/l

- **La couleur**

La couleur des eaux résiduaires de la station est brunâtre ou trouble ce que correspond aux eaux usées domestiques.

- **La température**

La température de l'eau suit le rythme de la saison et fluctue entre 6 et 10°C durant toutes les périodes d'essais.

- **Le pH**

Les valeurs de pH de l'eau correspondent aux valeurs habituelles des eaux usées domestiques, la valeur moyenne est de 7,47.

- **L'O₂ dissous**

Les valeurs moyennes de l'oxygène dissous sont comprises entre 0,07 et 0,37 mg/l, l'appauvrissement de ces eaux en oxygène dissous, peut provoquer le phénomène de l'eutrophisation dans le milieu naturel. L'oxygène dissous est l'un des paramètres le plus importants pour l'épuration biologique des eaux.

- **La conductivité électrique**

Elle traduit le degré de minéralisation globale, elle nous renseigne sur le taux de salinité. Les valeurs de la conductivité enregistrées au niveau des eaux usées brutes de la station varient entre 1041 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 2830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une moyenne de 2223 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces résultats pourraient être expliqués par le rejet des eaux usées résiduaires des unités industrielles qui sont probablement collectées au réseau d'assainissement de la ville de Sidi Ali Lebhar mais aussi par la contribution des évaporites se trouvant à proximité de la station non loin de la mer.

- **Les matières en suspension (MES)**

Les matières en suspension représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux usées. Leurs effets sur les caractéristiques physicochimiques de l'eau sont très néfastes (modification de la turbidité des eaux, réduction de la pénétration de la lumière mettant en péril la photosynthèse), les eaux usées brutes de la ville de Sidi Ali Lebhar caractérisées par une concentration moyenne de 163,25 mg/l avec une concentration maximale de 249 mg/l et une concentration minimale de 110 mg/l.

- **DCO**

La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes+ ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. Les valeurs de la DCO varient entre 307,2 mg/l et 614,4 mg/l. La valeur moyenne de la DCO enregistrée est de 465,87 mg/l.

- **DBO₅**

La DBO₅ est une expression pour indiquer la quantité d'oxygène qui est utilisée pour la destruction de matières organiques décomposables par des processus biochimiques. Les valeurs de la DBO₅ varient entre 123 mg/l et 318 mg/l avec une moyenne de 211,35 mg/l.

- **Biodégradabilité**

La biodégradabilité moyenne d'eaux usées brutes de la station de Sidi Ali Lebhar est de 2,2. Ces résultats constituent une indication de l'importance des matières polluantes peu ou pas biodégradables. Cette valeur moyenne du rapport DCO/DBO₅ de 2,2 conforme avec celui des eaux usées présentant un rapport DCO/DBO₅ inférieur à 2,5. Donc, on peut conclure que les eaux usées de ce rejet urbain sont moyennement biodégradables, qui confirme que les eaux usées brutes de la ville de Sidi Ali Lebhar sont faiblement chargées en matières organiques, mais fortement chargées en matières inorganiques.

- **L'azote et le phosphore**

Les concentrations moyennes en nitrate, nitrite et en phosphore sont respectivement de 0,80 mg/l, 0,19 mg/l et 3,91 mg/l.

La concentration en azote et en phosphore des effluents domestique peut atteindre quelques centaines de mg/l.

IV-4-2- Influence de la charge hydraulique (C_H) et la charge volumique (C_V) sur la performance du réacteur

Le tableau (IV- 13) donne les rendements d'élimination de la DCO en fonction de la charge volumique (C_v) dans les conditions opératoires suivantes :

- Alimentation par les eaux usées brutes de la station Sidi Ali Lebhar ;
- Absence de recyclage (Q_r=0) ;
- Variation des concentrations (C_i) ;
- Variation de la charge hydraulique (C_H).

Tableau IV-13 : Influence de la charge hydraulique et la charge volumique sur l'élimination de la pollution.

Q (m ³ /j)		Q= 0.25l/h = 6.10 ⁻³ m ³ /j			Q=0.5l/h = 12.10 ⁻³ m ³ /j			Q=1l/h = 24.10 ⁻³ m ³ /j			Q=1.5l/h =36.10 ⁻³ m ³ /j			Q=2l/h = 48.10 ⁻³ m ³ /j		
CH (m/j)		0,38			0,75			1,5			2,25			3		
T (h) = V/Q		40h (1,66 j)			20h (0.83 j)			10h (0,41 j)			6,67h (0.28 j)			5h (0.20 j)		
DCO _i (mg/l)	DBO _i (mg/l)	C _v (Kg DBO ₅ /m ³ /j)	DCO _f (mg/l)	n(%)	C _v (Kg DBO/m ³ /j)	DCO _f (mg/l)	n (%)	C _v (Kg DBO/m ³ /j)	DCO _f (mg/l)	n (%)	C _v (Kg DBO/m ³ /j)	DCO _f (mg/l)	n (%)	C _v (Kg DBO/m ³ /j)	DCO _f (mg/l)	n (%)
538,2	318	0,48	51,2	90,49	0,46	153,6	60	0,92	255,9	33,35	2,25	255,9	58,34	2,65	168	53,33
384	154															
614,4	250															
360	220															

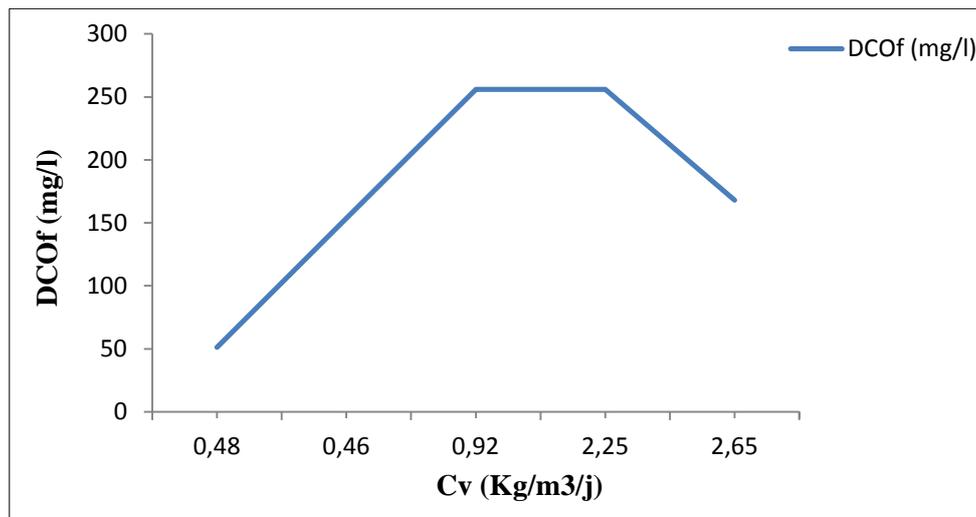


Figure IV-28 : Influence de la charge volumique sur la DCO résiduelle.

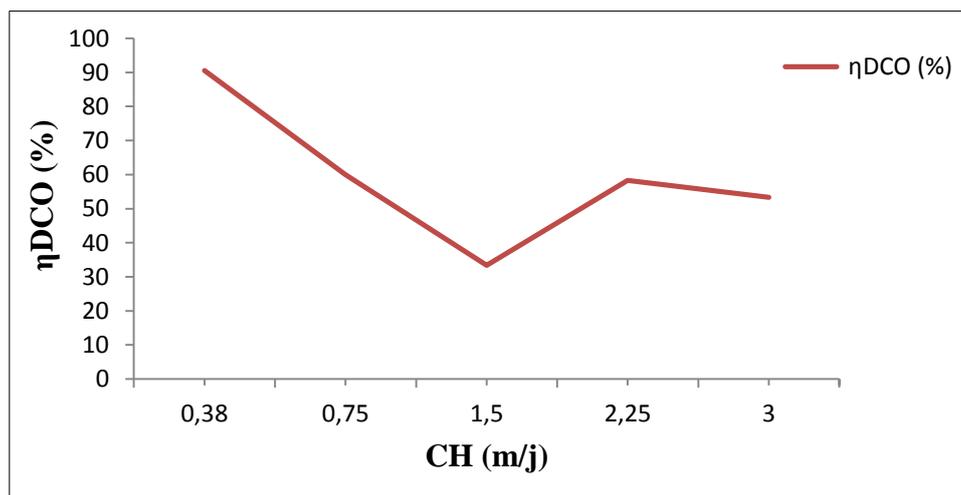


Figure IV-29 : Influence de la charge hydraulique sur les rendements.

Les manipulations sont réalisées avec des valeurs de C_v de 0,48 à 2,65 Kg DBO₅/m³/j. Donc les expérimentations sont réalisées dans les conditions de faible, moyenne et forte charge.

Les résultats de tableau (IV-13) montrent très clairement qu'un rendement maximal de 90,49% sur la DCO, peut être obtenu avec une charge hydraulique de 0,38 m/j correspond à un temps de passage de l'eau à traiter de 40 h

Dans les essais effectués, les concentrations résiduelles en DCO (DCO sortie) sont supérieures aux normes de rejet si en faisant varier la charge hydraulique de 0,75 m/j à 3 m/j,

correspondant à des temps de passage allant de 20h à 5h, le recyclage semble nécessaire. Cette hypothèse sera vérifiée dans la suite de ce travail expérimental.

Les résultats partiels représentés sur les figures (IV-30), (IV-31), (IV-32), (IV-33), (IV-34) sont une synthèse des résultats récapitulés dans les tableaux (IV-14), (IV-15), (IV-16), (IV-17) et (IV-18).

Ces figures montrent que quel que soit la concentration initiale de l'effluent et quel que soit la charge hydraulique appliquée, le régime permanent qui correspond à une DCO résiduelle quasi constante s'établit au bout de six heures de fonctionnement après le temps de passage pour les DCO et deux heures de fonctionnement après le temps de passage pour les MES.

Par ailleurs, il convient de noter que les valeurs des concentrations en MES et en DCO de l'effluent brute qui varient respectivement de 110 mg/l à 206 mg/l pour les MES, et de 360 mg/l à 614,4 mg/l, sont conformes à la composition moyenne d'une eau usée domestique.

Tableau IV-14 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 40h.

Paramètres	Temps de fonctionnement						Rendement (%)
	0h	44h	46h	48h	50h	52h	
Débit (l/h)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
DCO (mg/l)	538,2	358,4	256	153,6	51,2	51,2	90,49
MES (mg/l)	110	20	17	16	16	12	89,09

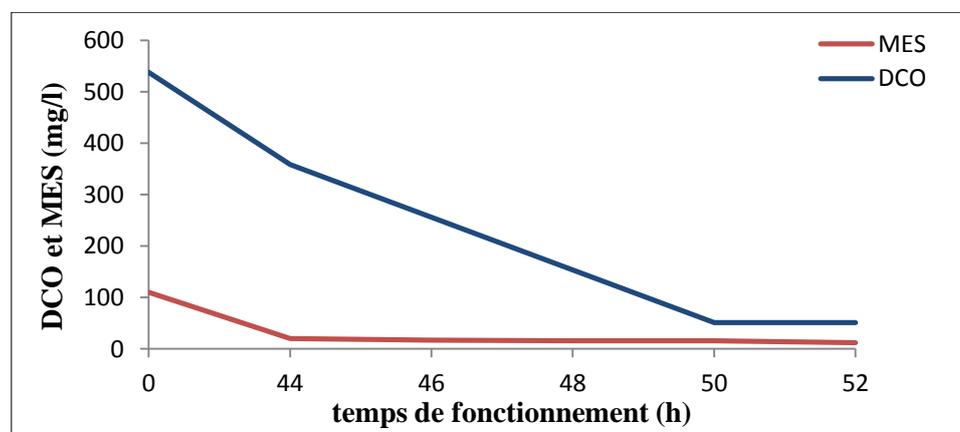


Figure IV-30 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 40h.

Tableau IV-15 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 20h.

Paramètre	Temps de fonctionnement						Rendement (%)
	0h	22h	24h	26h	28h	30h	
Débit (l/h)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
DCO (mg/l)	384	179,2	166,4	153,6	153,6	153,6	60
MES	199	13	10	17	16	25	87,44

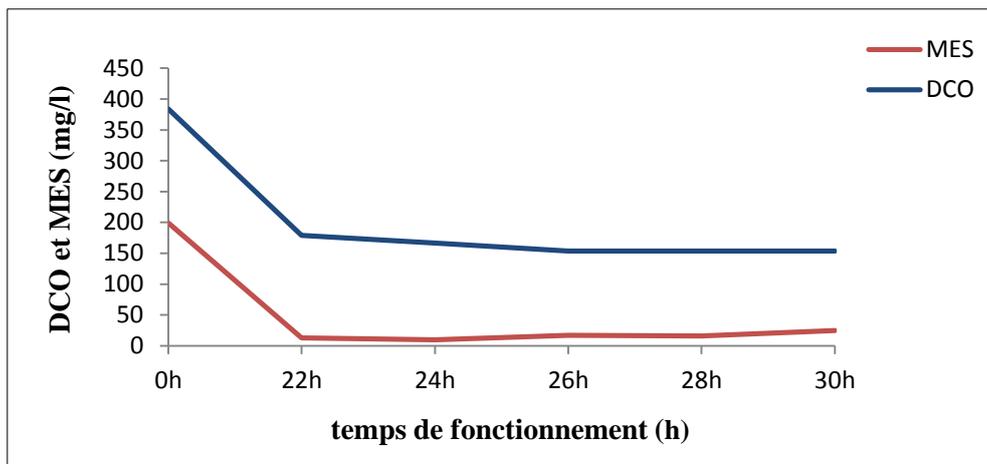


Figure IV-31 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 20h.

Tableau IV-16 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 10h.

Paramètre	Temps de fonctionnement						Rendement (%)
	0h	16h	18h	20h	22h	24h	
Débit (l/h)	1	1	1	1	1	1	
DCO (mg/l)	384	281,6	255,9	230,4	255,9	255,9	33,35
MES	199	42	39	33	32	27	86,43

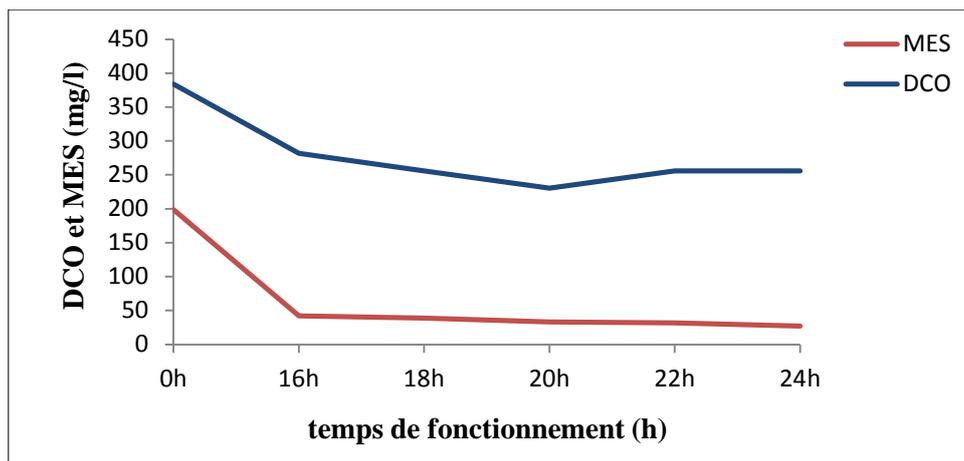


Figure IV-32 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 10h.

Tableau IV-17 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 6,67h.

Paramètre	Temps de fonctionnement						Rendement (%)
	0h	10h	12h	14h	16h	18h	
Débit (l/h)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
DCO (mg/l)	614,4	512	281,6	268,5	255,93	255,93	58,34
MES	206	52	41	52	55	59	71,36

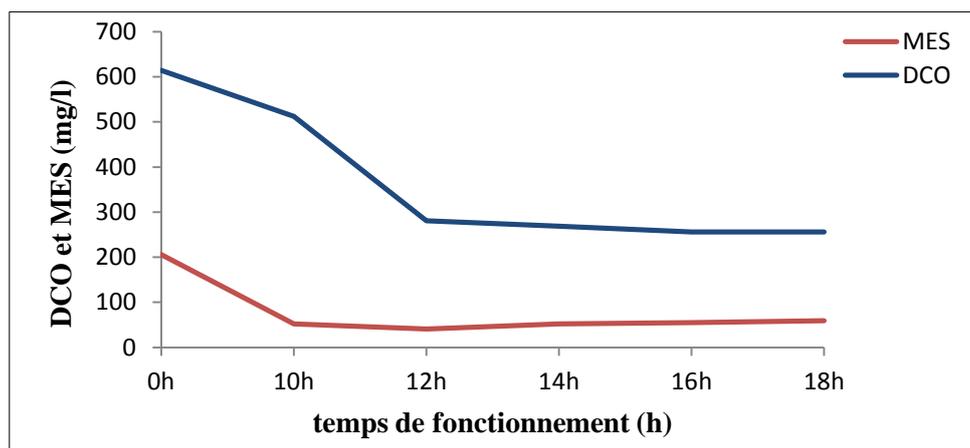


Figure IV-33 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 6,67h.

Tableau IV-18 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 5h.

Paramètre	Temps de fonctionnement						Rendement (%)
	0h	6h	8h	10h	12h	24h	
Débit (l/h)	2	2	2	2	2	2	
DCO (mg/l)	360	216	216	168	168	168	53,33
MES	135	72	71	63	70	40	70,37

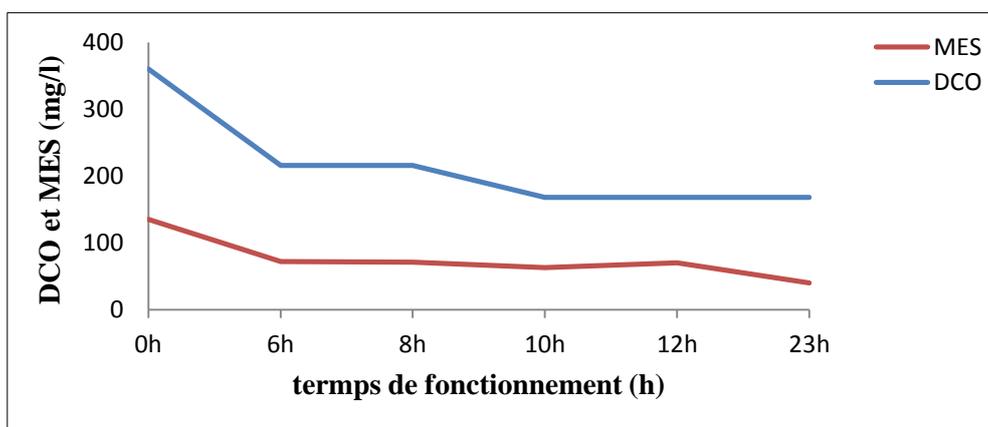


Figure IV-34 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en DCO et MES avec un temps de passage de 5h.

IV-4-3 : Influence de la charge hydraulique (C_H) sur l'élimination des $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$ et PO_4^{3-}

Les tableaux (VI-19), (IV-20), (IV-21), (IV-22) et (IV-23) montrent que le rendement d'élimination du phosphore dépend des charges hydrauliques, le temps de fonctionnement de réacteur biologique et les concentrations en phosphore de l'effluent à l'entrée. En raison des faibles concentrations en phosphore de l'effluent brut, il ne faut pas s'attendre à une déphosphatation biologique significative.

Les valeurs résiduelles du phosphore sont en dessous des normes fixées par la législation (qui est de 2 mg/l) pour chaque temps de passage sauf pour la charge 1,5 m/j et un temps de passage 6,67h ce qui signifie que la production des boues est faible (rendement d'élimination du phosphore très faible qui est de 21,6%) et ceci explique le faible rendement de la concentration résiduelle en DCO.

Les concentrations résiduelles (à la sortie) en N-NO_2^- et N-NO_3^- sont proportionnelles au temps de fonctionnement du réacteur pour chaque charge hydraulique appliquée, l'augmentation des concentrations en nitrates relatif au phénomène de nitrification biologique qui se produit au niveau de bassin d'aération.

Les concentrations résiduelles en nitrates sont bien en dessous des normes fixées par la législation qui recommande 40 mg/l.

La décantation secondaire ne permet pas de réduire la concentration en nitrate par la dénitrification biologique. Le recyclage vers le bassin d'anoxie en tête peut encore réduire les concentrations en nitrate de l'effluent à la sortie de la station. Cette hypothèse sera vérifiée dans la suite de ce travail expérimental.

Tableau IV-19 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{3-} avec un temps de passage de 40h.

paramètres	Temps de fonctionnement en (h)					Rendement (%)
	0 h	44 h	46 h	48 h	50 h	
Débits (l/h)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
N-NO_2^- (mg/l)	0,30	0,10	0,33	1,32	6,25	0
N-NO_3^- (mg/l)	1,32	0,45	1,44	5,74	27,14	0
PO_4^{3-} (mg/l)	1,75	0,75	0,45	0,35	0,33	81,14

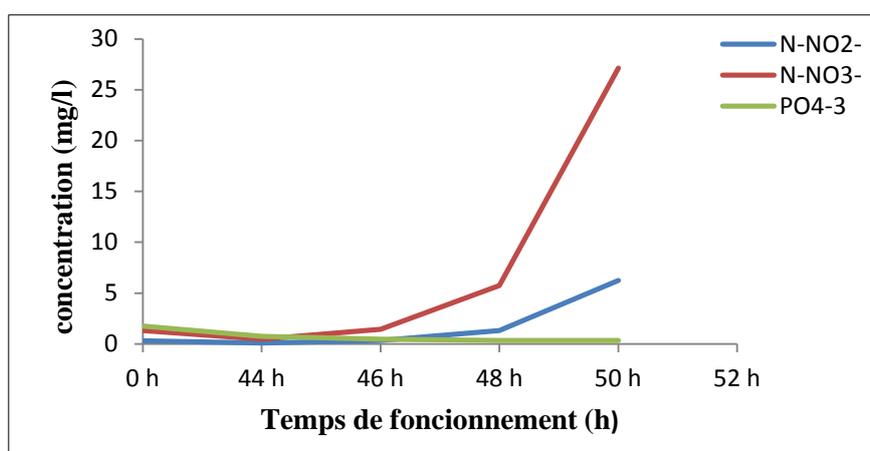


Figure IV-35 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{3-} avec un temps de passage de 40h.

Tableau IV-20 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{3-} avec un temps de passage de 20h.

paramètres	Temps de fonctionnement en (h)						Rendement (%)
	0 h	22 h	24 h	26 h	28 h	30 h	
Débits (l/h)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
N-NO_2^- (mg/l)	0,14	0,07	0,12	0,21	0,98	6,71	0
N-NO_3^- (mg/l)	0,59	0,31	0,50	0,93	4,27	29,13	0
PO_4^{3-} (mg/l)	4,40	1,31	0,98	0,94	0,25	0,06	98,64

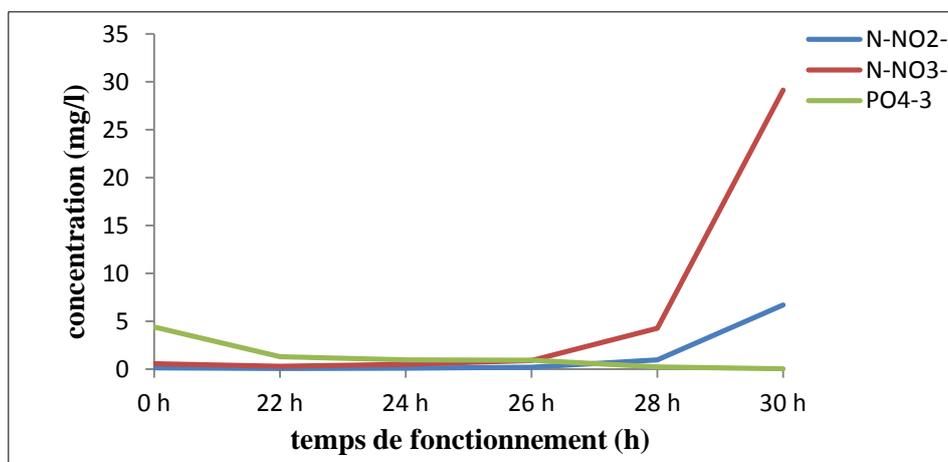


Figure IV-36 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{3-} avec un temps de passage de 20 h.

Tableau IV-21 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{3-} avec un temps de passage de 10h.

paramètres	Temps de fonctionnement en (h)						Rendement (%)
	0 h	16 h	18 h	20 h	22 h	24 h	
Débits (l/h)	1	1	1	1	1	1	
N-NO_2^- (mg/l)	0,14	0,06	0,09	0,11	0,13	0,16	0
N-NO_3^- (mg/l)	0,59	0,27	0,41	0,48	0,55	0,68	0
PO_4^{3-} (mg/l)	4,40	4,65	4,62	3,60	3,53	3,45	21,60

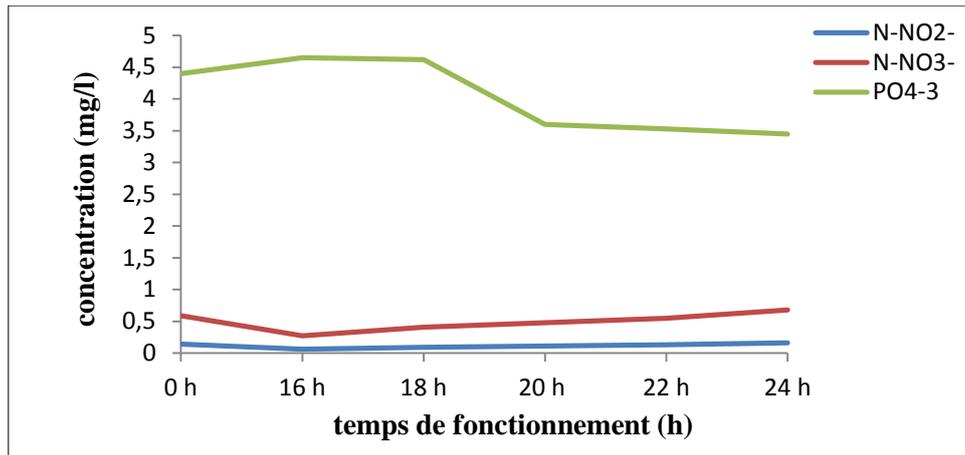


Figure IV-37 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ et PO₄⁻³ avec un temps de passage de 10h.

Tableau IV-22 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ et PO₄⁻³ avec un temps de passage de 6,67h.

paramètres	Temps de fonctionnement en (h)					Rendement (%)
	0 h	10 h	12 h	14 h	16 h	
Débits (l/h)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
N-NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,13	0,09	0,12	0,12	0,13	0
N-NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,55	0,41	0,51	0,53	0,57	0
PO ₄ ⁻³ (mg/l)	4,88	4,68	3,66	3,16	1,44	70,49

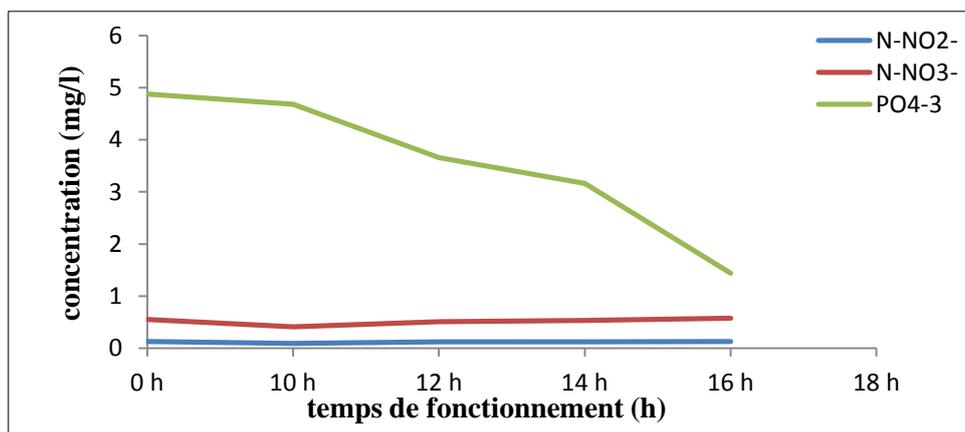


Figure IV-38: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ et PO₄⁻³ avec un temps de passage de 6,67 h.

Tableau IV-23 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{3-} avec un temps de passage de 5 h.

paramètres	Temps de fonctionnement en (h)						Rendement (%)
	0 h	6 h	8 h	10 h	12 h	24 h	
Débits (l/h)	2	2	2	2	2	2	
N-NO_2^- (mg/l)	0,15	0,44	0,45	0,61	1,64	3,03	0
N-NO_3^- (mg/l)	0,63	1,91	1,97	2,66	7,13	13,12	0
PO_4^{3-} (mg/l)	5,63	3,28	1,78	0,33	0,68	0,52	90,76

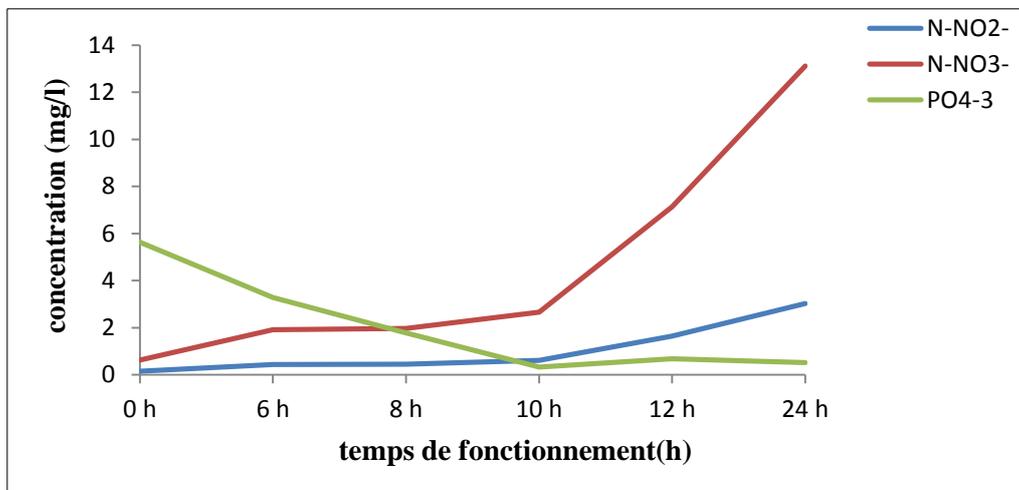


Figure IV-39: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{3-} avec un temps de passage de 5 h.

IV-4-4- Influence de taux de recyclage (T_R) et la concentration initiale en substrat (C_i) sur l'élimination de la pollution avec les différents temps de passage

Le tableau IV- 24 donne les résultats obtenus dans les conditions suivantes :

- Effluent brut de la station Sidi Ali Lebher ;
- Présence de recyclage ;
- Variation de concentration en DCO à l'entrée ;
- Variation de la charge hydraulique.

Tableau IV- 24 : Influence du taux de recyclage (R) et de la concentration initiale en substrat (C_i) sur l'élimination de la pollution.

Débits (l/h)	Q= 0.5 l/h=12.10 ⁻³ m ³ /j					Q= 1 l/h=24.10 ⁻³ m ³ /j				Q= 1.5 l/h=36.10 ⁻³ m ³ /j			Q= 2 l/h=48.10 ⁻³ m ³ /j			
C _H (m/j)	0,75					1,5				2,25			3			
T = V/Q (h)	20					10				6,67			5			
Taux de recyclage	T _R (%)					T _R (%)				T _R (%)			T _R (%)			
	50	100	200	300	400	50	100	150	200	66	100	133	50	75	100	
DCO _i (mg/l)	307,2					563,2				600	600			360		
DBO _i (mg/l)	124			123		228			241	241			220			
DCO _f (mg/l)	76,8	51,2	51,2	51,2	51,2	120	51,2	96	96	120	96	120	120	144	108	
η (%)	75	83,33	83,33	83,33	83,33	78,69	90,9	82,95	84	80	84	80	66,67	60	70	
C _V (kg DBO/m ³ /j)	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	1,37	1,37	1,37	1,45	2,17	2,17	2,17	2,64	2,64	2,64	

Le tableau IV-24 montre que les DCO résiduelles diminuent avec l'augmentation des taux de recyclage de 50% à 100% pour la charge hydraulique de 0,75 m/j. Au-delà de cette valeur de 100% les valeurs restent constantes et en dessous des normes fixées par les législations.

Pour les charges hydrauliques de 0,75, 1,5 et 2,25 m/j les DCO résiduelles obtenus sont en dessous de la norme fixée par la législation pour tous les taux de recyclage allant de 50 à 400%.

L'augmentation de la charge hydraulique à 3 m/j, montre que la valeur de DCO de sortie est supérieure à la norme pour le taux de recyclage 75%.

Les charges hydrauliques et les concentrations en substrats influent significativement sur les rendements de traitement pour chaque taux de recyclage.

Le meilleur rendement est obtenu avec une charge hydraulique de 1,5 m/j et un taux de recyclage de 100%.

Par ailleurs, les résultats obtenus montrent que l'augmentation du taux de recyclage de 100 à 400 ne permet pas d'améliorer significativement le rendement d'élimination de la

DCO, puisque le gain engendré ne dépasse pas 7% alors que ce gain aux voisines de 13% lorsque le taux de recyclage passe de 50 à 100.

Les figures (IV-40), jusqu'à la figure (IV-54) montrent que quel que soit la concentration en DCO et MES à l'entrée, un abaissement enregistré approximativement au bout de 2h de fonctionnement après le temps de passage pour la DCO et avec une montée en régime permanent au bout de 6 heures. Pour les MES le régime permanent est obtenu au bout de 2h de fonctionnement après le temps de passage.

Les résultats récapitulés dans les tableaux de l'annexe (I) avec recyclage sont représenté sur les figures (IV- 44), jusqu' à la figure (IV- 54).

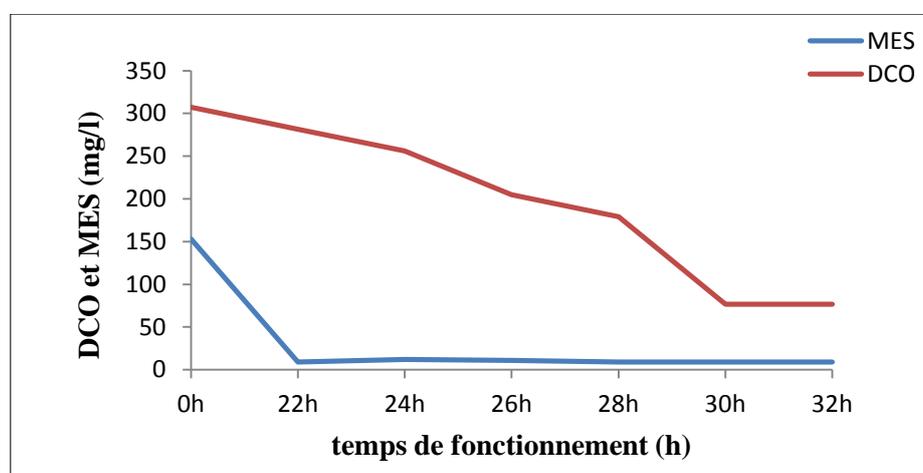


Figure IV-40 : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 50%.

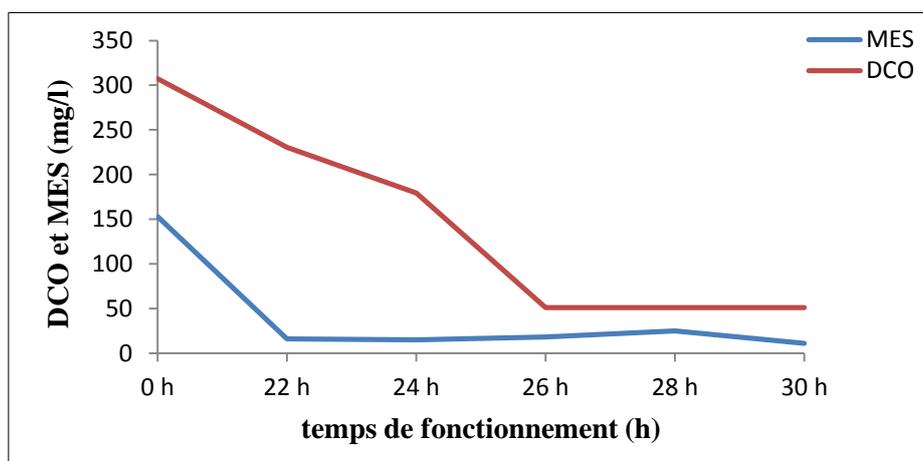


Figure IV-41 : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 100%.

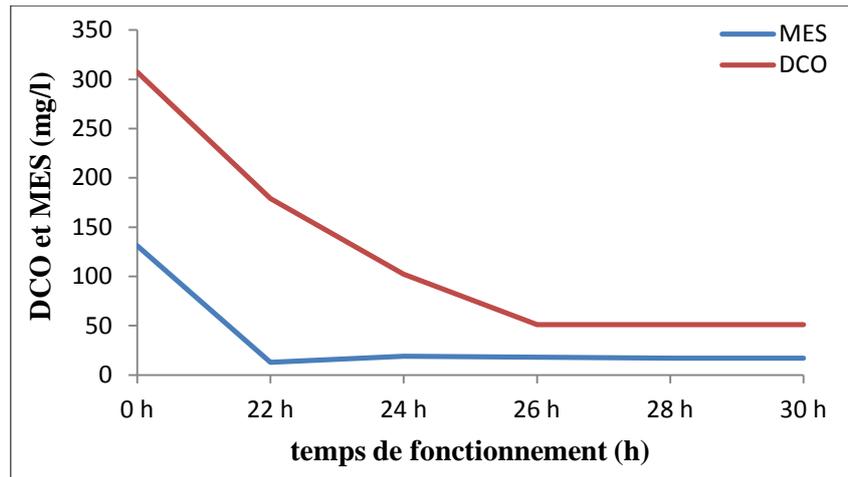


Figure IV-42 : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 200%.

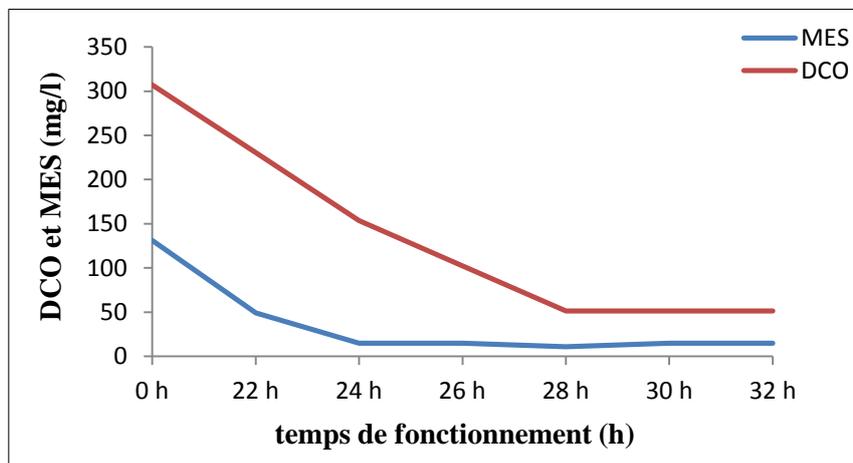


Figure IV-43 : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 300%.

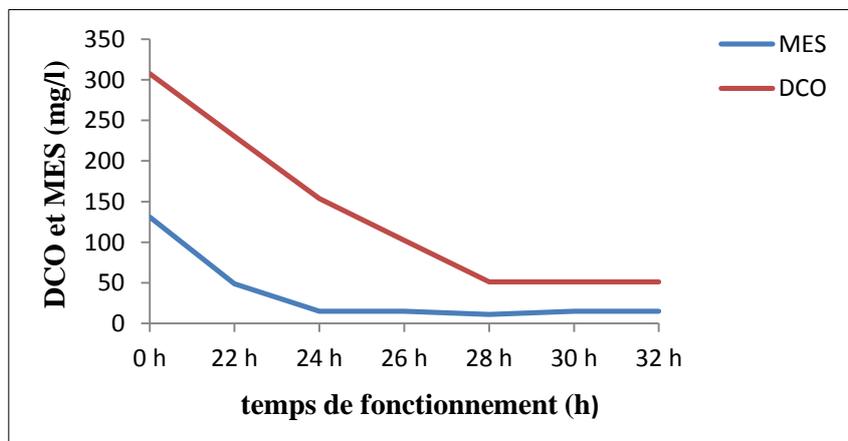


Figure IV-44 : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 400%.

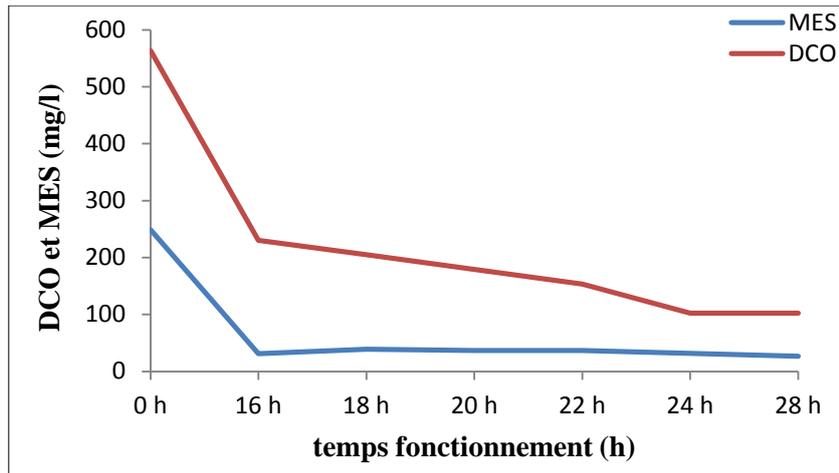


Figure (IV-45) : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 50%.

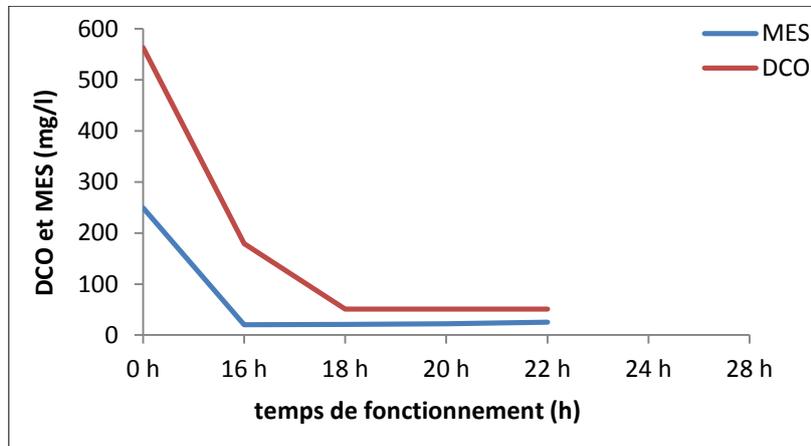


Figure (IV-46) : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 100%.

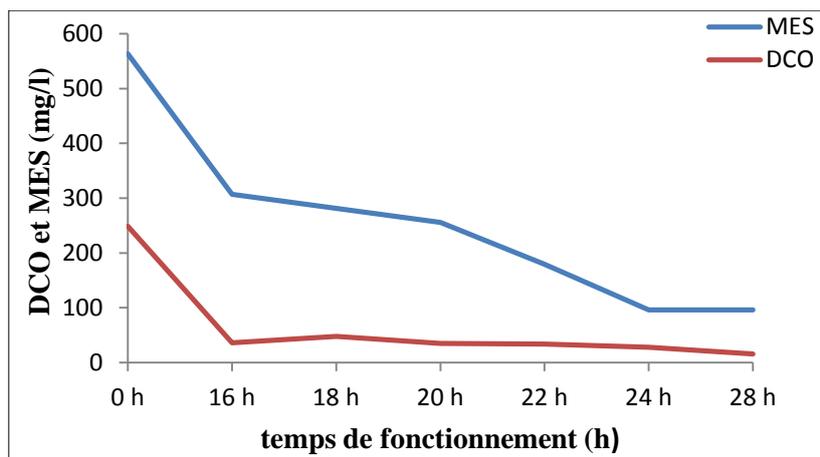


Figure (IV-47) : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage 150%

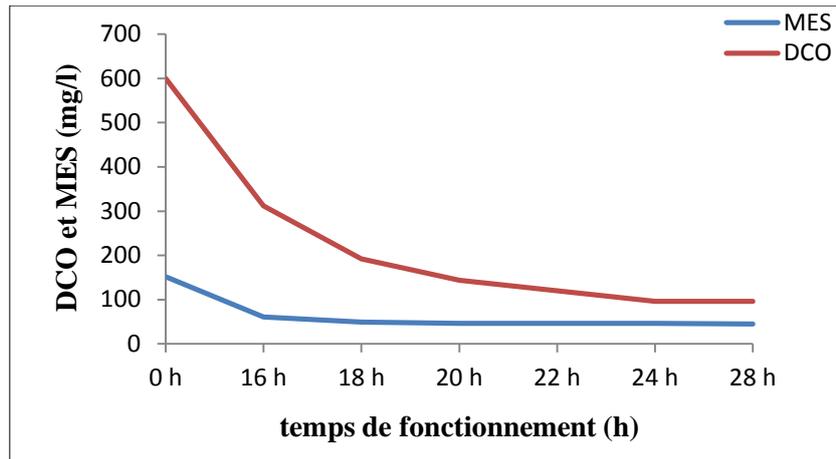


Figure (IV-48) : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 200%.

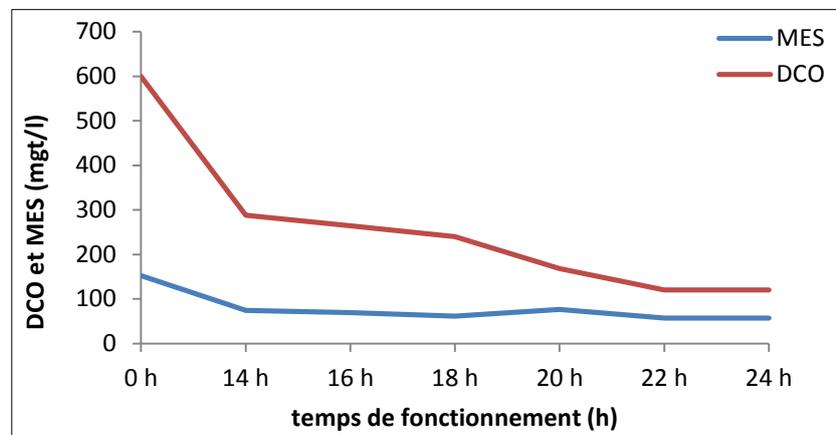


Figure (IV-49) : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 66%.

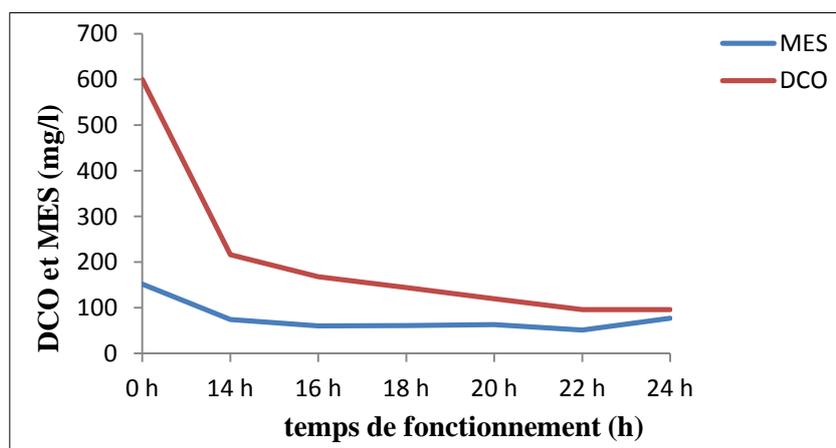


Figure (IV-50) : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 100%.

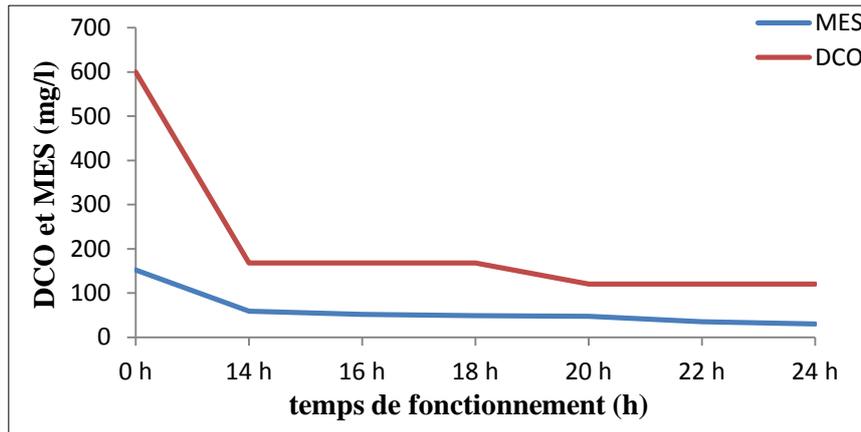


Figure (IV-51) : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 133%.

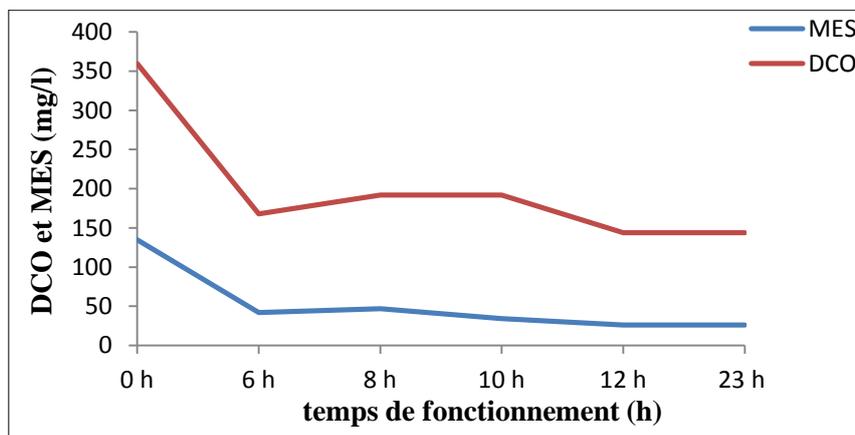


Figure (IV-52) : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 50%.

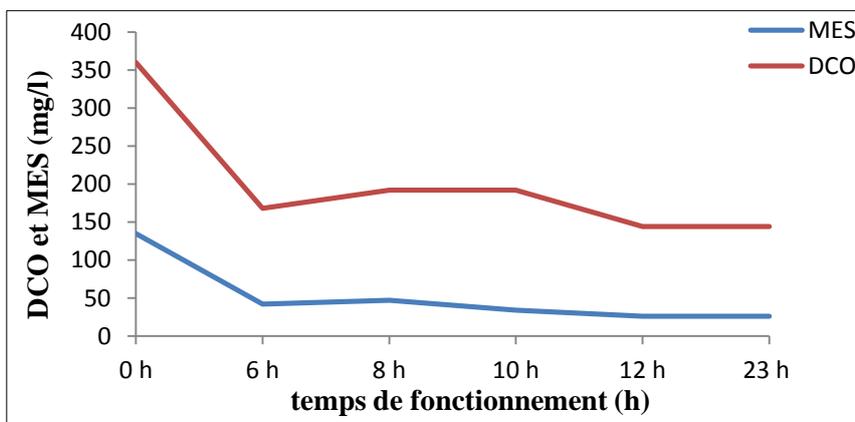


Figure (IV-53) : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 75%.

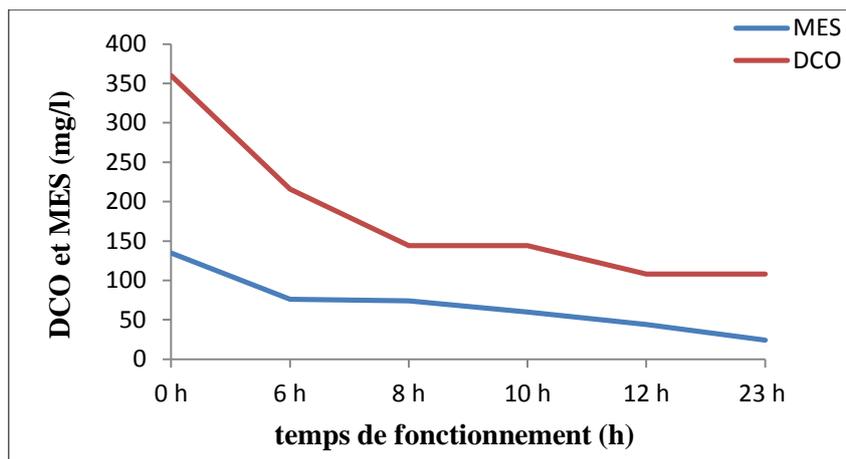


Figure (IV-54) : Influence du temps de fonctionnement sur la DCO et MES avec un taux de recyclage de 100%.

IV-4-5 : Influence du taux de recyclage (T_R) et les concentrations en substrat (C_i) sur l'élimination de $N-NO_2^-$ et $N-NO_3^-$

Les tableaux (IV-25), (IV-26), (IV-27) et (IV-28) montrent que le rendement d'élimination des phosphates varie entre 83,20% et 99,65% pour des taux de recyclage allant de 50% à 400% et un temps de passage respectivement de 20h, 10h, 6,67h et 5h.

Les rendements d'élimination des orthophosphates sont proportionnels au taux de passage et au taux de recyclage des boues.

Dans tous les cas, les concentrations résiduelles des orthophosphates examinées sont inférieures à la norme indiquée, qui est de 2 mg/l.

Les résultats des tableaux (IV-25), (IV-26), (IV-27) et (IV-28), montrent que la nitrification biologique est remarquée dans le bassin d'aération de la mini-station par la production importante des nitrates, suite à la transformation de l'ammonium en nitrites puis en nitrates.

Le bassin d'anoxie en tête ne permet pas d'éliminer significativement les nitrates recyclés du décanteur secondaire et cela relative à l'appauvrissement de l'effluent en matière organique biodégradable utilisée comme source de carbone par les bactéries dénitrifiantes, si on apporte en plus une source de carbone facilement assimilable, la dénitrification s'accélère.

La présence de l'organosulfuré, et les sels peut s'avérer très toxique pour la biomasse nitrifiante et dénitrifiante.

La production des nitrates dépend de la concentration de l'effluent en ammonium et en matière organique, des charges hydrauliques et des taux de recyclage de l'effluent.

Les tableaux précédents montrent que les concentrations résiduelles en nitrates sont bien en dessous de norme fixée par la législation qu'est de 40 mg/l.

Les résultats récapitulés dans le tableau IV-25 sont représentés sur les figures (IV- 55), (IV- 56), (IV- 57), (IV- 58), (IV- 59).

Les figures (IV-60), (IV-61), (IV-62), (IV-63) (IV-64), (IV-65), (IV-66), (IV-67) (IV- 68), (IV-69), représentent les résultats d'analyse des tableaux (IV-26), (IV-27) et (IV-28).

Tableau IV-25 : Influence du temps de fonctionnement et le taux de recyclage sur l'élimination $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$ et PO_4^{3-} avec un temps de passage de 20h.

Taux de recyclage en (%)	Paramètres analytique	Temps de fonctionnement en (h)							Rendement (%)
		0 h	22 h	24 h	26 h	28 h	30 h	32 h	
	Débit (l/h)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
R= 50	$N-NO_2^-$ (mg/l)	0,26	0,32	0,45	0,73	1,02	/	/	0
	$N-NO_3^-$ (mg/l)	1,12	1,39	1,96	3,16	4,44	/	/	0
	PO_4^{3-} (mg/l)	2,84	0,19	0,05	0,02	0,02	/	/	99,30
R= 100	$N-NO_2^-$ (mg/l)	0,26	0,08	0,53	0,60	0,80	1,38	/	0
	$N-NO_3^-$ (mg/l)	1,12	0,32	2,28	2,59	3,46	6,00	/	0
	PO_4^{3-} (mg/l)	2,84	0,65	0,27	0,04	0,02	0,01	/	99,65
R= 200	$N-NO_2^-$ (mg/l)	0,26	0,99	1,75	2,74	2,87	4,64	/	0
	$N-NO_3^-$ (mg/l)	1,12	4,31	7,60	11,89	12,44	20,12	/	0
	PO_4^{3-} (mg/l)	2,84	2,32	0,99	0,20	0,17	0,17	/	94,01
R= 300	$N-NO_2^-$ (mg/l)	0,12	3,48	3,51	3,74	5,35	5,66	/	0
	$N-NO_3^-$ (mg/l)	0,5	15,09	15,23	16,21	23,20	24,57	/	0
	PO_4^{3-} (mg/l)	3,47	0,15	0,11	0,11	0,04	0,04	/	98,85
R= 400	$N-NO_2^-$ (mg/l)	0,12	0,53	1,03	4,97	5,16	5,89	6,33	0
	$N-NO_3^-$ (mg/l)	0,50	2,32	4,46	21,56	22,38	25,55	27,48	0
	PO_4^{3-} (mg/l)	3,47	0,14	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	99,42

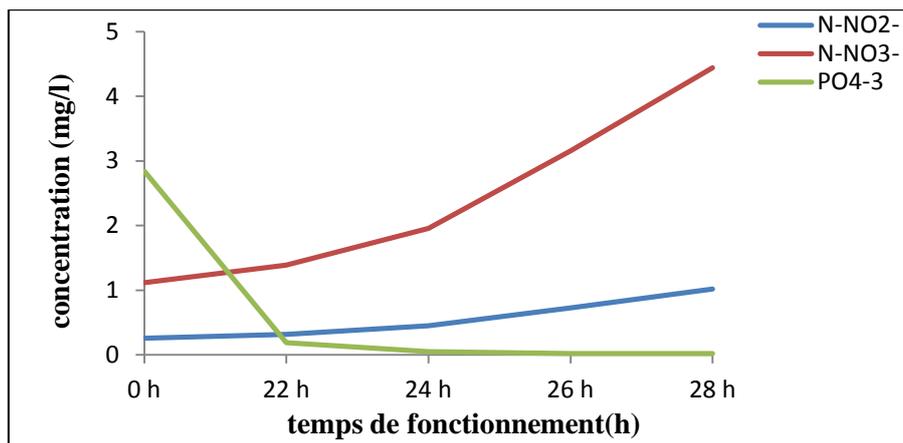


Figure IV-55 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ et PO₄⁻³ avec un taux de recyclage de 50%.

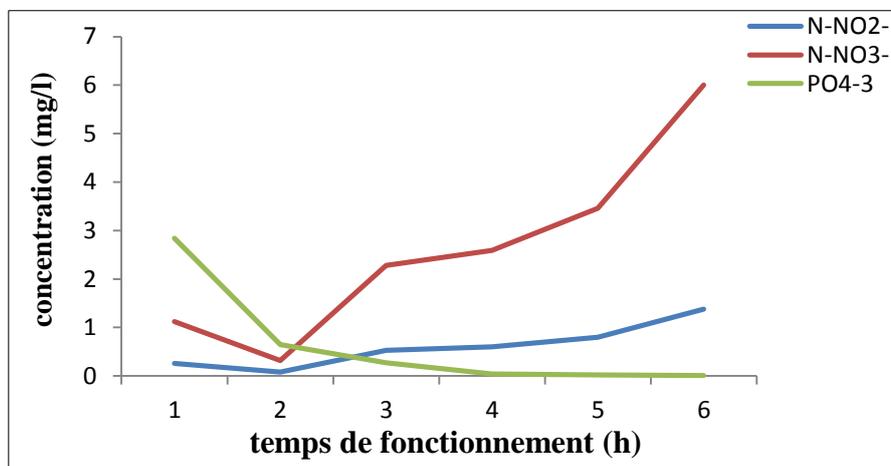


Figure IV-56 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ et PO₄⁻³ avec un taux de recyclage de 100%.

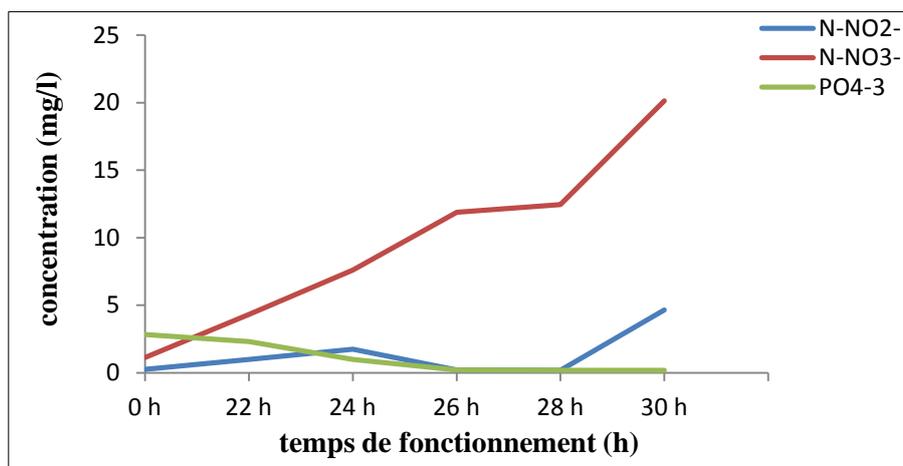


Figure IV-57 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ et PO₄⁻³ avec un taux de recyclage de 200%.

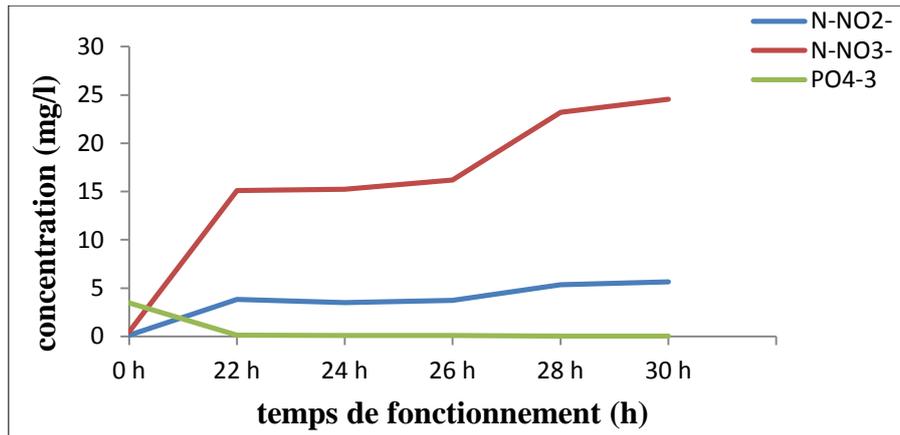


Figure IV-58 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 300%.

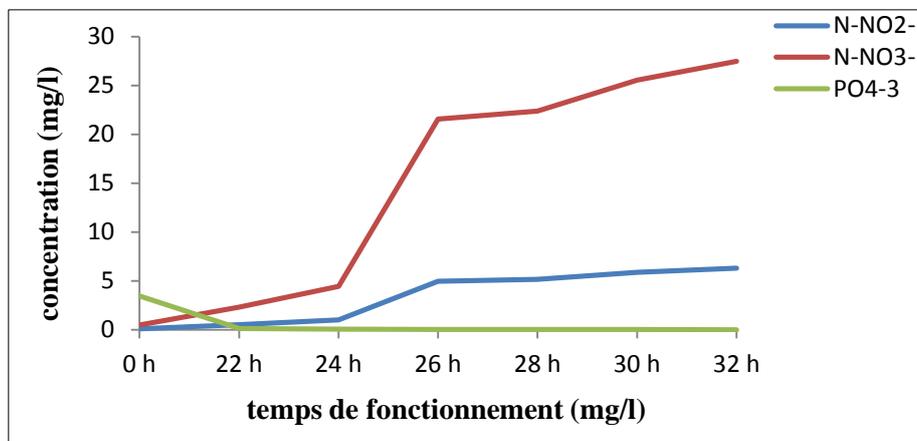


Figure IV-59 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 400%.

Tableau IV-26 : Influence du temps de fonctionnement et le taux de recyclage sur l'élimination $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$ et PO_4^{-3} avec un temps de passage de 10h.

Taux de recyclage en (%)	Paramètres analytique	Temps de fonctionnement en (h)							Rendement (%)
		0 h	16 h	18 h	20h	22 h	24 h	26 h	
	Débit (l/h)	1	1	1	1	1	1	1	
R= 50	$N-NO_2^-$ (mg/l)	0,20	1,05	1,22	2,52	2,78	3,73	/	0
	$N-NO_3^-$ (mg/l)	0,87	4,54	5,28	10,93	12,08	16,19	/	0
	PO_4^{-3} (mg/l)	2,70	0,13	0,11	0,04	0,03	0,01	/	99,63
R= 100	$N-NO_2^-$ (mg/l)	0,20	0,18	0,20	0,21	0,36	2,21	/	0
	$N-NO_3^-$ (mg/l)	0,87	0,77	0,87	0,93	1,58	9,60	/	0
	PO_4^{-3} (mg/l)	2,70	0,29	0,27	0,20	0,17	0,03	/	98,89
R= 150	$N-NO_2^-$ (mg/l)	0,20	0,02	0,06	0,11	0,15	0,17	0,21	0
	$N-NO_3^-$ (mg/l)	0,87	0,07	0,26	0,48	0,65	0,72	0,93	0
	PO_4^{-3} (mg/l)	2,70	0,38	0,28	0,16	0,13	0,11	0,09	96,67
R= 200	$N-NO_2^-$ (mg/l)	0,23	0,01	0,08	0,16	0,93	1,47	1,52	0
	$N-NO_3^-$ (mg/l)	0,99	0,05	0,36	0,70	4,04	6,36	6,60	0
	PO_4^{-3} (mg/l)	3,63	0,60	0,40	0,36	0,35	0,28	0,25	93,11

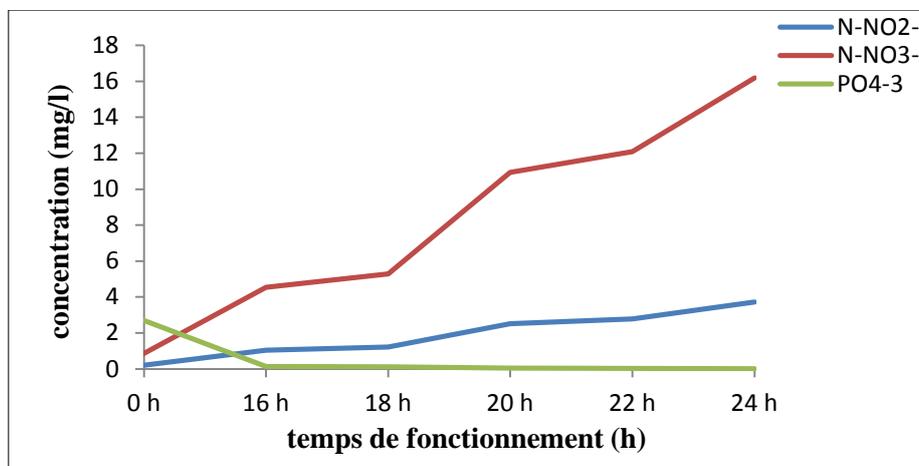


Figure IV-60 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$ et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 50%.

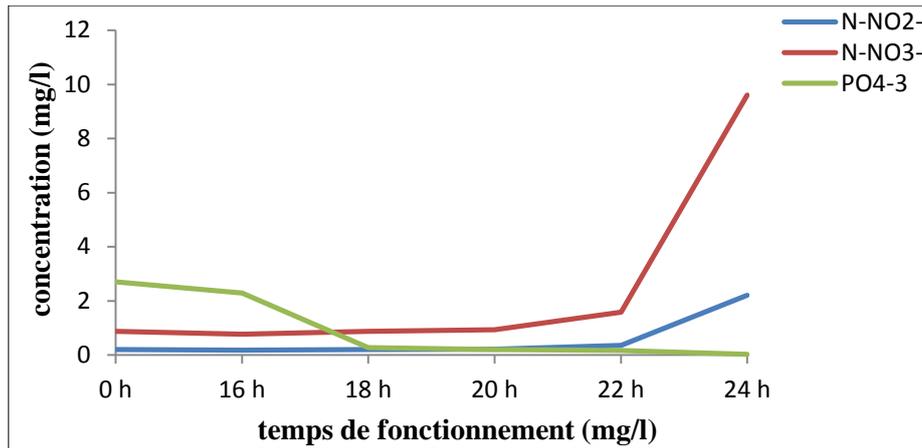


Figure IV-61: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ et PO₄⁻³ avec un taux de recyclage de 100%.

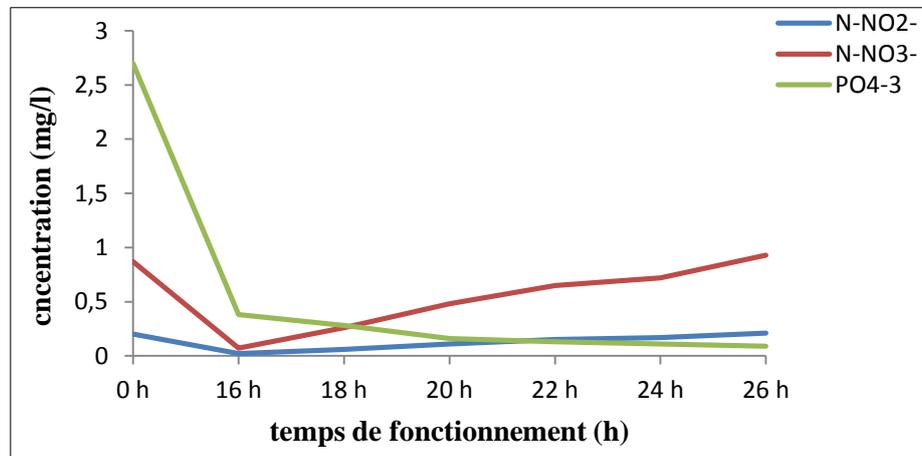


Figure IV-62 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ et PO₄⁻³ avec un taux de recyclage de 150%.

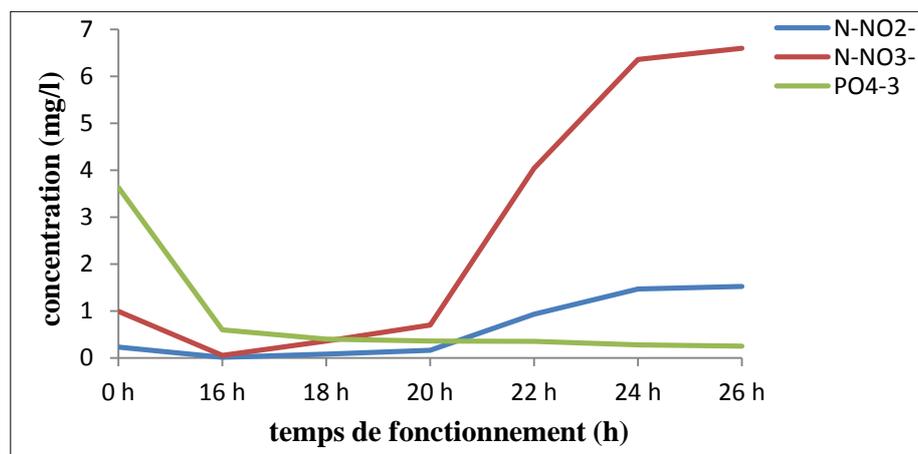


Figure IV-63 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ et PO₄⁻³ avec un taux de recyclage de 200%.

Tableau IV-27 : Influence du temps de fonctionnement et le taux de recyclage sur l'élimination N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{3-} avec un temps de passage de 6,67h.

Taux de recyclage en (%)	Paramètres analytique	Temps de fonctionnement en (h)							Rendement (%)
		0 h	14h	16 h	18h	20 h	22 h	24 h	
	Débit (l/h)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
R= 66	N-NO_2^- (mg/l)	0,23	0,05	0,07	0,24	0,24	0,32	2,13	0
	N-NO_3^- (mg/l)	0,99	0,21	0,31	1,04	1,04	1,41	/	0
	PO_4^{3-} (mg/l)	3,63	4,2	4,05	3,58	1,71	0,95	0,61	83,20
R= 100	N-NO_2^- (mg/l)	0,23	0,07	0,11	0,13	0,41	1,01	1,06	0
	N-NO_3^- (mg/l)	0,99	0,30	0,46	0,58	1,78	4,37	4,60	0
	PO_4^{3-} (mg/l)	3,63	1,31	0,95	0,92	0,24	0,17	0,02	99,45
R= 133	N-NO_2^- (mg/l)	0,23	0,14	0,14	0,26	0,46	0,69	0,83	0
	N-NO_3^- (mg/l)	0,99	0,59	0,60	1,15	1,99	3,00	3,58	0
	PO_4^{3-} (mg/l)	3,63	0,20	0,15	0,10	0,03	0,02	0,02	99,45

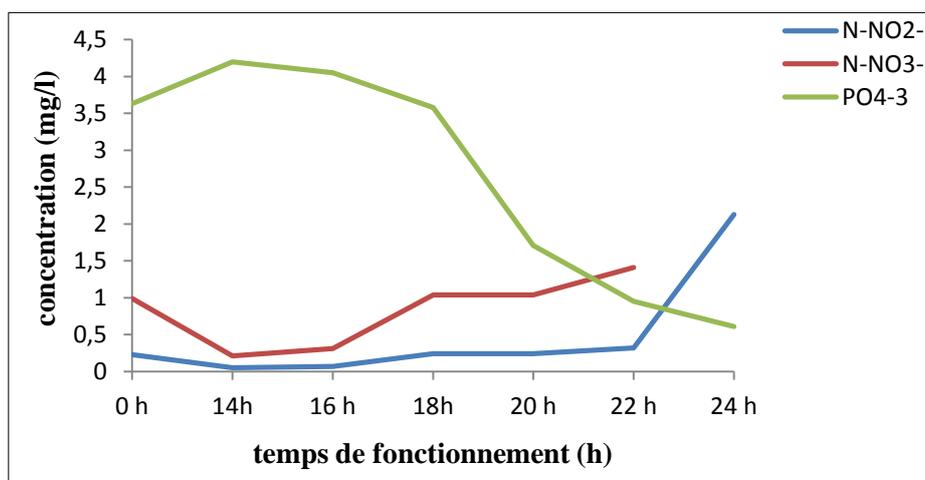


Figure IV-64 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{3-} avec un taux de recyclage de 66%.

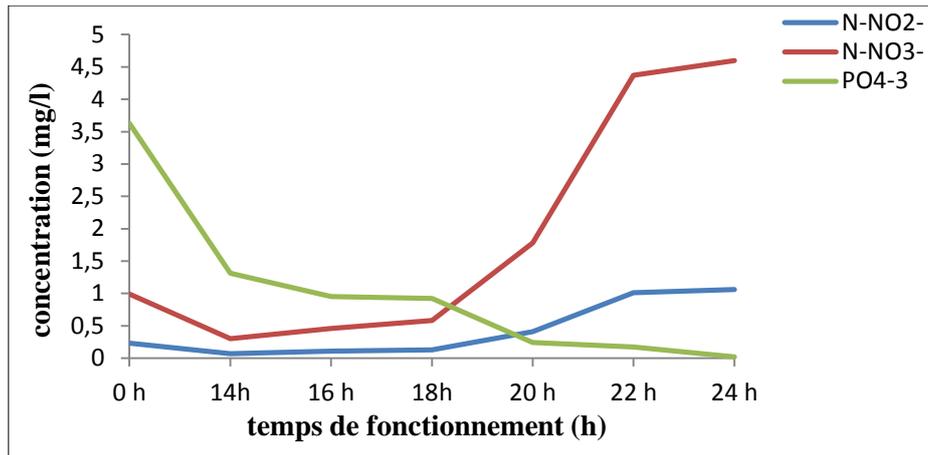


Figure IV-65 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{3-} avec un taux de recyclage de 100%.

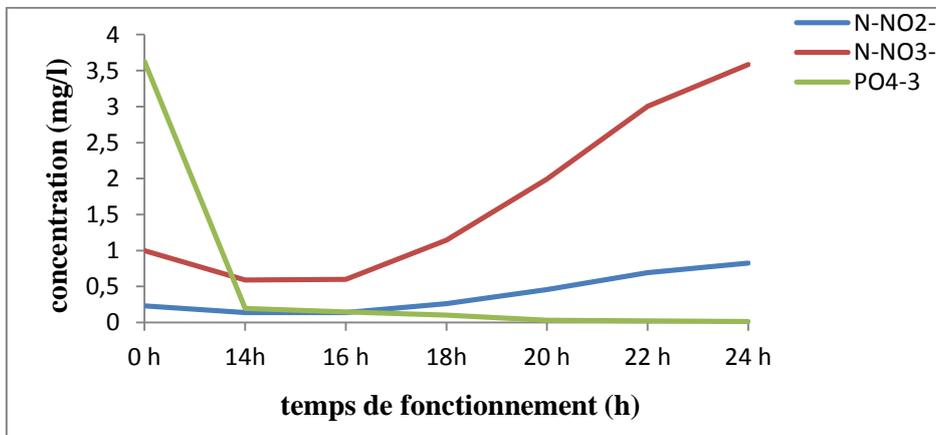


Figure IV- 66: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{3-} avec un taux de recyclage de 133%.

Tableau IV-28 : Influence du temps de fonctionnement et le taux de recyclage sur l'élimination N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{-3} avec un temps de passage de 5h.

Taux de recyclage en (%)	Paramètres analytique	Temps de fonctionnement en (h)						Rendement (%)
		0 h	6 h	8 h	10 h	12 h	24 h	
	Débit (l/h)	2	2	2	2	2	2	
R= 50	N-NO_2^- (mg/l)	0,15	0,06	0,17	0,17	0,42	0,46	0
	N-NO_3^- (mg/l)	0,63	0,26	0,72	0,75	1,82	2,01	0
	PO_4^{-3} (mg/l)	5,63	2,37	0,98	0,43	0,35	0,24	95,74
R= 75	N-NO_2^- (mg/l)	0,15	0,05	0,09	0,13	0,15	0,18	0
	N-NO_3^- (mg/l)	0,63	0,22	0,38	0,55	0,63	0,80	0
	PO_4^{-3} (mg/l)	5,63	2,12	1,05	0,80	0,30	0,23	95,91
R= 100	N-NO_2^- (mg/l)	0,15	0,01	0,02	0,09	0,11	0,24	0
	N-NO_3^- (mg/l)	0,63	0,05	0,08	0,41	0,46	1,02	0
	PO_4^{-3} (mg/l)	5,63	3,29	1,04	0,33	0,13	0,12	97,87

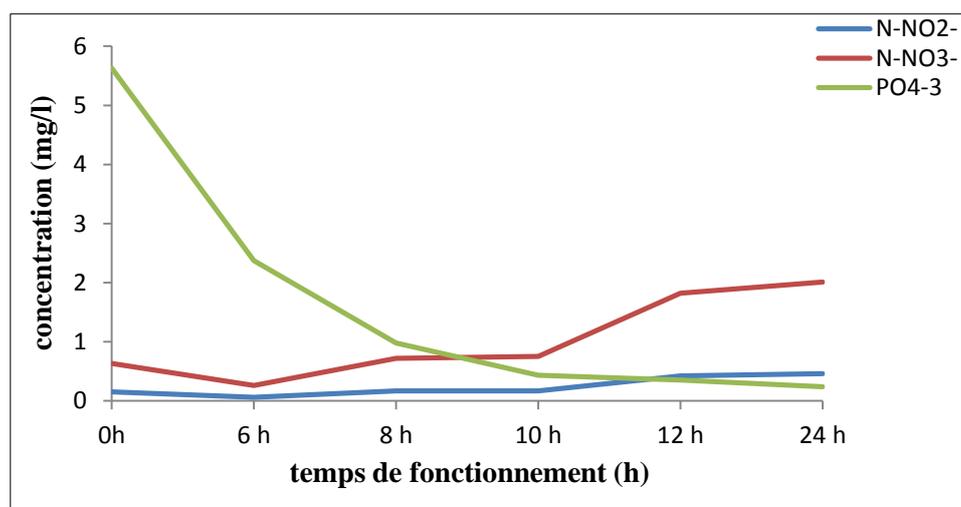


Figure IV-67 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO_2^- , N-NO_3^- et PO_4^{-3} avec un taux de recyclage de 50%.

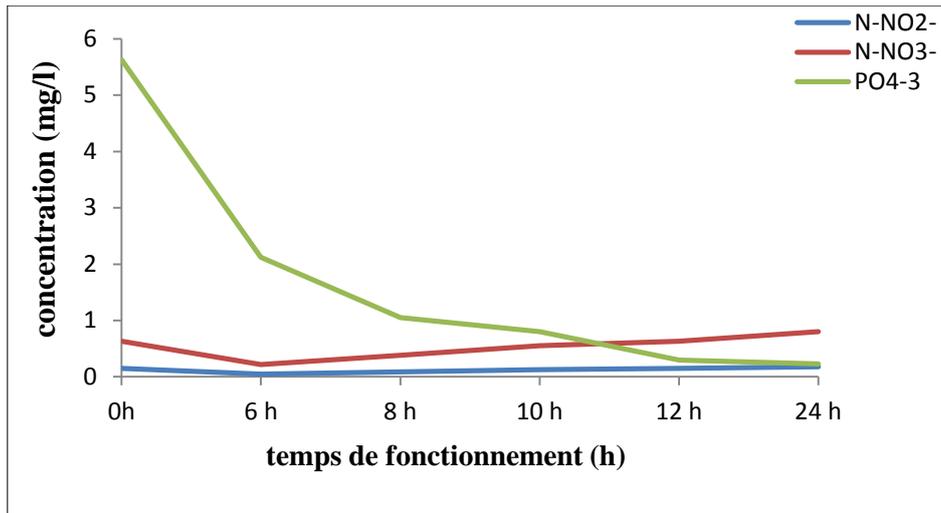


Figure IV- 68: Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ et PO₄⁻³ avec un taux de recyclage de 75%.

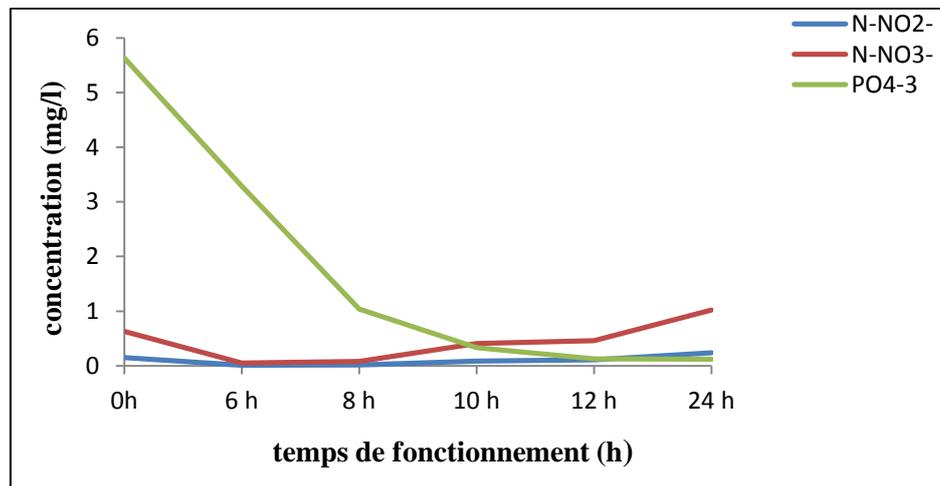


Figure IV-69 : Influence du temps de fonctionnement sur les concentrations en N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ et PO₄⁻³ avec un taux de recyclage de 100%.

Conclusion générale

Cette présente étude a permis de mettre en service le mini réacteur biologique du laboratoire d'épuration ainsi que la mise en évidence de la nature de pollution des effluents arrivant à la station de Sidi Ali Lebhar.

Les eaux usées brutes arrivant à la station de Sidi Ali Lebhar présentent des teneurs en éléments majeurs de pollution qui dépassent relativement les valeurs limites des rejets, ce qui représente un risque de pollution environnemental pour la ville de Bejaia d'où la nécessité d'un traitement de ses eaux usées brutes.

Les essais d'épuration biologique de ces effluents sur un pilote de laboratoire, constitué d'un système à double réacteur à boues activées en zone anoxique en amont, ont permis d'obtenir des effluents de composition conforme aux normes de rejets exprimée en DCO pour une charge hydraulique applicable de 0,38 m/j et sans recyclage.

Les essais réalisés avec recyclage ont montré que des concentrations résiduelles satisfaisantes de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, NO_3^- , PO_4^{3-}) peuvent être obtenues avec un temps de passage de dix heures dans le réacteur biologique et un taux de recyclage de l'effluent de 100%.

Il s'en ressort que la pollution phosphatée est éliminée et la nitrification est également observée. L'absence de la dénitrification est relative aux faibles teneurs des matières organiques biodégradables de l'effluent à l'entrée du bassin d'anoxie en amont.

L'étude a donc montré que les performances de bioréacteur sont indépendantes de la charge polluante de l'effluent brut relative à la pollution particulaire (MES), organique et minérale (DCO), Tandis que la faible biodégradabilité de ces effluents influe significativement sur les rendements de traitement.

Ces premiers essais qui peuvent faire l'objet d'études ultérieures afin de chercher l'influence de taux d'aération, la vitesse d'agitation et l'effet de la température sur les performances du réacteur biologique. La réalisation d'essais pilotes est aussi conseillée avant le réaménagement des cycles épuratoires des stations d'épuration biologiques existantes.

Références bibliographiques

- [01] **BACHAC, J & AL. (1987)**, Traitement des eaux usées. (2^{ème} édition). Edition Eryolles.
- [02] **BADOT, P-M & CRINI, G. (2007)**, Traitement et épuration des eaux industrielles polluées. Presses universitaires de Franche-Comité , Université de Franche-Comité.
- [03] **BOEGLIN, J-C. (1998)**, Traitement biologique des eaux résiduaires, mesure (J 3942). Edition Technique de l'ingénieur, Paris.
- [04] **BOEGLIN, J-C. (1999)**, Pollution industrielle de l'eau, caractérisation, classification, mesure (G1210), Edition technique de l'ingénieur, Paris.
- [05] **BOEGLIN, J-C. (2001)**, Propriétés des eaux naturelles, traité environnement, mesure (G1110). Edition technique de l'ingénieur, Paris.
- [06] **BOEGLIN, J-C. (2002)**, Traitement physico-chimique de la pollution soluble, mesure (G1270). Edition technique de l'ingénieur, Paris.
- [07] **BORDET, J. (2007)**, L'eau dans son environnement rural. Edition Johanet, Paris.
- [08] **BOUZIANI, M. (2000)**, L'eau, de la pénurie aux maladies. Edition IBN-KHALDOUN, Alger.
- [09] **BROUZES, P. (1978)**, Précis d'épuration biologique par boue activées. Edition technique et documentation Lavoisier, Paris.
- [10] **CARDOT, C. (1999)**, Génie de l'environnement, les traitements de l'eau. Edition Ellipses, Paris.
- [11] **CASTANY, G. (1998)**, Hydrologie principe et méthode. Edition Dunod, Paris.
- [12] **CEMAGREF, (2001)**, Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique dans les petites collectivités. Document technique (FNDE n°25).
- [13] **CEMAGREF. (2004)**, Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées. Document technique (FNDE n°29).
- [14] **DEGREMONT. (1984)**, Mémento technique de l'eau. Edition technique et documentation, Paris.
- [15] **DEGREMONT. (1989)**, Mémento technique de l'eau 9^{ème} Edition, Technique et documentation, Lavoisier, Paris.

[16] **DEGREMONT. (2005)**, Mémento technique de l'eau. Tome1, 10^{ème} Edition, Technique et documentation, Paris.

[17] **DJEBALI, O. (2008)**, Contribution à la réhabilitation de la station d'épuration de Baraki. Mémoire de fin d'étude, Ecole nationale polytechnique.

[18] **DROUART, E. VOUILLAMOZ, J-M. (1999)**, Alimentation en eau des populations menacées. Edition HERMANN, Paris.

[19] **DUGUET, J-P & al. (2006)**, Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine. Première édition ASTEE (Association scientifique et technique pour l'environnement).

[20] **FABY, J-A & BRISSAUD, F. (1997)**, L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation, office international de l'eau, 76page.

[21] **GAID, A. (1984)**, Epuration biologique des eaux usées urbaines. Edition OPU, Alger.

[22] **GAID, A. (1999)**, Traitement des eaux usées urbaines. C5220, Edition technique et documentation, Paris.

[23] **GHOUALEM-SAOULI, H. (2007)**, Evaluation de la charge polluante, traitements biologique des eaux urbaines de la commune de Zéralda. Conception d'un pilote, Thèse de Doctorat USTHB Algérie.

[24] **GOMMELLA, C & GUERREE, H. (1983)**, Les eaux usées dans les agglomérations urbaines et rurales. Edition Eyrolles, Paris.

[25] **HADADI et HAMLAT. (2002)**, Evaluation des performances de la nouvelle station d'épuration du pont de Bougie (Tizi-ouzou). Amélioration des performances par simulation au laboratoire. Mémoire de fin d'études d'ingénieur en Agronomie, UMMTO

[26] **HAMI, A. (2005)**, Traitement d'effluents liquide d'industries agroalimentaires par procédé biologique à boues activées. Cas des rejets litières de DBK. Mémoire de fin d'études d'ingénieur en Agronomie, UMMTO

[27] **HAOUATI, H. (2005)**, Etude de réhabilitation et d'extension de la station de la ville de Djelfa. Ecole national d'hydraulique, Blida.

[29] <http://moletta-methanisation.fr>. Document pdf (chapitre 4 : la pollution de l'eau]

[30] **LOUNNAS. A. (2009)**, Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadi-Kroma de Skikda. Mémoire de magister, Université du 20 Août 1955 Skikda.

- [31] **MÉOT, B & ALAMY, Z. (1990)**, Les eaux usées urbaines réglementation des rejets urbains, traitement de finition par géoépuración. BRGM Service Sol et sous-sol, Département environnement et risque.
- [32] **METAHRI, M-S (2012)**, Élimination de la pollution azotée phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes, cas de la step est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat.
- [33] **MIRA, Y. (2008)**, Contribution à la conception de la station d'épuration d'ISOLA 2000. Ecole nationale polytechnique, Blida.
- [34] **MIZI, A. (2006)**, Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de Bejaïa et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar, Annaba.
- [35] **MOLETTA, R. TORRIJOS, M. (Mars 1999)**, Traitement des effluents de la filière laitiers, Volume F1. Edition technique de l'ingénieur, Paris.
- [36] **MONCHY, H. (1978)**, Mémento d'assainissement. Edition Eyrolles, Paris.
- [37] **OMARGREF. (1996)**, Traitement de l'azote (Cas des eaux résiduaire). Acte de collecte.
- [38] **PRONOST, J & PRONOST, R & all. (2005)**, Développer les compétences pour mieux gérer l'eau, conception/dimensionnement, Caractérisation des eaux usées. Edition Office international de l'eau.
- [39] **RAMADE, F. (1998)**, Dictionnaire encyclopédique de l'eau. Edition Ediscience international, Paris.
- [40] **REJSEK. (2002)**, Analyse de l'eau, Aspect de réglementation et technique. Edition CRDP d'Aquitaine, France 358 p.
- [41] **RODIER, J. (1978)**, L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, Edition, DUNOD, paris.
- [42] **ROQUES, H. (1979)**, Fondement théoriques du traitement biologique des eaux Tome I et II. Edition technique et documentation.
- [43] **SHWARTZABROD, L & Al**, Virologie des milieux hydriques. Edition Technique de documentation page 320.
- [44] **TARDAT-HANRY, M et BEAUDRY, J. (1984)**, Chimie des eaux. Edition le griffon d'argile INC. Montréal.

[45] **WWW.GLS.FR**, Memotec n° 24, Janvier 2006 L'élimination de la pollution azotée des eaux résiduaires urbaines.

[46] **YAHY, H. (1979)**, Traitement des eaux résiduaires de la laiterie de Boudouaou. Thèse de fin d'études d'ingénieur en Agronomie, INA, Alger.

[47] **YAHY, H. (Mars 1996)**, Domaine et limites d'application des procédés d'épuration des eaux. Séminaire national sur l'écologie et l'environnement, Ecole de formation paramédicale de Tizi-ouzou.

[48] **YAHY, H. (1998)**, Traitement des eaux résiduaires de la laiterie de Boudouaou. Mémoire de fin d'étude.

Tableau (1) : Résultats analytique de l'essai 01.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 15-03-2013						Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)						
		0 h	44 h	46 h	48 h	50 h	52 h	
Débit	l/h	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
Température	°C	6,7	7,9	7,7	8,3	8,3	7,5	
pH		7,42	8,04	7,73	7,95	7,96	7,86	
MES	mg/l	110	20	17	16	16	12	89,1
O ₂ dissout	mg/l	0,03	4,2	3,76	3,48	4,07	4,37	
CE	μS/cm	1041	1858	1823	1790	1772	1757	
DBO ₅	mg/l	318					30	90,57
DCO	mg/l	538,2	358,4	256	153,6	51,2	51,2	90,49
K=DCO/ DBO ₅		1,69					1,70	
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,30	0,10	0,33	1,32	6,25	/	0
N-NO ₃ ⁻	mg/l	1,32	0,45	1,44	5,74	27,14	/	0
PO ₄ ⁻³	mg/l	1,75	0,75	0,45	0,35	0,33	/	81,14

Tableau (2) : Résultats analytique de l'essai 02.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 18-03-2013						Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)						
		0 h	22 h	24 h	26 h	28 h	30 h	
Débit	l/h	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Température	°C	9,4	8,2	8,5	8,8	9	8,3	
pH		7,61	7,62	7,79	7,62	7,69	7,60	
MES	mg/l	199	13	10	17	16	25	87,44
O ₂ dissout	mg/l	0,04	4,05	4,35	3,53	4,34	3,6	
CE	μS/cm	2290	1731	1785	1848	1879	1959	
DBO ₅	mg/l	154					35	77,27
DCO	mg/l	384	179,2	256	153,6	153,6	153,6	60
K=DCO/ DBO ₅		2,49					4,38	
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,14	0,07	0,12	0,21	0,98	6,71	0
N-NO ₃ ⁻	mg/l	0,59	0,31	0,50	0,93	4,27	29,13	0
PO ₄ ⁻³	mg/l	4,40	1,31	0,98	0,94	0,25	0,06	98,64

Tableau(3): Résultats analytique de l'essai 03.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 20-03-2013						Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)						
		0 h	16 h	18 h	20 h	22 h	24 h	
Débit	l/h	1	1	1	1	1	1	
Température	°C	9,4	8,4	8,5	8,5	8,7	8,2	
pH		7,61	7,69	7,79	7,79	7,75	7,57	
MES	mg/l	199	42	39	33	32	27	86,43
O₂dissout	mg/l	0,04	2,67	2,9	3,09	3,65	0,4	
CE	μS/cm	2290	2260	2250	2260	2270	2300	
DBO₅	mg/l	154					47	69,48
DCO	mg/l	384	281,6	255,9	230,4	255,9	255,9	33,35
K=DCO/ DBO₅		2,49					5,44	
N-NO₂⁻	mg/l	0,14	0,06	0,09	0,11	0,13	0,16	0
N-NO₃⁻	mg/l	0,59	0,27	0,41	0,48	0,55	0,68	0
PO₄⁻³	mg/l	4,40	4,65	4,62	3,60	3,53	3,45	21,60

Tableau(4) : Résultats analytique de l'essai 04.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 21-03-2013						Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)						
		0 h	10 h	12 h	14 h	16 h	18 h	
Débit	l/h	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Température	°C	9,3	8	8,3	8,3	8,3	8,6	
pH		7,66	7,61	7,62	7,96	7,88	7,63	
MES	mg/l	206	52	41	52	55	59	71,36
O₂dissout	mg/l	0,03	1,26	1,06	3,6	3,91	0,11	
CE	μS/cm	2320	2100	2160	2160	2220	2260	
DBO₅	mg/l	250					46	81,60
DCO	mg/l	614,4	512	281,6	383	255,9	255,9	58,34
K=DCO/ DBO₅		2,45					5,56	
N-NO₂⁻	mg/l	0,13	0,09	0,12	0,12	0,13	/	0
N-NO₃⁻	mg/l	0,55	0,41	0,51	0,53	0,57	/	0
PO₄⁻³	mg/l	4,88	4,68	3,66	3,16	1,44	/	70,49

Tableau (5) : Résultats analytique de l'essai 05.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 14-04-2013						Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)						
		0 h	6 h	8 h	10 h	12 h	24 h	
Débit	l/h	2	2	2	2	2	2	
Température	°C	9,9	9,8	10	9,2	9,1	9	
pH		7,34	8,01	7,95	7,92	8	7,88	
MES	mg/l	135	72	71	63	70	40	
O₂dissout	mg/l	0,37	5,48	5,94	3,68	4,13	5,04	
CE	μS/cm	2360	2040	2140	2190	2240	2280	
DBO₅	mg/l	220				35		84,10
DCO	mg/l	360	216	216	168	168	168	53,33
K=DCO/ DBO₅		1,64				4,8		
N-NO₂⁻	mg/l	0,15	0,44	0,45	0,61	1,64	3,03	0
N-NO₃⁻	mg/l	0,63	1,91	1,97	2,66	7,13	13,12	0
PO₄⁻³	mg/l	5,63	3,28	1,78	0,33	0,68	0,52	90,76

Tableau (6) : Résultats analytique de l'essai 06.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 26 -03- 2013							Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)							
		0 h	22 h	24 h	26 h	28 h	30 h	32 h	
Débit	l/h	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Taux de recyclage	%	50	50	50	50	50	50	50	
Température	°C	8,7	8,3	8,5	8,6	9	8,9	8,2	
pH		7,29	8,18	7,8	7,89	8,02	7,94	8,32	
MES	mg/l	153	9	12	11	9	9	9	94,12
O₂dissout	mg/l	0,07	4,93	4,60	4,48	4,68	4,97	4,18	
CE	μS/cm	2150	2170	2160	2150	2140	2150	2180	
DBO₅	mg/l	124					16		87,10
DCO	mg/l	307,2	281,6	256	204,8	179,2	76,8	76,8	75
K=DCO/ DBO₅		2,47					4,8		
N-NO₂⁻	mg/l	0,26	0,32	0,45	0,73	1,02	/	/	0
N-NO₃⁻	mg/l	1,12	1,39	1,96	3,16	4,44	/	/	0
PO₄⁻³	mg/l	2,84	0,19	0,05	0,02	0,02	/	/	99,30

Tableau (7) : Résultats analytique de l'essai 07.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 27 -03- 2013						Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)						
		0 h	22 h	24 h	26 h	28 h	30 h	
Débit	l/h	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Taux de recyclage	%	100	100	100	100	100	100	
Température	°C	8,7	8,4	8,5	8,6	9,2	9,3	
pH		7,29	7,86	7,8	7,66	7,84	7,80	
MES	mg/l	153	17	9	28	47	12	92,16
O₂dissout	mg/l	0,07	4,30	4,24	3,09	3,89	4,40	
CE	μS/cm	2150	2160	2170	2170	2090	2150	
DBO₅	mg/l	124					18	85,48
DCO	mg/l	307,2	256	128	51,2	51,2	51,2	83,33
K=DCO/ DBO₅		2,47					2,84	
N-NO₂⁻	mg/l	0,26	0,08	0,53	0,60	0,80	1,38	0
N-NO₃⁻	mg/l	1,12	0,32	2,28	2,59	3,46	6,00	0
PO₄⁻³	mg/l	2,84	0,65	0,27	0,04	0,02	0,01	99,65

Tableau (8) : Résultats analytique de l'essai 08.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 28 -03- 2013						Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)						
		0 h	22 h	24 h	26 h	28 h	30 h	
Débit	l/h	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Taux de recyclage	%	200	200	200	200	200	200	
Température	°C	8,7	8,9	8,7	8,8	8,8	8,5	
pH		7,29	7,96	7,86	7,83	7,88	7,91	
MES	mg/l	153	16	15	18	25	11	92,81
O₂dissout	mg/l	0,07	4,18	4,12	3,95	4,27	4,27	
CE	μS/cm	2150	2170	2130	2140	2150	2170	
DBO₅	mg/l	124					19	84,68
DCO	mg/l	307,2	230,4	179,2	51,2	51,2	51,2	83,33
K=DCO/ DBO₅		2,47					2,69	
N-NO₂⁻	mg/l	0,26	0,99	1,75	2,74	2,87	4,64	0
N-NO₃⁻	mg/l	1,12	4,31	7,60	11,89	12,44	20,12	0
PO₄⁻³	mg/l	2,84	2,32	0,99	0,20	0,17	0,17	94,01

Tableau (9) : Résultats analytique de l'essai 09.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 31 -03- 2013						Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)						
		0 h	22 h	24 h	26 h	28 h	30 h	
Débit	l/h	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Taux de recyclage	%	300	300	300	300	300	300	
Température	°C	9	7,8	8,8	8,8	9	9,5	
pH		7,43	7,98	7,85	7,83	7,79	7,96	
MES	mg/l	131	13	19	18	17	17	87,02
O ₂ dissout	mg/l	0,10	4,54	2,29	5,96	5,29	6,32	
CE	μS/cm	2290	2190	2200	2210	2210	2210	
DBO ₅	mg/l	123					20	83,74
DCO	mg/l	307,2	179,2	102,4	51,2	51,2	51,2	83,33
K=DCO/ DBO ₅		2,49					2,56	
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,12	3,48	3,51	3,74	5,35	5,66	0
N-NO ₃ ⁻	mg/l	0,5	15,09	15,23	16,21	23,20	24,57	0
PO ₄ ⁻³	mg/l	3,47	0,15	0,11	0,11	0,04	0,04	98,85

Tableau (10) : Résultats analytique de l'essai 10.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 01 -04- 2013							Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)							
		0 h	22 h	24 h	26 h	28 h	30 h	32 h	
Débit	l/h	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Taux de recyclage	%	400	400	400	400	400	400	400	
Température	°C	9	9,2	9	9	9,2	9,4	9	
pH		7,43	8,06	7,8	7,78	7,79	7,85	8,3	
MES	mg/l	131	49	15	15	11	15	15	88,55
O ₂ dissout	mg/l	0,10	6,56	6,28	6,05	6,09	6,61	6,98	
CE	μS/cm	2290	2210	2260	2200	2200	2210	2230	
DBO ₅	mg/l	123						20	83,74
DCO	mg/l	307,2	230,4	153,6	102,4	51,2	51,2	51,2	83,33
K=DCO/ DBO ₅		2,49						2,56	
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,12	0,53	1,03	4,97	5,16	5,89	6,33	0
N-NO ₃ ⁻	mg/l	0,50	2,32	4,46	21,56	22,38	25,55	27,48	0
PO ₄ ⁻³	mg/l	3,47	0,14	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	99,42

Tableau (11) : Résultats analytique de l'essai 11.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 02 -04- 2013						Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)						
		0 h	16 h	18 h	20 h	22 h	24 h	
Débit	l/h	1	1	1	1	1	1	
Taux de recyclage	%	50	50	50	50	50	50	
Température	°C	9,6	8,6	9	8,6	9,1	9,3	
pH		7,79	7,96	8,11	7,98	8,02	8,19	
MES	mg/l	249	31	39	37	37	32	87,15
O ₂ dissout	mg/l	0,31	4,93	4,6	4,48	4,68	4,97	
CE	μS/cm	2590	2530	2530	2560	2550	2550	
DBO ₅	mg/l	228					32	85,96
DCO	mg/l	563,2	230,4	204,8	179,2	102,4	102,4	81,82
K=DCO/ DBO ₅		2,47					3,2	
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,20	1,05	1,22	2,52	2,78	3,73	0
N-NO ₃ ⁻	mg/l	0,87	4,54	5,28	10,93	12,08	16,19	0
PO ₄ ⁻³	mg/l	2,70	0,13	0,11	0,04	0,03	0,01	99,63

Tableau (12) : Résultats analytique de l'essai 12.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 03 -04- 2013						Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)						
		0 h	0 h	16 h	18 h	20 h	22 h	
Débit	l/h	1	1	1	1	1	1	
Taux de recyclage	%	100	100	100	100	100	100	
Température	°C	9,6	8,1	8,4	8,8	8,9	9,1	
pH		7,79	8,01	7,86	7,91	7,84	7,97	
MES	mg/l	249	20	21	22	25	27	89,16
O ₂ dissout	mg/l	0,31	5,76	5,53	5,16	5,43	5,15	
CE	μS/cm	2590	2590	2590	2580	2590	2580	
DBO ₅	mg/l	228					20	91,23
DCO	mg/l	563,2	179,2	153,6	51,2	51,2	51,2	91
K=DCO/ DBO ₅		2,47					2,56	
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,20	0,18	0,20	0,21	0,36	2,21	0
N-NO ₃ ⁻	mg/l	0,87	0,77	0,87	0,93	1,58	9,60	0
PO ₄ ⁻³	mg/l	2,70	0,29	0,27	0,20	0,17	0,03	98,89

Tableau (13): Résultats analytique de l'essai 13.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 04 -04- 2013							Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)							
		0 h	22 h	24 h	26 h	28 h	30 h	32 h	
Débit	l/h	1	1	1	1	1	1	1	
Taux de recyclage	%	150	150	150	150	150	150	150	
Température	°C	9,6	9,1	9,1	9,3	9,1	8,9	8,3	
pH		7,79	8,19	7,96	8,15	7,91	7,87	8,08	
MES	mg/l	249	36	48	35	34	28	16	93,57
O₂dissout	mg/l	0,31	6,32	6,48	6,1	6,23	5,27	2,08	
CE	μS/cm	2590	2580	2580	2570	2580	2600	2620	
DBO₅	mg/l	228						35	84,65
DCO	mg/l	563,2	307	281,6	256	179,2	96	96	82,95
K=DCO/ DBO₅		2,47						2,74	
N-NO₂⁻	mg/l	0,20	0,02	0,06	0,11	0,15	0,17	0,21	0
N-NO₃⁻	mg/l	0,87	0,07	0,26	0,48	0,65	0,72	0,93	0
PO₄⁻³	mg/l	2,70	0,38	0,28	0,16	0,13	0,11	0,09	96,67

Tableau (14): Résultats analytique de l'essai 14.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 07 -04- 2013							Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)							
		0 h	22 h	24 h	26 h	28 h	30 h	32 h	
Débit	l/h	1	1	1	1	1	1	1	
Taux de recyclage	%	200	200	200	200	200	200	200	
Température	°C	8,6	7,6	7,8	8,1	8,1	8,2	7,8	
pH		7,43	8,03	7,88	8,05	7,86	7,97	8,09	
MES	mg/l	152	61	49	46	46	46	45	70,4
O₂dissout	mg/l	0,33	6,36	6,38	6,15	6,16	6,53	5,52	
CE	μS/cm	2830	2810	2810	2800	2800	2790	2800	
DBO₅	mg/l	241						32	86,72
DCO	mg/l	600	312	192	144	120	96	96	84
K=DCO/ DBO₅		2,49						3	
N-NO₂⁻	mg/l	0,23	0,01	0,08	0,16	0,93	1,47	1,52	0
N-NO₃⁻	mg/l	0,99	0,05	0,36	0,70	4,04	6,36	6,60	0
PO₄⁻³	mg/l	3,63	0,60	0,40	0,36	0,35	0,28	0,25	93,11

Tableau (15): Résultats analytique de l'essai 15.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 08 -04- 2013							Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)							
		0 h	22 h	24 h	26 h	28 h	30 h	32 h	
Débit	l/h	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Taux de recyclage	%	66	66	66	66	66	66	66	
Température	°C	8,6	7,8	7,9	8,2	8,8	8,5	8,1	
pH		7,43	7,73	7,79	7,81	7,99	7,79	8,23	
MES	mg/l	152	74	69	61	76	57	57	62,5
O ₂ dissout	mg/l	0,33	4,41	4,83	4,54	6,06	4,78	1,62	
CE	μS/cm	2830	2830	2790	2820	2800	2800	2800	
DBO ₅	mg/l	241						35	85,48
DCO	mg/l	600	288	264	240	168	120	120	80
K=DCO/ DBO ₅		2,49						3,43	
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,23	0,05	0,07	0,24	0,24	0,32	2,13	0
N-NO ₃ ⁻	mg/l	0,99	0,21	0,31	1,04	1,04	1,41	/	0
PO ₄ ⁻³	mg/l	3,63	4,2	4,05	3,58	1,71	0,95	0,61	83,20

Tableau (16): Résultats analytique de l'essai 16.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 09 -04- 2013							Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)							
		0 h	22 h	24 h	26 h	28 h	30 h	32 h	
Débit	l/h	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Taux de recyclage	%	100	100	100	100	100	100	100	
Température	°C	8,6	8,2	8,7	8,5	8,6	8,7	8,6	
pH		7,43	7,84	7,9	7,88	7,73	7,7	7,62	
MES	mg/l	152	74	60	61	63	51	51	66,45
O ₂ dissout	mg/l	0,33	4,23	6,05	4,46	4,54	4,43	4, 41	
CE	μS/cm	2830	2820	2800	2810	2810	2800	2800	
DBO ₅	mg/l	241					33		86,30
DCO	mg/l	600	216	168	144	120	96	96	84
K=DCO/ DBO ₅		2,49					2,91		
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,23	0,07	0,11	0,13	0,41	1,01	1,06	0
N-NO ₃ ⁻	mg/l	0,99	0,30	0,46	0,58	1,78	4,37	4,60	0
PO ₄ ⁻³	mg/l	3,63	1,31	0,95	0,92	0,24	0,17	0,02	99,50

Tableau (17): Résultats analytique de l'essai 17.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 10 -04- 2013							Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)							
		0 h	22 h	24 h	26 h	28 h	30 h	32 h	
Débit	l/h	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Taux de recyclage	%	133	133	133	133	133	133	133	
Température	°C	8,6	8,4	8,8	9,2	9,4	9,2	8,6	
pH		7,43	7,94	8,1	7,97	8,02	7,82	7,98	
MES	mg/l	152	59	52	49	47	35	30	80,3
O ₂ dissout	mg/l	0,33	4,6	6,34	5,97	5,84	5,13	4,65	
CE	μS/cm	2830	2820	2790	2780	2760	2790	2800	
DBO ₅	mg/l	241					35		85,48
DCO	mg/l	600	168	168	168	120	120	120	80
K=DCO/ DBO ₅		2,49					3,42		
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,23	0,14	0,14	0,26	0,46	0,69	0,83	0
N-NO ₃ ⁻	mg/l	0,99	0,59	0,60	1,15	1,99	3,00	3,58	0
PO ₄ ⁻³	mg/l	3,63	0,20	0,15	0,10	0,03	0,02	0,02	99,45

Tableau (18): Résultats analytique de l'essai 18.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 15-04-2013						Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)						
		0 h	6 h	8 h	10 h	12 h	24 h	
Débit	l/h	2	2	2	2	2	2	
Taux de recyclage	%	50	50	50	50	50	50	
Température	°C	9,9	9,5	10,3	9,8	9,1	8,9	
pH		7,34	7,81	7,99	7,92	8	7,96	
MES	mg/l	135	51	47	26	26	26	80,74
O ₂ dissout	mg/l	0,37	3,68	5,23	5,16	3,06	4,48	
CE	μS/cm	2360	2780	2690	2740	2780	2780	
DBO ₅	mg/l	220				30		86,36
DCO	mg/l	360	192	192	168	120	120	66,67
K=DCO/ DBO ₅		1,64				4		
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,15	0,06	0,17	0,17	0,42	0,46	0
N-NO ₃ ⁻	mg/l	0,63	0,26	0,72	0,75	1,82	2,01	0
PO ₄ ⁻³	mg/l	5,63	2,37	0,98	0,43	0,35	0,24	95,74

Tableau (19): Résultats analytique de l'essai 19.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 16-04-2013						Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)						
		0 h	6 h	8 h	10 h	12 h	14 h	
Débit	l/h	2	2	2	2	2	2	
Taux de recyclage	%	75	75	75	75	75	75	
Température	°C	9,9	9,6	9,7	9,2	9,2	9,1	
pH		7,34	7,91	7,92	7,88	7,95	7,9	
MES	mg/l	135	42	47	34	26	26	80,74
O ₂ dissout	mg/l	0,37	4,6	5,42	3,73	3,12	3,74	
CE	μS/cm	2360	2750	2670	2770	2750	2780	
DBO ₅	mg/l	220					30	86,36
DCO	mg/l	360	168	192	192	144	144	60
K=DCO/ DBO ₅		1,64					4,8	
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,15	0,05	0,09	0,13	0,15	0,18	0
N-NO ₃ ⁻	mg/l	0,63	0,22	0,38	0,55	0,63	0,80	0
PO ₄ ⁻³	mg/l	5,63	2,12	1,05	0,80	0,30	0,23	95,91

Tableau (20): Résultats analytique de l'essai 20.

Paramètres analytique	Unité	Date du prélèvement 17-04-2013						Rendement en (%)
		Temps de fonctionnement (h)						
		0 h	6 h	8 h	10 h	12 h	14 h	
Débit	l/h	2	2	2	2	2	2	
Taux de recyclage	%	100	100	100	100	100	100	
Température	°C	9,9	9,9	9,6	9,4	9,2	9,1	
pH		7,34	7,95	7,76	7,78	7,89	7,88	
MES	mg/l	135	76	74	60	44	24	82,22
O ₂ dissout	mg/l	0,37	5,49	5,15	3,19	3,66	4,48	
CE	μS/cm	2360	2650	2730	2740	2730	2760	
DBO ₅	mg/l	220					25	88,64
DCO	mg/l	360	216	144	144	108	108	70
K=DCO/ DBO ₅		1,64					4,32	
N-NO ₂ ⁻	mg/l	0,15	0,01	0,02	0,09	0,11	0,24	0
N-NO ₃ ⁻	mg/l	0,63	0,05	0,08	0,41	0,46	1,02	0
PO ₄ ⁻³	mg/l	5,63	3,29	1,04	0,33	0,13	0,12	97,87

Tableau 21: Les valeurs de la charge volumique et la charge hydraulique sans recyclage.

Bassin d'anoxie et d'aération à l'entrée						
Débits (l/h)		Q= 0.25 l/h = 6.10 ⁻³ m ³ /j	Q= 0.5 l/h = 12.10 ⁻³ m ³ /j	Q= 1 l/h = 24.10 ⁻³ m ³ /j	Q= 1.5 l/h=36.10 ⁻³ m ³ /j	Q= 2 l/h= 48.10 ⁻³ m ³ /j
C _H (m/j)= Q/A	anoxie	0,35	0,71	1,41	2,12	2,82
	aération	0,38	0,75	1,5	2,25	3
T (h)= V/Q (h)		40	20	10	6,67	5
C _V (kg DBO ₅ /m ³ .j)		0,48	0,46	0,92	2,25	2,65

Tableau 22 : Les valeurs de la charge volumique et la charge hydraulique avec recyclage.

Bassin d'anoxie et d'aération à l'entrée																
Débits (l/h)		Q= 0.5 l/h=12.10 ⁻³ m ³ /j					Q= 1 l/h=24.10 ⁻³ m ³ /j				Q= 1.5 l/h=36.10 ⁻³ m ³ /j			Q= 2 l/h=48.10 ⁻³ m ³ /j		
T (h)= V/Q (h)		20					10				6.67			5		
Taux de recyclage		T _R (%)					T _R (%)				T _R (%)			T _R (%)		
		50	100	200	300	400	50	100	150	200	66	100	133	50	75	100
C _H (m/j)= Q/A	anoxie	0,71					1,41				2,12			2,82		
	aération	0,75					1,5				2,25			3		
C _V (kg DBO/m ³ .j)		0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	1,37	1,37	1,37	1,45	2,17	2,17	2,17	2,64	2,64	2,64

METHODE D'ANALYSES

1- Détermination des matières En Suspensions (multi-paramètre)

1-1- Mode opératoire

- Entrer le numéro de programme mémorisé pour les matières en suspension (résidus non filtration).
- Presser : **94 ENTRER**, l'affichage indique **mg/l, SuSld** et le symbole **ZERO**.
- Remplir une cuvette propre avec 25 ml d'eau distillé (le blanc).
- Placer le blanc dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
- Presser : **ZERO**, le curseur se déplace vers la droite puis l'affichage indique : **00 mg/l MES**.
- Homogénéiser 500 ml d'échantillon dans un homogénéiseur à grande vitesse pendant deux minutes.
- Verser l'échantillon homogénéisé dans un bécher de 600 ml.
- Pipetter immédiatement 25 ml de l'échantillon homogénéisé dans une autre cuvette.
- Agiter la cuvette de l'échantillon préparé pour éliminer les bulles de gaze et obtenir une suspension uniforme.
- Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.
- Presser : **READ**. Le curseur se déplace vers la droite puis le résultat en mg/l de MES s'affiche.

2- Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) :

(Méthode au dichromate de potassium : K_2CrO_7)

a)- Réactifs :

➤ **Solution de sulfate d'argent :**

- Sulfate d'argent cristallise..... 10 g
- Acide sulfurique (d=1.84)..... 1000 ml

Dissoudre le sulfate d'argent dans 40 ml d'eau permutée puis ajoutée ensuite ajouter 960 ml d'acide sulfurique avec précaution.

➤ **Solution de sulfate de fer et d'ammonium à 0.12 mol/L**

- Sulfate de fer et d'ammonium..... 47 g

- Acide sulfurique (d= 1.84).....20 ml
- Eau permutéeq.s.q1 L

Dissoudre le sulfate de fer et d'ammonium dans l'eau, puis ajouter l'acide sulfurique. Après refroidissement ajuster le volume à 1 L.

Le titre de cette solution doit être vérifié tous les jours.

➤ **Solution de dichromate de potassium à 0.04 mol/L**

- Dichromate de potassium.....11.767 g
- Eau permutée..... q. s. q 1L

b)- mode opératoire :

Introduire 50 ml d'eau à analyser soigneusement homogénéisée dans un matras de 500 ml contenant quelque bille de pierres de pense pour régulariser l'ébullition.

Ajouter 1 g de sulfate mercurique cristallise et 5 ml de solution sulfurique de sulfate d'argent.

Ajouter 25 ml de solution de dichromate de potassium à 0.04 mol, puis avec précaution 70 ml de solution sulfurique de sulfate d'argent en agitant par un mouvement circulaire du ballon et en refroidissement sous un courant d'eau froide.

- Porter à ébullition pendant 2 heures.
- Laisser refroidir.
- Diluer à envièrent 350 ml avec de l'eau permutée.
- Ajouter quelques gouttes de solution de ferroïne.
- Déterminer la quantité nécessaire de la solution de sulfate de fer et d'ammonium ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$) pour obtenir le virage au rouge violacé.
- Procéder avec les mêmes opérations sur 50 ml d'eau permutée.

$$DCO \text{ (mg d'O}_2\text{/L)} = \frac{8000 (V_0 - V_1) \cdot T}{V}$$

Titration :

- Introduire 10 ml de la solution étalon de dichromate de potassium dans un matras de 500 ml.
- Ajouter 15 ml de la solution d'acide sulfurique de sulfates d'argent et amener à environ 100 ml avec l'eau distillée.
- Titré en présence de 2 à 3 gouttes de la ferroïne avec la solution de sulfate de fer et d'ammonium.

$$T = \frac{10 \times 0,04 \times 6}{V}$$

V_0 et V_1 : Volume de $(\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 (\text{SO}_4)_2)$ du témoin et de l'essai (en ml)

T : titre de $(\text{Fe}(\text{NH}_4)_2 (\text{SO}_4)_2)$ à blanc

V : volume de la prise d'essai.

3- Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO₅)**3-1- Mode opératoire**

- Mettre un volume d'échantillon à analyser dans le flacon ambré pour échantillon.
- Mettre le barreau d'agitation dans le flacon pour assurer une agitation permanente.
- Mettre deux pastilles de (NaOH) dans l'insert en caoutchouc.
- Fermer le flacon avec la tête OxiTop® IS 6 Control.
- Mettre les flacons dans le portoir de stockage à l'incubation 20°C pendant cinq jours L'armoire thermostatique.

La DBO₅ est donnée par la formule :

$$DBO_5 = V \times F$$

Avec :

- V : La valeur affichée.
- F : Facteur de dilution.

4- Dosage des phosphates :**Méthode au molybdate d'ammonium****a)- Réactifs :**

- Solution mère de phosphate

Introduire 0.07165 g d'hydrogénophosphate de potassium sec (KH_2PO_4) dans 10 ml d'eau distillée (dans un bécher, transférer la solution dans une fiole jaugée de 100 ml).

- **Solution standard de phosphate**

Solution mère de phosphate.1 ml
Eau distillée.....100 ml

- **Solution d'acide molybdate**

Acide sulfurique concentré.....25 ml
Eau distillée.....q.s.q.40 ml

(1) Ajouter l'acide sulfurique à l'eau distillée, laisser la solution refroidir

- Molybdate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_6\text{MOO}_{24}, 4\text{H}_2\text{O}$)2.5 g

- Eau distilléeq.s.q 7.5 ml

(2) dissoudre le molybdate d'ammonium dans l'eau distillée. Mélanger les solutions (1) et (2). Laisser refroidir, diluer à 100 ml.

- **Solution de chlorure stanneux**

Chlorure stanneux ($\text{Sn Cl}_2, 2\text{H}_2\text{O}$).....0.25 g
Glycérol10 ml

Chauffer le mélange dans un bain marie jusqu'à dissolution complète du stanneux.

a)- Principe

Les ions ortho-phosphate peuvent être dosés avec précision par colorimétrie. Ils réagissent avec le molybdate d'ammonium pour donner de l'acide molybd-ophosphorique.

Cet acide donne lieu à diverses réactions colorées. La réaction au chlorure stanneux ou à l'acide ascorbique, on obtient du molybdène qui développe une coloration bleu susceptible d'un dosage spectrophotométrie à une longueur d'onde de 690 nm.

b)- Mode opératoire

Introduire 40 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée de 50 ml, ajouter 4 ml de l'acide molybdate, puis on ajoute 10 gouttes de la solution de chlorure stanneux. Ajuster jusqu'au trait de jauge avec l'eau distillée, bien mélanger. Laisser 5 minutes puis effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 690 nm.

c)- Etablissement de la courbe d'étalonnage

- Introduire dans une série de fiole jaugée de 25 ml.

Tableau (1) : Etablissement de la courbe d'étalonnage des phosphates.

Numéro de fioles	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de phosphate	0	1	5	10	15	20
Eau permutée (ml)	20	19	15	10	5	0
Solution de chlorure stanneux	10	10	10	10	10	10
Acide molybdate	4	4	4	4	4	4
Correspondance en milligramme de phosphore	0	0,1	0,5	1	1,5	2

d)- Expression des résultats

Tenir compte de la valeur lue pour le témoin et tracer la courbe d'étalonnage. Les concentrations des échantillons en phosphates sont obtenues à partir de la courbe d'étalonnage fourni dans le tableau (1).

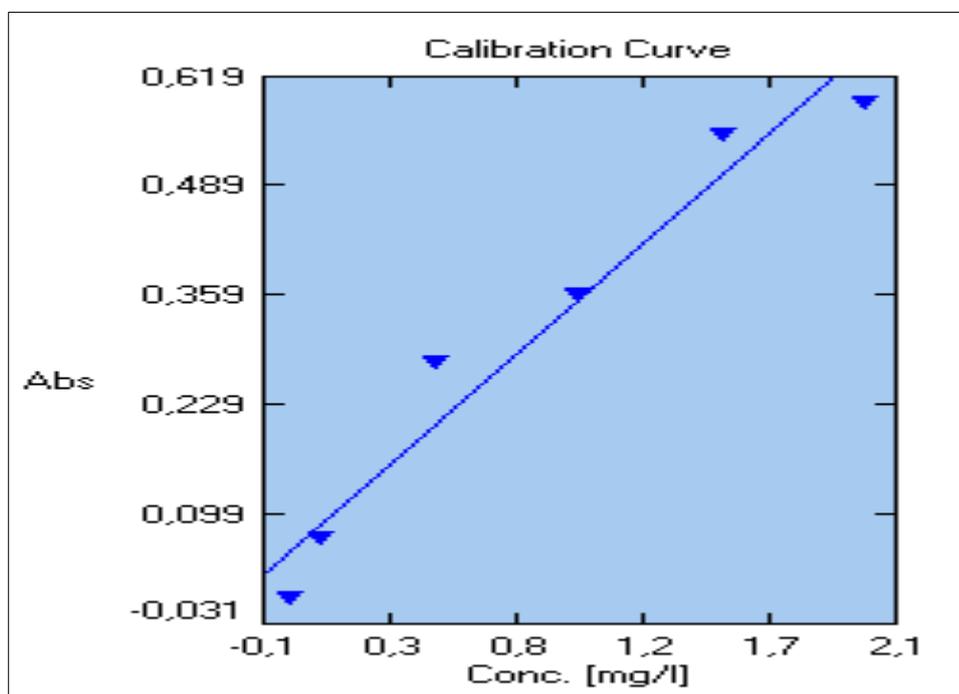


Figure (1) : Courbe d'étalonnage des phosphates.

5- Dosage de nitrates (Méthode de salicylate de sodium)

a)- Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalisylate de sodium, colorée en jaune susceptible d'un dosage colorimétrique.

b)- Mode opératoire

Introduire 10 ml d'eau à analyser dans une capsule de 60 ml (pour des teneurs en azote nitrique supérieures à 10 mg/l ; faire une dilution de l'échantillon). Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium. Ajouter 1 ml de solution de salicylate de sodium puis poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage, préparer de la même façon un témoin avec 10 ml d'eau distillée, effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'ondes 415 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage représenté dans le tableau (2).

c)- Etablissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles jaugées de 50 ml, introduire successivement les données suivantes :

Tableau (2) : Etablissement de la courbe d'étalonnage des nitrates.

Numéros des fioles	T	I	II	III	IV
Solution étalon d'azote nitrique à 0.005 g/l	0	1	2	5	10
Eau distillée (ml)	10	9	8	5	0
Correspondance en mg/l d'azote nitrique	0	0,5	1	2,5	5
Solution de salicylate de sodium	1	1	1	1	1

- Evaporer chaque flacon à sec au bain-marie ou dans une étuve portée à 75-80 °C (ne pas surchauffer, ni chauffer trop longtemps).
- Laisser refroidir.
- Reprend le résidu par 2 ml d'acide sulfurique concentré en ayant soin de l'humecter complètement. Attendre 10 minutes.

- Ajouter 15 ml d'eau distillée puis 15 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune.
- Mesurer l'absorbance de chaque échantillon au colorimétrique (longueur d'onde : 415 nm) et construire la courbe d'étalonnage représentant l'absorbance en fonction de la concentration en nitrates.

d)- Expression des résultats

Pour une prise d'essais de 10 ml, la courbe donnée dans le tableau (2) en annexe (II) fournit directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligrammes par litre d'eau. Pour obtenir la teneur en nitrique exprimée en milligrammes par litre d'eau. Pour obtenir la teneur en Nitrate (NO_3) multiplier ce résultat par 4,34.

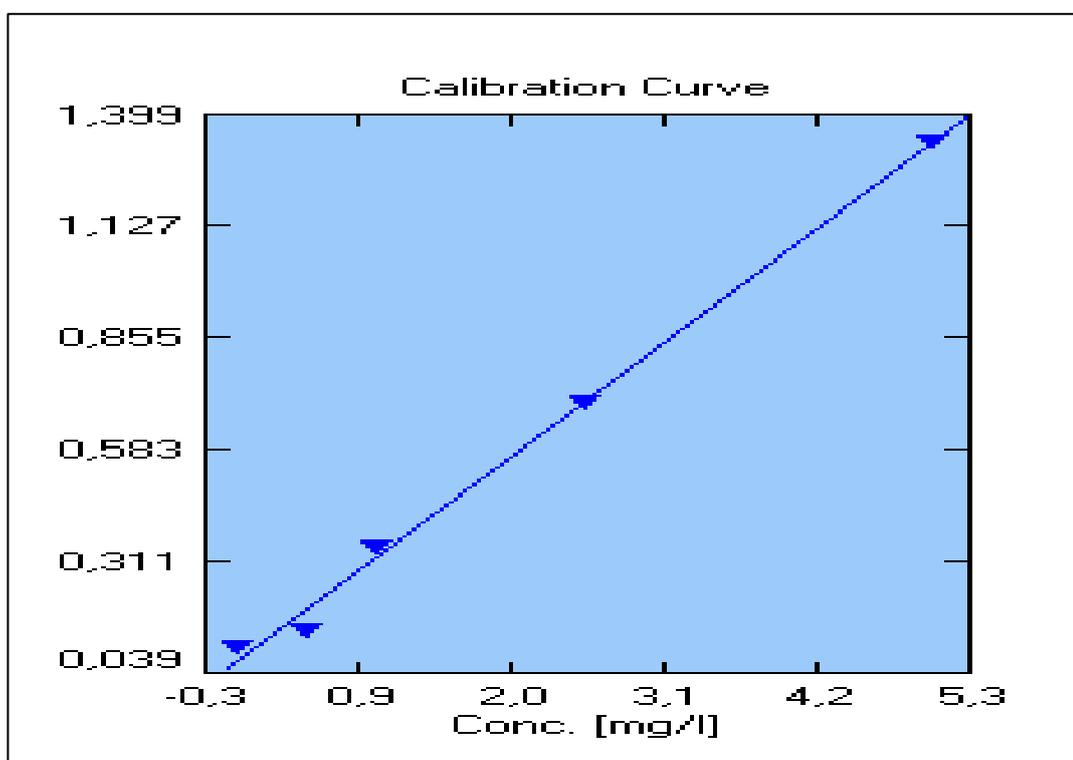


Figure (2) : Courbe d'étalonnage des nitrates.

Tableau 1 : Les valeurs limite des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006).

PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Température	°C	30
pH	/	6 ,5 à 8,5
MES	mg/l	35
DBO ₅	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Azote kjeldahl	mg/l	30
Phosphates	mg/l	02
Phosphate totale	mg/l	10
cyanures	mg/l	0,1
Aluminium	mg/l	03
Cadmium	mg/l	0,2
Fer	mg/l	03
Manganèse	mg/l	01
Mercuré total	mg/l	0,01
Nickel total	mg/l	0,5
Plomb total	mg/l	0,5
Cuivre total	mg/l	0,5
Zinc total	mg/l	03
Huiles et Graisse	mg/l	20
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Indice phénols	mg/l	0,3
Fluor et composés	mg/l	15
Etain total	mg/l	02
Composés organiques chlorés	mg/l	05
Chrome total	mg/l	0,5
(*) Chrome III ⁺	mg/l	03
(*) Chrome IV ⁺	mg/l	0,1
(*) Solvants organiques	mg/l	20
(*) Chlore actif	mg/l	1,0
(*) PCB	mg/l	0,001
(*) Détergents	mg/l	2
(*) Tensioactifs anioniques	mg/l	10

(*) Valeurs fixées par le Décret exécutif n° 93-160 du 10 Juillet 1993.

Résumé

Notre travail consiste à étudier expérimentalement l'influence des conditions hydrauliques et biochimiques sur l'élimination simultanée de la pollution hydrocarbonée, azotée et phosphatée des eaux usées dans une unité pilote de laboratoire à boues activées en zone anoxique et ce dans le but d'avoir des rendements épuratoires élevés, répondant aux normes de rejets.

Les résultats d'essais ont été menés sur les effluents domestiques de la nouvelle station d'épuration Sidi Ali Lebhar (Bejaïa).

L'étude a donc montré que les performances de bioréacteur sont indépendantes de la charge polluante de l'effluent brut relative à la pollution particulaire (MES), organique et minérale (DCO), Tandis que la faible biodégradabilité de ces effluents influe significativement sur les rendements de traitement.

Mots clés : matière en suspension, demande chimique en oxygène, anoxie, station d'épuration Sidi Ali Lebhar (Bejaïa).

Abstract

Our work consists in studying the influence of the hydraulic and biochemical conditions in experiments on the simultaneous elimination of hydrocarbon, nitrogenized and phosphated pollution waste water in a pilot unit of laboratory á activated sludge in anoxic zone and this with an aim of having raised outputs purification, meeting the standards of rejections.

The test results were carried out on the domestic effluents of the new purification plant Sidi Ali Lebhar (Bejaïa).

The study thus showed that the performances of bioreactor are independent of the polluting load of the effluent gross relating to particulate pollution (MY), organics and mineral (CDO), While the low biodeterioration of these effluents influences significantly the outputs of treatment.

Key words: suspended matter, chemical demand for oxygen, anoxia, purification plant Sidi Ali Lebhar (Bejaïa).

ملخص

عملنا يتمثل أساسا في دراسة تأثير عوامل هيدروليكية وبيو كيميائية في وقت واحد على إزالة التلوث الهيدروكربوني والنيتروجيني والفوسفات للمياه؛ بطريقة بيولوجية في وحدة تحتوي على جزء عديم التهوية (نقص O_2) وذلك باستعمال المياه القذرة على مستوى المخبر للحصول على كفاءة تنقية عالية و التي تلبى معايير الصرف. وفي نتائج اختباراتنا قد إعتدنا على النفايات السائلة المحلية من محطة التنقية سيدي علي البحر الجديد (بجاية). وقد توصلنا في دراستنا إلى أن أداء المفاعل الحيوي مستقل عن درجة تلوث مياه الصرف الخام، التي لها علاقة بتلوث الجسيمات (MES)، العضوية والمعدنية (DCO)، في حين أن التحليل البيولوجي المنخفض من النفايات السائلة تؤثر تأثيرا كبيرا على مردود التنقية. المفاتيح: الجسيمات العالقة، الطلب على الأكسجين الكيماوي، نقص O_2 ، محطة التنقية سيدي علي البحر الجديد (بجاية).