

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Ecole Nationale Polytechnique
Département de Génie Chimique



Projet de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Chimique

Thème:

**Réduction de la consommation électrique et du bilan carbone de la
STEP de Boumerdes par intégration des énergies renouvelables**

Etudié par:

Melle Ania BENBESSI
Melle Khaoula SEBTI

Dirigé par:

Pr F. SOUAHI
M. S. IGOUD

Composition du jury :

Président : M. S. SELATNIA, *Professeur (ENP)*
Examineurs : Mme F. MEZIANI, *Maître Assistante A (ENP)*
M. M. NAKIB, *Maître Assistant A (ENP)*
Encadreurs : Mme F. SOUAHI, *Professeur (ENP)*
M. S. IGOUD, *Chargé de Recherche (UDES)*
Invités : M. A. CHOUIKH, *Directeur Exploitation (ONA)*
Melle S. YAGOUB, *Ingénieur Maintenance (STEP, Boumerdes)*

Promotion Juin 2011

ENP. 10, Avenue Hassen Badi - El Harrach-Alger

Remerciements

Nous tenons à témoigner notre profonde reconnaissance à nos encadreurs Madame F.SOUAHI, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique, et Monsieur S.IGOUD, Chargé de Recherche à l'UNESCO, pour avoir été présents tout au long de l'avancement du mémoire, pour leurs conseils et leurs expériences qui nous ont aidées pour mener à bien ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à Monsieur M. ACHOUR, Directeur de la Station d'Épuration de Boumerdes, à Madame K. YESRI, Chef de Département Exploitation et Maintenance, Mademoiselle S. YAGOUB, Ingénieur de maintenance et à l'ensemble du personnel pour nous avoir accueillies et intégrées dans leur structure.

Nous tenons à remercier aussi les membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Un grand merci à l'ensemble des enseignants du Département de Génie Chimique ayant collaboré à notre formation.

Un merci particulier à nos chers parents de nous avoir donné la force, le courage et de nous avoir soutenues pour accomplir ce travail.

Je dédie ce travail à mes chers parents

A mes frères et sœurs

A tous ceux qui ont contribué à ma réussite

ANIA

Je dédie ce travail à mes chers parents, qui m'ont soutenu dans les moments les plus durs

A mes sœurs : Kawther et Bouthayna et Ferial et mes frères : Habib

Kheled et Zakarya .

*A mes amis : Ahmed, Zineb, Basma, Amel, Ines, Zhour, Farah et Feyrouz. Ainsi que
toute ma famille et mes amies d'enfance.*

KHAOULA

Résumé / Abstract / ملخص

الموضوع : تخفيض استهلاك الطاقة وانبعاثات الكربون في محطة معالجة مياه الصرف بومرداس باستخدام الطاقة المتجددة

ملخص

هذه الدراسة متعلقة بمحطة تصفية مياه الصرف بومرداس بهدف تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية وانبعاثات الكربون طوال فترة المعالجة على مستوى مبنى الإدارة والمختبرات والإضاءة الخارجية كما اهتمت هذه الدراسة بتقييم استهلاك الطاقة الكهربائية والمعدات والتكاليف. وهذا الجزء من عملنا سمح أيضا بتحديد انبعاثات الكربون التي تولدها المحطة. تم اقتراح حلول باستخدام الطاقة المتجددة لتغطية جزء من احتياجات المحطة، وحماية بيئتنا.

الكلمات الرئيسية: مياه الصرف - عمليات تطهير - الطاقة المتجددة - الطاقة الشمسية

Thème: Réduction de la consommation électrique et du bilan carbone de la STEP de Boumerdes par intégration des énergies renouvelables

Résumé

Notre étude a concerné la STEP de Boumerdes avec comme objectif de réduire la consommation électrique et les émissions de carbone tout le long de la chaîne d'épuration ainsi qu'au niveau du bâtiment administratif, du laboratoire et de l'éclairage extérieur.

Un état des lieux a été réalisé pour recenser les appareillages électriques et évaluer la consommation électrique et son coût. Cette partie de notre travail a permis aussi de déterminer le bilan carbone engendré par la station.

Des solutions utilisant les énergies renouvelables sont proposées pour couvrir une partie des besoins de la STEP et pour protéger notre environnement.

Mots-Clés: Eaux usées – Procédés d'épuration – Energie renouvelable – Energie solaire

Topic: Reducing electric consumption and carbon s emissions from the STEP Boumerdes by integration of renewable energy

Abstract

This study concerned the STEP of Boumerdes, in order to reduce the energy consumption and carbon emission throughout the treatment in administration building, laboratory and outdoor lighting.

Our work is, also, based on electrical consumption s evaluation, the electrical equipment and cost. This part of the work allows determining emission s carbon generated by the station.

Solutions' using renewable energy is proposed to cover part of the needs of the STEP and to protect our environment.

Key words: Wastewater - Treatment Processes - Renewable Energy - Solar Energy

Table des matières

	Introduction	1
CHAPITRE I	Origine et pollution des eaux usées	
	1.1 Origine des eaux usées	2
	1.1.1 Les eaux usées industrielles.....	2
	1.1.2 Les eaux usées domestiques.....	3
	1.2 La pollution des eaux.....	3
	1.2.1 La pollution physique.....	4
	1.2.2 La pollution chimique.....	5
	1.2.3 La pollution biologique.....	7
CHAPITRE II	Procédés et conditions d'épuration des eaux usées urbaines	
	2.1 Caractéristiques des eaux usées et techniques d'épuration.....	10
	2.1.1 Données à prendre en compte.....	12
	2.2 Procédés d'épuration des eaux usées urbaines.....	13
	2.2.1 Les boues activées.....	14
	2.2.2 Les lits bactériens et les disques biologiques.....	17
	2.2.3 Les biofiltres.....	19
	2.2.4 Le lagunage.....	21
	2.3 Les ouvrages d'épuration dans les traitements	26
	2.3.1 Le prétraitement	26
	2.3.2 Le traitement primaire.....	28
	2.3.3 Le traitement secondaire.....	29
	2.3.4 Le traitement tertiaire.....	31
	2.3.5 Le traitement des boues.....	31
	2.3.6 La stabilisation et l'hygiénisation.....	37
CHAPITRE III	Les énergies renouvelables	
	3.1 Les énergies renouvelables.....	42
	3.1.1 La production de biogaz en station d'épuration.....	42
	3.1.2 Pico centrales hydroélectriques.....	46
	3.1.3 Aérogénérateurs.....	47

CHAPITRE IV	Situation de l'assainissement en Algérie	
4.1	Politique de la gestion de l'eau en Algérie.....	49
4.2	Procédés d'épuration en Algérie	50
4.3	Bilan d'exploitation pour l'année 2010.....	51
4.3.1	Evénements Marquants de l'Année 2010.....	51
4.3.2	Exploitation des STEP et LAGUNES.....	52
4.3.3	Bilan de la consommation d'énergie électrique et son coût....	54
4.3.4	Coûts d'exploitation des Systèmes d'assainissement.....	66
4.4	Les enjeux de l'assainissement	69
4.4.1	La dimension économique.....	69
4.4.2	La dimension environnementale.....	70
4.4.3	Valorisation des produits issus de l'épuration des eaux...	71
CHAPITRE V	Présentation de la station d'épuration de Boumerdes	
5.1	Localisation.....	74
5.2	Caractéristiques techniques.....	75
5.2.1	Caractéristiques de l'eau à traiter.....	76
5.2.2	Objectif du traitement.....	76
5.3	Procédé d'épuration.....	76
5.3.1	Arrivée de l'eau.....	77
5.3.2	Traitement primaire.....	78
5.3.3	Traitement secondaire.....	79
5.3.4	Traitement tertiaire.....	81
CHAPITRE VI	Évaluation de la consommation d'énergie électrique de la STEP, son coût et son bilan Carbone	
6.1	Méthodologie du travail.....	82
6.2	Méthode de calcul.....	83
6.2.1	Méthode de détermination du temps de fonctionnement moyen journalier.....	83
6.2.2	Méthode d'évaluation de la consommation électrique.....	83
6.3	Evaluation de la consommation électrique au niveau de chaque ouvrage.....	85
6.3.1	Chaine d'épuration.....	86
6.3.2	Eclairage extérieur.....	113
6.3.3	Bâtiments.....	114
6.3.4	Laboratoire.....	116
6.3.5	Synthèse des résultats.....	117

6.3.6	Evaluation de la consommation d'énergie électrique réactive totale mensuelle.....	119
6.3.7	Calcul de l'erreur relative commise sur l'évaluation de la consommation d'énergie électrique mensuelle de la STEP.	124
6.4	Evaluation du coût de la consommation électrique de la STEP	122
6.4.1	Méthode d'évaluation du coût de la consommation électrique.....	122
6.4.2	Evaluation du coût de la consommation d'énergie électrique.....	125
6.5	Evaluation du bilan carbone.....	127
6.5.1	Méthode de calcul du bilan carbone.....	127
6.5.2	Chaine d'épuration.....	127
6.5.3	Évaluation du taux de CO ₂ totale émis.....	129

CHAPITRE VII Introduction des énergies renouvelables dans la STEP

7.1	Evaluation de la possibilité de valorisation énergétique des boues.....	132
7.1.1	Dimensionnement de l'installation.....	134
7.2	Evaluation de l'utilisation de l'énergie solaire pour l'éclairage extérieur.....	153
	Conclusion générale	160
	Bibliographie	161
	Annexe	162

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Concentration des micro-organismes dans les eaux usées.....	9
--	---

Chapitre II

Tableau II.1 : Avantages et inconvénients des différentes filières intensives.....	19
Tableau II.2 : les techniques d'épuration extensives.....	25
Tableau II.3 : Les avantages et les inconvénients des techniques d'épaississements.....	34
Tableau II.4 : Les avantages et les inconvénients des différentes techniques de déshydratation.....	35
Tableau II.5 : Les avantages et les inconvénients de chaque type de séchage.....	41

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Procédés d'épuration utilisés dans les STEP d'Algérie.....	51
Tableau IV.2 : Consommation d'énergie électrique active trimestrielle des STEP par zone d'exploitation durant l'année 2010.....	55
Tableau IV.3 : Consommation trimestrielle d'énergie électrique réactive des STEP n par zone d'exploitation durant l'année 2010.....	56
Tableau IV.4 : Volume trimestriel d'eau épurée par zone d'exploitation durant l'année 2010.....	58
Tableau IV.5 : Coût de la consommation d'énergie électrique des STEP par zone pour l'année 2010.....	59
Tableau IV.6 : Consommation en énergie électrique active des SR trimestrielle par zone d'exploitation durant l'année 2010.....	61
Tableau IV.7 : Consommation trimestrielle des SR en énergie électrique réactive par zone d'exploitation durant l'année 2010.....	62
Tableau IV.8 : Volume d'eau trimestriel relevée par zone d'exploitation durant l'année 2010.....	63

Tableau IV.9 : Coût de la consommation d'énergie électrique des SR par zone d'exploitation durant l'année 2010.....	64
Tableau IV.10 : Consommation et coût de l'énergie électrique des SR et des STEP durant l'année 2010.....	65
Tableau IV.11 : Répartition des coûts d'exploitation par centre de frais.....	66

Chapitre VI

Tableau VI.1 : Durée de fonctionnement moyenne journalière des pompes de relevages P101, P102 et P103 durant l'année 2010.....	87
Tableau VI.2 : Consommation moyenne journalière d'énergie électrique des pompes de relevage.....	87
Tableau VI.3: Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle du poste de relevages.....	88
Tableau VI.4 : Durée de fonctionnement moyenne journalière des pompes P104 et P105 des bassins d'orage durant l'année 2010.....	89
Tableau VI.5 : Consommation électrique moyenne journalière des pompes P104, P105 des bassins d'orages.....	89
Tableau VI.6: Consommation électrique active moyenne journalière, mensuelle et annuelle du bassin d'orage.....	89
Tableau VI.7 : Consommation électrique moyenne journalière du dégrilleur D102.....	90
Tableau VI.8 : Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle du dégrilleur.....	91
Tableau VI.9: Consommation moyenne journalière d'énergie électrique du convoyeur à déchets T101.....	92
Tableau VI.10: Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle du convoyeur à déchets.....	92
Tableau VI.11 : Durée de fonctionnement moyenne journalière des airs lift C101 et C102 sur l'année 2010.....	93
Tableau VI.12 : Consommation moyenne journalière d'énergie électrique des dégraisseurs déssableurs C101, C102.....	93
Tableau VI.13 : Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle du dégraisseur déssableur.....	93

Tableau VI.14 : Durée de fonctionnement moyenne journalière des ponts racleurs D104 et D105 durant l'année 2010.....	94
Tableau VI.15 : Consommation moyenne journalière d'énergie électrique du pont racleur	95
Tableau VI.16: Consommation électrique active moyenne journalière, mensuelle et annuelle du pont racleur.....	95
Tableau VI.17 : Consommation moyenne journalière de l'énergie électrique du prétraitement.....	95
Tableau VI.18 : Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle des du prétraitement.....	96
Tableau VI.19 : Durée de fonctionnement moyenne journalière des actirotors durant l'année 2010.....	97
Tableau VI.20 : durée des cycles de marche des actirotors.....	98
Tableau VI.21: Consommation moyenne journalière de l'énergie électrique des actirotors .	99
Tableau VI.22.: Consommation électrique active moyenne journalière, mensuelle et annuel de l'aération biologique.....	99
Tableau VI.23 : Durée de fonctionnement moyenne journalière des pompes d'extraction P203, P206et P209 durant l'année 2010.....	100
Tableau VI.24: Durée de fonctionnement moyen journalier des pompes de recirculation P201, P202, P204, P205, P207etP208 sur l'année 2010.....	101
Tableau VI.25 : Fréquence de marche des équipements de la fosse à boues.....	102
Tableau VI.26 : Consommation moyenne journalière de l'énergie électrique de la fosse à boues.....	103
Tableau VI.27 : Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle des pompes de la fosse à boues.....	103
Tableau VI.28 : Durée de fonctionnement moyenne journalière sur une année des clarificateurs sur l'année 2010.....	104
Tableau VI.29 : Consommation moyenne journalière de l'énergie électrique des clarificateurs.....	104
Tableau VI.30 : Consommation électrique active moyenne journalière, mensuelle et annuelle des clarificateurs.....	105
Tableau VI.31 : Consommation moyenne journalière de l'énergie électrique de l'épaisseur	106

Tableau VI.32 : Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle de l'épaisseur.....	106
Tableau VI.33 : Temps de fonctionnement journalier moyen des transporteurs T301, T302 durant l'année 2010.....	108
Tableau VI.34 : Temps de fonctionnement moyen journalier de fonctionnement des agitateurs durant l'année 2010.....	109
Tableau VI.35 : Consommation moyenne journalière de l'énergie électrique de la salle de déshydratation.....	111
Tableau VI.36 : Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle de la salle de déshydratation.....	112
Tableau VI.37 : Consommation moyenne d'énergie électrique par ouvrage de la STEP de Boumerdes.....	113
Tableau VI.38 : Temps de fonctionnement moyen journalier de l'éclairage extérieur par tranche horaire.....	114
Tableau VI.39 : Consommation moyenne journalière de l'énergie électrique de l'éclairage extérieur.....	114
Tableau VI.40 : Consommation d'énergie électrique moyenne journalière, mensuelle et annuel de l'éclairage extérieur.....	114
Tableau VI.41 : Équipements consommateurs d'énergie électrique dans les bâtiments.....	115
Tableau VI.42 : Consommation moyenne journalière d'énergie électrique des équipements des bâtiments.....	115
Tableau VI.43 : Consommation d'énergie électrique moyenne journalière, mensuelle et annuel des équipements des bâtiments.....	116
Tableau VI.44 : Caractéristique des équipements de laboratoire.....	116
Tableau VI.45 : Consommation moyenne journalière d'énergie électrique des équipements du laboratoire.....	117
Tableau VI.46 : Consommation d'énergie électrique moyenne journalière, mensuelle et annuel des équipements du laboratoire.....	117
Tableau VI.47 : Consommation moyenne d'énergie électrique par catégorie de la STEP de Boumerdes.....	118
Tableau VI.48 : Consommation d'énergie électrique active et réactive totale mensuelle de la STEP durant l'année 2010.....	119
Tableau VI.49 : L'erreur relative commise sur l'estimation de la consommation énergétique totale mensuelle durant l'année 2010.....	122

Tableau VI.50 : Tarification de l'énergie active par tranches horaires suivant le mode 41.....	123
Tableau VI.51 : Coût mensuel de l'énergie électrique active consommée.....	125
Tableau VI.52 : Coût mensuel de l'énergie réactive consommée.....	126
Tableau VI.53 : Coût totale mensuel de la consommation d'énergie électrique.....	126
Tableau VI.54 : Taux de CO ₂ émie par ouvrage de la STEP de Boumerdes.....	128
Tableau VI.55 : Taux de CO ₂ émie par catégorie de la STEP de Boumerdes.....	129
Tableau VI.56 : Variation mensuelle du taux de CO ₂ émis par type d'énergie électrique consommée durant l'année 2010.....	130

Chapitre VII

Tableau VII.1 : Variation mensuelle de la quantité de boues produites durant l'année 2010.....	132
Tableau VII.2 : Variation de la quantité de matière sèche et volatile dans les boues de la STEP durant l'année 2010.....	142
Tableau VII.3 : La production d'énergie électrique et thermique par cogénération.....	148
Tableau VII.4 : Energie nécessaire au chauffage des digesteurs.....	149
Tableau VII.5 : Energie pouvant être utilisé par la STEP.....	149
Tableau VII.6 : Energie électrique nécessaire et énergie disponible par jour.....	150
Tableau VII.7 : Gains réalisée à partir de la valorisation minimale des boues de la STEP..	151
Tableau VII.8 : Le coût des différents éléments d'installation du panneau solaire.....	158
Tableau VII.9 : Comparaison entre les deux éclairages.....	159
Tableau VII.10 : Gains recueillis à partir des solutions proposés.....	159

Liste des figures

Chapitre II

Figure II.1 : Synthèse des techniques utilisées dans l'épuration des eaux usées.....	11
Figure II.2 : Chaînes de traitement avec les variantes possibles.....	13
Figure II.3 : Synoptique d'un bassin d'aération prolongée.....	14
Figure II.4 : Schémas types d'installations à boues activées.....	15
Figure II.5 : Aérateur de surface (type turbine). Montage fixe sur passerelle en béton.....	16
Figure II.6 : a)Aérateur de surface (type turbine) Actirotor, b) Diffuseur (bulles moyennes).	16
Figure II.7 : a) Diffuseur (bulles moyennes) type Kenics, b) Diffuseur (fines bulles) tubulaire à membrane en élastomère.....	17
Figure II.8 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien.....	17
Figure II.9 : Coupe schématique d'un lit classique à ruissellement.....	18
Figure II.10 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique.....	18
Figure II.11 : Schéma du principe d'un disque biologique.....	19
Figure II.12 : Schéma simplifié du principe de fonctionnement d'un biofiltre.....	20
Figure II.13 : Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel.....	22
Figure II.14 : Arbre de décision.....	26

Chapitre III

Figure III.1 : Fonctionnement du digesteur.....	43
Figure III.2 : vision schématique de la chaîne de digestion dans sa globalité.....	45
Figure III.3 : Exemple de turbine.....	46
Figure III.4 : Exemple d'un aérateur.....	47
Figure III.5 : Alimentation du poste de relevage d'une station d'épuration.....	48

Chapitre IV

Figure IV.1 : Procédés d'épuration utilisés en Algérie.....	50
Figure IV.2 : Répartition des volumes des eaux épurées par zone durant l'année 2010.....	52
Figure IV.3 : Evolution du volume des eaux épurées de l'année 2008 à l'année 2010.....	53
Figure IV.4 : Répartition des sous produits de l'épuration durant les années 2009 et 2010...53	

Figure IV.5 : Evolution des volumes de boues durant les années 2009 et 2010.....	54
Figure IV.6 : Consommation trimestrielle des STEP en énergie électrique active par zone durant l'année 2010.....	55
Figure IV.7 : Consommation trimestrielle des STEP en énergie électrique réactive par zone d'exploitation durant l'année 2010.....	56
Figure IV.8 : Volume d'eau trimestriel épurée par zone d'exploitation durant l'année 2010.....	57
Figure IV.9 : Ratio par zone d'exploitation des STEP pour l'année 2010.....	59
Figure IV.10 : Coût de la consommation d'énergie électrique des STEP par zone d'exploitation pour l'année 2010.....	60
Figure IV.11 : Coût de la consommation en énergie électrique des STEP par mètre cube d'eau épurée par zone d'exploitation pour l'année 2010.....	60
Figure IV.12 : Consommation trimestrielle d'énergie électrique active des SR par zone d'exploitation durant l'année 2010.....	61
Figure IV.13 : Consommation trimestrielle des SR en énergie électrique réactive par zone d'exploitation durant l'année 2010.....	62
Figure IV.14 : Volume d'eau relevée par zone d'exploitation durant l'année 2010.....	63
Figure IV.15 : Ration des SR par zone d'exploitation pour l'année 2010.....	64
Figure IV.16 : Coût de la consommation d'énergie électrique des SR par zone d'exploitation pour l'année 2010.....	65
Figure IV.17 : Consommation d'énergie électrique active des STEP et des Stations de relevages pour l'année 2010.....	66
Figure IV.18 : répartition des coûts d'exploitation par nature d'activité pour l'année 2010...	68
Figure IV.19 : Répartition des coûts d'exploitation par centre de frais pour l'année 2010....	68

Chapitre V

Figure V.1 : système d'assainissement de la ville de Boumerdes.....	74
Figure V.2: Photo du schéma directeur d'assainissement de Boumerdes	75
Figure V.3 : Vue de dessus de la STEP de Boumerdes par satellite.....	75
Figure V.4: Schéma synoptique de la station d'épuration de Boumerdes.....	77
Figure V.5 : Photo de l'arrivée de l'eau.....	78
Figure V.6: Photo du dégrilleur.....	78
Figure V.7: Photo de déssableur-dégraisseur.....	79
Figure V.8: Photo du bassin d'aération.....	80
Figure V.9: Photo du Décanteur secondaire – clarificateur.....	80

Figure V.10: Photo de l'ouvrage de désinfection.....	81
---	----

Chapitre VI

Figure VI.1 : Liaison entre la puissance active et la puissance réactive d'un transformateur.	84
Figure VI.2 : Photo du schéma synoptique de chaîne d'épuration de la STEP de Boumerdes.....	85
Figure VI.3 : Temps de fonctionnement moyen mensuel des pompes de relevage durant l'année 2010.....	86
Figure VI.4 : Temps de fonctionnement mensuel des pompes P104 et P105 des bassins d'orage durant l'année 2010.....	88
Figure VI.5 : Temps de fonctionnement mensuel du dégrilleur D102 durant l'année 2010.....	90
Figure VI.6 : Temps de fonctionnement mensuel du convoyeur à déchets durant l'année 2010.....	91
Figure VI.7 : Temps de fonctionnement moyen mensuel des airs lift entre janvier et décembre 2010.....	92
Figure VI.8 : Temps de fonctionnement moyen mensuel des déssableurs durant l'année 2010.....	94
Figure VI.9 : Temps de fonctionnement mensuel des actirotors A201, A202 et A203 durant l'année 2010.....	96
Figure VI.10 : Temps de fonctionnement mensuel des actirotors A204, A205 et A206 durant l'année 2010.....	96
Figure VI.11 : Temps de fonctionnement mensuel des actirotor A207, A208 et A 209 durant l'année 2010.....	97
Figure VI.12: Temps de fonctionnement mensuel des pompes d'extraction durant l'année 2010.....	100
Figure VI.13 : Temps de fonctionnement moyen mensuel des pompes de recirculation P201, P202 et P204 durant l'année 2010.....	100
Figure VI.14: Temps de fonctionnement moyen mensuel des pompes de recirculation P205, P207 et P208 durant l'année 2010.....	101
Figure VI.15: Temps de fonctionnement moyen mensuel des clarificateurs durant l'année 2010.....	104
Figure VI.16 : Durée de fonctionnement mensuelle de l'épaississeur pendant l'année 2010.....	105

Figure VI.17 : Durée de fonctionnement mensuelle de la pompe à boue durant l'année 2010.....	107
Figure VI.18 : Durée de fonctionnement mensuelle du ventilateur durant l'année 2010.....	107
Figure VI.19 : Durée de fonctionnement mensuelle du flocculateur durant l'année 2010.....	108
Figure VI.20 : Durée de fonctionnement moyenne mensuelle des transporteurs durant l'année 2010.....	108
Figure VI.21 : durée de fonctionnement mensuelle des agitateurs durant l'année 2010.....	109
Figure VI.22 : Durée de fonctionnement mensuelle du doseur à sec durant l'année 2010..	109
Figure VI.23 : Durée de fonctionnement mensuelle de la pompe doseuse durant l'année 2010	110
Figure VI.24 : Répartition de la consommation énergétique de la chaîne d'épuration pour l'année 2010.....	112
Figure VI.25 : Répartition de la consommation d'énergie électrique sur la STEP de Boumerdes durant l'année 2010.....	118
Figure VI.26 : Consommation d'énergie électrique active et réactive totale mensuelle de la STEP.....	120
Figure VI.27 : Consommation d'énergie électrique totale mensuelle de la STEP durant l'année 2010.....	120
Figure VI.28 : Consommation mensuelle d'énergie électrique totale de la STEP.....	121
Figure VI.29 : Répartition de l'émission du CO ₂ sur les ouvrages de la chaîne d'épuration	128
Figure VI.30 : Répartition de l'émission du CO ₂ sur les différentes catégories de la STEP de Boumerdes.....	129
Figure VI.31 : Variation du taux de CO ₂ totale émis par la STEP mensuellement durant l'année 2010.....	130

Chapitre VII

Figure VII.1 : Variation mensuelle de la quantité de boues produites durant l'année 2010.....	134
Figure VII.2 : Digesteur unique à moyenne charge.....	135
Figure VII.3 : Formes géométriques des digesteurs utilisées dans le monde.....	136
Figure VII.4 : Digesteur à dôme fixe bombée.....	137
Figure VII.5 : Volume équivalent du digesteur à concevoir.....	138
Figure VII.6 : Cycle proposé de digestion Anaérobie des boues en excès.....	139

Figure VII.7 : Dimensions du digesteur à concevoir.....	141
Figure VII.8 : Variation mensuelle de la quantité de matière volatile contenue dans les boues de la STEP durant l'année 2010.....	142
Figure VII.9 : La consommation électrique de la STEP avant et après valorisation des boues.....	151
Figure VII.10 : Coût de la consommation journalière de la STEP avant et après valorisation énergétique des boues.....	152
Figure VII.11 : Taux de carbone journalier émis par la STEP avant et après valorisation énergétique des boues.....	152
Figure VII.12 : Pilonne d'éclairage solaire type.....	153
Figure VII.13 : Intensité lumineuse (Lux) reçu au sol.....	154

Liste des abréviations

STEP	Station d'épuration des eaux usées
min	Minutes
h	Heures
h/jr	Heure par jour
kW	Kilowatts
kWh	Kilowattheures
kWh/jr	Kilowattheures par jour
kWh/mois	Kilowattheures par mois
kWh /an	Kilowattheures par année
kg	Kilogrammes
kg CO ₂ /an	Kilogrammes de dioxyde de carbone par année
kg CO ₂ /mois	Kilogrammes de dioxyde de carbone par année
kg CO ₂ jr	Kilogrammes de dioxyde de carbone par année
Cos	Cosinus
Tg	Tangente
Fr	Fréquences
Nbr	Nombre
DA	Dinars
DA/mois	Dinars par mois
cDA / kWh	Centimes de dinars par kilowatts
m ³	Mètres cubes
HT	Haute tension
Tps marche	Temps de marche

Tps arrêt	Temps d'arrêt
Ple	Heure pleine
Pte	Heure pointe
Cre	Heure creuse
E consommée	Energies consommées
Ea	Energie active
Er	Energie réactive
E _{ple}	Energie en horaire pleine
E _{cre}	Energie en horaire creuse
E _{pte}	Energie en horaire pointe
E _{moy/mois}	Energie moyenne par mois
E _{moy/jr}	Energie moyenne par jours
E _{moy/an}	Energie moyenne par année
P _{machine}	Puissance de la machine
CE _{pte}	Cout d'énergie en horaire de pointe
CE _{ple}	Cout d'énergie en horaire pleine
CE _{cre}	Cout d'énergie en horaire creuse
Tf _{moy/mois}	Temps de fonctionnement moyen mensuel
Tf _{moy/jr}	Temps de fonctionnement moyen journalier
Tf _{ple}	Energie en horaire pleine
Tf _{pte}	Temps de fonctionnement en horaire pointe
Tf _{cre}	Temps de fonctionnement en horaire
PMA	Puissance maximum absorbée

Introduction

En moins d'un siècle la population mondiale a été multipliée par trois et la consommation d'eau totale par six et celle des usages industrielle par trente et une multiplication du réseaux industrielle ce qui a mené à une hausse importante de la consommation des énergies fossiles, par conséquent une multiplication énorme de la pollution terrestre et atmosphérique.

A l'échelle des politiques gouvernementales, les deux dernières décennies ont été particulièrement marquées par la prise en compte des composantes « environnement et développement durable » comme facteurs clé du développement économique et social. Dans ce cadre l'état Algérien a déployé un budget conséquent pour la construction de réseaux d'assainissements des eaux usées. Mais ceci s'avère insuffisant vue l'apparition de nouveaux enjeux dont les plus importants sont la rationalisation de la consommation d'énergie électrique qui demeure l'un des enjeux mondiales compte tenu notamment de ses effets d'émissions de gaz à effet de serre sur notre environnement et du risque d'épuisement de nos ressources en gaz naturel fossile. Pour que le pays poursuive sa marche à pas assurées au service du développement durable et d'assurer un environnement sain pour chaque citoyen, l'objectif fixé est de doubler la part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique pour les années à venir.

Notre travail porte sur l'Etude de la consommation en énergie électrique de la station d'épuration de Boumerdes son bilan carbone et le coût de son exploitation, réduire ces paramètres en proposant des solutions alternatives et de substituer les sources en énergie électrique fossiles utilisées par des ressources renouvelables pouvant être produites au sein de la STEP.

Chapitre I

Origine et pollution des eaux usées

L'eau usée rejetée directement dans la nature provoque une dégradation sérieuse de cette dernière. Afin de protéger notre environnement, on se voit contraint de traiter les eaux de rejets, ces eaux peuvent être valorisées ou réutilisées dans d'autres secteurs.

Les eaux usées sont des eaux polluées qui ont déjà été utilisées dans une activité domestique ou industrielle.

Une eau usée ne contient que 0.1% de polluants sous forme de matières solides. Près de 70% des polluants sont sous forme organique et 30% sous forme inorganique. La concentration des MES (matières organique + inorganique) varie généralement de 100 à 400 mg/l.

1.1 Origine des eaux usées [1]

Les eaux usées proviennent de trois (03) sources principales.

- Les eaux usées domestiques.
- Les eaux usées industrielles.
- Les eaux de surface (pluviales, de ruissèlement, de lavage,).

1.1.1 Les eaux usées industrielles

Presque toutes les eaux rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiées de rejets industriels. Cette définition concerne les rejets des usines, les rejets d'activités artisanales ou commerciales blanchisserie : Restaurant, laboratoire d'analyses médicales.

Ces rejets peuvent suivre trois (03) voies d'assainissement.

- Soit ils sont directement rejetés dans le réseau domestique.
- Soit ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique.

- Soit ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel ou réutilisés dans la fabrication.

Les eaux usées industrielles peuvent contenir des produits toxiques, des métaux lourds, des polluants organiques et des hydrocarbures.

1.1.2 Les eaux usées domestiques

Ces eaux se caractérisent par leurs fortes teneurs en matières organiques, en sels minéraux (azote, phosphore...etc.), en détergents et en germe fécaux.

On distingue généralement deux types de ces eaux qui arrivent dans le réseau d'assainissement

- Les eaux vannes, qui correspondent aux eaux de toilettes (constituées par l'urine et les matières fécales diluées avec l'eau de chasse).
- Les eaux grises qui correspondent à tous les autres usages : lave-linge, lave-vaisselle, douche / bain.

1.2 La pollution des eaux [1]

La pollution désigne l'ensemble des rejets que l'homme libère dans l'écosphère. Ces rejets qui peuvent être inoffensifs mais en fort excès, ou bien toxiques et dangereux provoquent des dégâts sur la survie des êtres vivants et exercent une influence perturbatrice sur l'environnement.

En ce qui concerne l'eau, la distinction entre l'eau polluée et non polluée est souvent relative et dépend des exigences d'utilisation. Différentes définitions ont été données par des experts assimilant la pollution à : « Une composition ou un état directement ou indirectement modifié du fait de l'activité de l'homme de telle façon que cela se traduit par une moindre utilisation de l'eau ».

La composition ainsi que les propriétés physico-chimique et bactériologique des eaux résiduaires alimentant une station d'épuration sont fonction d'une part du type du réseau d'assainissement qui véhicule ces eaux (réseau unitaire, séparatif, pseudo-séparatif, mixte...) ainsi que de la quantité des égouts et d'autre part de l'origine de ces eaux.

Les eaux résiduaires comprennent plusieurs matières ou polluants classées selon :

- **Leur état** : matières en suspension ou matières en solution.

- **Leur nature:** matières organiques ou minérale.
- **Leur réaction :** face aux organismes vivants (matière biodégradable, inerte ou toxique).

L'évolution globale de la qualité d'une eau usée s'appuie sur les paramètres suivants.

1.2.1 La pollution physique

- La température

C'est un facteur important dans la vie d'un cours d'eau. Ce paramètre souvent négligé dans les collecteurs urbains, devrait être plus souvent mesuré, surtout dans le cas de rejets industriels dans le réseau. Le fonctionnement de certains ouvrages d'épuration est très sensible à des températures trop élevées ; ainsi tout rejet doit être inférieur à 30°C.

- La conductivité

Ce paramètre mesure la capacité d'un liquide à transmettre un courant électrique à une température précise, il est définie comme étant la réciproque de la résistance électrique de l'eau, mesurée entre deux électrodes occupant 1 cm² et éloignées l'une de l'autre de 1 cm.

Le test de conductivité consiste à introduire la cellule de conductivité dans l'échantillon et à lire directement la valeur sur l'appareil.

- L'odeur

L'eau d'égout fraîche a une odeur fade, mais après fermentation, elle devient très désagréable.

- La couleur

L'eau domestique est de couleur grisâtre, elle peut être dans certains cas noir, à cause de la décomposition partielle. Par contre l'eau industrielle peut être incolore, comme elle peut avoir plusieurs couleurs à cause du déversement de colorants industriels.

- La température

Elle représente l'un des paramètres les plus importants qui agissent sur les organismes aquatiques. Elle joue un rôle primordial dans la distribution des espèces aussi bien par ses niveaux extrêmes que ses variations diurnes et saisonnières. La plupart des réactions chimiques vitales sont ralenties par un abaissement important de température. Au contraire, des augmentations de température peuvent tuer certaines espèces mais aussi de favoriser le développement d'autres espèces entraînant ainsi un déséquilibre écologique.

- Le PH

En générale les effets du PH se font sentir par l'influence qu'exerce ce paramètre sur les équilibres entre les composés du milieu (Azote ammoniacale, Sulfure de sodium, acide cyanhydrique, etc).

- La turbidité

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes fines telles que argiles, limons, grains de cilice, matières organiques...etc.

- Les matières en suspension (MES)

Elles représentent les matières organiques et minérales qui sont à l'état particulaire et colloïdal. Les MES constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel.

Ces MES peuvent induire des dépôts de boues dans les conduites et causer le colmatage des systèmes d'irrigation.

Elles se subdivisent en 2 groupes.

- **Les matières volatiles en suspension (MVS)** : Elles représentent la fraction organique des MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2h
- **Les matières minérales (M.M)** : Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire extrait sec, constitué à la fois par les matières minérales en suspension et les matières solubles (chlorures, phosphates...etc.).

- Les métiers décantables

Elles sont composées des matières en suspension qui sédimentent en 2h dans une éprouvette.

Cette analyse est surtout réalisée sur les effluents de sortie de certains ouvrages d'épuration, pour juger du rendement d'élimination de la pollution.

1.2.2 La pollution chimiques

Par ordre d'importance croissant, on peut classer les paramètres chimiques de la façon suivante.

- Les demandes en oxygène

Lors de libération dans les milieux récepteurs, les matières contenues dans les eaux résiduaires sont susceptibles d'être transformées selon différents processus chimique biologique ou mixte pour cela les bactéries transformatrices ont besoin d'apport en oxygène qui dépend du processus de transformation.

- **La demande totale en oxygène (DTO) :** Elle permet de déterminer l'apport d'oxygène nécessaire pour amener les composants d'une eau usée à leur stade final d'oxydation ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) c'est-à-dire dans les conditions supercritiques.
- **La demande biologique en oxygène (DBO) :** Elle représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour la dégradation et la métabolisation des matières organiques dans l'eau usée après incubation. Il a donc semblé intéressant d'évaluer la pollution par la quantité d'oxygène demandée dans des conditions données et sur une période donnée. Cette période est généralement de cinq (5) jours.
- **La demande chimique en oxygène (DCO) :** Elle représente la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau. Elle permet la mesure de l'oxydation globale des matières organiques biodégradables et réfractaires à l'exception de certains composés tels que les composés aromatiques.

La D.B.O₅ et la DCO renseignent sur la quantité des composés principalement de protéines, d'hydrates de carbone et de graisse présents dans l'eau usée. Ces dernières peuvent provoquer l'épuisement de l'oxygène dissous dans l'eau.

- Les nutriments

La détermination des quantités de nutriments (les macroéléments et les micro-éléments) contenus dans les eaux usées est indispensable pour contrôler les rejets dans le milieu récepteur.

- **L'Azote (N) :** C'est un élément qui se trouve sous forme ammoniacale ou organique. La concentration de l'azote dans l'eau usée urbaine après traitement secondaire varie de 20 à 60 mg/l ; il peut donc dépasser les besoins des cultures. L'azote constitue la majeure partie de l'azote total.

$$N_{total} = N_{NH4} + \underbrace{N_{organique} + N_{NO2} + N_{NO3}}_{\text{Azote réduit}} + \underbrace{N_{NO2} + N_{NO3}}_{\text{Azote oxydé}}$$

NTK

- **Le Phosphore (P)** : Cet élément est issu du métabolisme des êtres vivants, mais surtout de l'utilisation des détergents, ses concentrations varient selon les jours et les saisons. La concentration du phosphore dans l'eau usée après traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l à moins qu'un traitement tertiaire ne l'élimine.
- **Le Potassium (K)** : Le potassium contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou l'environnement, c'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement des cultures et leur qualité.

L'azote, le phosphore et le potassium sont indispensables à la croissance des plantes et leur présence bonifie la valeur de l'eau pour l'irrigation. Par contre, le rejet des eaux, riches en ces éléments, dans le milieu aquatique serait à l'origine du développement d'une vie aquatique indésirable. Ces éléments en excès polluent les eaux souterraines et les nappes phréatiques.

-Les métaux lourds

Les eaux usées urbaines sont caractérisées par une très faible concentration en métaux lourds et une forte concentration dans les eaux usées industrielles.

-Les produits toxiques ou dangereux

Ils sont rarement recherchés ; ils sont constitués par des grandes familles de composés telles que : les pesticides, les métaux lourds et les hydrocarbures. Le rejet de tous ces produits est, en principe, interdit ou fortement réglementé dans les réseaux et les eaux superficielles.

1.2.3 La pollution biologique

Les eaux usées évacuent les matières fécales et les urines des populations. Elles sont chargées en germes commensaux habituels de l'homme, et des germes pathogènes en provenance de porteurs sains ou malades.

-Les éléments pathogènes

Ces éléments sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées.

La qualité microbiologique est le critère le plus important pour les ouvriers qui travaillent au champ ainsi que pour le public qui peut être exposé directement ou indirectement à l'eau usée épurée.

Parmi les éléments pathogènes les plus rencontrés, on cite :

- **Les œufs d'Helminthes**

Ces éléments sont fréquemment rencontrés dans les eaux résiduaires, le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et $10^3/l$.

Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve, alors que pour d'autres, ce sont les œufs.

Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires.

- **Les protozoaires**

Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne et *Giardia lamblia*.

Au cours de leur cycle de vie, les protozoaires passent par une forme de résistance (les kystes) qui peut être véhiculée par les eaux usées épurées.

- **Les bactéries**

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries/100 ml, dont 10^3 sont pathogènes. Les plus connues sont les salmonelles responsables de la typhoïde et des troubles intestinaux, sans oublier les colibacilles qui ont une durée de vie de 2 à 3 mois et qui se multiplient dans l'environnement.

- **Les virus**

Les virus sont des parasites intracellulaires qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte notamment les bactéries. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines de 10^3 à 10^4 particules par titre.

Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal, parmi les virus entériques humains les plus importants, il faut citer les genres *entérovirus*, *rotavirus*, *adénovirus* et le virus de l'Hépatite qui ont une durée de vie d'environ 3 mois et constituent une importante source de contamination.

- **Les parasites**

Ces organismes peuvent survivre entre une vingtaine de jours et une dizaine de mois, les plus connus sont *ténia* et *giardia lamblia*.

Tous les paramètres décrits ci-dessus sont pris en considération par les employés de la filière du traitement, que ce soit ceux qui mettent au point la conception de la station d'épuration ou ceux qui surveillent le bon déroulement du traitement tels que les laborantins, qui, tous les jours, analysent les eaux, à l'entrée et à la sortie de la station et s'assurent que les résultats du traitement sont dans les normes fixées par les organisations de la santé et de l'environnement.

Tableau I.1 : Concentration des micro-organismes dans les eaux usées [1]

Micro-organismes	
Virus	$2 \cdot 10^5$
Bactéries	
Coliformes fécaux	$10^5 - 10^9$
Streptocoques fécaux	$10^4 - 10^6$
Salmonelles	$0 - 10^3$
Staphylocoques	$10 - 10^4$
Pseudomonas	$10^3 - 10^5$
Parasites	
Protozoaires	
Giardia	$10 - 10^5$
Cryptospridium	$10 - 10^3$
Helminthes	$5 - 10^4$

Chapitre II

Procédés et conditions d'épuration des eaux usées urbaines

L'objectif du traitement des eaux usées est l'obtention d'une eau épurée qui satisfait aux normes de rejet édictées par la législation nationale et internationale et pouvant, par suite, être évacuées sans danger dans le milieu naturel ou bien être réutilisées dans le cadre des mesures nécessaires à une bonne gestion de l'eau (recyclage), plus particulièrement dans le secteur industriel et agricole.

Selon la nature et l'importance de la pollution, différents procédés peuvent être mis en œuvre pour l'épuration des eaux usées urbaines et industrielles en fonction des caractéristiques de celles-ci et du niveau d'épuration désiré.

Pour un même type de pollution, on peut envisager des solutions diverses. Le choix doit porter sur des considérations d'ordre technique liées par exemple, à l'efficacité relative des divers procédés possibles, mais aussi économiques. Ces dernières prennent en charge l'estimation des frais d'investissement ainsi que les frais de fonctionnement, d'exploitation et de maintenance. Enfin, la solution choisie doit être suffisamment souple pour permettre des aménagements ultérieurs tenant compte de l'évolution rapide des techniques d'épuration.

2.1 Caractéristiques des eaux usées et techniques d'épuration

On peut classer, à partir des connaissances actuelles en la matière, les différents procédés d'épuration possibles, selon [2] :

- L'origine,
- La nature de la pollution (organique ou minérale)
- Sa forme (soluble, colloïdale et en suspension) (Figure II.1).

En fait, il est rare que l'on trouve un seul type de pollution dans un rejet qui a une composition très hétérogène. Le plus souvent, on a à faire d'une part à un mélange de produits

organiques et minéraux et d'autre part ces produits sont généralement présents sous les trois formes :

- Soluble,
- Colloïdale,
- En suspension.

L'élimination de la pollution conduit toujours :

en fonction des caractéristiques physico-chimiques des rejets et du degré d'épuration souhaité à la conception d'une chaîne de traitement constituée d'une succession d'opérations unitaires ou de stades de traitement.

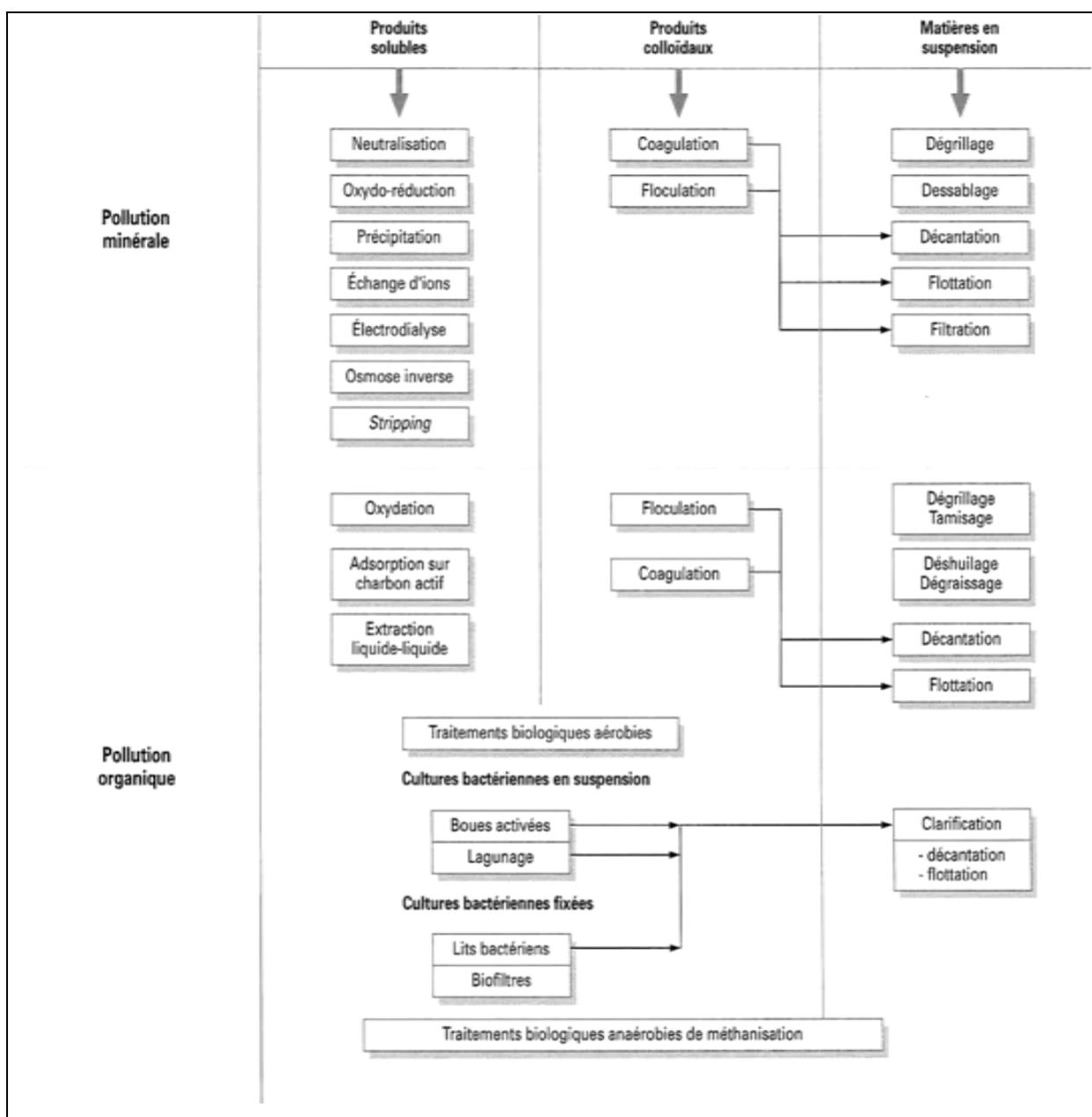


Figure II.1 : Synthèse des techniques utilisées dans l'épuration des eaux usées [3]

2.1.1 Données à prendre en compte [3]

La **conception du système d'épuration** devra obligatoirement tenir compte des données en amont et en aval.

- **Données en amont**

Il faut mesurer ou estimer aussi précisément que possible la quantité et la qualité des eaux à épurer ainsi que la variation éventuelle de ces paramètres dans le temps.

Il conviendra pour cela de prendre en compte, dans l'élaboration d'un projet de construction d'une station d'épuration, un certain nombre de facteurs énumérés ci-après.

- **Dans le secteur urbain**

- l'étendue et le relief de la zone à desservir ;
- la densité de population, l'importance et la nature de l'urbanisme ;
- le type de réseau de collecte (séparatif, unitaire, mixte) et l'impact de la pluviométrie ;
- la présence d'industries raccordées.

- **Dans l'industrie**

- le type d'activité, la nature des eaux de rejet, la production moyenne et surtout la production maximale avec les périodes s'y rapportant ;
- la nature et l'importance des pertes ressortant du bilan matières de l'établissement considéré, à l'origine de la production polluante, ses caractéristiques physico-chimiques et ses fluctuations journalières hebdomadaires ou saisonnières. On doit considérer en définitive que seul un **bilan réel des pollutions générées**, par la réalisation de campagnes de mesures sur une période prolongée, permettra de situer avec précision les variations journalières des flux de pollution et des caractéristiques des rejets à traiter.

- **Données en aval**

Le milieu récepteur du rejet d'eau épurée a une certaine « capacité d'accueil » de la pollution, fonction de sa nature et de sa dimension, et dont il faudra tenir compte pour définir les conditions de rejet. Les niveaux de qualité au rejet pour l'eau épurée et l'efficacité des installations de traitement des eaux résiduaires urbaines et industrielles sont définis par des prescriptions réglementaires, pour ce qui relève de la pollution particulière (matière en suspension MES), organique (DCO, DBO5) et celle des polluants (azote global NGI et phosphore total PT) à l'origine de l'eutrophisation (prolifération excessive du plancton).

2.2 Procédés d'épuration des eaux usées urbaines [4]

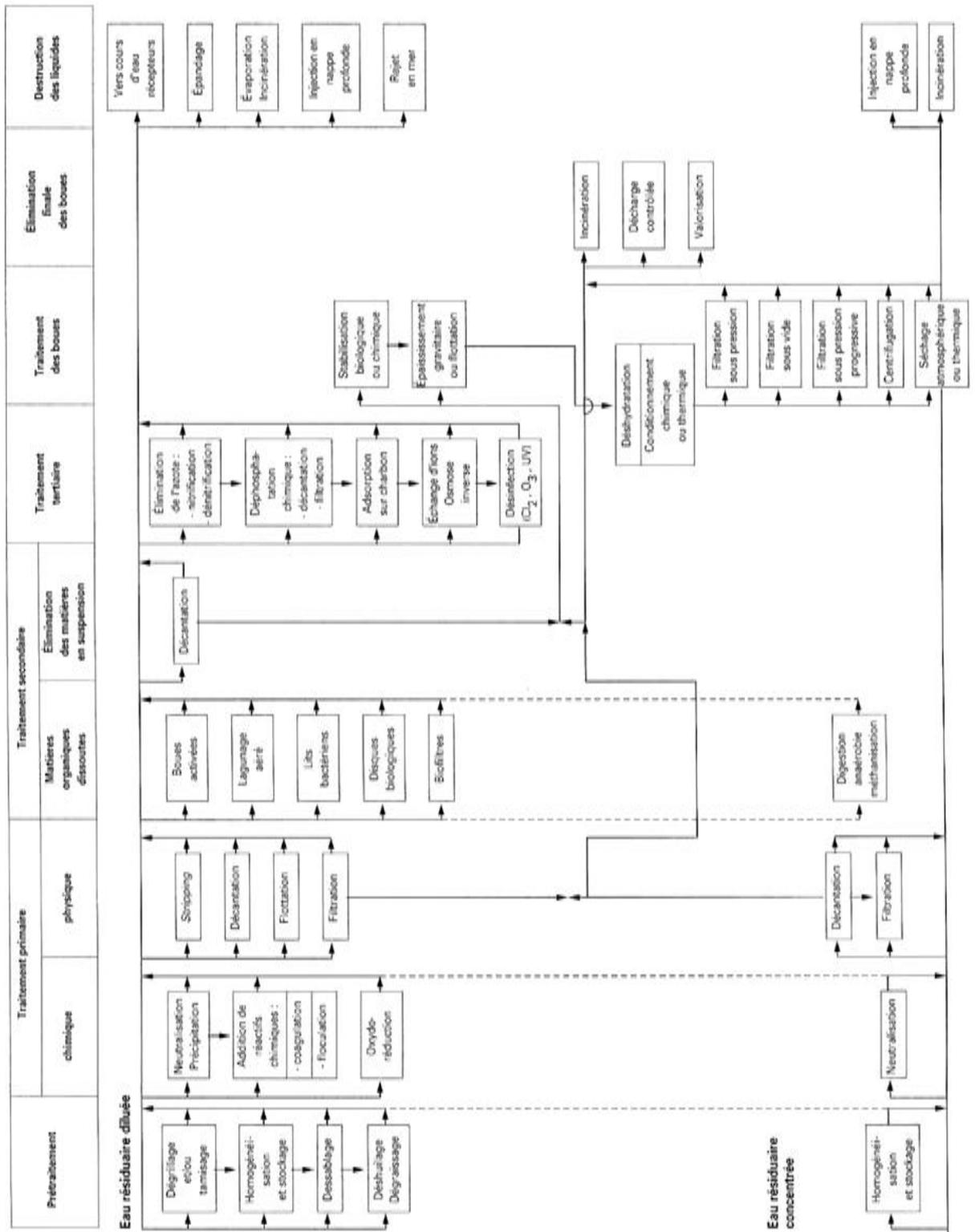


Figure II.2 : Chaînes de traitement avec les variantes possibles [3]

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs.

Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel.

Trois grands types de procédés sont utilisés.

- **les boues activées,**
- **les lits bactériens et disques biologiques,**
- **les techniques de bio filtration ou filtration biologique accélérée.**

2.2.1 Les boues activées

Le principe des boues activées réside dans une intensification des processus d'autoépuration que l'on rencontre dans les milieux naturels (Schéma ci-dessous).

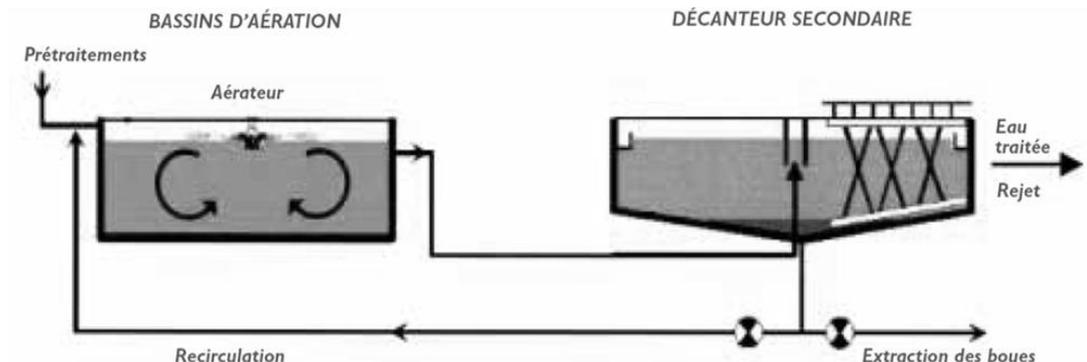


Figure II.3 : Synoptique d'un bassin d'aération prolongée [5]

Ce procédé consiste en une intensification des processus d'autoépuration des cours d'eau [2] [4]. On provoque le développement d'un « flocc » bactérien dans un bassin dit d'aération, alimenté en eau résiduaire, en brassant suffisamment la masse pour éviter la décantation des floccs et en fournissant l'oxygène nécessaire à la prolifération des micro-organismes. La liqueur mixte constituée du mélange eaux usées micro-organismes passe dans un décanteur secondaire qui permet de séparer la biomasse de l'eau épurée. Les boues biologiques sont en partie recyclées dans le bassin d'aération pour en assurer le réensemencement et maintenir une concentration permanente ; une partie est extraite vers le traitement des boues.

Une station de traitement par boues activées comprend dans tous les cas :

- Un bassin dit d'aération dans lequel l'eau à épurer est mise en contact avec la masse bactérienne épuratrice.
- Un clarificateur dans lequel s'effectue la séparation entre l'eau épurée et la culture bactérienne.
- Un dispositif de recirculation des boues assurant le retour vers le bassin d'aération des boues biologique récupérées dans le clarificateur.
- Un dispositif de fourniture d'oxygène à la masse bactérienne présente dans le bassin d'aération.
- Un dispositif de brassage afin de favoriser la diffusion de l'oxygène pour assurer au mieux le contact entre le micro-organisme et la nourriture, et éviter les dépôts.

Nous pouvons observer le schéma représenté sur la figure suivante qui représente les types d'installations d'épuration par boues activées.

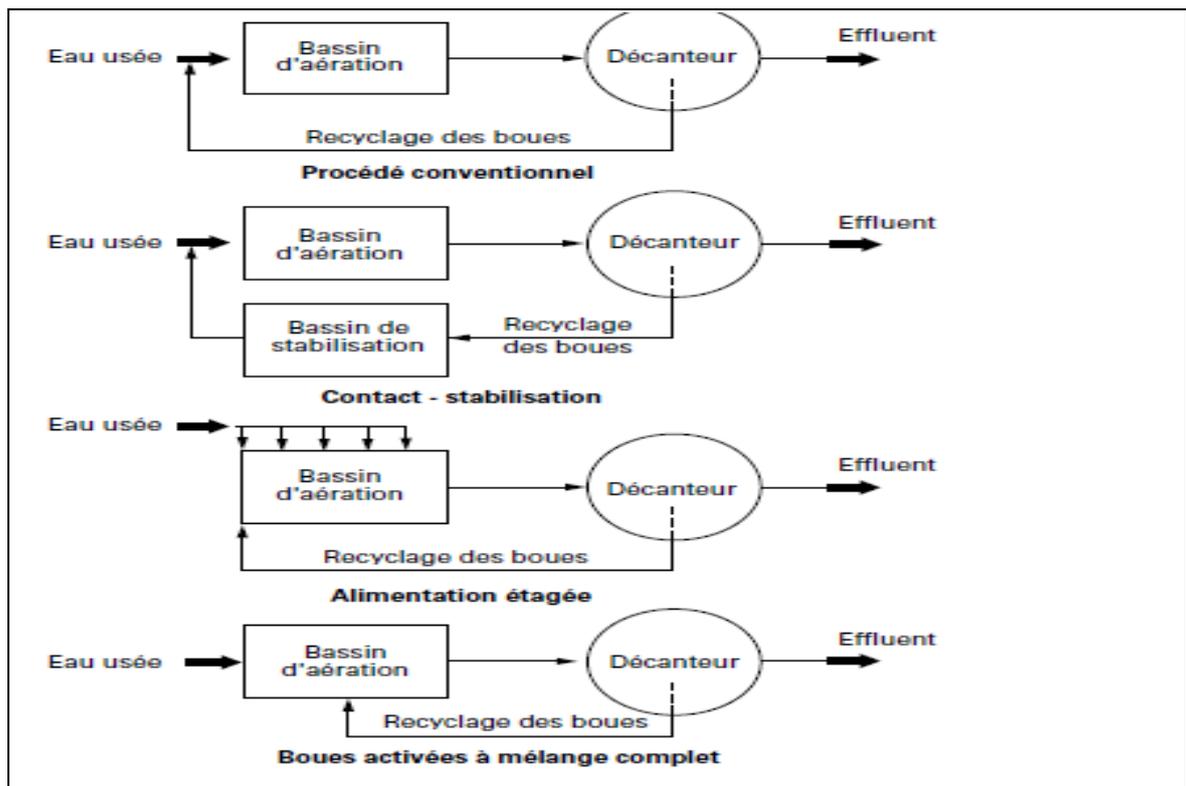


Figure II.4: Schémas types d'installations à boues activées [4]

Les principaux dispositifs d'oxygénation utilisés sont :

— les **aérateurs de surface** à savoir :

- les turbines : aérateurs à axe vertical à vitesse lente ou à grande vitesse (figures II.5 et II.6),
- les brosses : aérateur à axe horizontal, à vitesse lente (figures II.6 et II.7) ;

— les **systèmes d'injection d'air surpressé en profondeur** qui délivrent soit :

- des grosses bulles ($\text{Ø} > 6 \text{ mm}$) : cannes verticales ou diffuseurs à larges orifices,
- des bulles moyennes ($\text{Ø} > 4 \text{ mm}$) : type clapets vibreurs, lames vibrantes disposées en larges bandes au fond des bassins ou aérateurs statiques type Kenics,
- des fines bulles ($\text{Ø} > 2 \text{ mm}$) avec une diffusion à travers des corps poreux du type dômes ou disques en céramique ou mieux à travers des dispositifs à membranes en élastomère généralement de forme tubulaire qui ont l'avantage de ne pas présenter de risques de colmatage (figures II.6, II.7 et II.8).

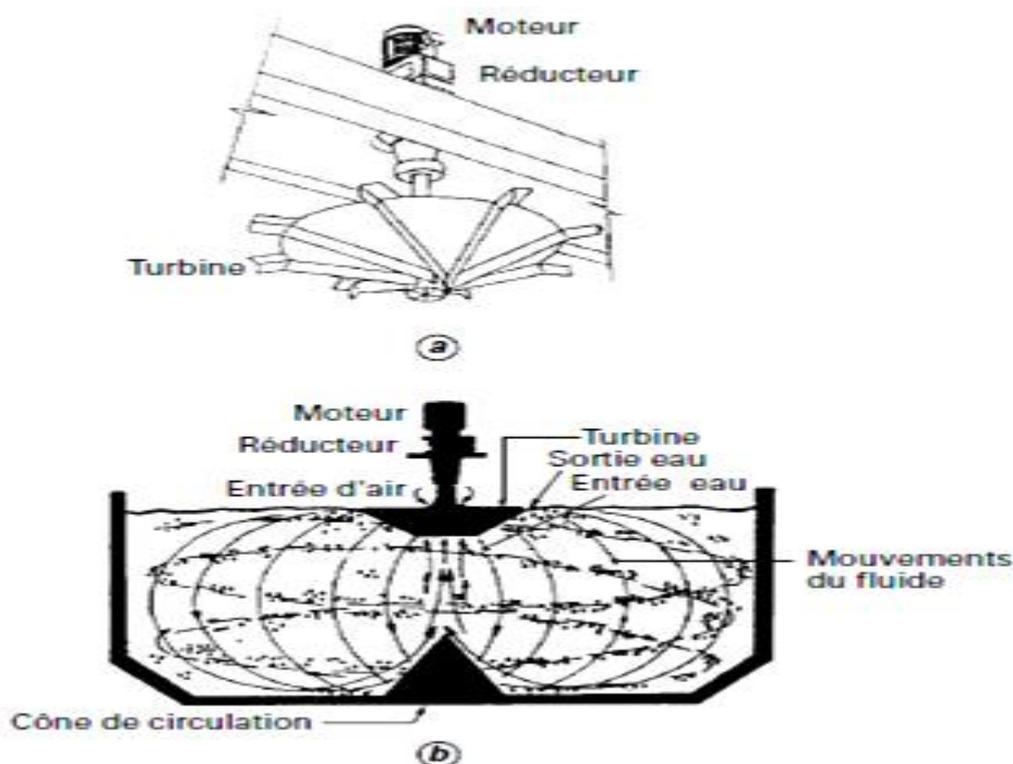


Figure II.5 : Aérateur de surface (type turbine). Montage fixe sur passerelle en béton[6]

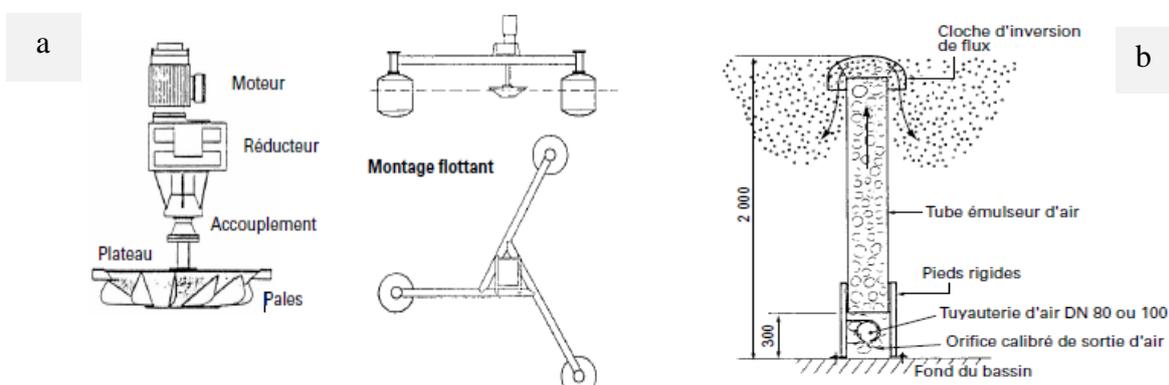


Figure II.6 : a) Aérateur de surface (type turbine) Actirotor, b) Diffuseur (bulles moyennes). [6]

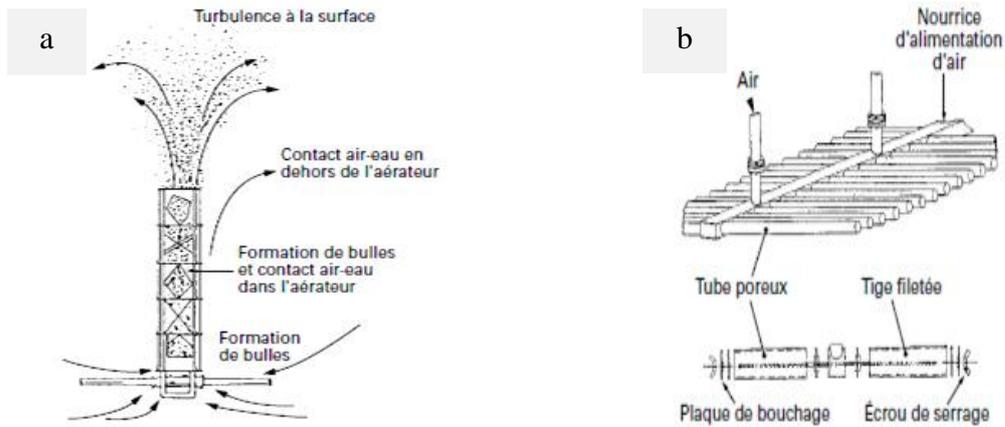


Figure II.7 : a) Diffuseur (bulles moyennes) type Kenics, b) Diffuseur (fines bulles) tubulaire à membrane en élastomère [6]

2.2.2 Les lits bactériens et disques biologiques

- Les lits bactériens [4]

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées (Figure II.9), préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs, (Figure II.8).

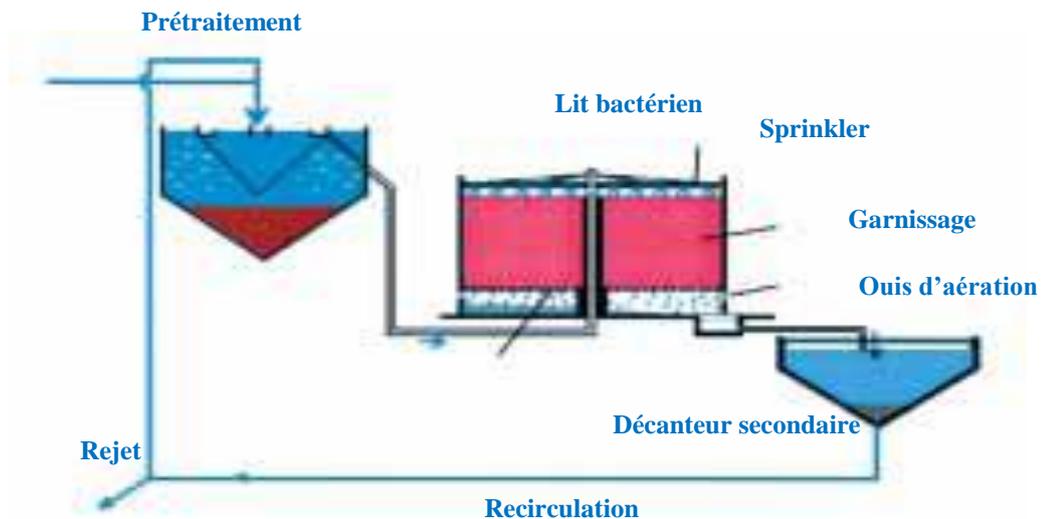


Figure II.8: Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien [5]

On utilise généralement deux types de matériaux de remplissage qui permettent de distinguer deux grandes familles de lits bactériens :

- Lits bactériens classiques, appelés filtres.
- percolateurs ou à ruissellement (figure II.9)

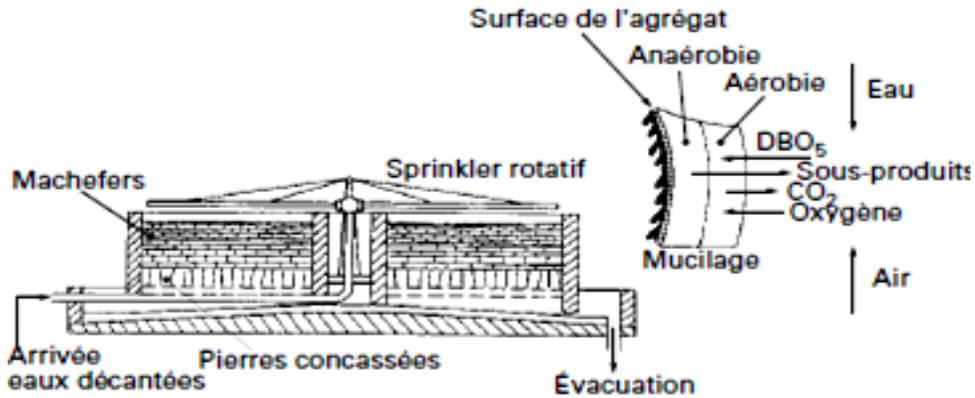


Figure II.9 : Coupe schématique d'un lit classique à ruissellement [6]

- Les disques biologiques [4]

Une autre technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par les disques biologiques tournants (Figure II.5). Les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi-immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée.

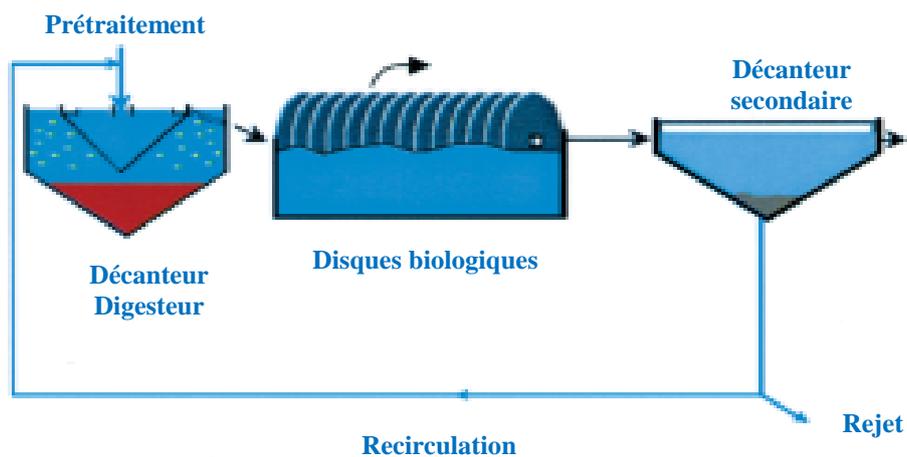


Figure II.10 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique [5]

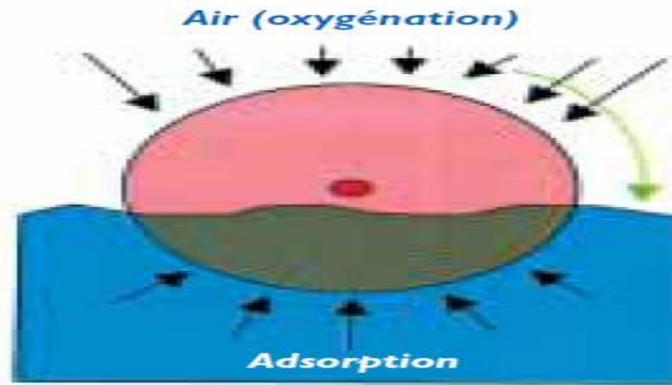


Figure II.11 : Schéma du principe d'un disque biologique [4]

Nous présentons dans le tableau suivant les avantages et les inconvénients des techniques précédemment décrites.

Tableau II.1: Avantages et inconvénients des différentes filières intensives [4]

Filière	Avantages	Inconvénients
Lit bactérien et disque biologique	<ul style="list-style-type: none"> ● faible consommation d'énergie ; ● fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle que la technique des boues activées ; ● bonne décantabilité des boues ; ● plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées ; ● généralement adaptés pour les petites collectivités ; ● résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment). 	<ul style="list-style-type: none"> ● performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées. Cela tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ; ● coûts d'investissement assez élevés (peuvent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée) ; ● nécessité de prétraitements efficaces ; ● sensibilité au colmatage ; ● ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.
Boue activée	<ul style="list-style-type: none"> ● adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites) ; ● bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO₅, N par nitrification et dénitrification) ; ● adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles ; ● boues (cf. glossaire) légèrement stabilisées ; ● facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée. 	<ul style="list-style-type: none"> ● coûts d'investissement assez importants ; ● consommation énergétique importante ; ● nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ; ● sensibilité aux surcharges hydrauliques ; ● décantabilité des boues pas toujours aisée à maîtriser ; ● forte production de boues qu'il faut concentrer.

2.2.3 Les biofiltres [6]

Le développement actuel de cette technique vise à réaliser simultanément, dans le même ouvrage, la réaction biologique de dégradation de la pollution par la biomasse épuratrice et la clarification par filtration de l'effluent traité. Elle ne comporte donc pas de clarification finale par décantation (Figure II.12).

L'ouvrage se présente comme un filtre garni en matériaux de granulométrie suffisamment faible pour obtenir un effet de filtration efficace. Le matériau sert simultanément de support à la biomasse de type fixée que l'on maintient dans des conditions aérobies dans le filtre. Dans un tel système, l'accroissement de la biomasse et les matières en suspension de l'effluent à traiter, retenues dans le matériau, vont colmater progressivement le lit.

Des lavages du matériau devront être cycliquement effectués ; à l'inverse des procédés conventionnels d'épuration, cette technique est alors discontinue.

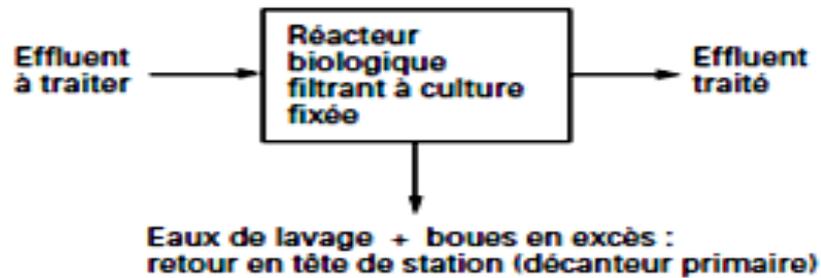


Figure II.12 : Schéma simplifié du principe de fonctionnement d'un biofiltre [4]

Ces procédés sont plutôt adaptés aux plus grandes collectivités bénéficiant de gros moyens techniques et humains et souffrants d'une pression foncière très élevée.

- Synthèse sur les procédés intensifs (Boues activées, lits bactériens et disques biologiques)

Les avantages de ces techniques font qu'elles rencontrent un grand succès auprès de l'ensemble des agglomérations.

Autre atout, en particulier pour les boues activées, elles font l'objet de recherches assez poussées de la part des grands groupes de l'eau et l'on peut trouver facilement des publications détaillées relatives à leur dimensionnement et aux innovations permettant d'améliorer les rendements sur ses paramètres. Néanmoins les lits bactériens et les disques biologiques restent, si on respecte les règles de dimensionnement, des techniques particulièrement adaptées aux petites agglomérations car elles présentent des coûts d'exploitation bien moindres :

- beaucoup moins d'énergie consommée (jusqu'à cinq fois moins par rapport à une boue activée),
- nécessité d'un personnel moins nombreux pour la conduite de ce type de station rustique.

Ces techniques peuvent être utilisées en combinaison avec des filières extensives. En particulier, les stations constituées d'un disque biologique ou d'un lit bactérien, suivies d'une

lagune de finition, peuvent permettre d'obtenir des rejets d'excellente qualité (élimination des nutriments, fort abattement des germes pathogènes).

2.2.4 Le lagunage [3] [4]

Le lagunage est une variante des traitements à boues activées, les premiers exemples récents du lagunage datent du début du XXe siècle.

On distingue les trois grands types de lagune.

- **Les lagunes naturelles.**
- **Les lagunes à macrophytes.**
- **Les lagunes aérées.**

-Le lagunage naturel

Dans les pays ensoleillés, lorsqu'on stocke l'eau à épurer dans des bassins de faible profondeur (0,8 à 1 m), on peut obtenir une épuration de type aérobie grâce à un développement bactérien actif utilisant la pollution comme source de nourriture et aboutissant à la formation d'une boue activée dispersée. L'oxygène nécessaire est alors fourni par l'activité photosynthétique des algues vertes qui se développent abondamment dans un tel milieu.

Un équilibre biologique se crée, les bactéries transforment la matière organique en dioxyde de carbone (CO₂), et en sels minéraux (nitrates, phosphates). Ce gaz carbonique ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier.

Utilisés par les algues pour synthétiser leur matière vivante et produire de l'oxygène (phénomène de photosynthèse). Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes

Les bactéries et les algues planctoniques, également dénommées "microphytes". Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique.

En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau.

La figure II.13 illustre les phénomènes qui se produisent dans une lagune naturelle.

Un tel traitement en étang est évidemment lent (plusieurs semaines voire plusieurs mois) et, par suite, nécessite de grandes superficies. De bonnes conditions climatiques sont essentielles, les périodes de faible ensoleillement se traduisant par de faibles productions d'oxygène et par une mauvaise épuration.

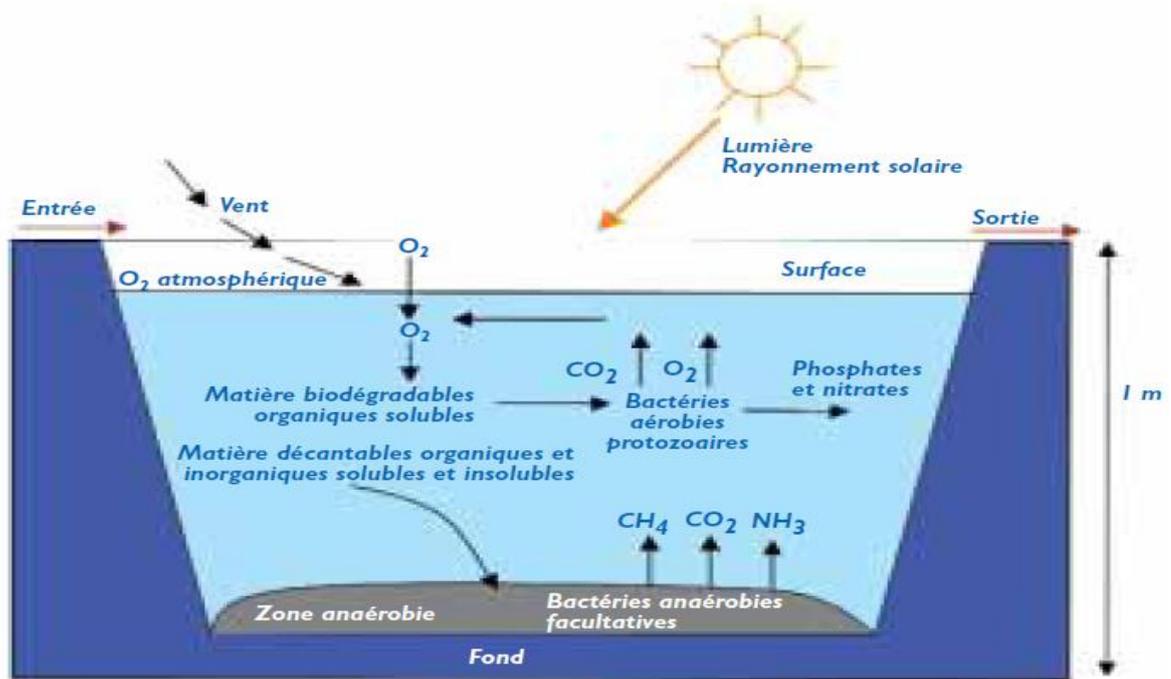


Figure II.13 : Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel

(D'après Agences de l'Eau, CTGREF) [4]

Le lagunage naturel est généralement réalisé dans plusieurs bassins en séries dans lesquels les effluents à traiter sont soumis aux processus biochimiques naturels de l'autoépuration.

On opère en pratique avec trois types de lagunes:

- une lagune profonde fonctionnant en anaérobiose ;
- une lagune de faible profondeur ou bassin mixte dit « étang de stabilisation ». Il s'agit d'un bassin de grande surface dans lequel la flore bactérienne, essentiellement aérobie, assure la métabolisation de la pollution grâce à l'oxygène qui lui est fourni, d'une part, par les algues vertes et, d'autre part, par les échanges gazeux air-eau à la surface liquide ;
- une lagune de finition en complément de traitement fonctionnant principalement en aérobie.

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est de 3. Cependant, utiliser une configuration avec 4 voire 6 bassins permet d'avoir une désinfection plus poussée.

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse.

Des mauvaises odeurs peuvent apparaître aux changements de saison (liées au phénomène d'anaérobiose) si l'effluent présent dans la première lagune est trop concentré. Il est possible de remédier à cette situation en faisant recirculer de l'eau du dernier bassin ou en diluant l'effluent à l'aide d'un dispositif de chasse sur le réseau.

✓ **Avantages**

- _ Un apport d'énergie n'est pas nécessaire si le dénivelé est favorable ;
- _ L'exploitation reste légère, mais si le curage global n'est pas réalisé à temps, les performances de la lagune chutent très sensiblement ;
- _ Elimine une grande partie des nutriments : phosphore et azote (en été) ;
- _ Très bonne élimination des germes pathogènes en été (4-5 logs), bonne en hiver (3 logs) ;
- _ S'adapte bien aux fortes variations de charge hydraulique ;
- _ Pas de construction "en dur", le génie civil reste simple ;
- _ Bonne intégration paysagère ;
- _ Absence de nuisance sonore ;
- _ Les boues de curages sont bien stabilisées (sauf celles présentes en tête du premier bassin) et faciles à épandre sur sol agricole.

× **Inconvénients techniques**

- _ Forte emprise au sol ;
- _ Coût d'investissement très dépendant de la nature du sous-sol. Dans un terrain sableux ou instable, il est préférable de ne pas se tourner vers ce type de lagune ;
- _ Performances moindres que les procédés intensifs sur la matière organique. Cependant, le rejet de matière organique s'effectue sous forme d'algues, ce qui est moins néfaste qu'une matière organique dissoute pour l'oxygénation du milieu en aval. Ce rejet reste faible en été (évapotranspiration), période la plus défavorable pour les cours d'eau, ce qui permet un rendement excellent en flux rejeté.
- _ Qualité du rejet variable selon les saisons.

-Lagunage à macrophytes :

Les lagunes à macrophytes reproduisent des zones humides naturelles comportant une tranche d'eau libre, tout en essayant de mettre en valeur les intérêts des écosystèmes naturels. Elles sont peu utilisées en Europe, mais sont souvent réalisées pour des traitements tertiaires à la suite de lagunage naturel, de lagunes facultatives ou de lagunage aéré aux Etats-Unis. Cette

filière est généralement utilisée en vue d'améliorer le traitement (sur les paramètres DBO5 ou MES) ou de l'affiner (nutriments, métaux,..).

Cependant l'utilisation d'une lagune de finition à macrophytes permettra d'obtenir de meilleurs rendements et sera plus commode d'entretien.

- Lagunage aéré

L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apporté mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu. La consommation en énergie des deux filières est, à capacité équivalente, comparable (1,8 à 2 kW/kg DBO5 éliminée).

Dans l'étage d'aération, les eaux à traiter sont en présence de micro-organismes qui vont consommer et assimiler les nutriments constitués par la pollution à éliminer. Ces micro-organismes sont essentiellement des bactéries et des champignons (comparables à ceux présents dans les stations à boues activées).

Dans l'étage de décantation, les matières en suspension que sont les amas de micro-organismes et de particules piégées, décantent pour former les boues. Ces boues sont pompées régulièrement ou enlevées du bassin lorsqu'elles constituent un volume trop important. Cet étage de décantation est constitué d'une simple lagune de décantation, voire, ce qui est préférable, de deux bassins qu'il est possible de by-passer séparément pour procéder à leur curage.

En lagunage aéré, la population bactérienne sans recirculation conduit à:

- _ une densité de bactéries faible et à un temps de traitement important pour obtenir le niveau de qualité requis ;
- _ une floculation peu importante des bactéries, ce qui contraint à la mise en place d'une lagune de décantation largement dimensionnée.

✓ Avantages techniques

Ce procédé est particulièrement tolérant à de très nombreux facteurs qui engendrent, en général, de très sérieux dysfonctionnements dans les procédés d'épuration classiques :

- _ Variation de charges hydrauliques et/ou organiques importantes ;
- _ Effluents très concentrés ;
- _ Effluents déséquilibrés en nutriments (cause de foisonnement filamenteux en boues activées) ;

- _ Traitements conjoints d'effluents domestiques et industriels biodégradables ;
- _ Bonne intégration paysagère ;
- _ Boues stabilisées ;
- _ Curage des boues tout les deux ans.

× **Inconvénients techniques**

- _ Rejet d'une qualité moyenne sur tous les paramètres ;
- _ Présence de matériels électromécaniques nécessitant l'entretien par un agent spécialisé ;
- _ Nuisances sonores liées à la présence de système d'aération ;
- _ Forte consommation énergétique.

Dans le tableau suivant, nous présentons les avantages et les inconvénients des techniques précédentes et d'autres techniques de lagunage (Infiltration percolation – Filtres plantés et des systèmes mixtes)

Tableau II.2 : les techniques d'épuration extensives [4]

Filière Classique	Traitement primaire	Traitement secondaire	Traitement tertiaire
Infiltration - percolation	Décanteur digesteur	Infiltration - percolation	
Filtres plantés à écoulement vertical	Nécessaire (des filtres plantés à écoulement vertical peuvent être utilisés pour assurer ce traitement primaire)	Filtres plantés à écoulement vertical (1 ^{er} étage)	Filtres plantés à écoulement vertical (2 ^{ème} étage)
Filtres plantés à écoulement horizontal	Décanteur digesteur	Filtres plantés à écoulement horizontal	
Lagunage naturel	1 ^{er} bassin de lagunage	2 ^{ème} bassin de lagunage	3 ^{ème} bassin de lagunage
Lagunage à macrophytes	Déconseillé	Déconseillé	Un ou plusieurs bassins
Lagunage aéré	Lagune aérée + lagune de décantation		Lagune de finition
Systèmes mixtes, par exemple ...	1 ^{er} bassin de lagunage, 2 ^{ème} bassin de lagunage		Infiltration - percolation
	Lagune aérée + lagune de décantation		Infiltration - percolation
	Filtres plantés à écoulement vertical + Filtres plantés à écoulement horizontal		

La plupart d'entre elles assurent, une élimination non négligeable d'un des paramètres du traitement tertiaire (azote, phosphore ou germes témoins de contamination fécale) selon des niveaux variables et précisés. Le choix va donc se faire au regard des avantages et des inconvénients des différentes techniques.

On propose alors l'arbre de décision suivant pour le choix d'une filière d'épuration.

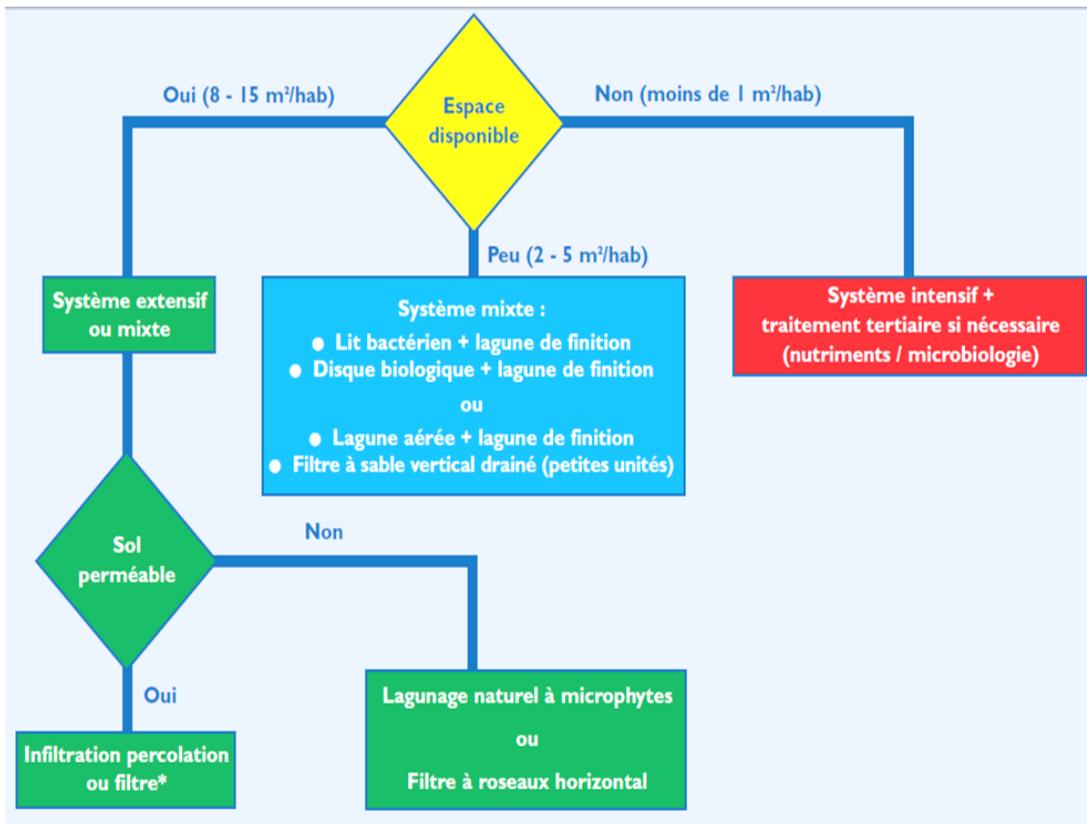


Figure II.14 : Arbre de décision (d'après Jean Duchemin - Commission Européenne - 2001)

2.3 Les ouvrages d'épuration dans les traitements [3]

Le choix d'un procédé de traitement ou d'une chaîne de plusieurs procédés dépend essentiellement :

- des caractéristiques des eaux à traiter
- de la qualité de l'effluent requise
- du coût et de la disponibilité des terrains
- de l'évolution des normes de rejets.

On distingue classiquement [3] la succession des stades de traitements suivants :

2.3.1 Le prétraitement

Il a pour objet de séparer les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures de traitement. Il comprend essentiellement les opérations de **dégrillage, tamisage, dessablage et déshuilage**. Pour les rejets industriels, il est souvent souhaitable d'assurer leur homogénéisation de composition au niveau d'un bassin tampon de tête, qui permet par ailleurs d'éviter les variations du débit hydraulique et d'assurer si nécessaire une pré-neutralisation.

-Dégrillage et tamisage

Ces techniques sont utilisées pour l'élimination pour faire passer les eaux usées au travers d'une grille ou tamis qui retiennent les éléments les plus grossiers.

Leurs objectifs principaux sont : l'élimination des matières volumineuses qui pourrait nuire à l'efficacité des traitements suivants et amener des risques de bouchage dans les différentes unités de l'installation.

Selon l'écartement des barreaux ou le diamètre des mailles, on distingue :

- **Dégrillage grossier** : pour grille à barreaux espacés de 30 à 100 mm.
- **Dégrillage moyen** : pour grille à barreaux espacés de 10 à 25 mm.
- **Dégrillage fin** : pour grille à barreaux espacés de 3 à 10 mm.

Il existe différents type de grilles.

- **Grilles manuelles** : elles sont réservées aux très petites installations, le grille fortement inclinée (angle de 60° à 80° sur l'horizontale) et munie d'un by-pass destinée à éviter le débordement.
- **Grilles mécaniques (automatiques)** : dès que la station dépasse les 5000 habitants, on doit doter l'installation de traitement de grille mécanique.

On distingue trois (03) types de tamis.

- Tamis statiques.
- Tamis rotatifs.
- Tamis vibrants.

Il existe aussi :

- **Macro-tamisage** : mailles de 250 à 300 μ m.

➤ **Micro-tamissage** : mailles de 30 à 100 μ m.

-Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brute, les gravies, sables et particules minérales plus ou moins fines.

L'élimination du sable est indispensable pour protéger les conduits et les pompes contre l'abrasions et corrosion et éviter le colmatage de canalisation. Les sables décantent et sont récupérés par pompage.

Il existe différents types de déssableurs :

- Déssableurs a canaux.
- Déssableurs rectangulaires à couloir.
- Déssableurs circulaires

-Déshuilage – dégraissage

Cette opération a pour rôle d'extraire le corps flottant moins denses que l'eau pour éviter tout risque de colmatage. Les huiles et les graisses empêchent le transport d'oxygène et donc bloquent l'activité biologique.

Les huiles sont récupérées en surface au moyen d'un racleur manuel ou mécanique.

-Dilacération

C'est une opération qui concerne essentiellement les eaux résiduaires urbaines. Elle a pour but de désintégrer les matières solides charriées par l'eau, qui peuvent poursuivre le circuit de l'eau vers les stades de traitement suivants.

Le prétraitement existe quelle que soit la filière utilisée, mais peut être réduit dans certains cas au simple dégrillage.

2.3.2 Traitement primaire

C'est une séparation physique, liquide-solide, dont l'objectif est de retenir le maximum de matières en suspension présentes dans les eaux usées.

Les opérations unitaires physiques utilisées dans cette filière de traitement sont :

- Le stripping

- La décantation
- La flottation
- La filtration

Les matières en suspension que l'on peut habituellement éliminer **par décantation** font l'objet classiquement du traitement primaire.

La clarification globale des rejets nécessite l'élimination complémentaire de la pollution particulaire colloïdale ou finement dispersée, qui peut être obtenue moyennant l'utilisation de réactifs chimiques lors d'un traitement par voie physico-chimique qui implique la mise en œuvre d'une coagulation-floculation en amont d'une séparation solide-liquide par décantation ou flottation. Certains types de stations ne comportent pas de traitement primaire.

Les opérations unitaires chimiques qui peuvent être mise en œuvre dans cette filière sont :

- La neutralisation.
- La précipitation.
- La coagulation floculation.
- L'Oxydoréduction.

2.3.3 Traitement secondaire

Les traitements secondaires recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles. Il existe un grand nombre de procédés de traitements des eaux usées, dont l'application dépend à la fois des caractéristiques des eaux usées à traiter, et de degré d'épuration désiré.

Le rapport $\frac{DCO}{DBO_5}$ donne une estimation de la biodégradabilité des matières présentes dans l'eau usée. Ainsi on estime l'effluent :

- Si $\frac{DCO}{DBO_5} < 2.5$: l'effluent est excellent pour le traitement biologique.
- Si $\frac{DCO}{DBO_5} > 2.5$: le traitement biologique est impossible, on doit procéder à un traitement physico-chimique.

-Traitement physico-chimique

Après une étape de prétraitement, le traitement physico-chimique consiste en une séparation physique solide – liquide après un ajout des réactifs chimiques ayant provoqué l'agglomération des matières en suspension (MES).

Le traitement se déroule en quatre (04) phase :

- La coagulation qui consiste en un ajout de coagulant (chlorure ferrique, sulfate ferreux, sel de fer ou d'aluminium...etc.) annulant les forces de répulsion entre les matières colloïdales, c'est la déstabilisation des particules colloïdales.
- La floculation qui consiste en un ajout de polymère a pour but d'accroître le volume et le poids du floc formé, ce grossissement est obtenu par une turbulence modéré.
- La neutralisation qui consiste à optimiser le PH des réactions précédentes par ajout d'une base ou d'un acide.
- Après une coagulation – floculation, la charge polluante réduite dans des proportions bien supérieures à ce que procure une décantation qui permet la séparation des phases solide – liquide.

On distingue les avantages et les inconvénients suivants :

✓ **Les avantages**

- Bonne élimination des MES et du phosphore.
- Adapté aux variations de charges (zone touristique, industriels).
- Capacité de l'installation est faible emprise au sol.

× **Les inconvénients**

- Elimination incomplète de la pollution organique et de l'azote.
- Production importante de boues putrescibles.
- Coûts d'exploitation élevés (réactifs).

-Traitement biologique

Ils constituent le mode classique d'**épuration de la pollution organique carbonée et azotée**. Les techniques d'épuration biologique reposent sur les conditions qui permettent aux flores microbiennes de se développer, pour assurer la dégradation des matières organiques polluantes, éliminées dans la mesure où elles servent d'aliments aux bactéries, à condition cependant qu'elles soient biodégradables.

- Un grand nombre de micro-organismes sont capables de métaboliser la matière organique et, par conséquent, de conduire à l'épuration des eaux usées chargées en matières organiques biodégradables.
- On peut classer les micro-organismes en germes aérobies, facultatifs et germes anaérobies.
- Les micro-organismes aérobies exigent l'oxygène pour assurer leur métabolisme, au contraire, les micro-organismes anaérobies tirent leurs besoins énergétiques de la matière organique en absence d'oxygène.
- Il faut considérer que, quoique théoriquement l'épuration biologique puisse s'effectuer par voie aérobie ou anaérobie, c'est le **traitement aérobie** qui est universellement utilisé par suite de sa supériorité évidente pour des effluents dont la production polluante à débit élevé contient des matières organiques pas trop concentrées. Du fait du caractère beaucoup plus exothermique du métabolisme aérobie, la cinétique du processus s'avère beaucoup plus rapide et les rendements d'épuration plus élevés (> 95 %) avec, comme contrepartie, la production d'une biomasse excédentaire plus importante.

Le traitement biologique permet la réduction de la pollution organique dissoute par l'action d'une masse bactérienne soit en suspension (culture libre), soit fixée sur un support (culture fixée).

Il existe plusieurs procédés d'épuration biologique des eaux usées urbaines classés en deux grandes catégories :

- Procédés d'épuration intensifs.
- Procédés d'épuration extensifs.

2.3.4 Traitement tertiaire ou de finition

Dans le vocabulaire courant de l'épuration, ce terme désigne un traitement complémentaire permettant d'obtenir une qualité d'effluent traité supérieure à celle obtenue par les procédés biologiques classiques. Il s'agit en fait d'*affiner l'eau* en poussant l'épuration le plus loin possible avec la possibilité de viser deux objectifs différents :

— l'amélioration des performances sur les paramètres classiques (MES, DBO5, DCO) : le traitement tertiaire est alors un affinage qui peut être obtenu par différentes techniques :

Micro tamisage, filtration sur sable, bio filtration ou lagunage, adsorption sur charbon actif... ;

— l'action spécifique sur un paramètre qui n'est que peu ou pas touché par les traitements classiques : c'est le cas de la désinfection, par laquelle on s'attache à réduire la pollution

bactérienne, ou des procédés visant l'élimination des éléments nutritifs (azote ou phosphore) facteurs d'eutrophisation, par des traitements biologiques (nitrification et dénitrification de l'azote) ou physico-chimiques (précipitation du phosphore).

2.3.5 Les traitement des boues

Dans le traitement des eaux usées, plusieurs sous-produits sont obtenus qui sont extraits à différentes étapes du procès :

- les refus de dégrillage.
- les sables.
- les boues primaires.
- les boues physico-chimiques.
- les boues biologiques.

- **Technique de traitement des boues [7]**

- **L'épaississement**

Première étape du traitement des boues, l'épaississement réduit le volume et concentre la matière en suspension. Pour une boue activée, la concentration moyenne de la liqueur mixte est de l'ordre de 5 g/l, de 10 g/l au niveau des boues extraites du clarificateur, et, après épaississement, de l'ordre de 20 à 100 g/l.

Plusieurs types d'épaississement sont à distinguer :

- **L'épaississement statique gravitaire.**
- **L'épaississement dynamique (flottation, égouttage, centrifugation).**

La flottation est une technique utilisée pour des boues biologiques d'aération prolongée ou de bio filtration (concentration de l'ordre de 2 à 8 g/l maxi), en général pour des installations de moyenne et grosse importance (>40 000 Eq.Hab). Elle présente plusieurs avantages (faible emprise au sol: 4 fois moins de place qu'un épaississement statique, meilleur rendement d'épaississement ~ 60 à 200 mg/l dans le surnageant, contrôle des odeurs car le milieu est aéré. La flottation peut être directe ou indirecte. En flottation directe, la boue est directement pressurisée et, en indirecte, l'eau clarifiée des sous versés est pressurisée puis

détendue dans un mélange eau + boue avant admission dans l'ouvrage. Il y a donc recyclage de l'eau traitée et la boue peut être soit admise dans le circuit en co-courant (dans la boucle), soit admise à contre-courant dans un bol de mélange.

L'égouttage est en général utilisée pour des petites STEP et avec des boues biologiques d'aération prolongée (5 à 10 g/l). Elle permet une réduction du volume de boues de l'ordre de 6 à 7 (siccité de l'ordre de 5 - 8 %). Souvent, la grille d'égouttage est associée à une déshydratation sur filtre bande (voir plus loin). Les ratios suivants sont classiquement observés :

- ✓ Consommation énergétique faible (30 à 60 kWh/T MS).
- ✓ Vitesse de l'ordre de 8 à 10 m³/m/h
- ✓ Polymère : 5 kg/T MS.

La centrifugation est comparable à la flottation, est en général utilisée pour des boues biologiques ou de traitements tertiaires physico-chimiques. Elle est en général utilisée pour des STEP moyennes (20 à 100 000 Eq.Hab) ou dans des STEP compactes. Ce procédé est onéreux en investissement et en exploitation mais assure une excellente maîtrise des nuisances olfactives. Elle est compacte, sans odeur, avec un degré d'épaississement important mais impose une consommation de polymères onéreuse.

En association avec des polymères liquides performants et pour des boues comprises entre 6 et 9 g/l, les performances des centrifugeuses permettent de produire des boues à des concentrations de l'ordre de 6 à 7 % et des centras à 0.5 g/l. Les ratios suivants sont courants :

- ✓ Polymère : 1.5 kg/T MS.
- ✓ Consommation électrique : 150 à 300 kWh/T MS (0.8 à 1.5 kWh/m³).

En conclusion, le tableau ci-dessous compare les avantages et inconvénients de chacune des techniques présentées ci-dessus :

Tableau II.3 : Les avantages et les inconvénients des techniques d'épaississements [7]

Procédé	Avantages	Inconvénients
Epaississeur statique	Simplicité & facilité d'exploitation Faible consommation énergétique Investissement réduit	Importante emprise au sol Performance médiocre pour boues biologiques Nuisances olfactives possibles
Flottateur	Simplicité & facilité d'exploitation Surface réduite & nuisances contrôlées	Faible adaptabilité Consommation élect. élevée
Table d'égouttage	Simplicité & facilité d'exploitation Compacité & nuisances contrôlables	Main d'œuvre, eaux de lavage Polymère indispensable
Centrifugeuse	Compacité & souplesse d'utilisation Nuisances contrôlées	Texture de boues médiocre Maintenance & entretien spécialisés, coût élevé Consommation élect. élevée

- La déshydratation

Seconde étape du traitement des boues, la déshydratation intervient après l'épaississement. En général, une boue est considérée apte à être déshydratée quand sa concentration est supérieure à 15 g/l. Le traitement produit alors des boues de l'ordre de 15 à 30 % de siccité (150 à 300 g/l). La siccité du produit conditionne la filière d'élimination/valorisation :

- ✓ besoin pour compostage : siccité de l'ordre de 15 à 30 %.
- ✓ incinération sans OM : siccité de l'ordre de 25 à 35 %.
- ✓ Co-incinération avec OM : siccité de l'ordre de 15 à 30 %.
- ✓ mise en décharge : siccité > 30 %.

On distingue plusieurs techniques de déshydratation :

• Centrifugation

L'emploi d'un polymère est toujours indispensable et la consommation électrique est importante. Les ratios suivants sont observés :

- ✓ polymère 3 kg/T pour boues I (7 kg/T pour boues bio. et digérées).
- ✓ consommation électrique : 25 kWh/T MS pour boues I (60 kWh/T MS pour boues bio. Et digérées).

Il convient de souligner que la centrifugation est le procédé le plus compact. Cette technique est recommandée pour des installations avec des débits de boues épaissies supérieurs à 20

m³/h. Depuis quelques années, des fabricants proposent des modèles combinés (épaississement/déshydratation) dits "haute performance".

Pour ces équipements, la boue à déshydrater est admise avec des concentrations de l'ordre de 7 à 12 g/l et permet des siccités de l'ordre de 18 à 27 %. Le centrât est de l'ordre de 1 g/l, le taux de polymère varie entre 7 et 12 g/kg MS et la consommation électrique est de 200 kWh/T MS.

• **Filtration**

La filtration peut être réalisée par différents procédés (filtre à bandes & filtre à plateaux). Il convient en outre, pour mémoire, de mentionner le filtre sous vide, le filtre à disque et la presse à vis, procédés aujourd'hui peu utilisés.

- Filtres bandes.
- Filtres presses.
- Lit de séchage.

Le tableau II.4 présente les avantages & inconvénients des différentes techniques de déshydratation

Tableau II.4 : Les avantages et les inconvénients des différentes techniques de déshydratation [7]

	Avantages	Inconvénients
Centrifugeuses	Fonctionnement continu, Automatisation facile, Equipement compact, Contrôle des nuisances par capotage intégral	Maintenance & entretien spécialisés, texture médiocre des boues, Nuisances sonores (nécessité isolation phonique), Consommation élect. élevée
Filtres à bandes	Fonctionnement continu, Equipement capotable, Simplicité & facilité d'exploitation, coût d'investissement modéré	Siccité réduite, Consommation élevée d'eaux de lavage, Surveillance nécessaire,
Filtres presses	Siccité élevée, Bonne texture des boues, Automatisation facile	Fonctionnement discontinu, Equipement lourd, Consommation de réactifs, Surveillance nécessaire, coût d'investissement élevé
Lits de séchage	Siccité élevée, Facilités d'exploitation, Absence de conditionnement, Coût d'investissement faible	Sensibilité aux variations climatiques, Coût d'exploitation élevé Surface nécessaire importante

- **Les conditionnements**

• **Conditionnement chimique**

Lors des opérations de déshydratation, il a pu être observé que des réactifs pouvaient avantageusement être utilisés. En effet, par la réalisation d'une floculation des boues, la

stabilité colloïdale est cassée et la taille des particules augmentée. En général, le conditionnement est de nature chimique mais le conditionnement thermique existe également.

➤ **La chaux**

Il convient de signaler que la chaux peut être utilisée sur des boues liquides :

- soit en amont d'un épaisseur de boues fraîches pour bloquer temporairement les fermentations (ratio de 15 %),
- soit sur des boues liquides avant épandages pour réduire le taux de microorganismes.

Sur les boues déshydratées, la chaux doit être malaxée et la chaux vive permet d'éliminer une partie de l'eau grâce à la réaction exothermique d'hydratation.

La chaux se présente sous diverses formes, elle est livrable sous forme de chaux vive (poudre ou granulés) ou de chaux éteinte ou hydratée (Ca(OH)_2), plus facile à manipuler mais plus chère aussi. En général, la chaux éteinte est diluée en suspension aqueuse et utilisée sous forme de lait de chaux à des concentrations comprises entre 50 et 100 g/l (afin d'éviter la déposition et la carbonatation). Il ne faut pas confondre le lait avec l'eau de chaux utilisée en eau potable (1.6 g/l). La préparation et le transfert de la chaux exigent toujours un matériel spécifique et une grande attention du personnel (distribution par boucle du lait).

➤ **Les polymères**

Les polymères permettent d'améliorer le traitement des boues. Ils sont en général organiques et de type cationique. Ils sont bien adaptés à la déshydratation sur grille d'égouttage, filtre bandes, centrifugeuses et, pour certaines applications, pour les filtres presses.

Le rôle des poly électrolytes est double :

- d'une part ils permettent une floculation plus facile en raison des longues chaînes ramifiées et une action coagulante est obtenue pour les composés cationiques.
- d'autre part, la boue floculée présente une forte diminution à la résistance spécifique et une augmentation à l'hydrophile particulaire et du coefficient de compressibilité.

Le choix du polymère relève essentiellement de tests. Dans le domaine des boues, le test de drainabilité est le plus utilisé. De façon générale, les polymères cationiques sont utilisés pour les boues organiques et fibreuses, les anioniques pour les boues minérales.

Au niveau de la mise en œuvre du traitement par polymères, le produit est le plus souvent livré en poudre mais des polymères liquides et réticulés peuvent également être utilisés pour obtenir des rendements supérieurs de l'ordre de 3 % avec des solutions à 50 %. Il convient donc de diluer le produit avant incorporation dans les boues et l'on distingue 4 phases (dispersion, hydratation, dissolution & maturation).

Il existe ainsi des postes pré-assemblés de préparation en continue et automatique de polymères pour les unités de taille grandes et moyennes. Les solutions préparées ont une concentration de l'ordre de 2 à 5 g/l pour les cationiques et de 1 à 2 g/l pour les anioniques (la solution est très visqueuse). Le temps de préparation dépend du polymère et de la qualité de l'eau propre utilisée et est en général proche de 1 h.

L'admission de la solution se fait à l'entrée de la centrifugeuse, au niveau du flocculateur du filtre bande et en aval de la pompe HP du filtre presse.

2.3.6 La stabilisation et l'hygiénisation des boues

Précisons également les définitions. La stabilisation est une opération qui limite le risque de nuisances olfactives (blocage des phénomènes de fermentation).

L'hygiénisation est une opération qui vise à réduire les germes présents dans la boue (dont des agents pathogènes tels que : salmonelle, entérovirus, œuf d'helminthe). Il y a donc 2 fonctions, la première se situe au niveau de la qualité de la vie, la seconde au niveau de la santé publique. Et en fait, les techniques industrielles utilisées assument les 2 opérations.

- Stabilisation biologique

• Digestion anaérobie

Les objectifs du traitement des boues par digestion anaérobie sont les suivantes :

- stabilisation des boues par voie biologique (réduction du pouvoir fermentescible).
- hygiénisation des boues (destruction des germes pathogènes).
- réduction du volume.

Les digesteurs de boues de STEP peuvent être dimensionnés sur des moyennes ou faibles charges, en fonction du rapport de la charge massique et du rendement escompté. En général, les STEP municipales sont équipées de 2 digesteurs à forte charge placés en série.

En premier, un digesteur primaire, brassé au biogaz en permanence et chauffé au biogaz par un échangeur externe assure la première étape du traitement.

Un digesteur secondaire, brassé par intermittence et non chauffé, permet d'obtenir un rendement plus poussé et assure en même temps un rôle de stockage (ce dernier point est très important car il conditionne l'efficacité de la filière "boues").

Comme dans tout réacteur biologique, le contrôle de l'homogénéité du milieu est essentiel. Dans le cas des digesteurs de boues de STEP, les mélangeurs mécaniques, sensibles aux filasses, ont été remplacés par un brassage au biogaz produit par le milieu. On considère qu'un brassage de l'ordre de 1 à 2 Nm³/m²/h est suffisant dans le digesteur.

En outre, nous avons vu que le procédé était plus efficace dans la zone dite "thermophile" et c'est pourquoi le digesteur est en général réchauffé à l'aide du biogaz produit. Les boues du réacteur sont donc recerclées au travers d'un échangeur de chaleur (souvent tubulaire) alimenté en eau chaude provenant d'une chaudière fonctionnant au biogaz. La chaleur apportée vise à maintenir une température de l'ordre de 35°C (il faut tenir compte des pertes inévitables et de la température des boues à traiter).

- **Stabilisation aérobie thermophile**

Les objectifs du traitement des boues par stabilisation aérobie thermophile sont similaires à celle de la digestion anaérobie (réduction des MS, stabilisation et hygiénisation). Pour y parvenir, une oxydation biologique avec aération forcée à haute température (50 à 65°C) est en général mise en œuvre dans une cuve fermée ou non. Le procédé présente plusieurs variantes et peut d'ailleurs comporter 1 ou 2 étages (comme les boues activées) et s'applique de préférence sur des boues primaires fraîches.

Il convient de souligner le problème des écumes très concentrées formées au cours du process qui imposent des contraintes d'exploitation. Signalons enfin que la stabilisation aérobie des boues sans récupération de chaleur peut également être pratiquée (à 20°C, 12 à 20 j de temps de séjour avec une charge de 2kg MV/m³.j et un besoin de 0.1 kgO₂/kg MV.j).

➤ **Le compostage**

Le compostage est un procédé de valorisation des déchets organiques. Il permet la bio-décomposition de la matière organique avec une biomasse complexe, aérobie et thermophile. Dans le cas des boues de STEP, le compostage permet de traiter efficacement le risque sanitaire, de maîtriser les nuisances olfactives et enfin d'obtenir un produit facilement transportable et avec une valeur agronomique certaine. Mais les boues ne sont pas compostables seules car, même déshydratées à 20 % de MS, l'état pâteux interdit l'aération du tas. C'est pourquoi la présence d'un agent structurant (écorces, déchets verts, paille, sciure, rafles de maïs broyée, crânes de moutons broyées au Koweït...) est indispensable.

On estime la perte en poids de l'ordre de 50 % entre le substrat entrant (boues ou déchets verts ...) et le compost produit. On distingue 3 principes de compostage (en tas, soit en andains ou en bioréacteurs) qui imposent une mise en œuvre contraignante du point de vue de l'exploitation (retournement des produits compostés). Mais la technique de l'aération forcée à l'aide de ventilateurs a fait les preuves de son efficacité. Une mise en œuvre défectueuse peut en effet engendrer des nuisances d'ordre olfactif. Les 2 premières méthodes présentent des coûts d'investissement et de fonctionnement très inférieurs à ceux induits par le bioréacteur qui permet cependant de produire du compost de haute qualité et à vocation commerciale. Le fonctionnement correct du compostage dépend des paramètres suivants :

- ✓ un apport en oxygène suffisant ainsi qu'un transfert d'oxygène optimisé par une granulométrie grossière et un mélange homogène des différents produits à composter,
- ✓ une teneur hydrique correcte car un excès en eau peut entraîner une anaérobiose du milieu. Le taux d'humidité des produits à composter doit être compris entre 50 et 65 %.

• **Stabilisation chimique**

➤ **Chaulage**

L'utilisation de la chaux a déjà été abordée au niveau des conditionnements (4.4.3.1), mais le chaulage peut également être considéré comme un traitement de stabilisation et d'hygiénisation. En effet, au-delà de pH 12, la biomasse est inhibée et une hygiénisation partielle peut être réalisée avec l'augmentation de température due à la chaux vive.

Administrer à des boues pâteuses présentant des siccités variables (15 à 30 %), le chaulage à la chaux vive permet d'atteindre des siccités finales de l'ordre de 30 à 40% en fonction du rapport CaO/MS. Le calcul de la conservation de la masse et de l'évaporation

permet d'apprécier la corrélation entre CaO/MS et la siccité finale. A titre d'exemple, une boue à 20 % atteint les 30 % avec un rapport de 50.2 % (la chaux est pure à 92 %). En terme d'énergie, on estime à 5 kWh/T MS les besoins pour pompage et malaxage.

➤ **Stabilisation aux nitrites**

Développée par OTV, le procédé SAPHYR, procès de type "mixte", permet la stabilisation des boues liquides épaissies à 15 – 25 % par des nitrites en milieu faiblement acide (+ 3 % de siccité) ce qui autorise aussi bien la valorisation agricole que l'incinération.

• **Stabilisation physique**

Le séchage thermique permet d'atteindre 4 objectifs :

- ✓ élimination de l'eau interstitielle,
- ✓ amélioration de la texture,
- ✓ augmentation de la capacité calorifique (en vue d'une incinération),
- ✓ stabilisation et hygiénisation.

Les taux de siccité obtenus par des sécheurs industriels sont compris entre 35 – 45% (Séchage partiel) et 60 - 90 % (séchage poussé), ce qui, dans tous les cas, réduit considérablement le volume et le tonnage des boues séchées (et donc leur transport pour l'élimination finale). A ces 4 objectifs peuvent correspondre 4 contraintes :

- ✓ inhomogénéité des boues à sécher
- ✓ variabilité de l'humidité des boues
- ✓ viscosité élevée des boues séchées à 45 – 50 % (collage et chute du coefficient de transfert thermique)

C'est pourquoi, des machines à vitesse de rotation adaptée ont été développées sur 3 types de procès :

- ✓ Séchage direct (un gaz chaud évapore l'eau par convection avec recyclage de boue séchée, un traitement des gaz est nécessaire. On distingue les sécheurs à tambours, à lit fluidisé, de type flash, à bande),
- ✓ séchage indirect (un fluide caloporteur assure le transfert thermique par conduction. On distingue les sécheurs à disques, à palettes, à couches minces et à plateaux et il existe des systèmes à un et à deux étages),
- ✓ séchage mixte (transfert de chaleur par convection et conduction).

Le tableau ci-après présente les avantages & inconvénients de chaque type de séchage :

Tableau II.5 : Les avantages et les inconvénients de chaque type de séchage [7]

	Avantages	Inconvénients
Séchage direct	<ul style="list-style-type: none">- technologie simple- bonne granulation- vitesse de séchage	<ul style="list-style-type: none">- équipements périphériques- sensibilité aux variations de qualité de boue
Séchage indirect	<ul style="list-style-type: none">- équip. périphériques simples- meilleure sécurité d'utilisation- effluent résiduaire gazeux faible	<ul style="list-style-type: none">- technique complexe- capacité réduite- vitesse de séchage lente- réglementation spécifique

Chapitre III

Les énergies renouvelables

3.1 Les énergies renouvelables [8]

Les énergies renouvelables sont susceptibles d'alimenter des systèmes de traitement d'eau potable et d'assainissement : le biogaz, l'énergie solaire photovoltaïque, l'énergie éolienne, l'énergie hydroélectrique.

3.1.1 La production de biogaz en station d'épuration

a) Le processus de méthanisation : des boues au biogaz

La méthanisation (ou digestion anaérobie) est un processus naturel de dégradation de la matière organique par une flore microbienne, en condition anaérobie. On distingue trois étapes lors de la digestion anaérobie (même si dans la réalité, elles tendent à se produire simultanément).

Conduite dans des enceintes : confinées, appelées digesteurs, à l'intérieur desquelles les réactions de fermentation sont optimisées et contrôlées, elle produit du biogaz composé majoritairement de méthane (CH_4) à 65%, de dioxyde de carbone (CO_2) à 35% et d'hydrogène sulfuré (H_2S).

La méthanisation nécessite certaines conditions physico-chimiques pour optimiser la réaction biologique. Elle peut être réalisée en régime mésophile ($30\text{-}40^\circ\text{C}$) ou thermophile ($45\text{-}60^\circ\text{C}$) et avec un pH entre 6,5 et 7,2. Le fonctionnement du digesteur est le suivant.

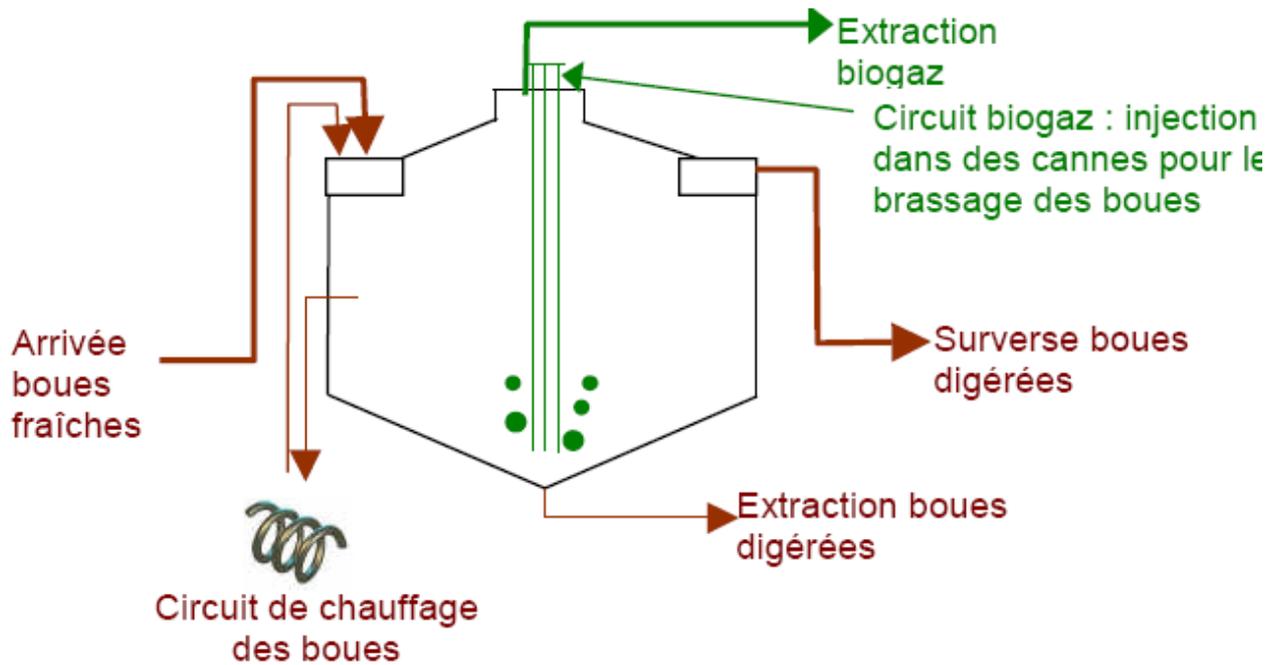


Figure III.1 : Fonctionnement du digesteur [8].

Une partie du biogaz et des boues est recirculée afin d'assurer le brassage des boues et leur chauffage.

Le temps de séjour est d'environ 25 jours en régime mésophile, mais il arrive que l'on recoure à une digestion thermophile (3 jours à 55 °C) puis mésophile (10 jours à 37°C) pour diminuer les volumes des ouvrages.

Même si la siccité des boues n'est pas modifiée, l'abattement de la pollution est conséquent : 50% de la matière organique (cet abattement moyen dépend des charges admises de DBO₅, et des filières eau en amont).

b) Principales voies de valorisation et d'utilisation du biogaz

Le biogaz est généralement utilisé :

- En chaudière pour produire de l'énergie calorifique,
- Pour l'alimentation de moteur à gaz, ou moteur dual-fuel (fuel en appoint éventuel) qui produisent de l'électricité. Ces groupes électrogènes peuvent être équipés d'un système de cogénération. La chaleur du moteur est alors ainsi récupérée, ce qui augmente les rendements de valorisation énergétique de ces groupes.

- **La chaleur**

La chaleur ainsi produite, est en premier lieu utilisée pour maintenir le digesteur à sa température de consigne. En métropole, le surplus est fréquemment utilisé pour le chauffage des locaux ce qui n'est pas une application envisageable pour les stations réunionnaises, vu le climat local.

Des modes de valorisation de cette chaleur peuvent alors être recherchés.

- Séchage thermique des boues digérées.
- Conditionnement thermique des boues digérées, ce qui assure une forte siccité des boues après déshydratation.
- Utilisation externe de la chaleur : production d'eau chaude pour un utilisateur potentiel.
- Production de froid à partir de la chaleur (technologie encore peu développée).

- **L'électricité**

L'électricité produite peut être :

- Consommée directement par la station.
- La production d'électricité peut couvrir ou représenter jusqu'à 35 % des besoins de la station.

- **Autres modes d'utilisation du biogaz**

Il est possible d'utiliser le biogaz pour d'autres applications.

- Combustible pour l'incinération des boues sur site, séchage thermique des boues
- Production d'air comprimé par un groupe moto compresseur. Cet air est alors utilisé pour l'aération des bassins de la station.

➤ Modes de valorisation non matures.

Il existe également deux autres modes de valorisation du biogaz qui ne sont pas encore très matures.

- Utilisation du biogaz comme bio carburant pour véhicules.
- Injection du biogaz épuré dans un réseau de distribution de gaz naturel.

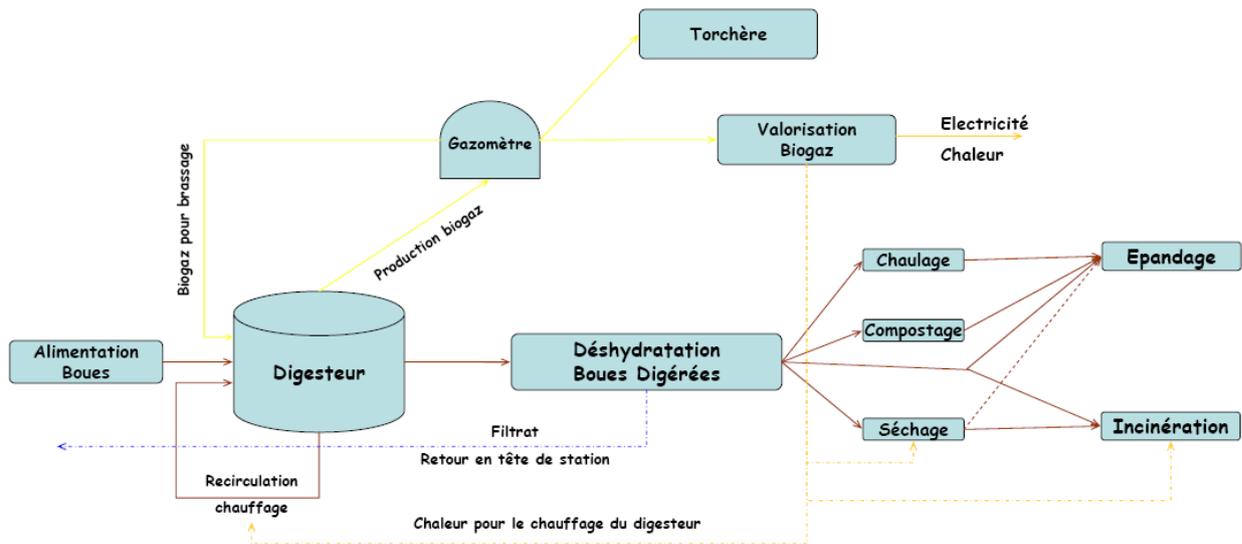


Figure III.2 : vision schématique de la chaîne de digestion dans sa globalité [9].

c) Rendements de valorisation énergétique

La quantité d'énergie finale, c'est-à-dire intégralement valorisable sous forme de chaleur ou d'électricité, dépend du rendement de la chaîne des appareils (chaudière, moteur, régulation, échangeurs).

- Les rendements pour la production de chaleur seule à partir d'une chaudière sont évalués à 80-90 %.
- Les rendements pour la production d'électricité seule à partir d'un moteur à gaz sont évalués à 33-36 %.
- Rendements de cogénération sur un moteur à gaz :
 - Rendement électrique : 33 à 36 %.
 - Rendement thermique : 45 à 55 %.

La cogénération permet ainsi d'obtenir des rendements de transformation énergétiques très intéressants : jusqu'à 85 % de l'énergie initiale valorisable.

C'est un moyen de valoriser de façon quasi optimale l'énergie potentiellement disponible. L'électricité produite est donc consommée par la station, et une partie de la chaleur récupérée permet le chauffage du digesteur. Il est donc indispensable de trouver une utilisation à la

chaleur non utilisée : usage sur site (séchage thermique des boues digérées, incinération), ou externe (vente de chaleur à un utilisateur potentiel).

3.1.2 Pico centrales hydroélectriques [10]

Il s'agit de centrales hydroélectriques ayant de très petites puissances (<5 kW)

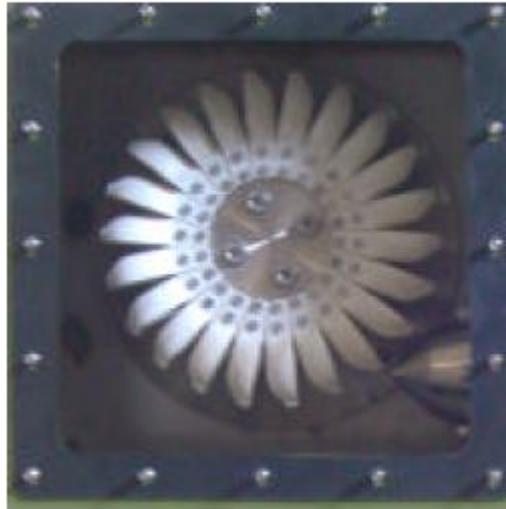


Figure III.3 : Exemple de turbine [10].

a) Principe

Il s'agit de centrales hydroélectriques ayant de très petites puissances (<5 kW). Un point de puisage sur une source ou un ruisseau permet de soutirer l'eau nécessaire à l'entraînement d'une turbine et à la production d'électricité grâce à un alternateur.

b) Caractéristiques techniques principales

Contrairement aux deux systèmes précédents, l'énergie est ici disponible en permanence. Il est donc nécessaire de maintenir $P_{\text{absorbée}} = P_{\text{produite}}$.

Pour les faibles puissances la turbine marche en permanence et il n'y a pas stockage d'énergie (éventuellement une batterie est installée pour assurer le fonctionnement d'organes de sécurité en cas de panne). Des résistances électriques immergées dissipent l'énergie produite et non consommée.

Pour les puissances plus importantes le fonctionnement de la pico centrale est asservi au niveau de charge d'un parc d'accumulateurs.

L'électricité produite est sous la forme d'un courant alternatif qui devra être redressé pour le stockage.

3.1.3 Aérogénérateurs [10]

Il s'agit d'aérogénérateurs ayant une puissance comprise entre 50 W et 12 kW (petites et moyennes puissances)



Figure III.4 : Exemple d'un aérateur [10]

a) Principe

L'énergie cinétique du vent est transformée en énergie électrique à travers un alternateur.

L'aérogénérateur sert d'interface entre le vent et l'alternateur.

b) Caractéristiques techniques principales

Un aérogénérateur produit un courant alternatif. La ressource en énergie éolienne étant très variable dans le temps, l'énergie produite doit pouvoir être stockée. Un redresseur permet d'obtenir un courant continu qui peut être stocké dans des batteries plomb / acide.

L'orientation et le maintien d'une vitesse constante sur l'hélice sont assurés par des moyens mécaniques (empennage, variation du profil des pales suivant la force centrifuge,...). Le mât est en général un tube haubané qui permet un montage facile et offre aussi la possibilité de coucher l'aérogénérateur pour des raisons de sécurité en cas de grands vents.

3.1.4 Modules photovoltaïques [10]

C'est l'énergie renouvelable la plus utilisée en milieu rural.



Figure III .5 : Alimentation du poste de relevage d'une station d'épuration [10].

a) Principe

L'effet photovoltaïque permet la conversion directe du rayonnement solaire en électricité. Le courant produit est un courant continu en 12, 24 ou 48 V suivant la taille de l'installation. Un onduleur peut être nécessaire pour l'alimentation d'appareils en 220 alternatif.

b) Caractéristiques techniques principales

Les cellules photovoltaïques ou photopiles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs. La technologie la plus employée est à base de silicium mono cristallin. Les modules présents sur le marché ont des puissances de 10, 50, 75 ou 120 WC.

c) Avantage

1. Le système totalement autonome.
2. Le lampadaire solaire est entièrement automatique.
3. Durée de vie des modules garantie 20ans.
4. Aucun risque d'électrocution.

d) Impact socio-économiques

- Secteur des travaux publics : routes et autoroutes.
- Zones urbaines, rurales et infrastructures.
- Secteur des transports : ports, aéroports, postes frontières terrestres.

Chapitre IV

Situation de l'assainissement en Algérie

4.1 Politique de la gestion de l'eau en Algérie

Dans le cadre de la mise en œuvre de la politique nationale de l'assainissement, l'ONA est chargé de l'exploitation, de la maintenance, du renouvellement, de l'extension et de la construction des ouvrages et des infrastructures d'assainissement. Ainsi, il assure :

- La protection et la sauvegarde des ressources et environnement hydrique.
- La lutte contre toutes les sources de pollution hydrique.
- La préservation de la santé publique.
- Proposer au ministère de tutelle les mesures d'encouragement de l'état ou les incitations à caractère technique ou financier dans le domaine de l'assainissement.
- Entreprendre toutes actions de sensibilisation, d'éducation, de formation ou d'étude et de recherche dans le domaine de la lutte contre la pollution hydrique.
- Prendre en charge, éventuellement, les installations d'évacuation des eaux pluviales dans ses zones d'intervention pour le compte des collectivités locales.
- Réaliser des projets nouveaux financés par l'état ou les collectivités locales.
- L'Office étudie et propose à l'autorité de tutelle la politique de tarification et de redevances dans le domaine de l'assainissement et veille à son application.
- En fin, l'office est chargé des missions opérationnelles suivantes :
- Etablir le cadastre des infrastructures de l'assainissement et en assurer sa mise à jour.
- Elaborer les schémas directeurs de développement des infrastructures d'assainissement relevant de son domaine d'activité.
- Elaborer et mettre en œuvre la politique de promotion des sous produits de l'assainissement.

4.2 Procédés d'épuration en Algérie

L'épuration des eaux usées constitue un axe stratégique pour l'équilibre hydrique et écologique. Par conséquent, d'importants programmes de réalisation de stations d'épuration ont été conçus et lancés pour protéger la ressource et le littoral, d'autant que l'Algérie a ratifié la convention de Barcelone pour la protection de la mer Méditerranée.

L'Algérie dispose de 86 STEP dont 77 sont exploitées par l'ONA réparties sur l'ensemble du territoire national. Les procédés les plus répandus utilisés sont à boues activées et à lagunage naturel, 8 STEP sont gérées par SPA, 3 par SEAAL, 3 par l'entreprise de Réalisation-Réhabilitation Vatech-Wabag et une STEP gérée par l'APC de Béni Méréd (Wilaya de Blida).

Dans la figure VI.1 nous représentons la répartition des STEP algérienne par type de procédé d'épuration utilisé.

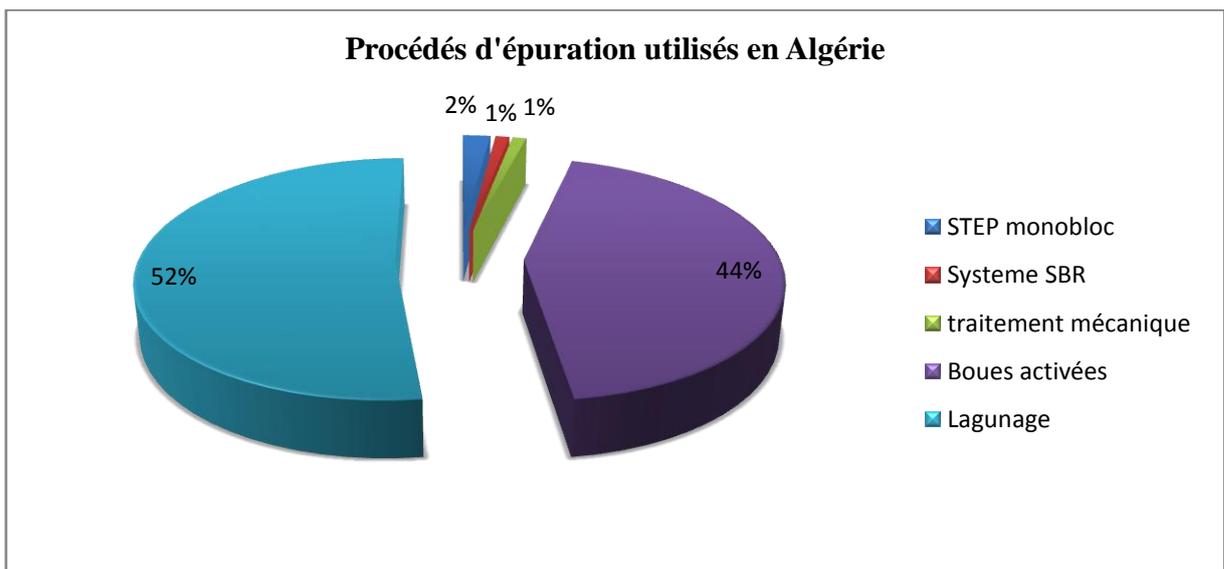


Figure IV.1 : Procédés d'épuration utilisés en Algérie

L'ONA prend en charge la gestion de **634** communes sur les **1541** existantes soit **41,14 %** du réseau d'assainissement national, correspondant à un linéaire de **27 009 Km** de réseau sur **37 738 Km** du réseau national. Le reste du réseau est géré soit par les régies communales en attendant le transfert de ces communes à l'ONA, soit par les sociétés par actions créées dans le cadre de la gestion déléguée du service public de l'eau et de l'assainissement telles que SEAAL pour Alger, SEAOR pour Oran, SEACO pour Constantine et SEATA pour ANNABA et AL

TARAF.

Nous reproduisons dans le tableau suivant le bilan des stations d'épuration qui sont exploitées en Algérie.

Tableau IV.1 : Procédés d'épuration utilisés dans les STEP d'Algérie [ONA- PARC des Stations d'épuration en Algérie]

Procédé d'épuration	Type	Nombre	Nombre totale
STEP monobloc	STEP monobloc	2	2
Système SBR	Système SBR	1	1
traitement mécanique	Traitement mécanique	1	1
Boues activées	A faible charge	15	43
	A moyenne charge	7	
	A forte charge	1	
	A boues activée	13	
	A aération prolongée	5	
	A faible charge avec dénitrification-déphosphoration	1	
	A faible charge avec nitrification-dénitrification	1	
Lagunage	Lagunage	7	51
	Lagunage Naturel	17	
	Lagunage aéré	6	

L'Algérie dispose aussi de 34 stations d'épuration à boues activées et lagune en travaux.

4.3 Bilan d'exploitation pour l'année 2010

4.3.1 Evénements Marquants de l'Année 2010

- Participation de l'ONA à la journée mondiale de l'eau au niveau du Jardin d'essai du Hamma, et célébration de cette journée à travers l'ensemble des unités de l'ONA.
- Signature d'une convention de collaboration scientifique et technique entre l'ONA et l'unité de développement des équipements solaires (UDES). Création de deux équipes de recherche ONA/UDES le 24 mai 2010.
- la désinfection des eaux usées épurées par irradiation solaire.

- la distillation des eaux usées épurées de la STEP de Ouargla.
- Quatre sites ont été certifiés durant l'année 2010 ce qui porte à dix (10) au 31 décembre 2010.

4.3.2 Exploitation des STEP et LAGUNES

Pour l'année 2010, **104 millions de m³** d'eaux usées ont été épurées par **68** stations exploitées par l'ONA.

La capacité nominale globale de ces 68 STEP est de **5 millions d'équivalents habitants**, Le **taux moyen d'utilisation des capacités nominales** installées sera de **38 %**. Aussi le **taux d'épuration** est de **19 %** pour un volume collecté durant la même période de **573 millions de m³**.

Comparativement aux années 2008 et 2009, une évolution significative du volume d'eau épurée a été constatée :

- Cette évolution est de **33 millions de m³** soit un taux de **31 %** par rapport à 2008
- Et elle est de **23 millions de m³** soit un taux de **23 %** par rapport à 2009.

La figure IV.2 représente les volumes d'eaux épurées sur chaque zone d'exploitation du territoire nationale durant l'année 2010.

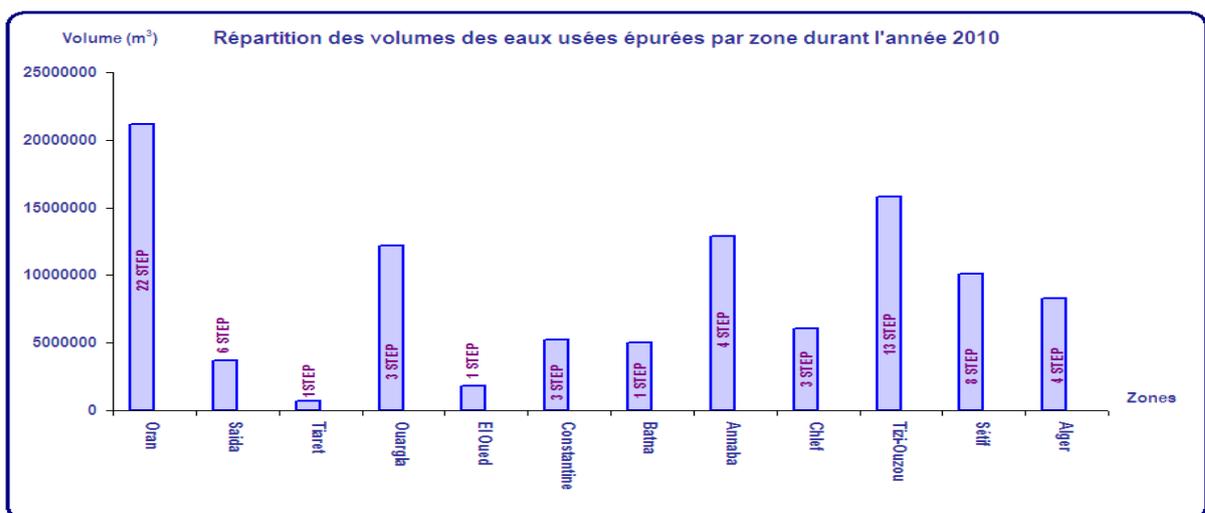


Figure IV.2 : Répartition des volumes d'eaux épurées par zone durant l'année 2010[ONA]

Les volumes d'eaux épurées sont proportionnels aux nombres et aux capacités installées des stations d'épuration fonctionnelles existantes dans chaque zone.

Sur la figure IV.3 est représentée le volume d'eaux épurées pour les années 2008 ,2009 et 2010. Nous pouvons alors voir l'évolution annuelle du volume d'eaux épurées.

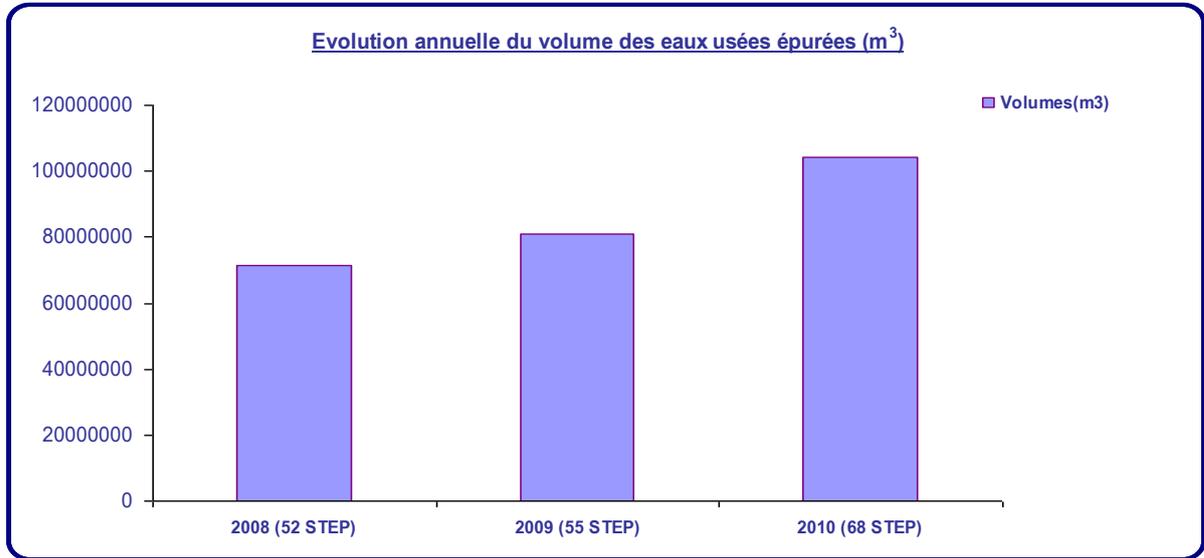


Figure V.3 : Evolution du volume des eaux épurées de l'année 2008 à l'année 2010
[Bilan d'exploitation 2010- ONA]

Nous observons une croissance nette des volumes d'eaux épurées durant les trois dernières années, elle correspond à l'augmentation du nombre de STEP exploitées (unités de Mascara, Saida, Nâama, Guelma et la direction d'assainissement d'Ouargla).

Sur la figure IV.4 sont représentés les volumes de solides et des sables issus de l'épuration des eaux usées pour l'année 2009 et 2010.

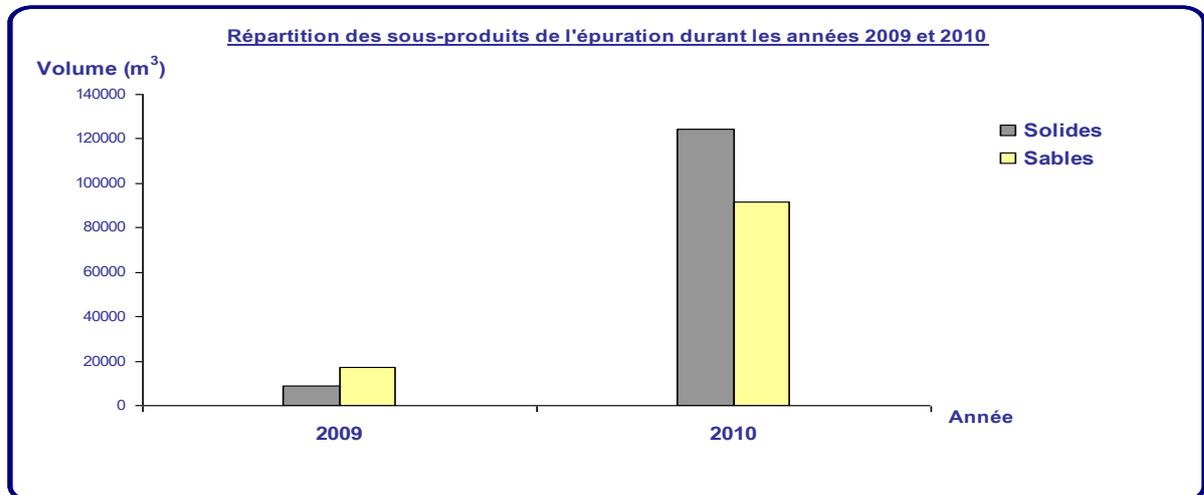


Figure IV.4 : Répartition des sous produits de l'épuration durant les années 2009 et 2010 [ONA]

Nous pouvons observer sur la figure IV.4 que les volumes des solides et des sables évacués en 2010 sont nettement supérieurs aux volumes évacués durant l'année 2009, en raison de l'augmentation du débit d'eau traitée et de l'arrivée des eaux chargées en amont des STEP.

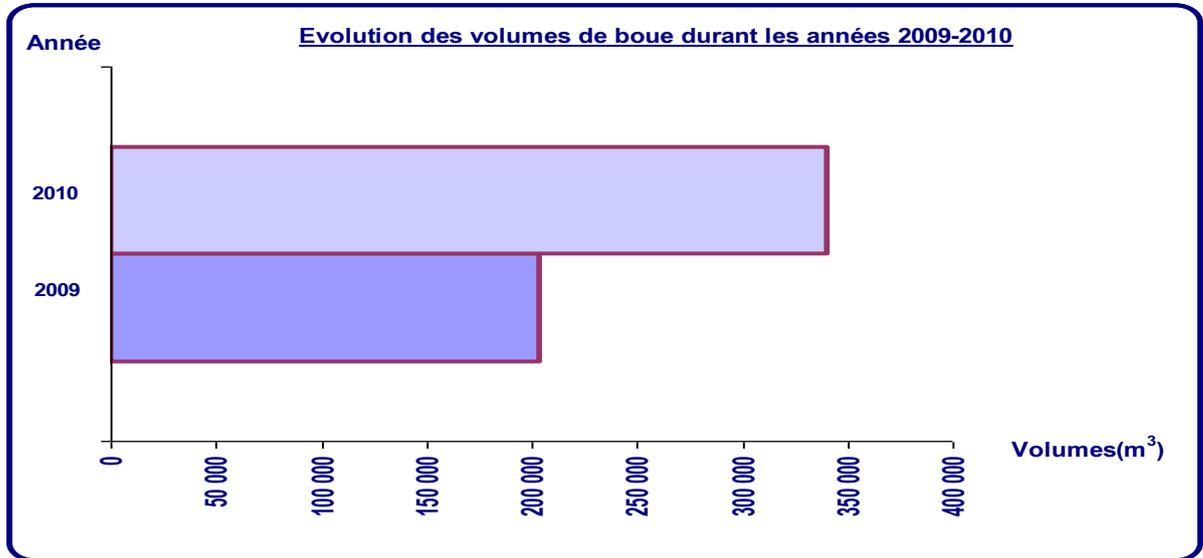


Figure V.5 : Evolution des volumes de boues durant les années 2009 et 2010[ONA]

Nous observons une augmentation importante des volumes des boues durant les deux années 2009 et 2010, le taux de croissance est de plus de 40%, entre 2009 et 2010, soit une différence de 136 724 m³ de boue.

- **Interventions des centres d'assainissement**

Le volume total collecté pour l'Année 2010 est de **573 millions de m³** sur l'ensemble des **648 communes** dont le réseau d'assainissement a été transféré à l'ONA pour exploitation

Le réseau d'assainissement de ces 648 communes est de **27 561 km** pour desservir une population raccordée à 80%, de **18,4 millions d'habitants**.

Le linéaire curé durant cet exercice est de 3908 km soit un **taux de curage de 14%**.

84 644 m³ de déchets solides, produits par les curages, dépotés et évacués vers les décharges publiques.

4.3.3 Bilan de la consommation d'énergie électrique et son coût

- **Stations d'épuration**

- **Energie électrique active**

La consommation d'énergie électrique active trimestrielle des STEP de chaque zone d'exploitation est présentée dans le tableau suivant.

Nous représentons sur la figure IV.2 la consommation trimestrielle d'énergie électrique active atteinte par chaque zone d'exploitation des STEP durant l'année 2010.

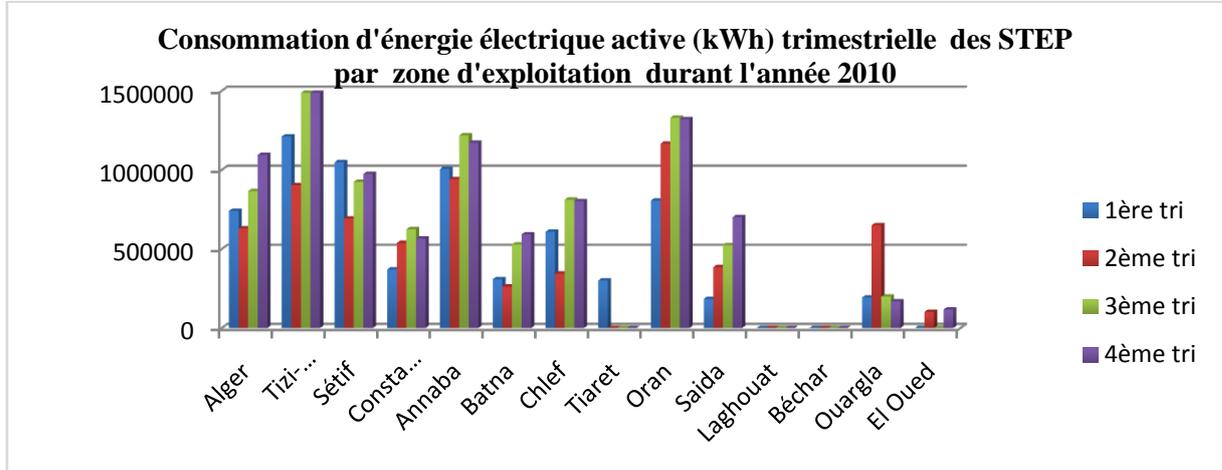


Figure IV.6 : Consommation trimestrielle des STEP en énergie électrique active par zone durant l'année 2010

Tableau IV.2 : Consommation d'énergie électrique active trimestrielle des STEP par zone d'exploitation durant l'année 2010[ONA]

Zone	E active (kWh)				Total
	1 ^{ère} tri	2 ^{ème} tri	3 ^{ème} tri	4 ^{ème} tri	
Alger	741100	629432	866033	1094858	3331423
Tizi-Ouzou	1211674	902846	1487273	1487481	5089274
Sétif	1048442	692497	923789	973998	3638726
Constantine	370826	538133	624713	565674	2099346
Annaba	1006577	941511	1217959	1172054	4338101
Batna	308516	261940	528167	592013	1690636
Chlef	608703	344022	811279	801523	2565527
Tiaret	300983	0	0	0	300983
Oran	806516	1165893	1329301	1320510	4622220
Saida	184314	385410	524342	701428	1795494
Laghouat	0	0	0	0	0
Béchar	0	0	0	0	0
Ouargla	193001	649661	198515	168765	1209942
El Oued	0	101413	0	117094	218507
Total	6780652	6612758	8511371	8995398	30900179

➤ Energie électrique réactive

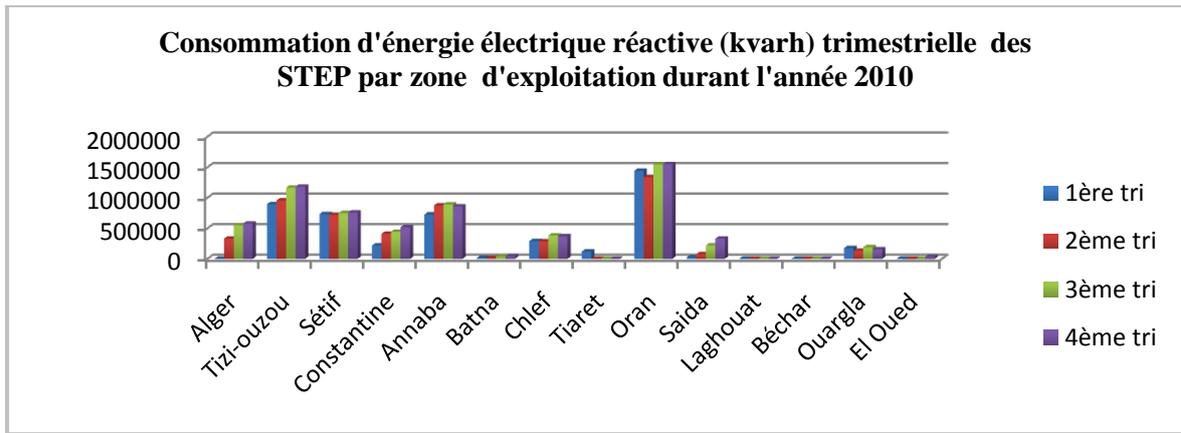


Figure IV.7 : Consommation trimestrielle des STEP en énergie électrique réactive par zone d'exploitation durant l'année 2010

Nous représentons sur la figure IV.3 la consommation trimestrielle d'énergie électrique réactive atteinte par chaque zone d'exploitation des STEP durant l'année 2010.

Tableau IV.3 : Consommation trimestrielle d'énergie électrique réactive des STEP n par zone d'exploitation durant l'année 2010[ONA]

Zone	E réactive (kvarh)				Total	E réactive / E active
	1 ^{ère} tri	2 ^{ème} tri	3 ^{ème} tri	4 ^{ème} tri		
Alger	0	331427	548203	579291	1458921	0,44
Tizi-Ouzou	895183	956751	1165147	1179888	4196969	0,82
Sétif	733993	721732	750059	757947	2963731	0,81
Constantine	218885	410300	442282	517095	1588562	0,76
Annaba	726513	873981	892353	859030	3351877	0,77
Batna	16462	13777	34380	43809	108428	0,06
Chlef	292073	286144	382775	369954	1330946	0,52
Tiarret	121404	0	0	0	121404	0,4
Oran	1443887	1340646	1546044	1551572	5882149	1,27
Saida	25889	78082	219849	330592	654412	0,36
Laghouat	0	0	0	0	0	
Béchar	0	0	0	0	0	
Ouargla	177266	133130	190685	156100	657181	0,54
El Oued	0	3025	0	35105	38130	0,17
Total	4651555	5148995	6171777	6380383	22352710	0,72

La consommation en énergie électrique réactive des STEP pour chaque zone d'exploitation durant l'année 2010 est représentée dans le tableau précédent.

Les figures IV.3 et IV.2 montrent d'une part que la consommation de l'énergie électrique la plus importante est celle de Tizi-Ouzou suivie de celle d'Oran, d'autre part que la consommation d'énergie réactive la plus importante est celle d'Oran, ceci est due au rendement des équipements électriques installés.

Nous constatons que la consommation d'énergie électrique est dépend de la capacité nominale et du procédé d'épuration de la STEP. Les STEP à lagunage consomme beaucoup moins d'électricité que celles à boues activées.

- **Volume des eaux épurées**

Nous représentons sur la Figure V.2 le volume trimestrielle des eaux épurées active atteints pour chaque zone d'exploitation des STEP durant l'année 2010.

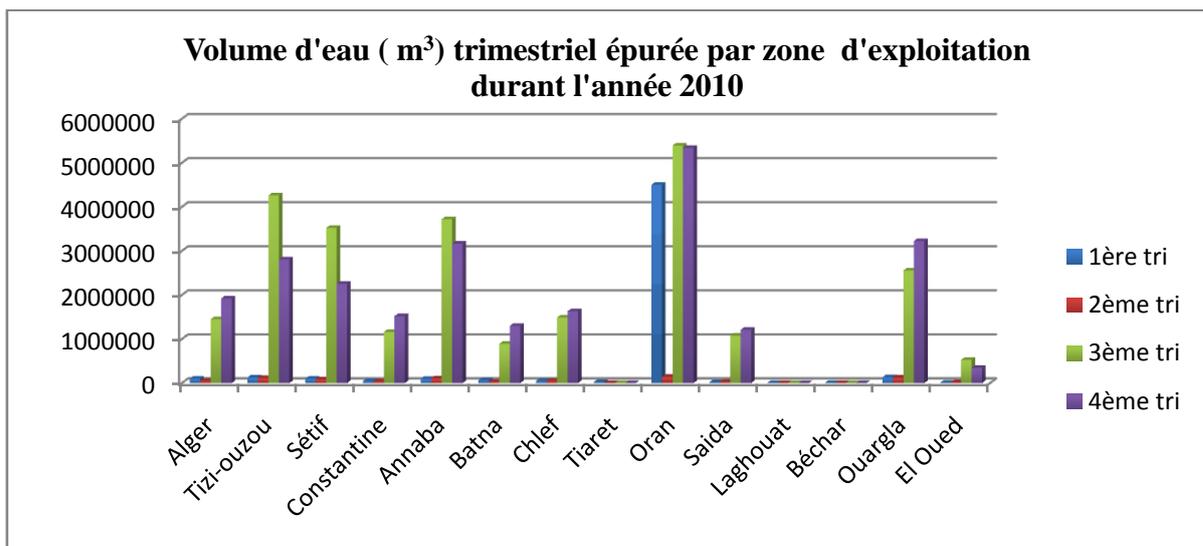


Figure IV.8 : Volume d'eau trimestriel épurée par zone d'exploitation durant l'année 2010

En observant les figures IV.2, IV.3 et IV.4 nous pouvons voir que variation de la consommation électrique est proportionnelle au volume d'eau épurée.

Le volume trimestriel des eaux épurées par les STEP durant l'année 2010 pour chaque zone d'exploitation du territoire nationale algérien est présenté dans le tableau suivant.

Tableau IV.4 : Volume trimestriel d'eau épurée par zone d'exploitation durant l'année 2010[ONA]

Zone	Volume épuré (m ³)				Total
	1 ^{ère} tri	2 ^{ème} tri	3 ^{ème} tri	4 ^{ème} tri	
Alger	100325	50828	1451461	1921244	3523858
Tizi-Ouzou	128112	114536	4259371	2804691	7306710
Sétif	98774	83461	3521957	2254789	5958981
Constantine	46317	38454	1161672	1518347	2764790
Annaba	93580	105602	3718770	3164350	7082302
Batna	63681	28836	892448	1298380	2283345
Chlef	48261	48453	1487376	1630505	3214595
Tiaret	22322	0	0	0	22322
Oran	4501536	145246	5392854	5337787	15377423
Saida	17852	29310	1075870	1210170	2333202
Laghouat	0	0	0	0	0
Béchar	0	0	0	0	0
Ouargla	133000	124230	2555081	3223721	6036032
El Oued	5788	17255	526566	347250	896859
Total	28731727	24478594	24959480	26154885	104324686

➤ Coût de la consommation électrique



Figure IV.9 : Ratio par zone d'exploitation des STEP pour l'année 2010

Tableau IV.5 : Coût de la consommation d'énergie électrique des STEP par zone pour l'année 2010[ONA]

Zone	Ratio (kWh/m ³)	Montant (DA)	Coût (DA/m ³)
Alger	0,95	10934993	3,1
Tizi-Ouzou	0,7	17185969	2,35
Sétif	0,61	14032784	2,35
Constantine	0,76	8852729	3,2
Annaba	0,61	15941204	2,25
Batna	0,74	5951454	2,61
Chlef	0,8	8411699	2,62
Tiaret	13,48	818198	36,65
Oran	0,3	17199445	1,12
Saida	0,77	7505949	3,22
Laghouat	0	0	0
Béchar	0	0	0
Ouargla	0,2	3050666	0,51
El Oued	0,24	0	0
Total	0,29	109885090	1,05

Sur la figure suivante nous illustrons le coût de la consommation électrique par zone des STEP durant l'année 2010.

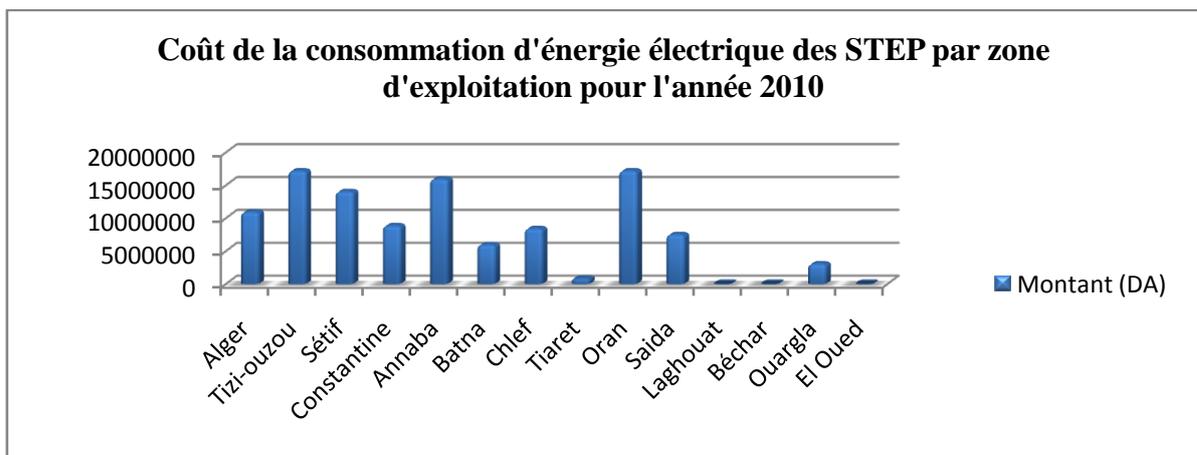


Figure IV.10 : Coût de la consommation d'énergie électrique des STEP par zone d'exploitation pour l'année

2010

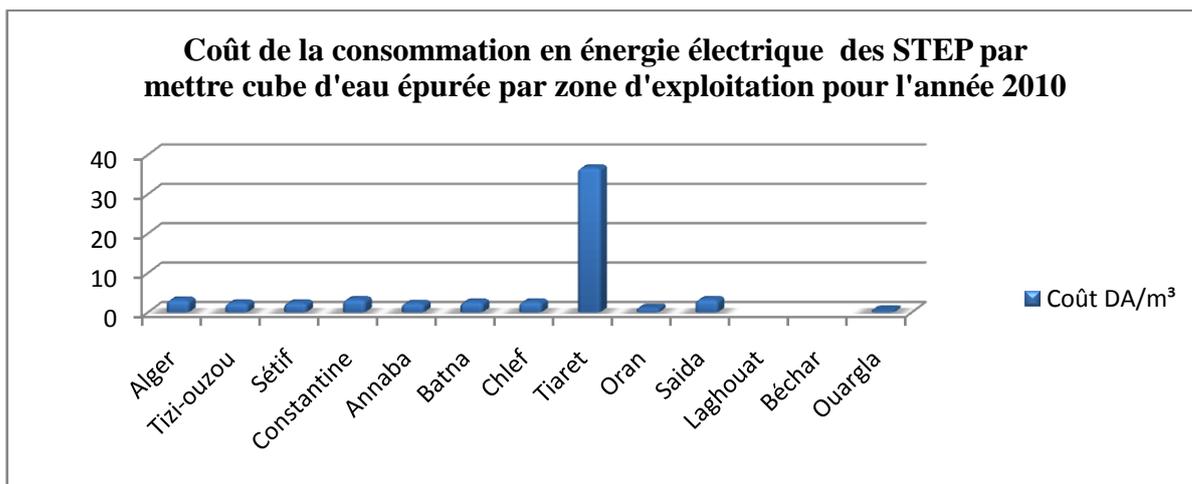


Figure IV.11 : Coût de la consommation en énergie électrique des STEP par mètre cube d'eau épurée par zone d'exploitation pour l'année 2010

Les figures IV.6 et IV.4 montrent que la variation du coût de la consommation électrique est proportionnelle au volume d'eaux traité.

- **Stations de relevage**

Le transport des eaux usées dans les collecteurs se fait en général par gravité, c'est-à-dire sous l'effet de leur poids. Il peut parfois s'effectuer par refoulement, sous pression ou sous dépression. Lorsque la configuration du terrain ne permet pas un écoulement satisfaisant des eaux collectées, on a recours à différents procédés (pompage et stations de relevage).

Ainsi l'ONA gère actuellement **217** stations de relevage d'un volume moyen relevé de **11 Million m³/Mois**.

- **Energie active**

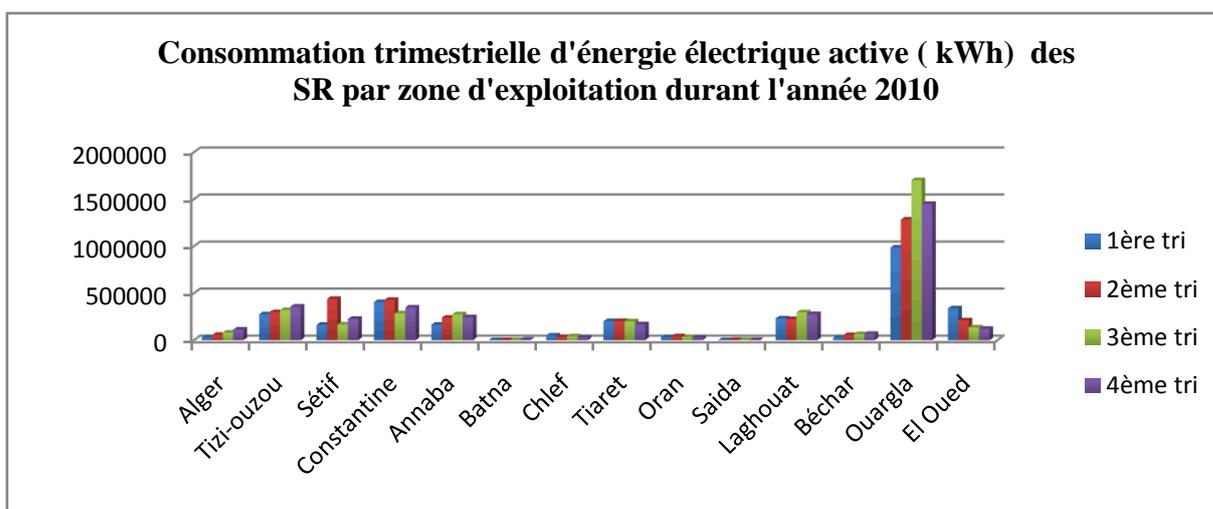


Figure IV.12: Consommation trimestrielle d'énergie électrique active des SR par zone d'exploitation durant l'année 2010

Nous remarquons sur la figure ci-dessus que la consommation électrique la plus importante revient à celle de Ouargla vue que l'alimentation des STEP en eau brute se fait par pompage électrique alors qu'au nord, elle se fait pour la majorité des cas par gravitation. Cette situation est imposée par les conditions géographiques.

Tableau IV.6 : Consommation en énergie électrique active des SR trimestrielle par zone d'exploitation durant l'année 2010[ONA]

Zone	E active (kWh)				Total
	1 ^{ère} tri	2 ^{ème} tri	3 ^{ème} tri	4 ^{ème} tri	
Alger	28907	55647	80544	111870	276968
Tizi-Ouzou	274574	298078	321359	357398	1251409
Sétif	163890	439021	166756	225403	995070
Constantine	405597	428226	284023	347172	1465018
Annaba	165250	239676	273639	242864	921429
Batna	0	0	0	4299	4299
Chlef	48905	33585	42085	29437	154012
Tiaret	201578	202641	199483	168136	771838
Oran	30251	40830	33094	24442	128617
Saida	1076	1734	1912	2065	6787
Laghouat	231448	224338	294393	278208	1028387
Béchar	25939	53595	63708	66044	209286
Ouargla	986325	1284097	1702529	1450816	5423767
El Oued	337600	211501	135619	121606	806326
Total	2901340	3512969	3599144	3429760	13443213

➤ **Energie reactive**

Nous présentons le bilan de la consommation électrique active des stations de relavages dans la figure IV.9 et le tableau IV.7.

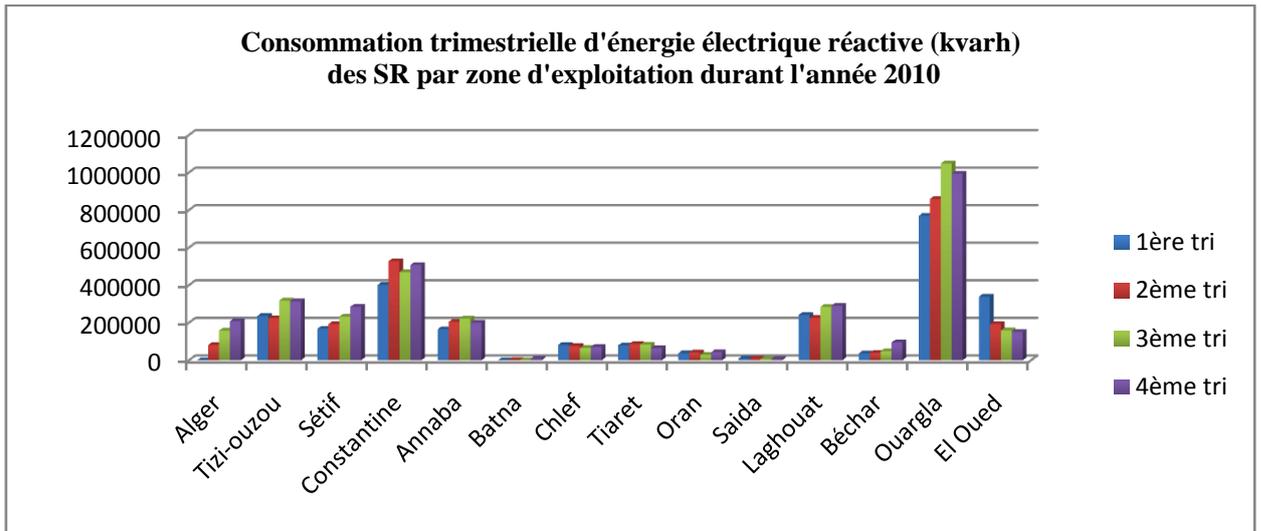


Figure IV.13 : Consommation trimestrielle des SR en énergie électrique réactive par zone d'exploitation durant l'année 2010

Tableau IV.7 : Consommation trimestrielle des SR en énergie électrique réactive par zone d'exploitation durant l'année 2010[ONA]

zone	E réactive (kvarh)				Total	E réactif / E active
	1 ^{ère} tri	2 ^{ème} tri	3 ^{ème} tri	4 ^{ème} tri		
Alger	0	331427	548203	579291	1458921	0,44
Tizi-Ouzou	895183	956751	1165147	1179888	4196969	0,82
Sétif	733993	721732	750059	757947	2963731	0,81
Constantine	218885	410300	442282	517095	1588562	0,76
Annaba	726513	873981	892353	859030	3351877	0,77
Batna	16462	13777	34380	43809	108428	0,06
Chlef	292073	286144	382775	369954	1330946	0,52
Tiaret	121404	0	0	0	121404	0,4
Oran	1443887	1340646	1546044	1551572	5882149	1,27
Saïda	25889	78082	219849	330592	654412	0,36
Laghouat	0	0	0	0	0	
Béchar	0	0	0	0	0	
Ouargla	177266	133130	190685	156100	657181	0,54
El Oued	0	3025	0	35105	38130	0,17
Total	4651555	5148995	6171777	6380383	22352710	0,72

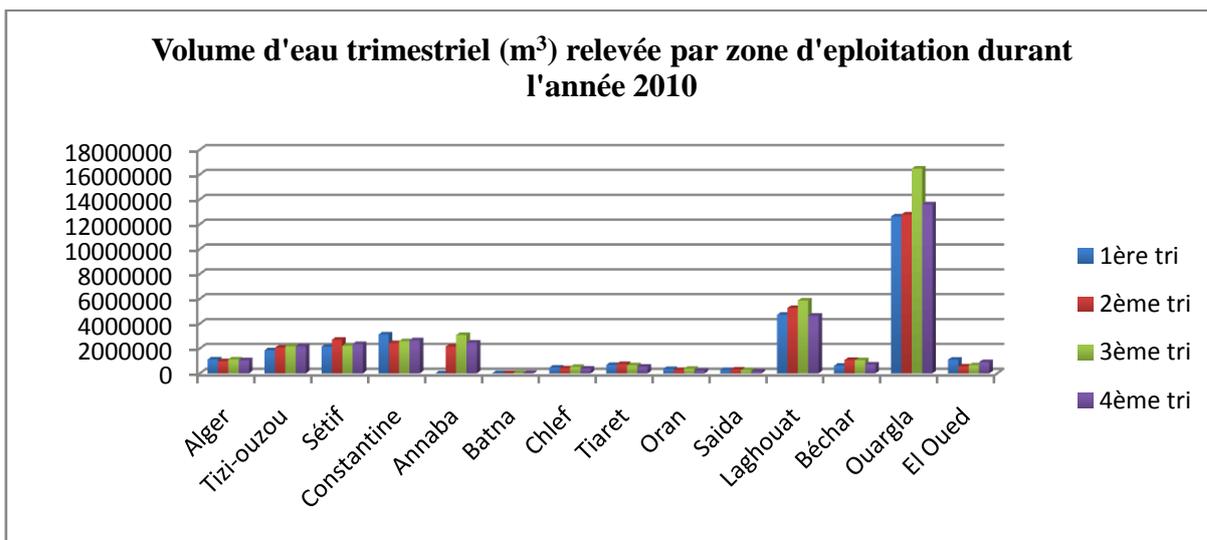


Figure IV.14 : Volume d'eau relevée par zone d'exploitation durant l'année 2010

Tableau IV.8 : Volume d'eau trimestriel relevée par zone d'exploitation durant l'année 2010[ONA]

Zone	Volume relevé (m ³)				Total
	1 ^{ère} tri	2 ^{ème} tri	3 ^{ème} tri	4 ^{ème} tri	
Alger	1117634	986583	1123313	1052062	4279592
Tizi-Ouzou	1854972	2058108	2177340	2181308	8271728
Sétif	2141158	2708959	2212065	2359554	9421736
Constantine	3123932	2433313	2586753	2663903	10807901
Annaba	0	2164478	3080823	2463676	7708977
Batna	19376	21714	40500	33048	114638
Chlef	466077	408465	514282	382348	1771172
Tiaret	679176	752112	658588	532152	2622028
Oran	351360	266519	364195	207065	1189139
Saida	258000	304400	261543	140379	964322
Laghouat	4709333	5260342	5854775	4646001	20470451
Béchar	614648	1070798	1052482	710340	3448268
Ouargla	12622087	12774889	16472000	13593598	55462574
El Oued	1097448	551045	650346	895588	3194427
Total	29055201	31761725	37049005	31861022	129726953

➤ **Coût de la consommation électrique**

Sue la figure et le tableau suivants nous reportons le bilan des coût de la consommation électriques des SR par zone.

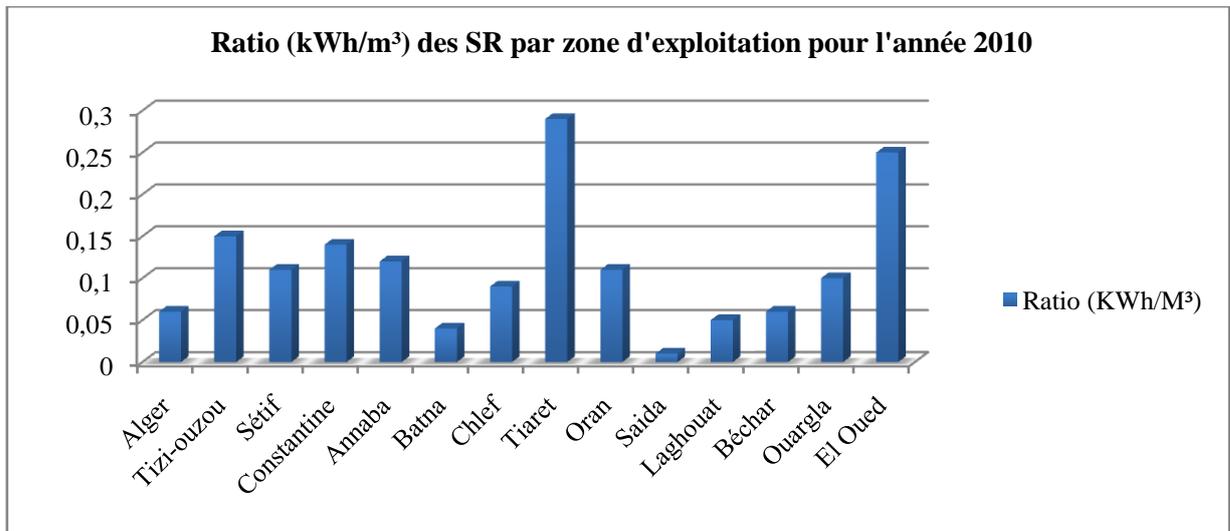


Figure IV.15 : Ration des SR par zone d'exploitation pour l'année 2010

Tableau IV.9 : Coût de la consommation d'énergie électrique des SR par zone d'exploitation durant l'année 2010[ONA]

Zone	Ratio (kWh/m³)	Montant (DA)	Coût (DA/m³)
Alger	0,06	1555319	0,36
Tizi-Ouzou	0,15	5060788	0,61
Sétif	0,11	3869937	0,41
Constantine	0,14	8982154	0,83
Annaba	0,12	3735546	0,48
Batna	0,04	101768	0,89
Chlef	0,09	1299759	0,73
Tiaret	0,29	2523949	0,96
Oran	0,11	1010652	0,85
Saida	0,01	82324	0,09
Laghouat	0,05	3767735	0,18
Béchar	0,06	1096702	0,32
Ouargla	0,1	20704157	0,37
El Oued	0,25	2940919	0,92
Total	0,1	56731709	0,44

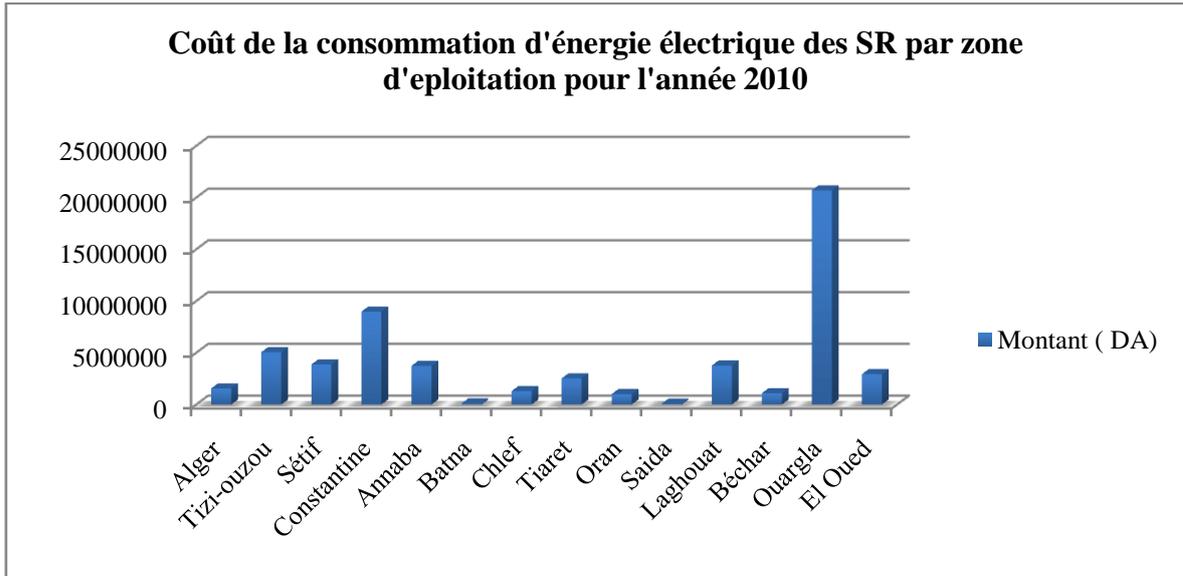


Figure IV.16 : Coût de la consommation d'énergie électrique des SR par zone d'exploitation pour l'année 2010

En observons les figures des bilans de la consommation électrique son coût et du volume d'eau traitée nous constatons que la consommation électrique d'un réseau d'assainissement dépend:

- du volume d'eau traitée
 - de la situation géographique
 - du procédé épurateur employé
 - et du rendement des équipements installées de la STEP(encienté).
- **Récapitulatif des Consommations et coûts d'énergie dans les stations de relevage et stations d'épuration durant l'année 2010:**

Tableau V.10 : Consommation et coût de l'énergie électrique des SR et des STEP durant l'année 2010[ONA]

	Energie Active (kWh)	Energie Réactive (kvarh)	Volume épuré ou relevé (m ³)	Ratio (kWh/m ³)	Montant (DA)
STEP	30900179	22352710	104324686	0,29	109885090
SR	13443213	11688066	129726953	0,1	56731709
TOTAL	44343392	34040776			166616799

Nous observons sur le tableau ci-dessus une importante consommation électrique évaluée à 44.340.000 du réseau d'assainissement nationale. Cette consommation impose un coût de l'ordre de 166.616.799 DA.

Sur les figures suivantes nous reportons la consommation électrique active et réactive des STEP et des SR enregistrée durant l'année 2010.

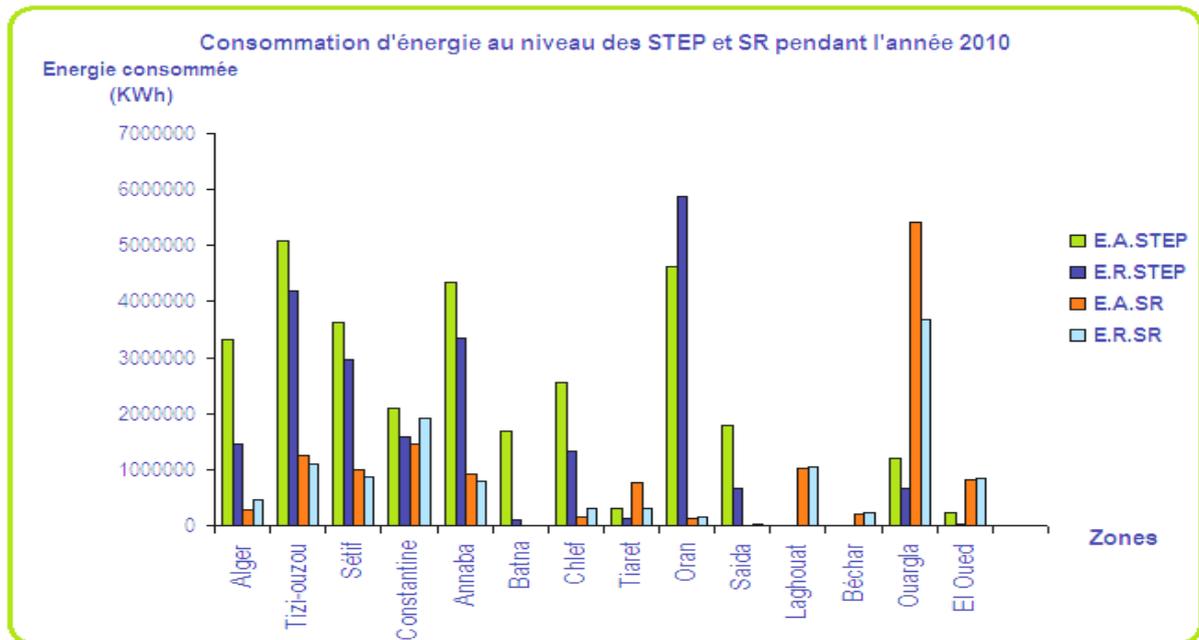


Figure IV.17 : Consommation d'énergie électrique au niveau des STEP et SR pendant l'année 2010

L'énergie réactive au niveau des STEP de la zone d'Oran dépasse l'énergie active ce qui donne un coût de 1,12 DA/M³ alors que parmi les 20 STEP gérées 18 sont des lagunes, aussi la zone de Saida qui gère une STEP et une Lagune présente le coût le plus élevé avec 3,22 DA/M³.

Le ratio le plus bas 0,41 DA/M³ a été relevé dans la Zone de Sétif avec ses 27 SR.

4.3.4 Coûts d'exploitation des Systèmes d'assainissement

Les frais d'exploitation des systèmes d'assainissement, pour l'année 2010 s'élèvent à plus de : **2 074 Millions de DA**, répartis comme suit :

- **1 309 Millions de DA** pour la gestion et l'exploitation des réseaux soit un ratio de 2,28 DA/M³ Collecté
- **486 Millions de DA** pour la gestion et l'exploitation des Step et lagunes

Soit un ratio de 4.67 DA/M3 épuré.

- **279 Millions de DA** pour la gestion et l'exploitation des stations de relevage soit un ration de 2.16 DA/M3 relevé

Le tableau suivant présente la répartition des coûts d'exploitation par centre de frais.

Tableau IV.11 : Répartition des coûts d'exploitation par centre de frais [ONA]

Centre de frais	STEP	Stations de relevage	Réseaux	Total
Frais du Personnel	343 228 542	196 050 646	1 157 662 904	1 696 942 092
Frais d'Energie	113 895 351	70 574 670		184 470 021
Frais de Maintenance	12 854 784	3 780 894	62 120 215	78 755 893
Autres	16 004 634	9 258 555	89 054 801	114 317 990
Total	485 983 311	279 664 765	1 308 837 920	2 074 485 996

La figure suivante illustre la répartition du coût d'exploitation par type d'activité.

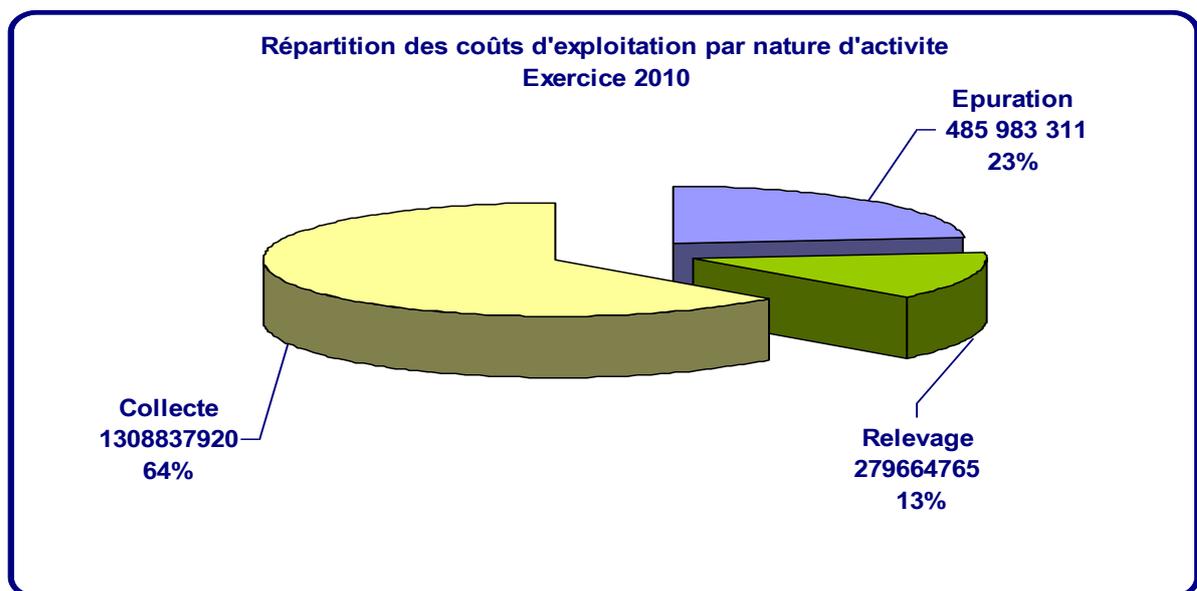


Figure IV.18 : répartition des coûts d'exploitation par nature d'activité pour l'année 2010[ONA]

Nous observons sur la figure ci-dessus que la collecte engendre le coût le plus important qui représente plus de 60% du coût totale d'exploitation.

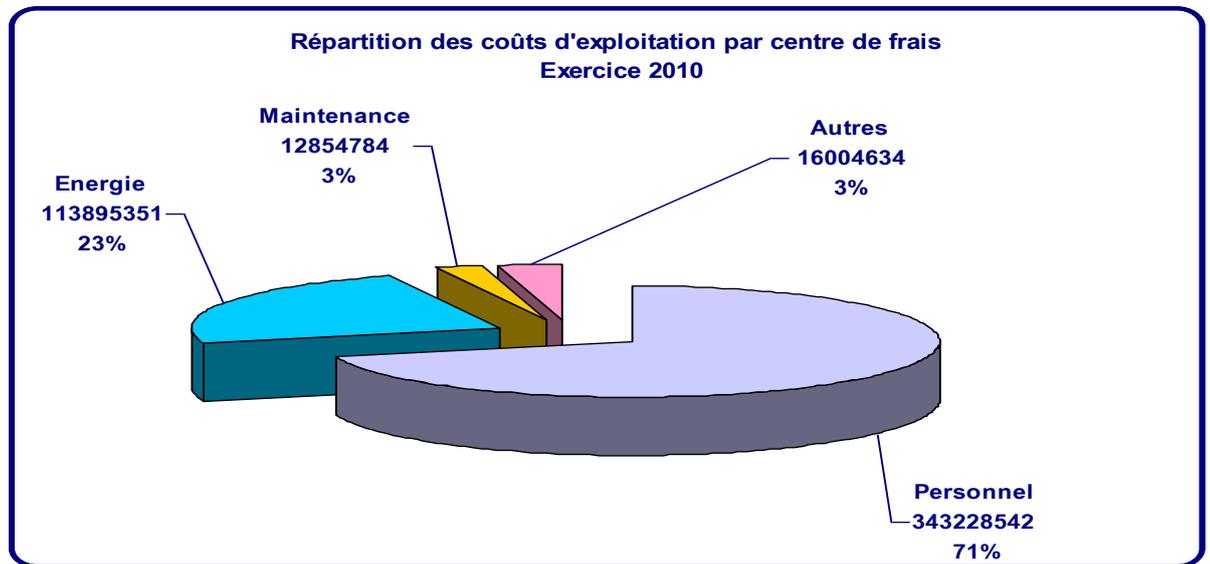


Figure IV.19 : Répartition des coûts d'exploitation par centre de frais pour l'année 2010[ONA]

La figure ci-dessus représente la part qu'occupe chaque centre de frais dans le coût d'exploitation.

- **Moyens matériels**

Fonds social et patrimoine de l'Office

Le fonds social de l'ONA est constitué d'une dotation initiale de l'Etat et de l'actif net positif des établissements publics dissous et transférés à l'Office.

L'ONA dispose d'un patrimoine propre constitué des biens transférés acquis ou réalisés sur fonds propres ainsi que des subventions accordées par l'Etat.

Le montant du fonds social est fixé par arrêté conjoint du Ministère des Finances et du Ministère des Ressources en Eau. L'Office dispose, en outre, d'un droit de jouissance sur l'ensemble des biens domaniaux non compris dans son patrimoine propre qui lui sont affectés par l'Etat pour les besoins du service public de l'assainissement.

- Budget de fonctionnement

- Les redevances d'assainissement
- Les produits d'exploitation des réseaux et ouvrages d'assainissement et les produits d'autres prestations liées à son sujet

- Les emprunts contractés.
- Les rémunérations des sujétions de service public mises à la charge de l'Office par l'Etat, conformément aux prestations fixées dans le cahier des clauses générales établi à cet effet
- Les produits financiers.
- Les dons, legs et autres dévolutions.
- La rémunération des prestations de maîtrise d'ouvrage déléguée
 - Budget d'équipement.
- L'Office peut recevoir, pour assurer la mission de maîtrise d'ouvrage déléguée par l'Etat et/ou les collectivités locales,
 - Des subventions d'équipement.
 - Fonds d'amortissement.
- Rémunération des prestations de maîtrise d'ouvrage déléguée.

4.4 Les enjeux de l'assainissement

La problématique de l'assainissement en Algérie s'articule autour de deux dimensions fondamentales interdépendantes.

La dimension économique et la dimension environnementale.

4.4.1 La dimension économique

La dimension économique de l'eau est un objectif stratégique pour le développement des ressources en eau en Algérie. Tout le défi de l'eau pour les années à venir consiste à faire face aux aléas climatiques et aux cycles récurrents de sécheresse tout en assurant une croissance de l'offre de l'eau en rapport avec l'évolution rapide de la demande de la société et de l'économie algérienne et ce, à travers principalement la réalisation d'infrastructures hydrauliques, la mise à niveau des opérateurs de l'eau et de la législation.

La crise de l'eau dans le monde est aujourd'hui un frein structurel au développement des économies et de la promotion sociale des populations. Ce défi majeur du XXI^{ème} siècle concerne également notre pays marqué sur le plan hydrique par une semi aridité, un grand territoire et une concentration urbaine très importante.

Il convient de rappeler le potentiel des ressources en eau de notre pays pour comprendre et appréhender la dimension économique de cet élément structurant du territoire national.

Les ressources en eau de l'Algérie sont estimées à 12,4 milliards pour les eaux de surface, les écoulements de surfaces sont localisés dans leur grande majorité (près de 90 %) dans la région littorale qui ne représente que 07% de la superficie totale du pays. Quant aux ressources souterraines, elles sont de :

- 02 milliards de mètres cubes dans la région du nord du pays.
- 05 milliards de mètres cubes dans la région sud provenant des nappes du continental intercalaire (CI) et du complexe terminal (CT).

Nous remarquons que l'état ne prends en compte que la dimension économe des ressources en eau mais il est nécessaire de prendre conscience de l'économe des énergies et l'économie et que notre pays à un potentiel de réduction des bilans d'exploitations existants en faisant appel à des investissement dans la production énergétique à partir de ressource renouvelable

4.4.2 La dimension environnementale

Dans le monde entier, le développement durable et au cœur des problématiques de croissance et de l'aménagement du territoire. Notre pays n'échappe pas à ce défi de conjuguer harmonieusement économie et écologie c'est-à-dire répondre aux besoins de produire des biens et services sans altérer, ni porter atteinte ou détruire la qualité de l'eau, du sol, du sous sol et de l'air.

Pour toutes les raisons précédentes, les pouvoirs publics ont confié à l'ONA la charge d'assurer la lutte contre toutes les sources de pollution hydrique dans les zones de son domaine d'intervention.

Cette mission d'intérêt public et national passe pour l'ONA par la mise en œuvre de toute action entrant dans le cadre de la gestion, de l'exploitation, de l'extension, de la maintenance et de la construction de tout ouvrage destiné à l'assainissement des agglomérations dans les périmètres urbains et communaux, ainsi que dans les zones de développement touristiques et industriel.

Notre pays a connu un développement démographique et urbain rapide et sans précédent avec de fortes concentrations de population notamment au nord, une densification

du tissu industriel et des activités économiques. Ce qui n'a pas manqué d'entraîner à la fois une croissance des besoins en eau mais également une forte production de déchets et d'eaux usées qu'il convient de maîtriser pour ne pas hypothéquer l'avenir des générations futures en préservant l'environnement et les équilibres écologiques de notre pays.

Sur la base de ces réalités et exigences, l'ONA est chargé de mettre en œuvre un ensemble de moyens et de services qui sont principalement:

- Les réseaux de collecte des eaux usées.
- Les stations de relevage.
- Les stations d'épuration y compris les lagunes et les bassins de décantation.
- Les émissaires en mer.

4.4.3 Valorisation des produits issus de l'épuration des eaux

L'ONA gère actuellement 77 STEP et lagunes. Les STEP de type boue activée, assurent l'épuration de 6 millions de m³ d'eaux usées urbaines mensuellement. La quantité des boues produites s'élève à environ 2 000 tonnes par mois. Cette boue subit au préalable un traitement composé de trois phases principales.

- Une phase d'épaississement qui permet de réduire son volume.
- Une phase de digestion qui assure une stabilisation de la boue.
- Et, une phase de déshydratation qui réduit au mieux le volume de la boue.

Cette dernière phase se fait soit par :

- Déshydratation naturelle sur lits de séchage.
- Déshydratation mécanique sur filtres à bandes

Le devenir de ces boues obéit à deux principales destinations.

- La mise en décharge.
- L'épandage des cultures céréalières, arboricultures et plantes ornementales (pépinières).

L'épandage se fait après s'être prémuni de certains risques liés à l'aspect bactériologique et métaux lourds. En outre l'agriculteur se limite uniquement à l'épandage des cultures citées précédemment (cas des STEP de HADJOUT, BOUMERDES, KOLEA, AIN DEFLA et

CHLEF)

La valorisation agricole des boues reste au stade expérimental avec des tentatives limitées au niveau de certaines STEP, en l'absence d'un cadre réglementaire.

La démarche de Management de l'environnement dans laquelle s'est engagé l'ONA a permis d'identifier les aspects Environnementaux et par conséquent d'établir un plan d'action pour réduire les impacts.

La production de boues reste un aspect environnemental significatif dont il va falloir réduire l'impact. En matière de réglementation.

- Loi n°2001-19 du 12 Décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets qui oblige à trouver une solution au devenir des boues de STEP.
- Décret Exécutif n°2006-104 du 28 Février 2006 fixant la nomenclature des déchets qui classifie les boues de STEP comme des déchets spéciaux voire même dangereux en cas de présence d'eaux d'origine industrielle.

- **Recommandation de l'ONA**

- Constitution d'une banque de données qui dresse un bilan des boues en quantité et qualité et une cartographie des cultures des zones concernées par l'épandage.
- Doter suffisamment les laboratoires des STEP pour un suivi de la qualité et quantité des boues produites.

- Généralisation de l'objectif assigné à la STEP de Tizi-Ouzou EST dans le cadre de la certification ISO 14001 à savoir : la création de pépinières pour promouvoir la valorisation des boues au niveau des STEP dans le cadre de l'ANSEJ (création de l'emploi).
- La clé de la problématique reste bien entendu l'instauration d'un cadre réglementaire, juridique qui définit :

- Les modalités de mise en œuvre de l'opération d'épandage.

- Les normes de valorisation.

- Les responsabilités et prérogatives des différents acteurs concernés par l'opération.
- A ce titre, avec la mise en place d'un comité technique « qualité de l'eau » au niveau de

L'institut algérien de normalisation (I A N O R), une réflexion est déjà engagée au niveau du secteur des ressources en eau pour intégrer le volet valorisation agricole des boues issues des stations d'épuration.

L'ONA envisage de faire une valorisation agricole des déchets mais vue ses besoins énergétique énormes nous pouvons envisager de rediriger la valorisation de ces déchets vers une valorisation énergétique qui contribuerait à la réduction des coût d'exploitation, du bilan de gaz à effet de serre, économiser le gaz naturel et préserver notre environnement en réduisant la quantité des déchets rejeté dans les décharges public.

Chapitre V

Présentation de la station d'épuration de Boumerdes

5.1. Localisation

La station d'épuration qui assure le traitement des eaux usées des communes de Boumerdes, Corso et Tidjelabine est située á environ 2 Km de la vile, en rive gauche de l'Oued Tatareg. Sa superficie est de 3,2 hectares.

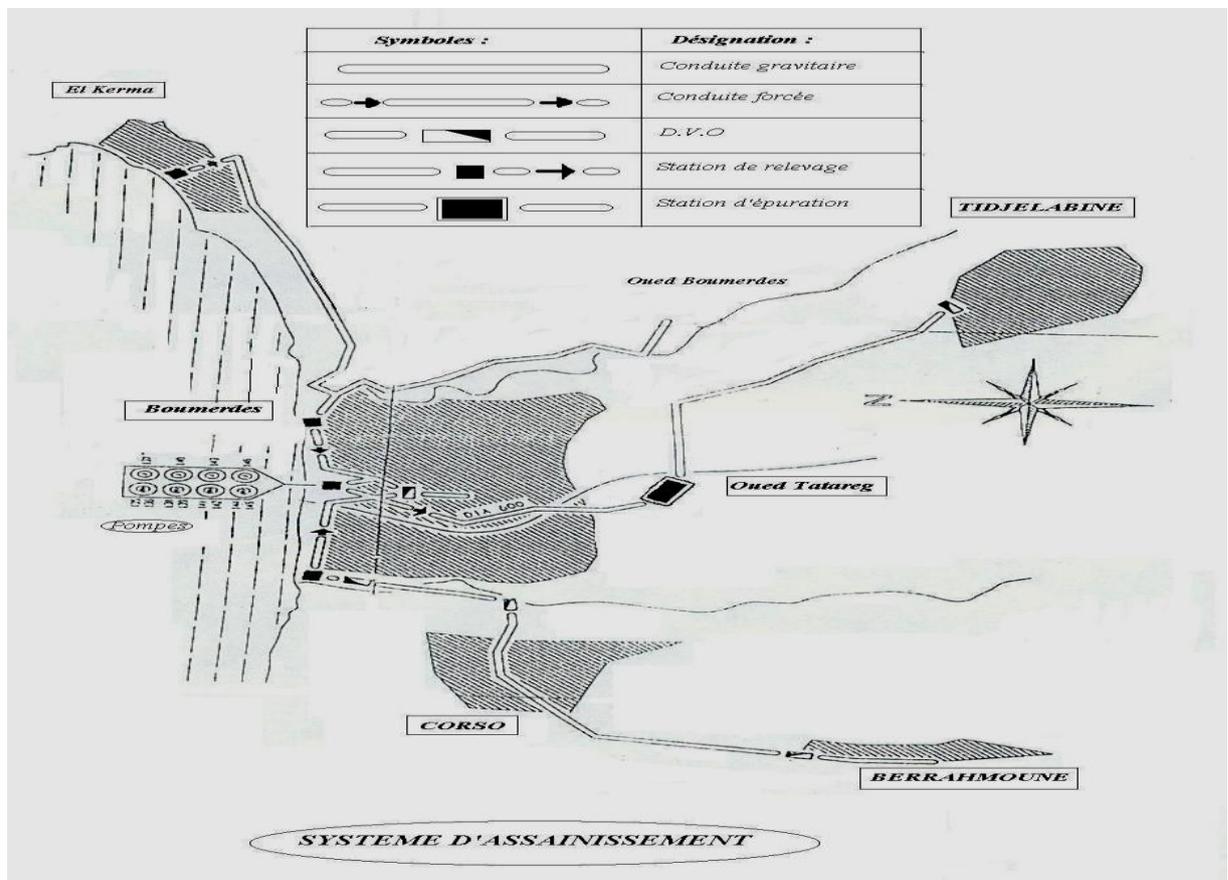


Figure V.1 : système d'assainissement de la ville de Boumerdes [STEP Boumerdes]

Elle a été mise en service en Janvier 2011. Sa capacité nominale est de 75000 eq.habitants pour un volume journalier de 15000m³.

Le réseau est de type unitaire, les collecteurs principaux s'orientent vers la station d'épuration en régime gravitaire et forcé dans le cas morphologique défavorable où des stations de relevage sont réalisées. Le réseau principal développe une distance d'environ 12 km.



Figure V.2: Photo du schéma directeur d'assainissement de Boumerdes [1]

Le principe de traitement est l'épuration biologique à boues activées en aération prolongée à faible charge avec déshydratation mécanique des boues.



Figure V.3 : Vue de dessus de la STEP de Boumerdes par satellite [Google earth]

5.2 Caractéristiques techniques

5.2.1 Caractéristiques de l'eau à traiter

L'eau à traiter a les caractéristiques suivantes.

- Nature des eaux brutes : domestiques.
- Volume journalier : 15.000 (m³/j).
- Débit moyen journalier : 625 (m³/jr).
- Débit moyen horaire : 26.04 (m³/h).
- Débit de pointe temps sec : 1063 (m³/h).
- Débit de pointe temps de pluie : 1944 (m³/h).
- Charge de pollution :
 - DBO₅: 4050 (kg/jr);
 - MES: 5250 (kg/jr).

5.2.2 Objectif du traitement

L'objectif ciblé et requis en sortie de la station est le suivant:

- DBO₅: 30mg/l ;
- DCO : 90mg/l ;
- MES : 30mg/l ;
- NTK : 40 mg/l.

Le rendement d'élimination des charges polluantes est de : 91% sur les MES et de 88% pour les matières organiques.

5.3 Procédé d'épuration

Les eaux usées arrivent à la station par gravité ou par pompage, et subissent les différents traitements conventionnels d'un effluent urbain. Les étapes par lesquelles passent les eaux usées dans la station sont les suivantes :

- Filière eau :
 - ✚ Dégrillage.
 - ✚ Dessablage.
 - ✚ Déshuilage.
 - ✚ Traitement Biologique.
 - ✚ Clarification.
 - ✚ Chloration.
- Filière boues :
 - ✚ Épaississement.
 - ✚ Déshydratation mécanique par filtres à bandes.

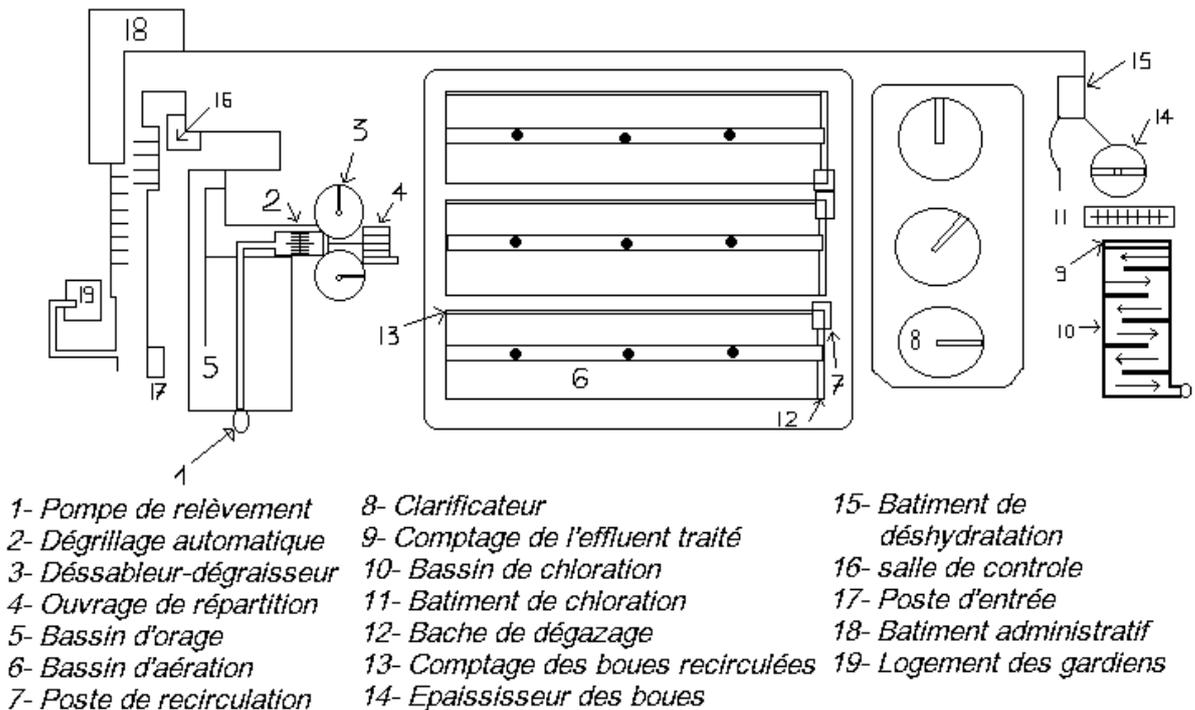


Figure V.4: Schéma synoptique de la station d'épuration de Boumerdes [STEP Boumerdes]

5.3.1 Arrivée de l'eau

L'eau brute arrive d'une part par pompage, d'autre part par gravité.

Un déversoir alimente un bassin d'orage de tout débit supérieur au débit accepté par l'installation suivant le nombre de bassins d'aération en service. Un by passe contrôle l'entrée générale de la station.



Figure V.5 : Photo de l'arrivée de l'eau brute [STEP Boumerdes]

5.3.2 Traitement primaire

Le prétraitement a été mis au point pour éliminer les grosses particules véhiculées par les eaux afin de protéger les ouvrages de la station du colmatage et des dépôts de boues.

Le prétraitement comporte :

- Dégrillage

L'ensemble de dégrillage comporte : un dégrilleur automatique à champ courbé, avec espacement entre barreaux de 20 mm et un dégrilleur manuel.

Les refus sont évacués par convoyeur vers tous les dispositifs de stockage.

Tous les canaux de dégrillage sont isolables par le même dispositif batardeaux manuel en Aluminium.



Figure V.6:Photo du dégrilleur [STEP Boumerdes]

- Dessablage, dégraissage

Les ouvrages circulaires ont pour but de :

- Éliminer par décantation une grande partie de sable,
- Éliminer une grande partie de matières flottantes (graisses, écumes) en partie supérieure des ouvrages.

La rétention des particules sableuses permet d'éviter :

- les surcharges dans les étapes suivantes de traitement
- l'accumulation de sable dans les étapes ultérieures du traitement
- ✓ Quantité de sable piégé : 15 - 40 (mg/l).

L'élimination des graisses permet :

- limiter la quantité de flottants et de graisses susceptibles de se coller, de s'agglutiner et de flotter dans les ouvrages situés en aval, pouvant causer des problèmes de fermentation.
- ✓ Quantité de graisses piégée : 5 - 15 (mg/l).



Figure V.7: Photo du déssableur- dégraisseur [STEP Boumerdes]

5.3.3 Traitement secondaire

- Ouvrage de répartition

Cet ouvrage permet d'aguiller l'eau à traiter vers les files de traitement par l'intermédiaire de batardeaux, une lame de surverse sert de by-pass en cas de surdébit.

- Bassins d'aération

Trois bassins munis de trois turbines chacun (actirotor) permettent l'aération de la quantité des bactéries à l'origine du traitement.

Les bassins reçoivent la liqueur mixte constituée par la recirculation des boues provenant des clarificateurs finaux.

- Volume unitaire : 3600 m³.
- Profondeur : 4.5 m.

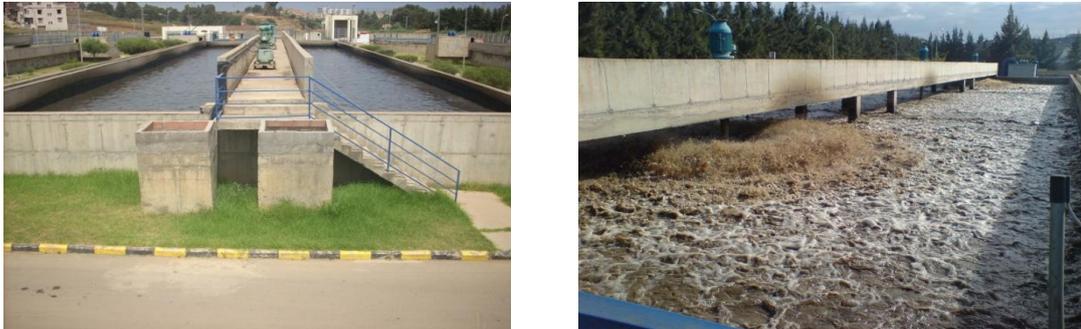


Figure V.8: Photo du bassin d'aération [STEP Boumerdes]

Les eaux sortant des ouvrages d'aération sont dirigées vers 3 clarificateurs.

Les boues décantées au fond de chaque ouvrage sont dirigées vers un puits central pour être reprise vers la bêche de recirculation.

Une petite partie est recirculée en tête d'aération (liqueur mixte), l'autre est reconduite vers l'épaississeur.

- Fosses de recirculation:

Une bêche de recirculation attenante aux réactions contient deux pompes de recirculation des boues appelées liqueurs mixtes, ainsi que la pompe d'extraction des boues vers l'épaississeur.



Figure V.9: Décanteur secondaire – clarificateur [STEP Boumerdes]

5.3.4 Traitement tertiaire

- Canal de comptage et désinfection

L'eau clarifiée est dirigée vers une bêche de contact dimensionnée pour 20 minutes de temps de rétention à plein débit, soit un volume 385m³.

La première partie de l'ouvrage sert de canal de comptage pour asservissement de l'injection du chlore.



Figure V.10: Photo de l'ouvrage de désinfection [STEP Boumerdes]

5.3.4 Traitement des boues

L'eau, mélangée à la boue formée dans le bassin d'aération est évacuée vers le clarificateur, ce mélange est séparé par décantation et les boues sont récupérées par une pompe qui les envoie vers l'épaississeur, où elles décantent encore une fois pour être plus épaisses et plus denses. L'eau qui reste à la surface est renvoyée vers le poste de relevage pour subir les mêmes traitements que l'eau brute.

La boue épaissie est dirigée vers la salle de déshydratation, où elle est séparée de la quantité d'eau qui reste en lui ajoutant un polymère, puis elle est essorée sous un rouleau, pour enfin passer entre deux tapis où elle sera aplatie (forme pâteuse) puis évacuée à l'extérieur vers un camion qui la transporte pour finir à la décharge publique pour être traitée avec le reste des déchets ménagers.

Chapitre VI

Évaluation de la consommation d'énergie électrique de la STEP, son coût et son bilan carbone.

6.1 Méthodologie du travail

La démarche utilisée pour évaluer la consommation électrique au niveau de la station d'épuration de Boumerdes est la suivante:

- ✓ identification des différents équipements consommateurs d'électricité au niveau de la STEP ;
- ✓ classification des équipements en cinq grandes catégories:
 - chaîne d'épuration.
 - bâtiments.
 - laboratoire.
 - éclairage extérieur.
 - Logements de fonctions (trois petites villas).
- ✓ relevée des puissances électriques de chaque équipement.
- ✓ saisie des relevés des compteurs horaires journaliers de chaque équipement durant l'année 2010 ;
- ✓ exploitation des données pour le calcul des consommations énergétiques.

6.2 Méthode de calcul

6.2.1 Méthode de détermination du temps de fonctionnement moyen journalier

$$\checkmark \text{ Temps de fonctionnement moyen mensuel} = \frac{\sum \text{ Temps de fonctionnement mensuel}}{\text{Nombre de mois de fonctionnement}}$$

$$\checkmark T_{f_{\text{moy/mois}}} = \frac{\sum T_{f \text{ mois}}}{12 * Fr}$$

$$\checkmark Fr = \text{Nombre de mois de fonctionnement} / \text{Nombre total de mois dans l'année}$$

$$\checkmark \text{ Temps de fonctionnement moyen journalier} = \frac{\text{Temps de fonctionnement moyen mensuel}}{\text{Nombre de jours fonctionnement moyen par mois}}$$

$$\checkmark \text{ Nombre de jours fonctionnement moyen par mois} = \frac{\text{Nombre de jours totale de l'année}}{\text{Nombre de mois de l'année}}$$

$$\rightarrow \text{Nombre de jours moyen de fonctionnement par mois} = 365/12 = 30.41$$

$$\longrightarrow T_{f_{\text{moy/jr}}} = T_{f_{\text{moy/mois}}} / 30.41$$

6.2.2 Méthode d'évaluation de la consommation électrique

Toute machine électrique (Moteur, transformateur) qui utilise le courant alternatif met en jeu deux formes d'énergie [Schneider Electric] :

- **Énergie active (KWh)**

Elle est transformée en énergie mécanique et en chaleur.

- **Énergie réactive (Kvarh)**

Elle sert à aimanter le fer du circuit magnétique (Création du champ magnétique), c'est une énergie improductive mais indispensable.

Nous pouvons alors écrire: $E_{\text{totale consommée}} = E_{\text{active}} + E_{\text{réactive}}$.

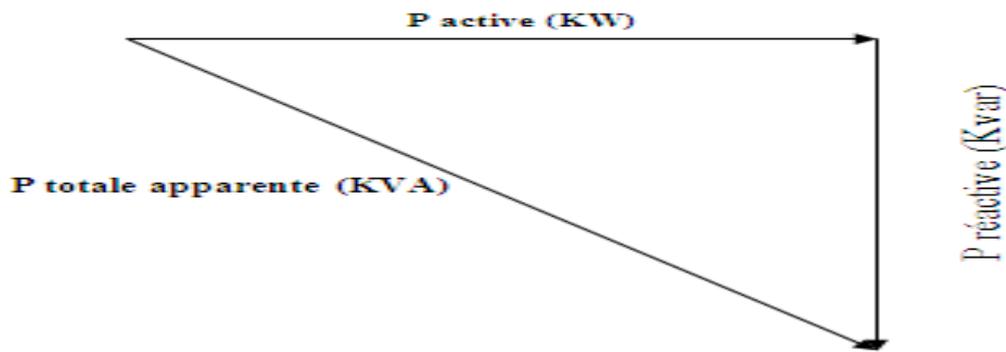


Figure VI.1: Liaison entre la puissance active et la puissance réactive d'un transformateur

[Schneider Electric]

La puissance apparente est déphasée d'un angle Ø, par rapport à la puissance active, nous illustrons dans la figure suivante la relation qui lie la puissance électrique active à la puissance réactive.

Le Cos Ø Est appelé facteur de puissance de l'installation. Il exprime le rapport entre la puissance réellement utilisable et la puissance fournie par le réseau (rendement électrique de l'installation).

Pour obtenir le maximum de puissance active et le minimum de puissance réactive non utilisable, l'utilisateur doit avoir un facteur de puissance très proche de 1.

SONELGAZ utilise dans les factures le terme « facteur de puissance » pour tg Ø au lieu de Cos Ø. Pour une période donnée, cela se traduit en consommation :

$$\cos \theta = \frac{Ea}{\sqrt{Ea^2 + Er^2}}$$

$$Tg \theta = \frac{Er}{Ea} = \frac{\text{Energie reactive}}{\text{Energie active}} = \frac{Kvarh}{Kwh}$$

Ea : énergie active (KWh).

Er : énergie réactive(Kvarh).

Pour évaluer la consommation électrique réelle d'une machine (Moteur, transformateur) qui utilise le courant alternatif nous devons disposer de son rendement

(Son $\cos \varnothing$) pour calculer son énergie active (productive) consommée et son énergie réactive (perdue au cours de son démarrage) chacune à part. En raison du manque de ces données nous n'avons évalué que la consommation en énergie électrique totale de chaque ouvrage à partir de la puissance caractéristique de l'équipement (sans prendre en considération son rendement) et du temps moyen journalier de son fonctionnement.

$$E_{moy/jr} = P_{machine} * T_{f_{moy/jr}}$$

Nous avons calculé l'énergie consommée par tranches horaires (pleine, pointe et creuse) comme suit :

$$E_{ple} = P_{machine} * T_{f_{ple}}$$

$$E_{pte} = P_{machine} * T_{f_{pte}}$$

$$E_{cre} = P_{machine} * T_{f_{cre}}$$

Pour avoir la consommation électrique mensuelle et annuelle nous avons procédé comme suit :

$$E_{moy/mois} = E_{moy/jr} * 30$$

$$E_{moy/an} = E_{moy/jr} * 365$$

6.3. Évaluation de la consommation électrique au niveau de chaque ouvrage

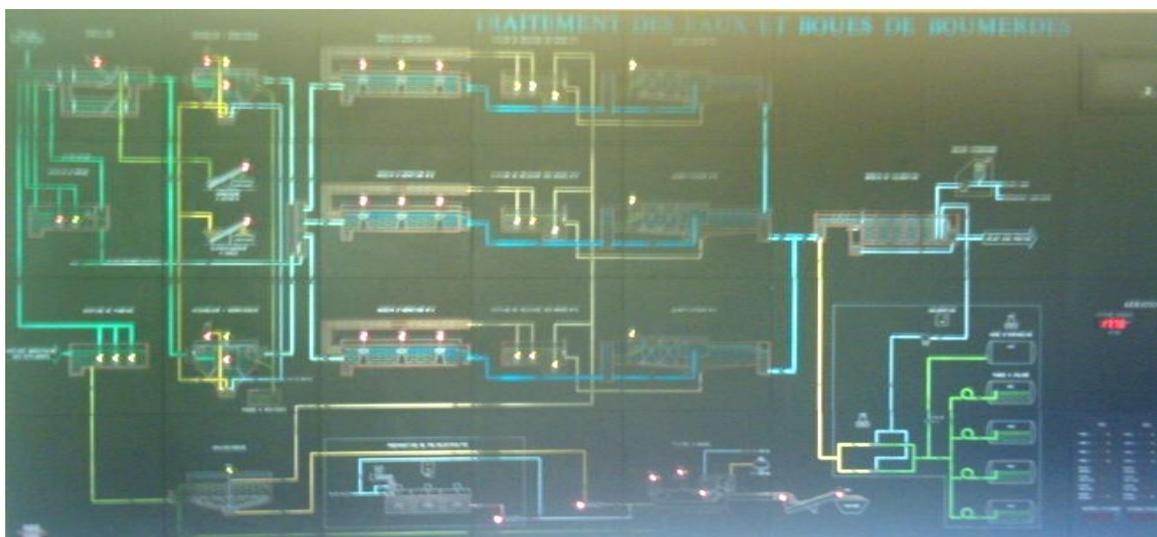


Figure VI.2 : Photo du schéma synoptique de chaîne d'épuration de la STEP [STEP Boumerdes]

Les voyants lumineux sur la figure VI.2 représentent les équipements électriques dans chaque ouvrage de la chaîne d'épuration.

6.3.1 Chaîne d'épuration

- Poste de relevage

Le poste de relevage comporte trois pompes identiques : P101, P102, P103, de puissance $P=7,5$ KW chacune.

➤ Détermination du temps de fonctionnement moyen journalier :

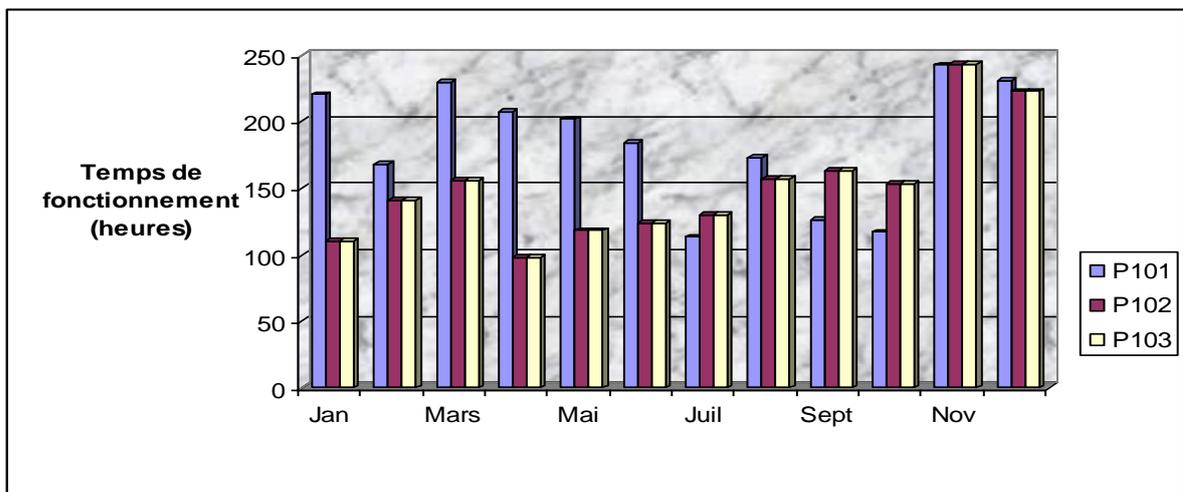


Figure VI.3 : Temps de fonctionnement moyen mensuel des pompes de relevage durant l'année 2010

Les trois histogrammes ci-dessus représentent le temps de fonctionnement moyen mensuel des pompes de relevage.

Nous observons des variations saisonnières :

- Pendant la période estivale (**juin- aout**) : la durée de marche atteint heures s'explique par l'augmentation du débit d'entrée due à l'importance de la consommation d'eau en cette période ainsi qu'à la présence des estivants.
- Pendant la période hivernale (**novembre-février**) : nous remarquons qui il y a une augmentation due à la précipitation des eaux pluviales.
- Pendant la période (**mars-mai**) : il y a une diminution du débit d'eau dans cette période.

Le tableau VI.1 résume les différents temps de fonctionnement moyens journaliers obtenus pour chaque pompe de relevage.

Tableau VI.1 : Durée de fonctionnement moyenne journalière des pompes de relevages P101, P102 et P103 durant l'année 2010

Pompes de relevage	P101	P102	P103
Durée (h/jr)	6.07	5	4.42

➤ **Consommation de l'énergie électrique :**

Nous avons réparti le temps de fonctionnement moyen journalier de chaque pompe sur les trois tranches horaires comme suit :

Pour la pompe de relevage P101:

Le temps de fonctionnement moyen journalier de cette pompe est de 6,07h/jr.

Les histogrammes précédents montrent que le temps de fonctionnement des pompes de relevages dépend principalement du débit des eaux usées qui arrivent à la STEP.

Nous pouvons alors déduire que ce temps serait le plus grand dans les tranches horaires où l'usage de l'eau est le plus important.

Nous avons obtenus la répartition suivante :

- en heures pleine elle fonctionne : 3h,
- en heures de pointe : 2h et
- en heures creuse : 1,07h.

Ensuite nous avons calculé la consommation électrique moyenne journalière pour chaque pompe à partir du temps de fonctionnement moyen journalier et de la puissance de chacune. Les résultats obtenus sont représenté dans le tableau VI.2.

Tableau VI.2 : Consommation moyenne journalière d'énergie électrique des pompes de relevage							
		h/jr			kWh/jr		
Pompes	P (kW)	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
P101	7,5	3	2	1,07	22,5	15	8,03
P102	7,5	3	2	0	22,5	15	0
P103	7,5	3	1	0,42	22,5	7,5	3,15
Poste de relevage	22,5	9	5	1,49	67,5	37,5	11,2

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau VI.3.

		h/jr			kWh/jr		
Pompes	P (kW)	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
P101	7,5	3	2	1,07	22,5	15	8,03
P102	7,5	3	2	0	22,5	15	0
P103	7,5	3	1	0,42	22,5	7,5	3,15
Poste de relevage	22,5	9	5	1,49	67,5	37,5	11,2

- Bassin d'orage

Cette ouvrage comporte deux bassins d'orage muni de pompes P104, P105 identiques de puissance P=5,5kw chacune, ces pompes fonctionnent lorsque la quantité des eaux usées qui arrivent à la STEP est supérieur à la capacité que les ouvrage en amant peuvent accepter.

- **Détermination du temps de fonctionnement moyen journalier**

Le tracé du temps de fonctionnement mensuel de chaque pompe nous donne les histogrammes représentés sur la figure VI.4.

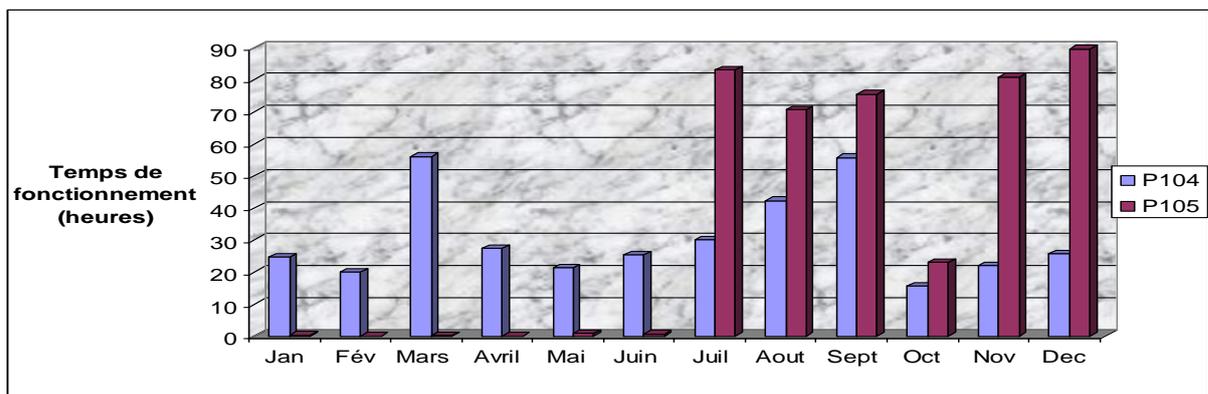


Figure VI.4 : Temps de fonctionnement mensuel des pompes P104 et P105 des bassins d'orage durant l'année

Nous observons que la pompe P105 était à l'arrêt pendant les six premiers mois de l'année 2010. Nous observons aussi qu'à partir du moment où cette pompe reprend le fonctionnement son temps de marche dépasse largement celui de la deuxième pompe.

Le calcul du temps de fonctionnement moyen journalier de chaque pompe nous donne les résultats représenté dans le tableau VI.4.

Tableau VI.4 : Durée de fonctionnement moyenne journalière des pompes P104 et P105 des bassins d'orage durant l'année 2010

Pompe du bassin d'orage	P104	P105
Durée (h/jr)	1.00	0.58

➤ **Consommation de l'énergie électrique :**

Nous avons réparti le temps de fonctionnement moyen journalier sur les tranches horaires pleines, pointe et creuse comme représenté dans le tableau VI.5 et nous portons sur le même tableau la consommation électrique retrouvée.

Tableau VI.5 : Consommation électrique moyenne journalière des pompes P104, P105 des bassins d'orages

		h/jr			kWh/jr		
Pompes	P (kW)	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
P104	5,5	0,5	0,5	0	2,75	2,75	0
P105	5,5	0,5	0,08	0	2,75	0,44	0
Bassin d'orage	11	1	0,58	0	5,5	3,19	0

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau ci-dessous.

Tableau VI.6: Consommation électrique active moyenne journalière, mensuelle et annuelle du bassin d'orage

kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
5,5	3,2	0	165	95,7	0	2007,5	1164,4	0
8,7			260,7			3171,9		

- Prétraitement

Dans le prétraitement nous avons compté plusieurs équipements que nous avons réparti en sous ouvrage comme suit :

- Dégrilleur.
- Convoyeur à déchets.
- Dégraisseur déssableur.
- Pont racleur.

➤ **Dégrilleur**

Comporte un motoréducteur D102 de puissance $P=0,55$ kW, il fonctionne selon la quantité des eaux usées qui arrivent à la station.

- **Détermination du temps de fonctionnement moyen journalier**

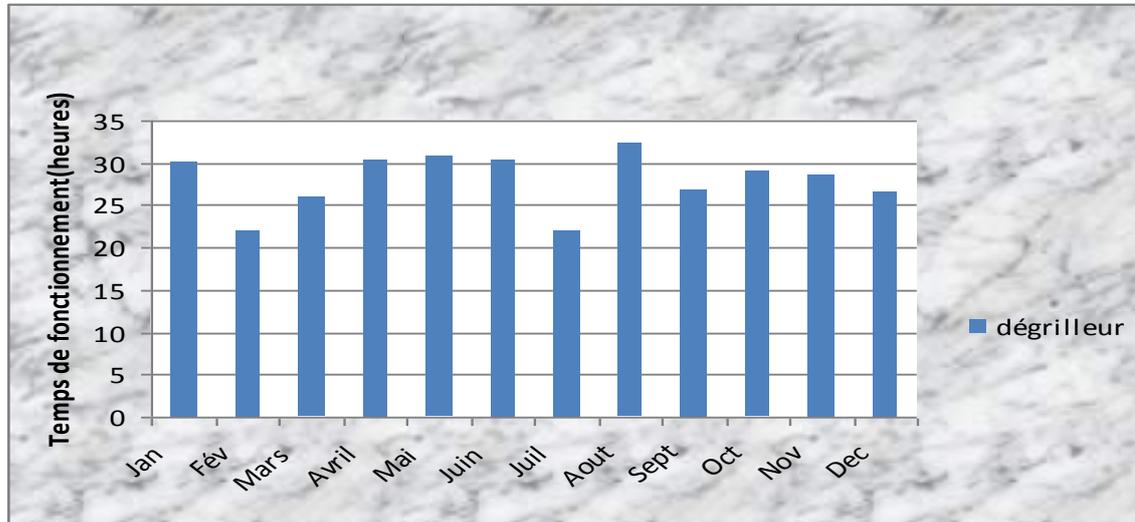


Figure VI.5 : Temps de fonctionnement mensuel du dégrilleur D102 durant l'année 2010

Nous pouvons observer sur la figure ci-dessus que le dégrilleur a un temps de fonctionnement qui tourne autour d'une heure pendant toute l'année.

Le temps de fonctionnement moyen journalier du dégrilleur est estimé de 0,91h/jr.

- **Consommation de l'énergie électrique**

A partir du temps de fonctionnement moyen journalier obtenu et de la puissance du motoréducteur D102 nous avons calculé la consommation électrique journalière par tranche horaires, les résultats obtenus sont reportés dans le tableau VI.7.

Tableau VI.7 : Consommation électrique moyenne journalière du dégrilleur D102.

Motoréducteur	P (kW)	h/jr			kWh/jr		
		Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
D102	0,55	0,91	0	0	0,5	0	0
Dégrilleur	0,55	0,91	0	0	0,5	0	0

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau VI.8.

Tableau VI.8 : Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle du dégrilleur

kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
0,5	0	0	15,02	0	0	182,68	0	0
0,5			15,02			182,68		

➤ **Convoyeur à déchets**

Le convoyeur à déchets T101 a une puissance $P=1,5\text{kw}$. Il fonctionne seulement pendant les heures administratives ; de 8h à 16h 30, donc il ne fonctionne que pendant les horaires pleins.

➤ **Détermination du temps de fonctionnement moyen journalier**

Le tracé du temps de fonctionnement mensuel du convoyeur à déchets pour l'année 2010 nous donne les histogrammes présentés sur la figure VI.6.

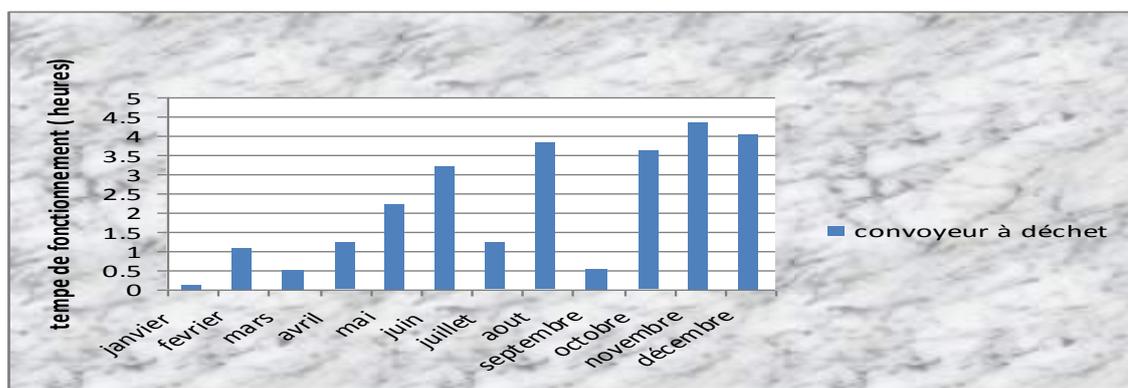


Figure VI.6: Temps de fonctionnement mensuel du convoyeur à déchets durant l'année 2010

Nous observons sur la figure ci-dessus que le temps de fonctionnement du convoyeur à déchets n'était pas régulier durant l'année 2010. Il a été à l'arrêt plusieurs fois dans l'année (mois de Janvier, une période des mois de Février, Mars, Juillet et Septembre).

Le temps de fonctionnement moyen journalier du convoyeur à déchet a été estimé de **0.07** heures/jr.

➤ **Consommation de l'énergie électrique**

Les résultats obtenus par le calcul de la consommation électrique du convoyeur à déchets sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau VI.9: Consommation moyenne journalière d'énergie électrique du convoyeur à déchets T101							
		h/jr			kWh/jr		
	P (kW)	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
T101	1,5	0,07	0	0	0,105	0	0
Convoyeur à déchets	1,5	0,07	0	0	0,105	0	0

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau VI.10.

Tableau VI.10: Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle du convoyeur à déchets								
kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
0,105	0	0	3,15	0	0	38,325	0	0
0,105			3,15			38,325		

➤ **Dégraisseur déssableur**

Comporte deux compresseur air lift C101 et C102 de puissance P=3kw chacun.

➤ **Détermination du temps de fonctionnement moyen journalier**

Les deux histogrammes sur la figure VI.7 représentent le temps de fonctionnement moyen mensuel des airs lift.

Nous remarquons sur cette figure que ces deux compresseurs sont tombés plusieurs fois en panne dans l'année mais quand le compresseur C101 a fonctionné correctement, son temps de fonctionnement avait atteint une moyenne de 3.48 h/jr au mois de Mars 2010.

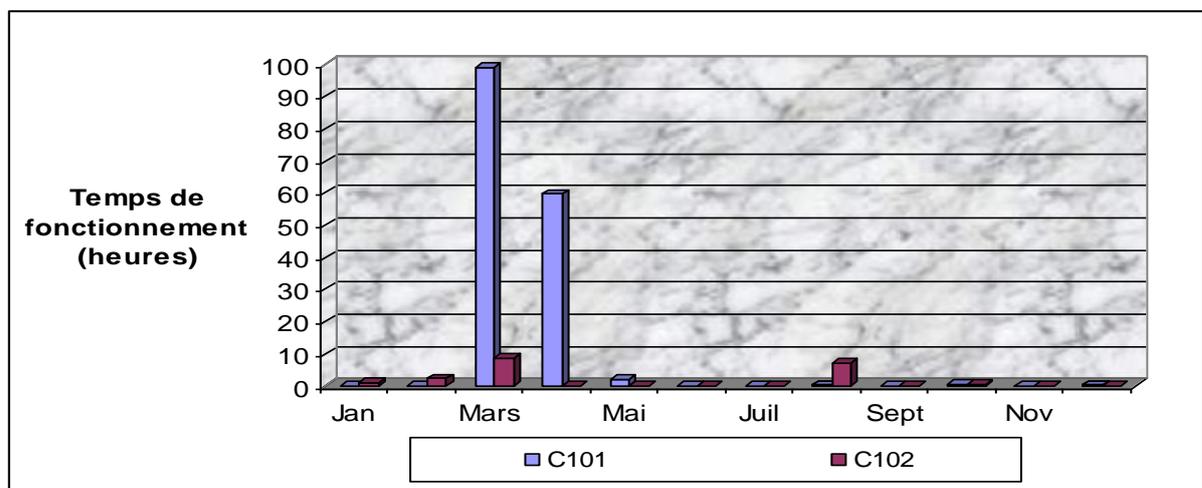


Figure VI.7 : Temps de fonctionnement moyen mensuel des airs lift entre janvier et décembre 2010

Nous reportons dans le tableau suivant les résultats obtenus pour le temps de fonctionnement des compresseurs airs lift.

Tableau VI.11 : Durée de fonctionnement moyenne journalière des airs lift C101 et C102 sur l'année

Air lift	C101	C102
Durée (h/jr)	0.075	0.023

➤ **Consommation de l'énergie électrique**

Dans le tableau suivant nous présentons l'ensemble des résultats obtenus pour le calcul de la consommation électrique journalière des compresseurs.

Tableau VI.12 : Consommation moyenne journalière d'énergie électrique des dégraisseurs déssableurs C101, C102

	P (kW)	h/jr			kWh/jr		
		Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
C101	3	0,074	0	0	0,2	0	0
C102	3	0,023	0	0	0,1	0	0
Dégraisseur déssableur	6	0,097	0	0	0,3	0	0

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau VI.13:

Tableau VI.13 : Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle du dégraisseur déssableur

kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
0,3	0	0	8,7	0	0	106,2	0	0
0,3			8,7			106,2		

➤ **Pont racleur**

Comporte deux motoréducteurs D104 et D105 identiques de puissance P=0,12kw chacun.

➤ **Détermination du temps de fonctionnement moyen journalier**

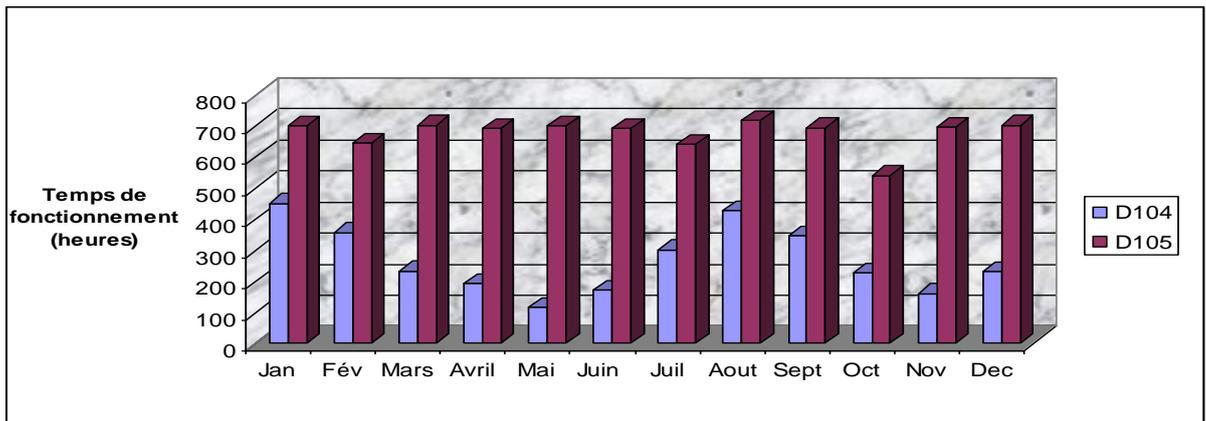


Figure VI.8 : Temps de fonctionnement moyen mensuel des déssableurs durant l'année 2010

Les deux histogrammes sur la figure VI.8 représentent le temps de fonctionnement moyen mensuel des déssableurs. Nous observons sur cette figure que le motoréducteur D105 fonctionne de manière régulière alors que le temps de fonctionnement du D104 varie selon la quantité des eaux usées à épurer. Sur la figure nous pouvons voir que sa durée de fonctionnement connaît une variation saisonnière, elle avait atteint le pic au mois de Janvier ce qui est dû à l'augmentation d'eaux pluviales et en au mois d'août en saison estivale. Cette variation montre que le motoréducteur D104 prend en charge les eaux que le premier motoréducteur n'a pas traitées.

Les résultats du calcul du temps de fonctionnement moyen journalier est donné dans le tableau VI.14.

Tableau VI.14 : Durée de fonctionnement moyenne journalière des ponts racleurs D104 et D105 durant l'année 2010

Ponts racleurs	D104	D105
Durée (heures/jr)	8,82	12.85

➤ **Consommation de l'énergie électrique**

Dans le tableau suivant nous présentons les résultats obtenus pour la consommation électrique moyenne journalière par tranches horaires pour chaque motoréducteur.

Tableau VI.15 : Consommation moyenne journalière d'énergie électrique du pont racleur

Motoréducteur	P (kW)	h/jr			kWh/jr		
		Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
D104	0,12	6	2	0,82	0,72	0,24	0,1
D105	0,12	10	2	0,85	1,2	0,24	0,1
Pont racleur	0,24	16	4	1,67	1,92	0,48	0,2

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau VI.16.

Tableau VI.16: Consommation électrique active moyenne journalière, mensuelle et annuelle du pont racleur

kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
1,92	0,48	0,2	57,6	14,4	6,012	700,8	175,2	73,146
2,6			78,012			949,146		

Dans le tableau VI.17 nous synthétisons la consommation électrique obtenue pour chaque équipement de l'ouvrage prétraitement.

Tableau VI.17 : Consommation moyenne journalière de l'énergie électrique du prétraitement

	P (kW)	h/jr			kWh/jr		
		Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
Dégrilleur	0,55	0,91	0	0	0,5	0	0
Convoyeur à déchets	1,5	0,07	0	0	0,11	0	0
Dégraisseur déssableur	6	0,097	0	0	0,3	0	0
Pont racleur	0,24	16	4	1,67	1,92	0,48	0,2
Prétraitement	8,29	17,08	4	1,67	2,83	0,48	0,2

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau VI.18.

kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
2,825	0,48	0,2	84,75	14,4	6	1031,125	175,2	73
3,505			105,15			1279,325		

- Bassin d'aération

Comporte trois lignes d'aération biologique muni chacune de trois actirotors ; Nous avons alors neufs actirotors de puissance P=55kw chacun.

➤ **Détermination du temps de fonctionnement moyen journalier**

Sur les figures suivantes nous représentons le temps de fonctionnement mensuel des actirotors (aérateur des bassins biologiques) relevé sur l'année 2010.

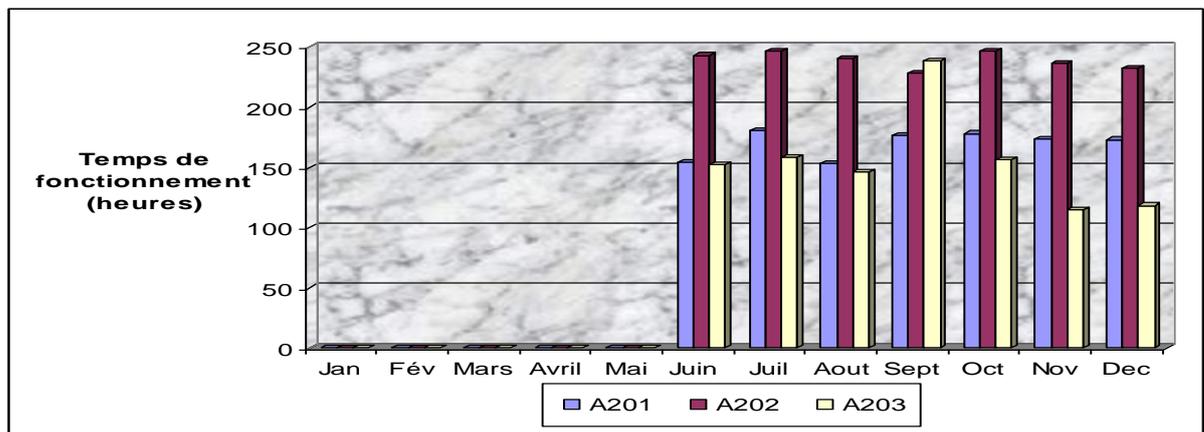


Figure VI.9 : Temps de fonctionnement mensuel des actirotors A201, A202 et A203 durant l'année 2010

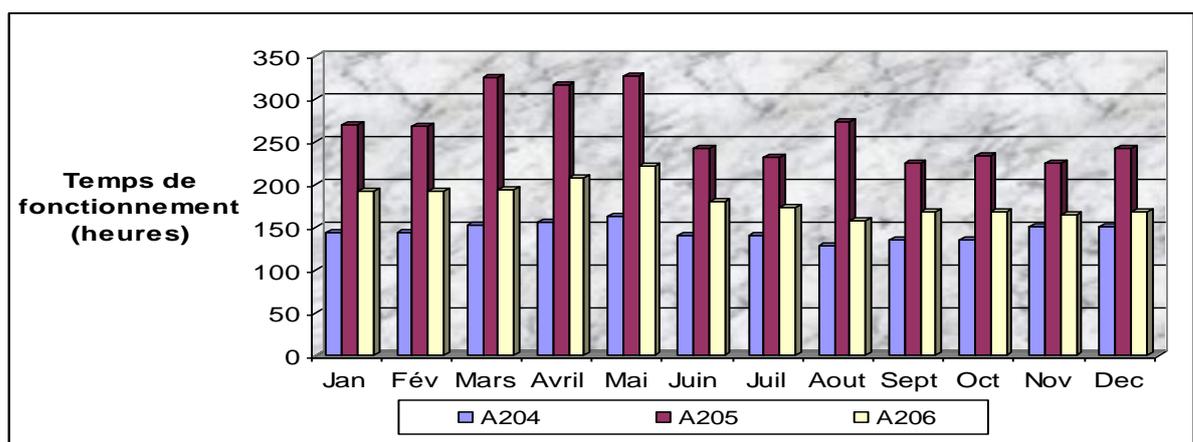


Figure VI.10 : Temps de fonctionnement mensuel des actirotors A204, A205 et A206 durant l'année 2010

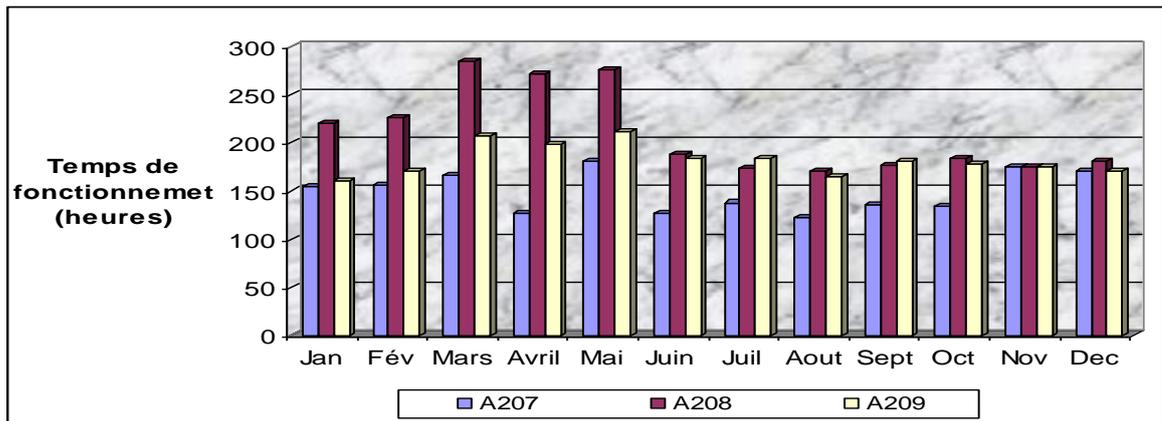


Figure VI.11 : Temps de fonctionnement mensuel des actirotor A207, A208 et A 209 durant l'année 2010

Nous observons que les trois premier actirotor (A201-A202-A203) ne fonctionnent pas pendant les cinq premiers mois (janvier-juin). Pendant la période juillet-décembre les actirotors fonctionne d'une façon parallèle.

Nous observons aussi que les actirotor ne fonctionnent pas à des temps de fonctionnements égaux. Ceci est dû à la différence de leurs emplacements dans les bassins d'aération ce qui entraine une différence de demande en oxygène.

Tableau VI.19 : Durée de fonctionnement moyenne journalière des actirotors durant l'année 2010

Actirotor	A201	A202	A203	A204	A205	A206	A207	A208	A209
Durée (h/jr)	1.90	2.67	1.74	4.78	8.72	6	4.90	6.91	5.98

➤ Consommation de l'énergie électrique

Ces actirotor sont munis de relais qui control leur marches et arrêts ce qui provoque un bruit et l'allumage d'un voyant lumineux pour avertir de l'arrêt ou du démarrage ce qui nous a permis de chronométrer chaque temps de marches et d'arrêt des actirotor.

Nous avons observé au cours de notre étude que les actirotor marchent à des fréquences déterminées chacun. Le tableau VI.20 résume la fréquence de fonctionnement relevé de chaque actirotor.

<i>Tableau VI.20 : durée des cycles de marche des actirotors</i>				
Actirotor	Temps de marche (min)	Temps d'arrêt (min)	Somme	Fréquence
201	5	10	15	0,3333333
202	6	13	19	0,3157895
203	9	13	22	0,4090909
204	5	10	15	0,3333333
205	7	13	20	0,35
206	6	13	19	0,3157895
207	5	10,5	15,5	0,3225806
208	7	13	20	0,35
209	6	13	19	0,3157895

Pour réduire le coût de la consommation électrique pendant les heures de pointe les actirotors d'extrémités des bassins d'aération 201, 203, 204, 206, 207, 209 sont éteints par les opérateurs de la STEP.

Exemple de calcul de fréquence de marche : Pour l'actirotors 204 nous avons

Le temps de marche = 6 min.

Le temps d'arrêt = 13min.

D'où sa fréquence de marche peut être calculée comme suit.

Fréquence de marche = temps de marche / (temps de marche + temps d'arrêt)

$$= 6 / (6+13) = 6/19 = 0.3157895 \text{ min}$$

Pour l'actirotor 204 : à partir de la fréquence de marche nous avons calculé le temps de fonctionnement par tranche comme suit.

Totale de min en horaire pleine soit Ple est de 750 min

Totale de min en horaire de pointe soit Pte est de 240 min

Totale de min en horaire creuse soit Cre est de 450 min

Temps de fonctionnement de l'actirotor 204

✓ En horaire pleine = fréquence de marche * 750

$$= 0.3157895 * 750$$

$$= 236.84 \text{ min} = 3,95 \text{ h}$$

✓ En horaire de pointe = $0.3157895 * 240 = 75.79 \text{ min} = 1,3 \text{ h}$

✓ En horaire creuse = $0.3157895 * 450 = 142.11 = 2,37 \text{ h}$

A partir du temps de fonctionnement de chaque aérateur et de sa puissance nous avons calculé la consommation électrique de chacun.

Les résultats obtenus pour chaque actirotor sont reportés dans le tableau VI.21.

Tableau VI.21: Consommation moyenne journalière de l'énergie électrique des actirotors

Actirotor	P (kW)	h/jr			kWh/jr		
		Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
201	55	4,17	0	2,5	229,1	0	137,5
202	55	3,95	1,3	2,37	217,1	69,5	130,2
203	55	5,11	0	3,07	281,3	0	168,7
204	55	4,17	0	2,5	229,1	0	137,5
205	55	4,38	1,4	2,63	240,6	77	144,4
206	55	3,95	0	2,37	217,1	0	130,2
207	55	4,03	0	2,42	221,8	0	133
208	55	4,38	1,4	2,63	240,6	77	144,4
209	55	3,95	0	2,37	217,1	0	130,2
Bassin d'aération	495	38,07	4,1	22,84	2093,8	223,5	1256,3

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau VI.22.

Tableau VI.22.: Consommation électrique active moyenne journalière, mensuelle et annuel de l'aération biologique

kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
2093,8	223,5	1256,3	62813,9	67034	37687,7	764235,2	81564,7	458533,08
3573,5			107205,5			1304333		

- La fosse à boues

Elle comporte trois pompes d'extractions de puissance égale à 0,8 kW chacune et 6 pompes de recirculation de puissance P=5,5 kW.

• Détermination du temps de fonctionnement moyen journalier

Les relevés des temps de fonctionnement moyens mensuels de s pompes d'extractions sont présentés sur la figure VI.12.

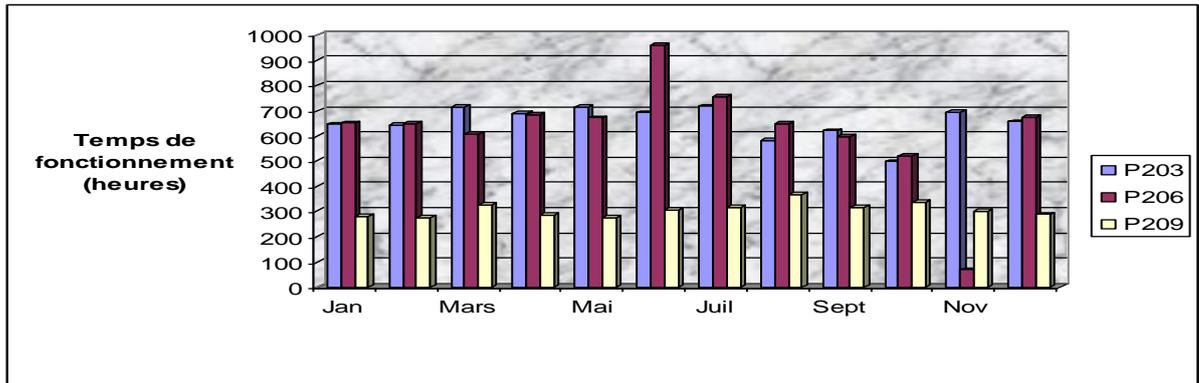


Figure VI.12: Temps de fonctionnement mensuel des pompes d'extraction durant l'année 2010

Le fonctionnement des pompes d'extraction est conditionné par la présence de la boue en excès dans le bassin d'aération.

Tableau VI.23 : Durée de fonctionnement moyenne journalière des pompes d'extraction P203, P206 et P209 durant l'année 2010

Pompes d'extraction	P203	P206	P209
Durée (h/jr)	21.52	20.50	10.08

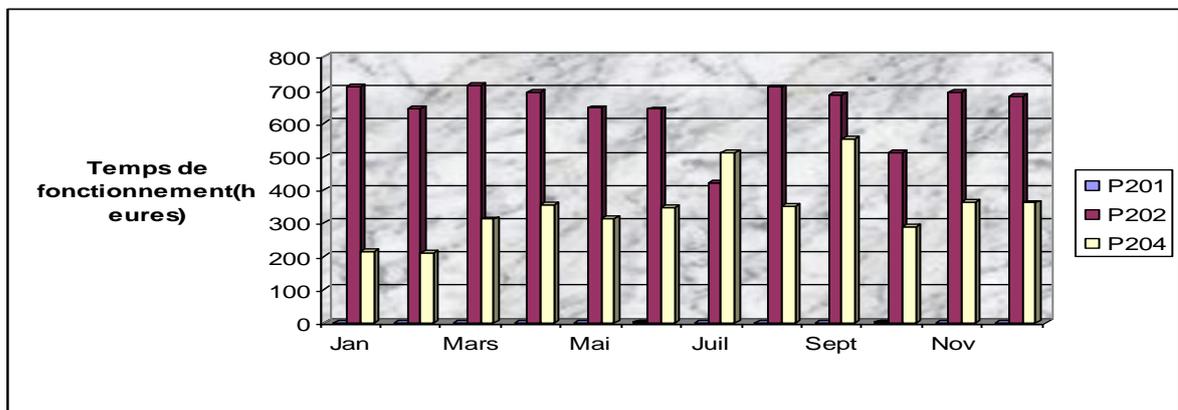


Figure VI.13 : Temps de fonctionnement moyen mensuel des pompes de recirculation P201, P202 et P204 durant l'année 2010

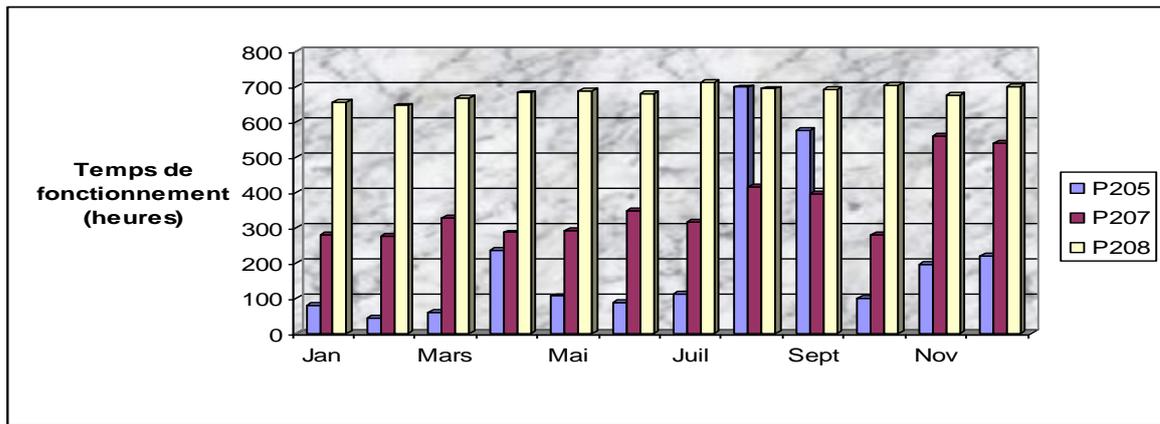


Figure VI.14 : Temps de fonctionnement moyen mensuel des pompes de recirculation P205, P207 et P208 durant l'année 2010

Nous observons une variation saisonnière telle que pendant l'été (juin-septembre) s'explique par une forte prolifération des bactéries pendant l'été en conséquence le bassin d'aération ne nécessite pas un apport supplémentaire de boues. Nous observons aussi une charge de recirculation des boues basée sur les pompes P208 et P202. Elles ont un temps de fonctionnement régulier de l'ordre de 21.66 heures par jour contre un temps de fonctionnement variant autour au tour d'une moyenne de l'ordre de 11heures par jours pour les pompes P204 et P207. La pompe P201 à été à l'arrêt tout au long de l'année 2010.

Tableau VI.24: Durée de fonctionnement moyen journalier des pompes de recirculation P201, P202, P204, P205, P207 et P208 sur l'année 2010

Pompes de recirculation	P201	P202	P204	P205	P207	P208
Durée (h/jr)	0.004	21.23	11.44	6.90	11.83	22.46

➤ Consommation de l'énergie électrique

La fosse à boues comporte trois pompes d'extraction P203, P206 et P209. Cet ouvrage comporte aussi six pompes de recirculation P201, P202, P204, P207 et P208. Nous avons observé que ces pompes fonctionnent à des fréquences différentes.

Elles sont munies de relais de control de marche et arrêt, (même système que celui des actirotor). Nous avons alors calculé le temps de fonctionnement de chaque pompe suivant la même méthode employé pour calculer celui des actirotors.

Le tableau suivant représente la puissance et le temps de marche de chaque pompe.

Tableau VI.25 : Fréquence de marche des équipements de la fosse à boues

	Pompes	Tps marche (min)	Tps arrêt (min)	Somme	Fréquence
Extraction	P203	7,000	13,000	20,000	0,350
	P206	25,000	2,000	27,000	0,926
	P209	9,000	2,000	11,000	0,818
Recirculation	P201	10,000	2,000	12,000	0,833
	P202	10,000	2,000	12,000	0,833
	P204	10,000	2,500	12,500	0,800
	P205	10,000	2,000	12,000	0,833
	P207	9,000	4,000	13,000	0,692
	P208	9,500	6,000	15,500	0,613

A partir des résultats illustrés dans le tableau précédant nous avons calculé la consommation électrique journalière de chaque pompe. Nous reportons les résultats retrouvés dans le tableau VI.26.

Tableau VI.26 : Consommation moyenne journalière de l'énergie électrique de la fosse à boues

			(h/jr)			(kWh/jr)		
Pompe	Type	P (kW)	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
P203	extraction	0,8	3,5	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0
P206		0,8	9,3	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0
P209		0,8	8,2	0,0	0,0	6,5	0,0	0,0
P201	recirculation	5,5	10,4	3,3	6,3	57,3	18,3	34,4
P202		5,5	10,4	3,3	6,3	57,3	18,3	34,4
P204		5,5	10,0	3,2	0,0	55,0	17,6	0,1
P205		5,5	10,4	3,3	6,3	57,3	18,3	34,4
P207		5,5	8,7	2,8	5,2	47,6	15,2	28,6
P208		5,5	7,7	2,5	4,6	42,1	13,5	25,3
Fosse à boues		35,4	78,5	18,4	28,6	333,4	101,3	157,0

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau VI.27.

Tableau VI.27 : Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle des pompes de la fosse à boues

kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
333,4	101,3	157,0	10001,1	3039,6	4711,2	121680,05	36981,8	57319,6
591,7			17751,9			215981,5		

- Clarification

La STEP comporte trois clarificateurs chacun muni d'un motoréducteur de puissance P=0,25kw.

• **Détermination du temps de fonctionnement moyen journalier**

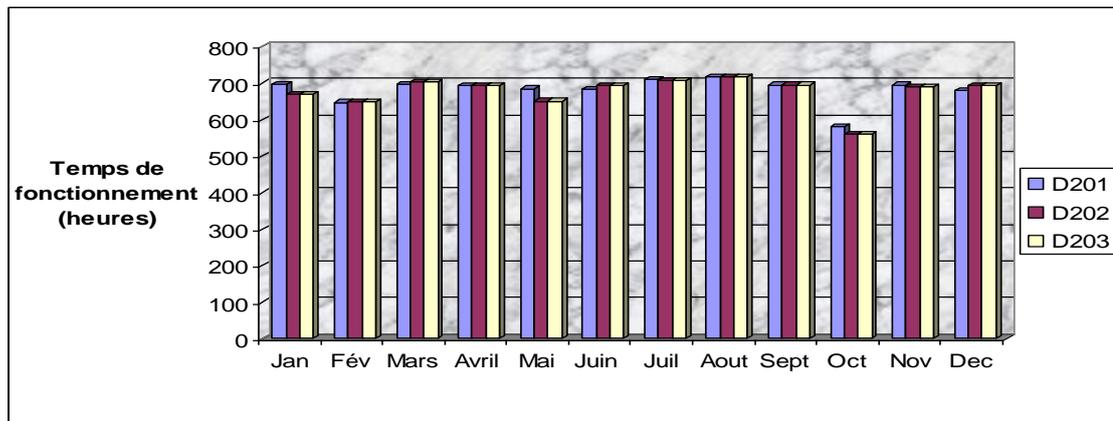


Figure VI.15: Temps de fonctionnement moyen mensuel des clarificateurs durant l'année 2010

L'observation de la figure ci-dessus nous montre que les trois clarificateur fonctionnent de manière égale mensuellement. Ils ont une variation régulière qui tourne autour d'une moyenne journalière de l'ordre de 22heures. Nous portons dans le tableau VI.28 les résultats obtenus par le calcul du temps de fonctionnement moyen journalier de chaque clarificateur.

Tableau VI.28 : Durée de fonctionnement moyenne journalière sur une année des clarificateurs sur l'année 2010

Clarificateur	D201	D202	D203	Total
Durée (h/jr)	22.41	22.26	21.20	65.87

➤ **Consommation de l'énergie électrique**

Les résultats obtenus par le calcul de la consommation électrique journalière de chaque clarificateur sont présentés dans le tableau suivant :

		(h/jr)			(kWh/jr)		
Motoréducteur	P (kW)	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
D201	0,25	12	3,41	7	3	0,85	1,75
D202	0,25	12	3,26	7	3	0,82	1,75
D203	0,25	12	2,20	7	3	0,55	1,75
Clarificateur	0,75	36	8,87	21	9	2,22	5,25

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau VI.30.

Tableau VI.30 : Consommation électrique active moyenne journalière, mensuelle et annuelle des clarificateurs

kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
9,000	2,218	5,250	270,000	66,525	157,500	3285,000	809,388	1916,250
16,468			494,025			6010,638		

- Épaississement

Cette ouvrage est muni d'un motoréducteur D301 de puissance $P=0,37\text{kw}$ qui fonctionne sans arrêt.

➤ Détermination du temps de fonctionnement moyen journalier

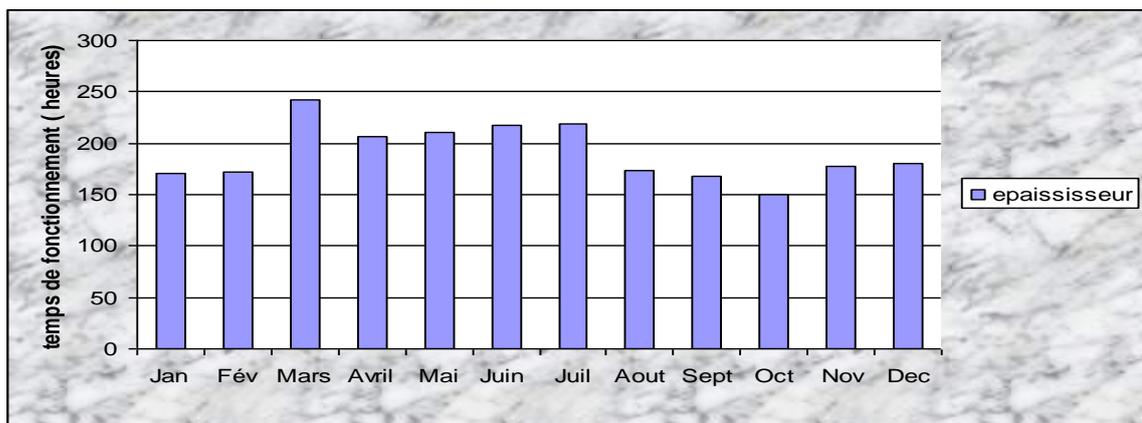


Figure VI.16 : Durée de fonctionnement mensuelle de l'épaississeur pendant l'année 2010

Nous observons sur la figures ci-dessus que le temps de fonctionnement de l'épaississeur varie suivant les périodes saisonnières suivant l'augmentation et la diminution des bous en excès à traiter avant d'être déshydraté mécaniquement. Nous observons aussi un pic enregistré au mois de Mars au cours du quel son temps de marche avait atteint 8h et ceci est due à la réception du la plus grande quantité de boues de l'année au cours de ce mois. Cette quantité été de 1780 m^3 l'équivalent de 59.33 m^3 . Au cours de l'année la quantité de boues à épaisir est de l'ordre de 550 m^3 , soit 18.33 m^3 . Ces boues aurait dépassé la capacité de déshydratation donc elles auraient séjournée un lent moment en épaisseur qui est en aval de la sale de déshydratation.

La durée de fonctionnement moyenne mensuelle est de 190. 37 heures

L'épaisseur fonctionne quotidiennement et en permanence.

Le temps de fonctionnement moyen journalier est de :

$$190.37/30,41 = 6.26 \text{ heures}$$

Le temps de fonctionnement moyen journalier d'épaisseur est estimé de **6.26 heures**.

➤ **Consommation de l'énergie électrique**

Les calculs de la consommation de cet ouvrage nous ont données les résultats que nous reportons dans le tableau suivant.

Tableau VI.31 : Consommation moyenne journalière de l'énergie électrique de l'épaisseur

		(h/jr)			(kWh/jr)		
Motoréducteur	P (kW)	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
D301	0,37	4	2	0,26	1,48	0,74	0,096
Épaisseur	0,37	4	2	0,26	1,48	0,74	0,096

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau VI.32.

Tableau VI.32 : Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle de l'épaisseur

kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
1,48	0,74	0,10	44,40	22,20	2,89	540,20	270,10	35,11
2,32			69,49			845,41		

- Salle de déshydratation

La sale de déshydratation comporte plusieurs équipements qui consomment de l'électricité. Nous présentons dans ce qui suit chaque équipement, La figure illustrant la variation mensuelle de son temps de fonctionnement durant l'année 2010 et le tableau présentant les résultats obtenus pour son temps de fonctionnement moyen journalier.

➤ **Détermination du temps de fonctionnement moyen journalier**

➤ **Pompe à boues**

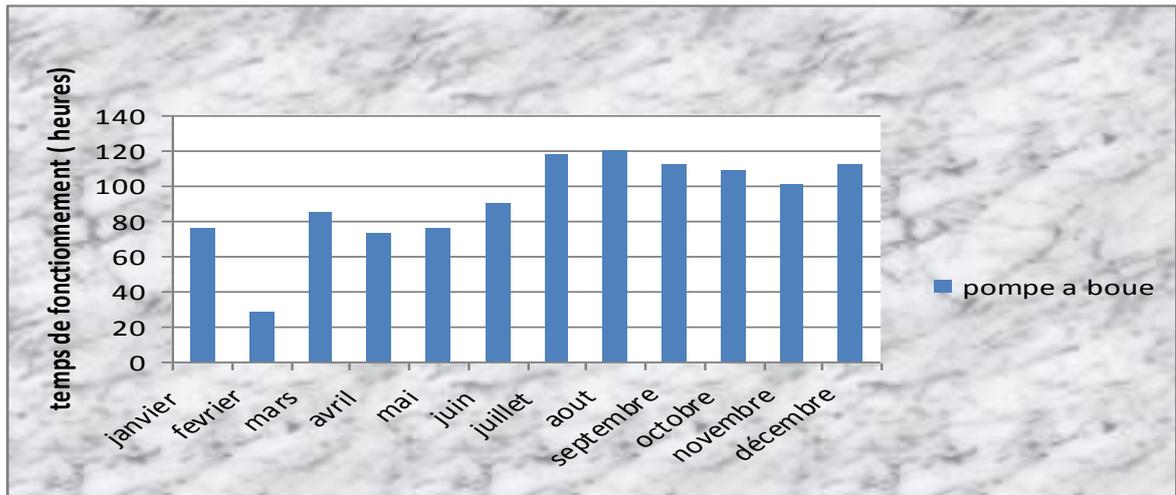


Figure VI.17 : Durée de fonctionnement mensuelle de la pompe à boue durant l'année 2010

La durée de fonctionnement moyenne mensuelle est de 91.84 heures.

Le temps de fonctionnement moyen journalier de la pompe à boue est estimé de **3.02 heures**.

➤ Ventilateur

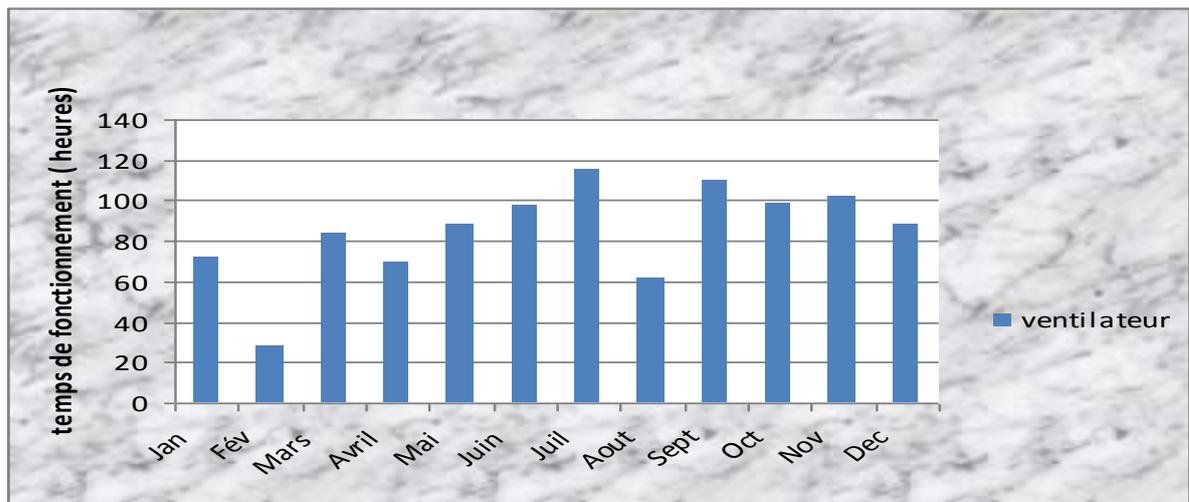


Figure VI.18 : Durée de fonctionnement mensuelle du ventilateur durant l'année 2010

La durée de fonctionnement moyenne mensuelle est de 84.54 heures

Le ventilateur fonctionne quotidiennement et en permanence.

Le temps de fonctionnement moyen journalier est alors de : $84.54 / 30,41 =$ **2.78 heures**.

➤ **Floculateur**

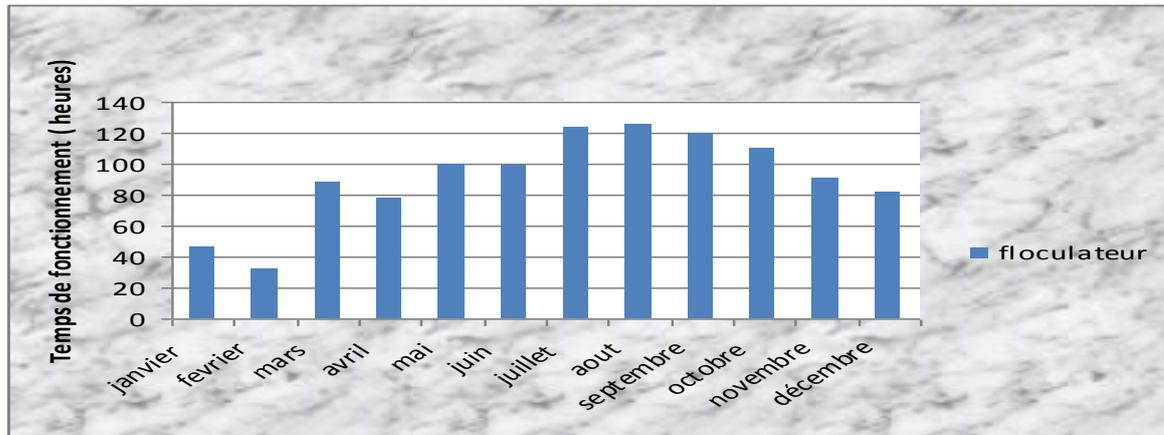


Figure VI.19 : Durée de fonctionnement mensuelle du floculateur durant l'année 2010

La durée de fonctionnement moyenne mensuelle est de 84.54 heures

Le floculateur fonctionne quotidiennement et en permanence.

Le temps de fonctionnement journalier moyen de floculateur est estimé de **3 heures**.

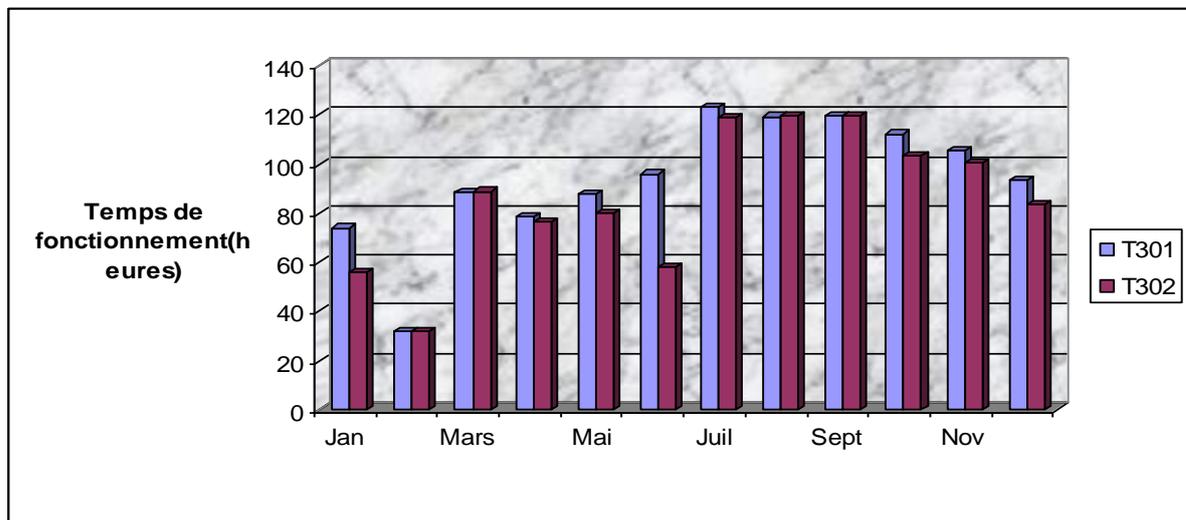


Figure VI.20 : Durée de fonctionnement moyenne mensuelle des transporteurs durant l'année 2010

➤ **Transporteur**

Tableau VI.33 : Temps de fonctionnement journalier moyen des transporteurs T301, T302 durant l'année 2010

Les transporteurs	T301	T302
Durée (h/jr)	3.09	2.84

➤ **Agitateurs**

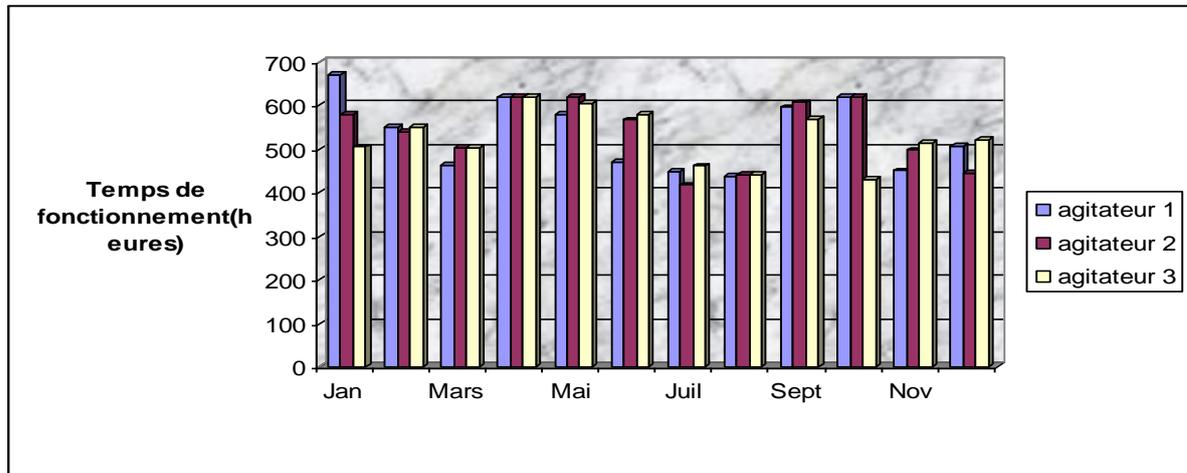


Figure VI.21 : durée de fonctionnement mensuelle des agitateurs durant l'année 2010

Tableau VI.34 : Temps de fonctionnement moyen journalier de fonctionnement des agitateurs durant l'année 2010

Les agitateurs	Agitateur 1	Agitateur 2	Agitateur 3	Total
Durée (heures)	17.57	17.69	17.26	52.52

➤ **Doseur à sec**

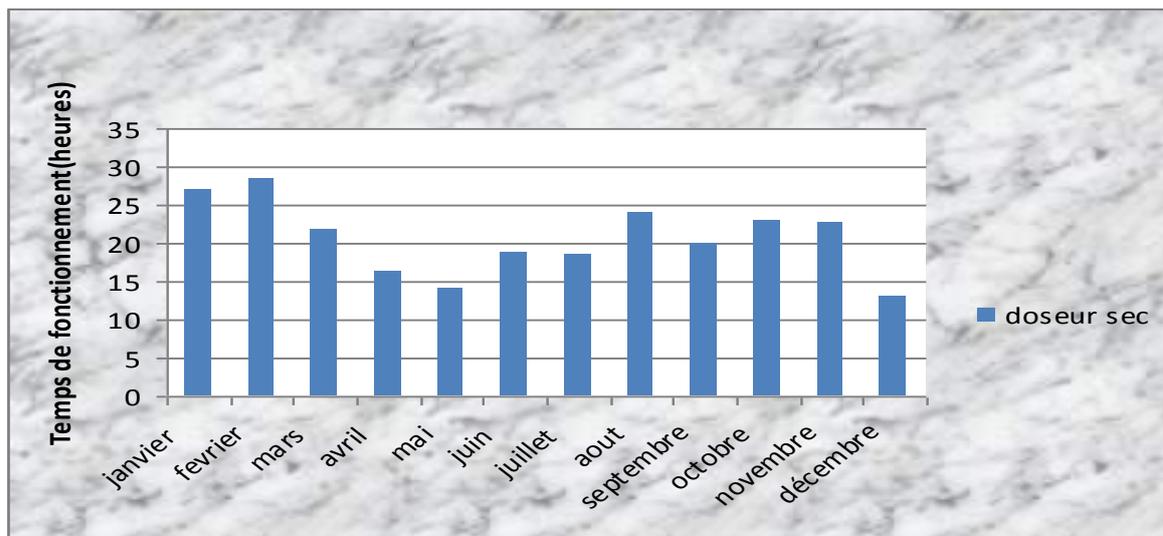


Figure VI.22: Durée de fonctionnement mensuelle du doseur à sec durant l'année 2010

La durée de fonctionnement moyenne mensuelle est de 20.6 heures.

Le temps de fonctionnement moyen journalier est de : $20.6/30,41 = 0.678$ heures.

➤ Pompe doseuse

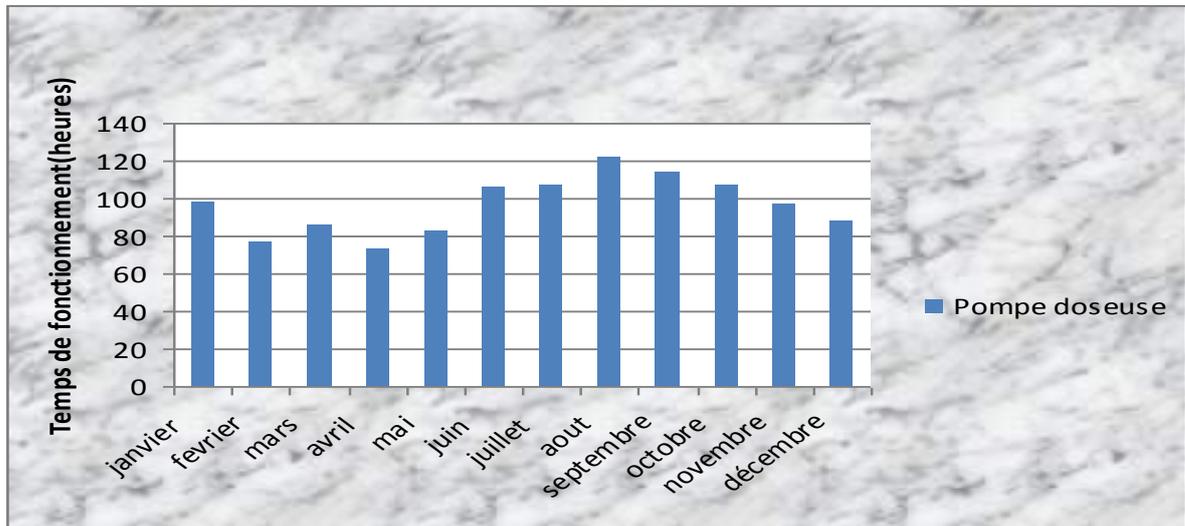


Figure VI.23 : Durée de fonctionnement mensuelle de la pompe doseuse durant l'année 2010

La durée de fonctionnement moyenne mensuelle est de 96.4 heures

La pompe doseuse fonctionne quotidiennement et en permanence.

Le temps de fonctionnement journalier moyen est de : $96.4 / 30,41 = 3.17$ heures

En observant les figures précédentes nous pouvons remarquer que le temps de fonctionnement des équipements de cette sale varie de manière parallèle selon la quantité de boues reçu dans la sale de déshydratation. Les équipements qui fonctionnent le plus sont les agitateurs de polymère.

• **Consommation de l'énergie électrique**

Tableau VI.35 : Consommation moyenne journalière de l'énergie électrique de la sale de déshydratation

	P (kW)	(h/jr)			(kWh/jr)		
		Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
Ventilateur C302	1,5	2,78	0	0	4,2	0	0
Pompe à boues	3	3,02	0	0	9,1	0	0
Agitateur 1	0,55	12,5	3	2,07	6,9	2	1
Agitateur 2	0,25	12,5	3	2,19	3,1	1	1
Agitateur 3	0,55	12,5	3	1,76	6,9	2	1
Doseur á sec	0,25	0,678	0	0	0,2	0	0
Transporteur T301	2,2	3,09	0	0	6,8	0	0
Transporteur 302	5,5	2,48	0	0	13,6	0	0
Pompe à polymère	0,55	3,17	0	0	1,7	0	0
Floculateur s301A	0,37	3	0	0	1,1	0	0
Entrainement s301B	0,37	3,07	0	0	1,1	0	0
sale de déshydratation	15,09	58,788	9	6,02	54,70	4,05	2,65

Tous les équipements de cette sale mise à part les agitateurs ne fonctionnent que pendant les horaires pleins.

Les résultats obtenus par le calcul de la consommation électrique de chaque équipement sont donnés dans le tableau VI.35.

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau VI.36.

Tableau VI.36 : Consommation électrique moyenne journalière, mensuelle et annuelle de la sale de déshydratation								
kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
54,7	4,1	2,7	1641,1	121,5	79,6	19966,2	1478,3	968,7
61,4			1842,2			22413,2		

• **Synthèse de la consommation électrique de la chaîne d'épuration**

Dans la figure suivante nous représentons la contribution de chaque ouvrage dans la consommation électrique au niveau de la chaîne d'épuration.

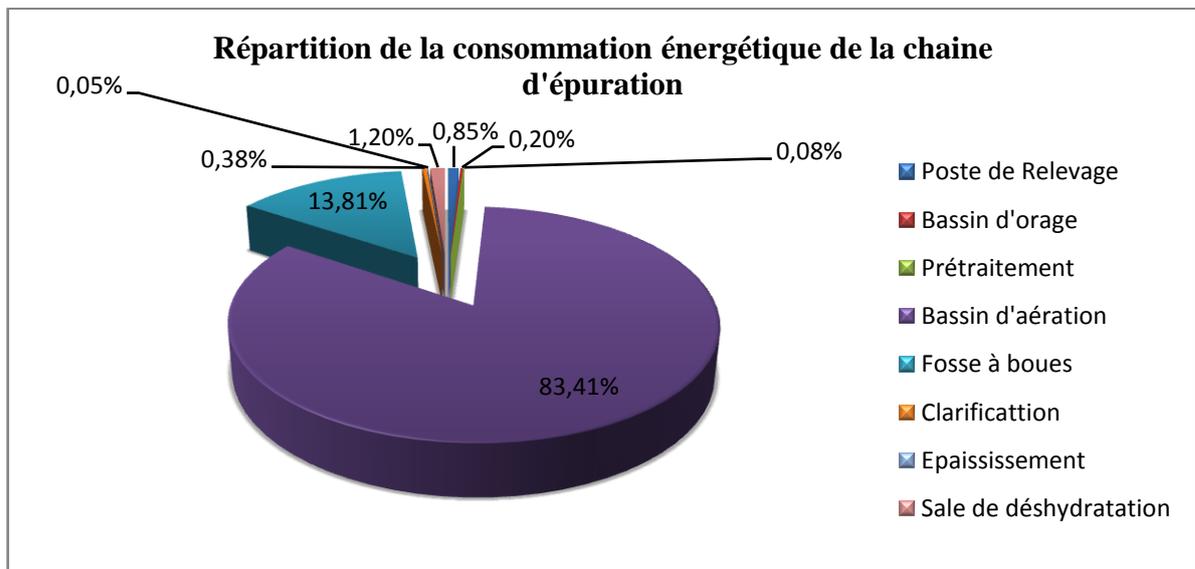


Figure VI.24: Répartition de la consommation énergétique de la chaîne d'épuration pour l'année 2010

Comme le montre la figure VI.24, l'ouvrage le plus énergivore est l'aération biologique la part de sa consommation en énergie électrique est de 83,41% suivit de la fausse à bues avec un pourcentage de 13,81%.

Le reste de l'énergie électrique est consommée à hauteur de 1.2% au niveau de la sale de déshydratation.

Le tableau VI.37 synthétise les résultats obtenus pour la consommation d'énergie électrique et son coût de la chaîne d'épuration.

Tableau VI.37 : Consommation moyenne d'énergie électrique par ouvrage de la STEP de Boumerdes

Consommation	moyenne journalière	moyenne mensuelle	moyenne annuelle
Ouvrage	kWh/jr	kWh/mois	kWh/an
Poste de Relevage	36,5	1095,0	13322,5
Bassin d'orage	8,7	260,7	3171,9
Prétraitement	3,5	105,2	1279,3
Bassin d'aération	3573,5	107205,5	1304333,0
Fosse à boues	591,7	17751,9	215981,5
Clarification	16,5	494,0	6010,6
Epaississement	2,3	69,5	845,4
Sale de déshydratation	61,4	1842,2	22413,2
Chaîne d'épuration	4294,1	128824,0	1567357,5

6.3.2 Éclairage extérieur

La STEP est muni de 39 lampes à vapeur de sodium de puissance $P = 250W = 0,25$ kW chacune, la puissance réelle absorbée du totale de ces lampes est de 9,75kW.

- **Détermination du temps de fonctionnement moyen journalier**

Ces lampes d'éclairage extérieur fonctionnent automatiquement du couché au levé du soleil.

Pour calculer le temps de fonctionnement moyen journalier nous déterminons la durée d'obscurité moyenne journalière. Pour ce faire nous avons calculé l'heure du levé et du couché de soleil moyenne annuel le comme représenté dans le tableau (Annexe 1) ensuite nous avons calculé le temps de fonctionnement moyen journalier par tranches horaires. Le calcul du temps de fonctionnement moyen journalier par tranche horaire a été effectué comme suit.

Tableau VI.38 : Temps de fonctionnement moyen journalier de l'éclairage extérieur par tranche horaire

Tranche horaire	Fonctionnement De	á	Heures/jour
Pleine	6h	6h42	2,2
	21h	22h30	
Pointe	18h54	21h	2,9
Creuse	22h30	6h	7,5

➤ **Consommation de l'énergie électrique**

Tableau VI.39: Consommation moyenne journalière de l'énergie électrique de l'éclairage extérieur

	P (kW)	h/jr			kWh/jr		
		Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
Éclairage extérieur	9,75	2,2	2,9	7,5	21,5	28,3	73,1

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau VI.40.

Tableau VI.40 : Consommation d'énergie électrique moyenne journalière, mensuelle et annuel de l'éclairage extérieur

kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
21,5	28,3	73,1	643,5	848,3	2193,8	7829,3	10320,4	26690,6
122,9			3685,5			44840,3		

6.3.3 Bâtiments

Les bâtiments administratifs comportent différents équipement consommateurs d'électricité qui fonctionnent pendant les horaires administratives i.e. de 8h á 16h30 avec une fréquence de 6 jours par semaine.

Sur le tableau suivant nous reportons les différents équipements électriques des bâtiments et leurs puissances.

Tableau VI.41 : Équipements consommateurs d'énergie électrique dans les bâtiments

Équipement	Nbr	Pu (kW)	P tot(kW)
Néant 1m2	259,00	0,04	9,32
Néant 0,6m	34,00	0,02	0,61
Lampe à basse consommation	7,00	0,04	0,28
Lampes simples à vice	7,00	0,08	0,53
Climatiseur split system	18,00	3,69	66,44
Climatiseur sonaric	12,00	2,64	31,64
Climatiseur autre type	7,00	3,52	24,61
Ordinateur	25,00	0,25	6,25
Photocopieuse	3,00	0,11	0,33
Imprimante	14,00	0,01	0,14
Bâtiment	386,00	10,38	140,14

➤ **Consommation de l'énergie électrique**

Nous présentons dans les tableaux qui suivent les résultats obtenus par le calcul de la consommation électrique journalière, mensuelle et annuelle des équipements électriques des locaux.

Tableau VI.42 : Consommation moyenne journalière d'énergie électrique des équipements des bâtiments

Équipement	P (kW)	h/jr			kWh/jr		
		Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
Néant 1m2	9,32	6,1	0	0	56,6	0	0
Néant 0,6m	0,61	6,1	0	0	3,7	0	0
Lampe basse consommation	0,28	6,1	0	0	1,7	0	0
Lampes simples à vice	0,53	6,1	0	0	3,2	0	0
Climatiseur split system	66,44	6,1	0	0	403,4	0	0
Climatiseur sonaric	31,64	6,1	0	0	192,1	0	0
Climatiseur autre type	24,61	6,1	0	0	149,4	0	0
Ordinateur	6,25	6,1	0	0	37,9	0	0
Photocopieuse	0,33	6,1	0	0	2	0	0
Imprimante	0,14	6,1	0	0	0,9	0	0
Bâtiment	140,2	60,7	0	0	850,9	0	0

Tableau VI.43 : Consommation d'énergie électrique moyenne journalière, mensuelle et annuel des équipements des bâtiments

kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
850,9	0,0	0,0	25527,3	0,0	0,0	310582,4	0,0	0,0
850,9			25527,3			310582,4		

6.3.4 Laboratoire

Dans le laboratoire nous avons compté différents équipements consommateurs d'électricité fonctionnant mis en marche à différentes fréquences.

Nous avons rassemble dans le tableau qui suit chaque équipement sa fréquence de mise en marche et sa puissance électrique:

Tableau VI.44 : Caractéristique des équipements de laboratoire

Matériel	Nbr	Fréquence de marche/semaine	Pu (kW)	P totale(kW)
Spectrophotomètre	1	4h 1jr sur7jr	0,03	0,03
Spectrophotomètre	1	0,5h 6 jr sur 7jr	0,03	0,03
Étuve	1	24h pendant 7jr	1,1	1,1
Étuve	1	1h 1jr sur 7 jr	1,1	1,1
Four	1	2h 6 jour sur 7jr	0,04	0,04
Balance	1	8,5h 6jr sur 7jr	0,006	0,006
Incubateur	1	24h pendant 7jr	0,12	0,12
Thermo réacteur	1	2,5h 6jr sur 7jr	1,1	1,1
Frigo	4	24h pendant 7jr	0,11	0,44
Distillateur	1	8h30 a 15h donc 6,5h 6jr sur 7jr	0,002	0,002
Conductimètre	1	10 min par jr 6jr sur7jr	0,24	0,24
Microscope	1	1,5 h1 jr sur 7 jr	0,02	0,02

Le tableau VI.46 représente le temps de fonctionnement journalier et la consommation électrique journalière obtenu de chaque équipement.

A partir de la consommation électrique journalière nous avons calculé la consommation électrique moyenne mensuelle et annuelle que nous représentons dans le tableau VI.45.

Tableau VI.45 : Consommation d'énergie électrique moyenne journalière, mensuelle et annuel des équipements du laboratoire

kWh/jr			kWh/mois			kWh/an		
Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
23,4	6,6	12,5	703,2	199,2	373,5	8555,6	2423,6	4544,3
42,5			1275,9			15523,5		

Tableau VI.46 : Consommation moyenne journalière d'énergie électrique des équipements du laboratoire

Équipement	P (kW)	(h/jr)			(kWh/jr)		
		Ple	Pte	Cre	Ple	Pte	Cre
Spectrophotomètre	0,03	0,57	0	0	0,0	0,0	0,0
Spectrophotomètre	0,03	0,43	0	0	0,0	0,0	0,0
Étuve	1,1	12,5	4	7,5	13,8	4,4	8,3
Étuve	1,1	0,14	0	0	0,2	0,0	0,0
Four	0,04	1,71	0	0	0,1	0,0	0,0
Balance	0,006	7,29	0	0	0,0	0,0	0,0
Incubateur	0,12	12,5	4	7,5	1,5	0,5	0,9
Thermo réacteur	1,1	2,14	0	0	2,4	0,0	0,0
Frigo	0,44	12,5	4	7,5	5,5	1,8	3,3
Distillateur	0,002	5,57	0	0	0,0	0,0	0,0
Conductimètre	0,24	0,15	0	0	0,0	0,0	0,0
Microscope	0,02	0,21	0	0	0,0	0,0	0,0
Laboratoire	4,198	55,15	12	22,5	23,4	6,6	12,5

6.3.5 Synthèse des résultats

Le tableau suivant synthétise la consommation électrique et son coût pour chaque catégorie de la STEP.

Tableau VI.47 : Consommation moyenne d'énergie électrique par catégorie de la STEP de Boumerdes			
Consommation	moyenne journalière	Moyenne mensuelle	Moyenne annuelle
Catégorie	kWh/jr	kWh/mois	kWh/an
Chaine d'épuration	4294,1	128824	1567357,5
Laboratoire	42,5	1275,9	15523,5
Bâtiments	850,9	25527,3	310582,4
Eclairage extérieur	122,9	3685,5	44840,3
STEP	5310,4	159312,7	1938303,7

A partir de cette synthèse nous avons illustré les résultats obtenus dans la figure VI.24 pour déterminer la contribution de chaque catégorie dans la consommation électrique au niveau de la STEP.

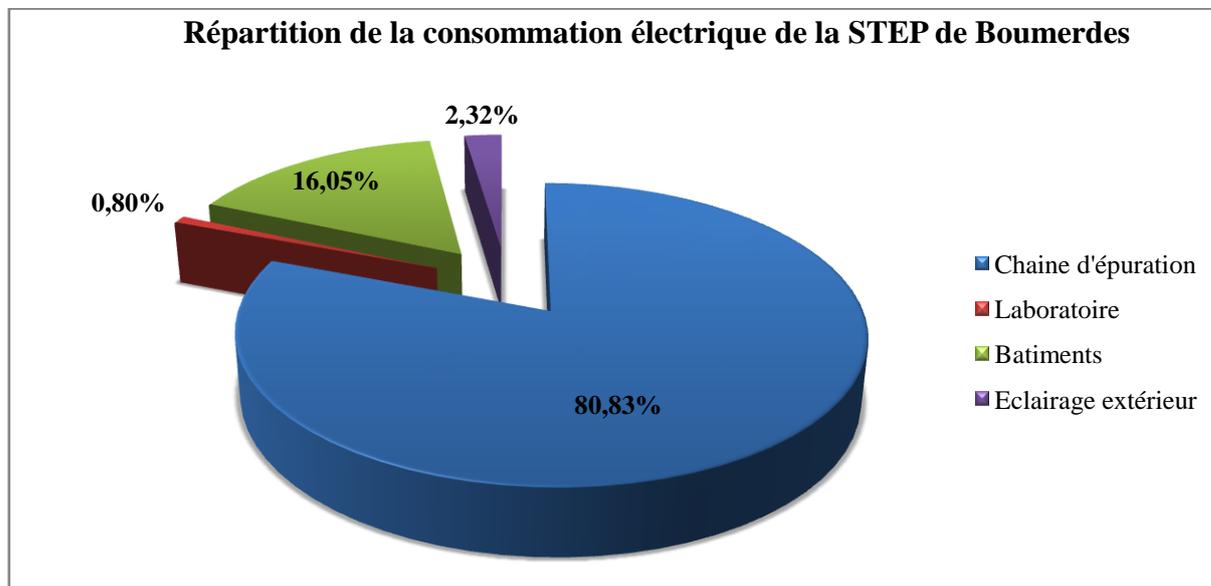


Figure VI.25 : Répartition de la consommation d'énergie électrique sur la STEP de Boumerdes durant l'année 2010

Sur la figure ci-dessus nous pouvons observer que la chaîne d'épuration est la plus énergivore, elle consomme 80.83% de la consommation électrique totale de la STEP suivit des bâtiments avec un pourcentage de consommation de 16.05%, l'éclairage extérieur avec 2.32% et enfin vient se placer le laboratoire avec une contribution de 0.8% dans la consommation électrique totale de la STEP.

6.3.6 Évaluation de la consommation d'énergie électrique réactive totale mensuelle

Nous avons relevé la consommation d'énergie électrique réactive totale mensuelle à partir du registre du suivi mensuel de la consommation d'énergie électrique totale de la STEP.

Dans le tableau VI.48 nous présentons l'ensemble des valeurs des consommations relevées mensuellement durant l'année 2010 pour :

- ✓ L'énergie électrique active par tranches horaires (pleine, pointe et creuse).
- ✓ L'énergie électrique active totale.
- ✓ L'énergie électrique réactive.

Tableau VI.48 : Consommation d'énergie électrique active et réactive totale mensuelle de la STEP durant l'année 2010

Énergie consommée	Énergie Active par tranche			Énergie active totale	Énergie réactive
	Mois	Cre	Pte		
Janvier	30228	11173	51985	93386	75817
Février	30785	10286	53809	94880	75215
Mars	35872	11486	60391	107749	85937
Avril	33930	11122	56580	101632	82885
Mai	35568	11250	59269	106087	85874
Juin	40544	12594	66915	120053	94449
Juillet	42204	12816	72831	127851	99404
Août	35564	12106	62135	109805	86766
Septembre	38828	13049	67723	119600	95298
Octobre	40572	12995	69437	123004	95995
Novembre	38933	12711	66829	118473	89834
Décembre	40415	13264	69820	123499	92653

Le tracé de ces valeurs nous donne les histogrammes représentés sur la figure VI.26. Sur ces histogrammes nous observons que la consommation d'énergie électrique réactive dépasse les 50% de la consommation en énergie électrique active pendant toute l'année.

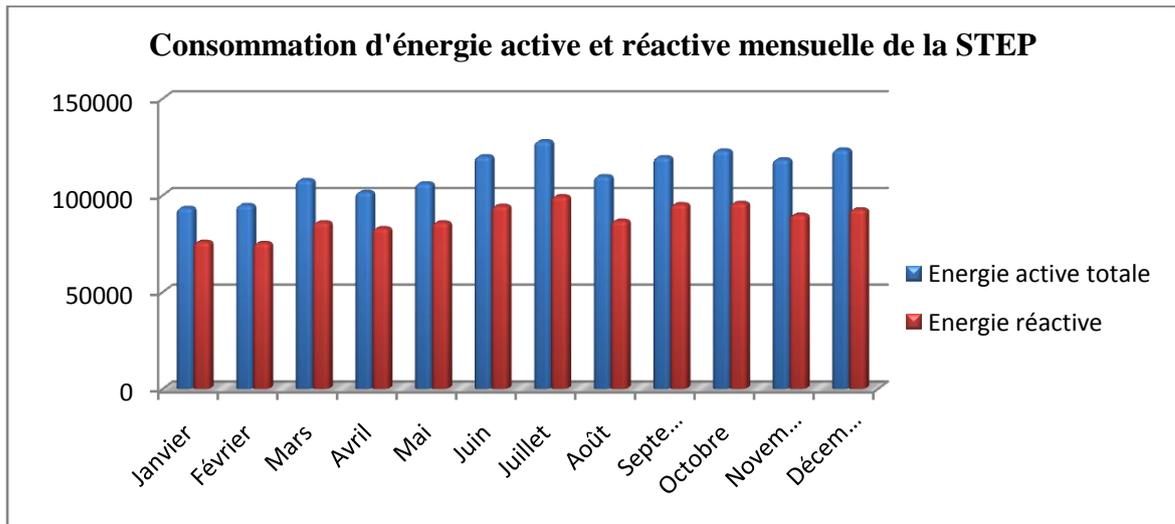


Figure VI.26 : Consommation d'énergie électrique active et réactive totale mensuelle de la STEP

Les résultats obtenus par le calcul de la consommation d'énergie électrique totale mensuelle sur l'année 2010 sont représenté dans le tableau VI.49. Leur variation mensuelle durant l'année est illustrée par la figure qui suit.

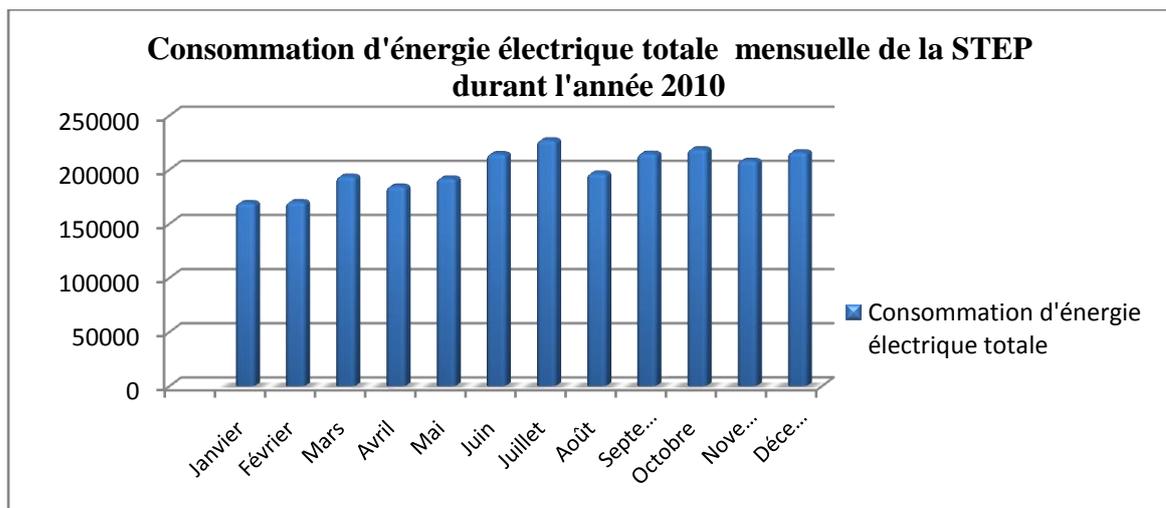


Figure VI.27 : Consommation d'énergie électrique totale mensuelle de la STEP durant l'année 2010

6.3.7 Calcul de l'erreur relative commise sur l'évaluation de la consommation d'énergie électrique mensuelle de la STEP

La consommation d'énergie électrique moyenne mensuelle totale de la STEP que nous avons obtenu par calcul est de : 159312,7 kWh/mois.

Nous représentons dans la figure VI.28 la consommation d'énergie électrique totale mensuelle évalué à partir du registre de suivie de la consommation énergétique de la STEP.

Sur le même graphe nous représentons la consommation d'énergie électrique totale moyenne mensuelle que nous résultante de notre estimation.

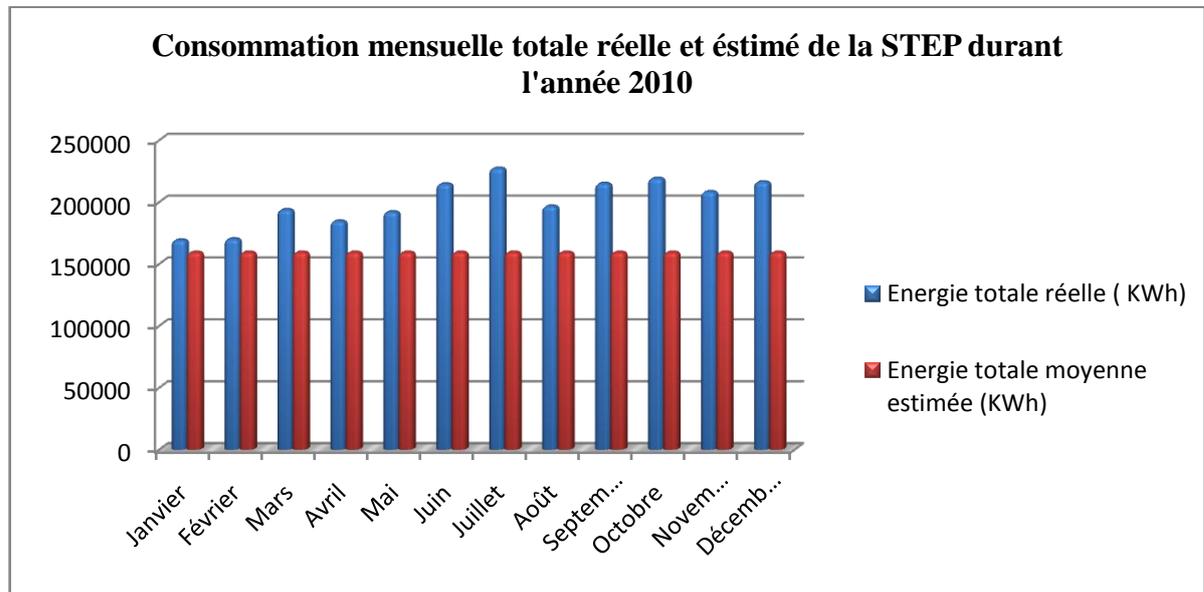


Figure VI.28 : Consommation mensuelle d'énergie électrique totale de la STEP

Les histogrammes montrent que l'erreur est importante en saison estivale et en début de la saison pluviale. Nous pouvons alors dire que l'erreur commise est due d'un côté à la variation saisonnière importante des temps de fonctionnements des équipements de la chaîne d'épuration. Nous aurons alors une différence importante entre le temps de fonctionnements moyens annuels et le temps de fonctionnement réel au mois où le débit d'eaux à traiter est plus important.

La consommation d'énergie électrique moyenne mensuelle totale de la STEP que nous avons obtenu par calcul est de : 159312,7 kWh/mois.

Dans le tableau ci-dessus nous pouvons observer que l'erreur relative moyenne commise sur l'estimation de la consommation d'énergie électrique totale moyenne est de 11.21%. Cette erreur est aussi due à la présence des trois logements de fonction dont nous n'avons pas pu estimer la consommation électrique.

Dans le tableau suivant nous pouvons voir l'erreur commise sur l'estimation de la consommation d'énergie électrique totale de la STEP pour chaque mois de l'année 2010.

Tableau VI.49 : L'erreur relative commise sur l'estimation de la consommation énergétique totale mensuelle durant l'année 2010

Mois	Energie totale réelle (kWh)	Energie totale moyenne estimée (kWh)	Erreur
Janvier	169203	159312,7	3,01%
Février	170095	159312,7	3,27%
Mars	193686	159312,7	9,74%
Avril	184517	159312,7	7,33%
Mai	191961	159312,7	9,29%
Juin	214502	159312,7	14,76%
Juillet	227255	159312,7	17,58%
Août	196571	159312,7	10,47%
Septembre	214898	159312,7	14,85%
Octobre	218999	159312,7	15,78%
Novembre	208307	159312,7	13,33%
Décembre	216152	159312,7	15,14%
Moyenne mensuelle	200512,17	159312,7	11,21%

6.4 Evaluation du coût de la consommation électrique de la STEP

6.4.1 Méthode d'évaluation du coût de la consommation électrique

➤ Explication de la méthode de tarification de la consommation électrique totale mensuelle

SONELGAZ propose à l'abonné trois séries de tarifications.

-Série 30 : pour les abonnés HT (haute tension : **220, 90 et 60 KV**) ;

-31 -32

-Série 40 : pour les abonnés MT (moyenne tension : **30, 22,10 et 5.5 KV**);

-41 -42 -43 -44

-Série 50 : pour les abonnés BT (basse tension : **0.110, 0.220 et 0.380KV**) ;

-51 -52 -53 -54

Les tarifs se distinguent aussi par le nombre de périodes tarifaires.

Les codes 31, 41, 51 correspondent à des modes de trois périodes tarifaires: pleine, pointe, creuse (nuit).

Les codes 42,52 correspondent à des modes de deux tarifaires: pointe, hors pointe.

Les codes 43, 53 correspondent à des modes de deux tarifaires: nuit, jour.

Les codes 32, 44, 54 correspondent à des modes de période tarifaire unique.

La STEP de Boumerdes est une station à moyenne tension donc son mode de tarification se situe dans la série 40. La station a choisie le mode de tarification 41 vu que c'est le mode qui lui revient le moins cher. Dans le tableau VI.49 nous avons représenté la répartition des tranches horaires du mode de tarification 41.

Tableau VI.50 : Répartition des tranches horaires du mode de tarification 41

heures pleine	totale		tarification (DA/kWh)
De 21 h A 22h 30 min et de 6h à 17h	12h 30min	750 min	161,47
heures creuse	totale		
De 22h30 à 6h	7h30min	450 min	85,33
heures de pointe	totale		
De 17h à 21 h	4h	240 min	726,68

Nous avons :

$$E_{totale} = E_{active} + E_{réactive}$$

$$E_a = E_{cre} + E_{ple} + E_{pte}$$

Le coût de l'Énergie active dépend de la tranche horaire comme déterminée auparavant,

$$CE_{ple} = E_{ple} * PU_{ple}$$

$$CE_{pte} = CE_{pte} * PU_{pte}$$

$$CE_{cre} = E_{cre} * PU_{cre}$$

Le coût de l'énergie réactive est comptabilisé par SONELGAZ comme suit.

Lorsque l'énergie réactive dépasse 50% de l'énergie active consommée, SONELGAZ facture la surconsommation de l'énergie réactive.

Ce seuil correspond à $Tg \varnothing = 0.5$ et $Cos = 0.894$.

Si $Tg < 0.5$

$$\longrightarrow \text{Bonification} = Ea(0.5 - Tg\varnothing) \times \text{Prix unitaire bonification}$$

Si $Tg > 0.5$

$$\longrightarrow \text{Majoration} = Ea(Tg\varnothing - 0.5) \times \text{Prix unitaire majoration}$$

Les prix unitaires de majoration ou de bonification dépendent aussi du mode de tarification

Pour la STEP de Boumerdes qui suit le code 41 nous avons le prix unitaire de la bonification est de 7,588 DA/Kvarh et celui de la majoration est de 37,94DA/ Kvarh.

PMD: Après avoir établi un bilan exhaustif des besoins en énergie, une demande est adressée à SONELGAZ afin de mettre à la disposition, la puissance nécessaire au bon fonctionnement des équipements, celle-ci a un prix à payer fixe à 21,54 DA/KW.

PMA: C'est la puissance maximum absorbée par l'abonné durant la période de facturation.

Lorsque la PMA se trouve supérieur à la PMD la STEP doit payer une pénalité de prix unitaire qui dépend lui aussi du mode de tarification choisi pour la STEP de Boumerdes il est de 96,79 DA/KW.

L'abonné doit payer aussi chaque mois une redevance fixe qui dépend du mode de tarification choisie et la TVA. Pour la STEP de Boumerdes la redevance fixe est de 32227,79 DA/mois, la TVA représente une taxe de 7% du prix totale hors taxe HT.

Les prix unitaires pour chaque mode de tarification sont présentés dans le tableau (Annexe 2).

6. 4.2 Évaluation du coût de la consommation d'énergie électrique

A partir de l'évaluation de la consommation mensuelle d'énergie électrique effectuée dans le chapitre précédant nous avons calculé le coût de revient mensuelle de cette consommation. Les résultats obtenus sont représenté dans les tableaux suivants.

<i>Tableau VI.51 : Coût mensuel de l'énergie électrique active consommée</i>				
Coût de l'énergie Active par tranche horaire				Coût de l'énergie active totale
Mois	Cre	Pte	Ple	Energie active totale
Janvier	2579355,2	8119195,6	8394017,95	19092568,83
Février	2626884,1	7474630,5	8688539,23	18790053,76
Mars	3060957,8	8346646,5	9751334,77	21158939,01
Avril	2895246,9	8082135	9135972,6	20113354,46
Mai	3035017,4	8175150	9570165,43	20780332,87
Juin	3459619,5	9151807,9	10804765,05	23416192,49
Juillet	3601267,3	9313130,9	11760021,57	24674419,77
Août	3034676,1	8797188,1	10032938,45	21864802,65
Septembre	3313193,2	9482447,3	10935232,81	23730873,37
Octobre	3462008,8	9443206,6	11211992,39	24117207,75
Novembre	3322152,9	9236829,5	10790878,63	23349861
Décembre	3448612	9638683,5	11273835,4	24361130,87
Moyenne	3153249,3	8771754,3	10195807,86	22120811,4
totale annuel	37838991	105261051	122349694,3	265449736,8

Le coût est directement proportionnel à la consommation électrique enregistré mensuellement sur l'année 2010. C'est pour cela que nous avons une variation du coût parallèle à celle de la consommation électrique de la STEP.

Tableau VI.52 : Coût mensuel de l'énergie réactive consommée

Mois	Énergie active totale	Énergie réactive	Coût de l'énergie réactive	
			tg ϕ	Majoration
Janvier	93386	75817	0,8118669	1104964,6
Février	94880	75215	0,7927382	1053783,5
Mars	107749	85937	0,7975666	1216451,3
Avril	101632	82885	0,8155404	1216697,9
Mai	106087	85874	0,8094677	1245589,2
Juin	120053	94449	0,7867275	1305989,7
Juillet	127851	99404	0,7774988	1346054,3
Août	109805	86766	0,7901826	1208901,2
Septembre	119600	95298	0,796806	1346794,1
Octobre	123004	95995	0,7804218	1308664,4
Novembre	118473	89834	0,7582656	1160869,2
Décembre	123499	92653	0,7502328	1172478,8
Moyenne	112168,25	88343,917	0,7889429	1223936,5
Totale annuel	1346019	1060127	9,4673148	14687238

Tableau VI.53: Coût totale mensuel de la consommation d'énergie électrique

Coût	Energie active totale	Energie réactive	PMD	PMA	totale hors TVA	Coût de la consommation électrique
Mois						
Janvier	19092568,83	1104964,56	10770,54	32134,28	20240438,21	20382121,3
Février	18790053,76	1053783,5	10770,54	32134,28	19886742,08	20025949,3
Mars	21158939,01	1216451,25	10770,54	32134,28	22418295,08	22575223,1
Avril	20113354,46	1216697,86	10770,54	32134,28	21372957,14	21522567,8
Mai	20780332,87	1245589,17	10770,54	32134,28	22068826,86	22223308,7
Juin	23416192,49	1305989,65	10770,54	32134,28	24765086,96	24938442,6
Juillet	24674419,77	1346054,29	10770,54	32134,28	26063378,88	26245822,5
Août	21864802,65	1208901,19	10770,54	32134,28	23116608,66	23278424,9
Septembre	23730873,37	1346794,12	10770,54	32134,28	25120572,31	25296416,3
Octobre	24117207,75	1308664,42	10770,54	32134,28	25468776,99	25647058,4
Novembre	23349861	1160869,15	10770,54	32134,28	24553634,97	24725510,4
Décembre	24361130,87	1172478,79	10770,54	32134,28	25576514,48	25755550,1
Moyenne	22120811,4	1223936,50	10770,54	32134,28	23387652,72	23551366,3
Totale annuel	265449736,8	14687237,9	129246,46	385611,36	280651832,6	282616395,4

6.5 Evaluation du bilan carbone

6.5.1. Méthode de calcul du bilan carbone

Nous savons que :

$$1\text{tep} = 11600 \text{ kWh}$$

$$= 1100 \text{ m}^3 \text{ GN}$$

$$= 651 \text{ kg de Carbone}$$

$$= 651 \text{ kg} * 3.66 = 2382.66 \text{ kg CO}_2$$

En Algérie l'électricité est produite à partir du gaz naturel (GN) à 95% avec un rendement de 35%.

$$\text{Donc : } 1 \text{ tep GN} = 11600 * 35 / 100$$

$$= 4060 \text{ kWh}$$

Nous pouvons alors dire que la production de cette énergie génère :

$$4060\text{kWh} * 651 \text{ Kg C}/11600\text{kWh} = 0.16 \text{ kg C/ kWh}$$

$$\text{En CO}_2 \text{ elle génère : } 0.16 * 3.66 = 0.585 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}.$$

Nous pouvons alors écrire que : pour la production de 1 kWh 0.585 kg de CO₂ est émise dans l'atmosphère.

$$\text{D'où : Taux de CO}_2 \text{ émie} = E \text{ consommée} * 0.585.$$

6.5.2. Chaîne d'épuration

Les résultats obtenus pour le calcul du bilan carbone engendré par la consommation d'énergie électrique de chaque ouvrage de la chaîne d'épuration sont présentés dans le tableau suivant :

Ouvrage	kg CO ₂ /jr	kg CO ₂ /mois	kg CO ₂ /an
Poste de Relevage	21,4	640,6	7793,7
Bassin d'orage	5,1	152,5	1855,6
Prétraitement	2,1	61,5	1279,3
Bassin d'aération	2090,5	62715,2	763034,8
Fosse à boues	346,1	17751,9	126349,2
Clarification	9,6	289	3516,2
Epaissement	1,4	40,7	494,6
Sale de déshydratation	35,9	1077,7	13111,7
Chaine d'épuration	2512	82729,1	917435

Nous représentons les résultats obtenus dans la figure VI.29 sous formes de répartition du taux de dioxyde de carbone émis dans l'atmosphère sur les différents ouvrages de la chaine d'épuration.

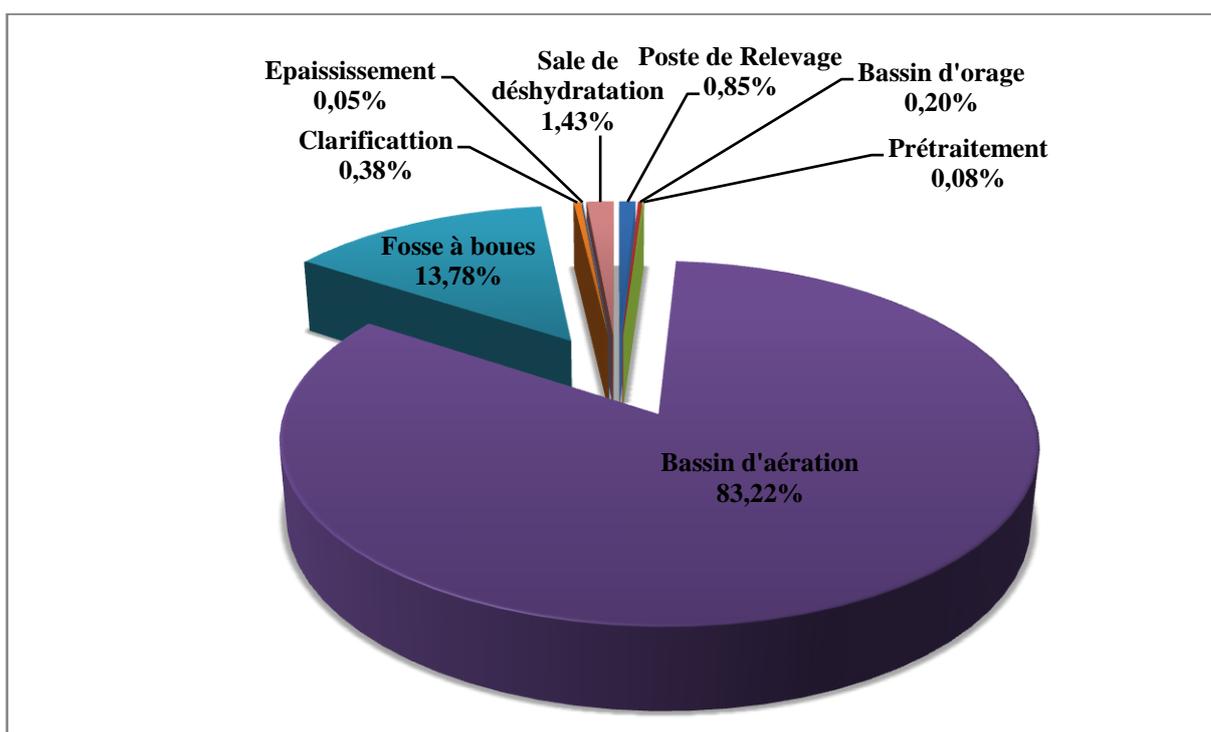


Figure VI.29 : Répartition de l'émission du CO₂ sur les ouvrages de la chaine d'épuration

Nous avons aussi évalué par la même méthode de calcul le taux de dioxyde de carbone émis par le laboratoire, les locaux administratifs et l'éclairage extérieur. Le totale du CO₂ émis par chaque catégorie nous donne le taux de dioxyde de carbone émis par toute la STEP comme présenté dans le tableau suivant :

Catégorie	kg CO ₂ jr	kg CO ₂ /mois	kg CO ₂ /an
Chaîne d'épuration	2512,0485	75362,04	916904,14
Laboratoire	24,8625	746,4015	9081,2475
Bâtiments	497,7765	14933,471	181690,7
Eclairage extérieur	71,8965	2156,0175	26231,576
STEP	3106,584	93197,93	1133907,7

Nous représentons les résultats obtenus sous forme de répartition du taux de CO₂ émis sur l'ensemble de la STEP dans la figure VI.30.

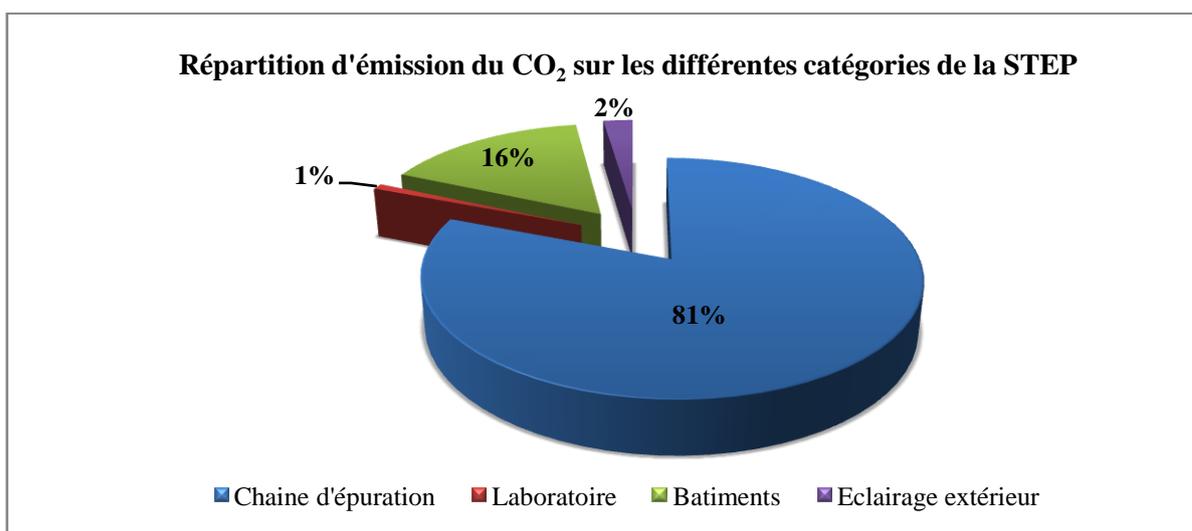


Figure VI.30 : Répartition de l'émission du CO₂ sur les différentes catégories de la STEP de Boumerdes

6.5.3 Évaluation du taux de CO₂ totale émis

Une partie du CO₂ émis dans l'atmosphère est due à la consommation d'énergie active et l'autre partie est due à la consommation d'énergie réactive. Le Tableau VII.54 rassemble la variation du taux totale de CO₂ émis mensuellement et par type d'énergie consommée.

La figure suivante représente les résultats obtenus pour l'émission totale mensuelle de dioxyde de carbone évalué durant l'année 2010.

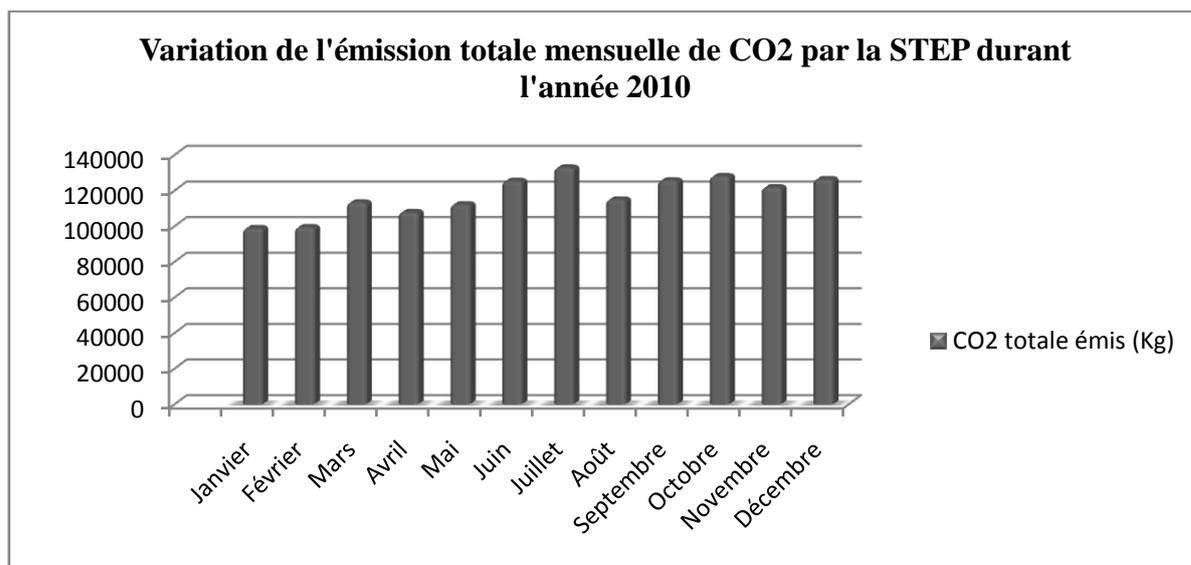


Figure VI.31 : Variation du taux de CO2 totale émis par la STEP mensuellement durant l'année 2010

Une partie du CO₂ émis dans l'atmosphère est due à la consommation d'énergie active et l'autre partie est due à la consommation d'énergie réactive. Le tableau VI.55 rassemble la variation du taux totale de CO₂ émis mensuellement et par type d'énergie consommée.

Tableau VI.56 : Variation mensuelle du taux de CO2 émis par type d'énergie électrique consommée durant l'année 2010

Mois	CO2 émis par l'active (kg)	CO2 émis par la réactive (kg)	CO2 totale émis (kg)
Janvier	54630,81	44352,945	98983,755
Février	55504,8	44000,775	99505,575
Mars	63033,165	50273,145	113306,31
Avril	59454,72	48487,725	107942,45
Mai	62060,895	50236,29	112297,19
Juin	70231,005	55252,665	125483,67
Juillet	74792,835	58151,34	132944,18
Août	64235,925	50758,11	114994,04
Septembre	69966	55749,33	125715,33
Octobre	71957,34	56157,075	128114,42
Novembre	69306,705	52552,89	121859,6
Décembre	72246,915	54202,005	126448,92
Moyenne mensuelle	65618,426	51681,191	117299,62
Totale annuel	787421,12	620174,3	1407595,4

Nous constatons que la STEP consomme une très importante quantité d'électricité, ceci impose un coût d'exploitation colossal. Etant donnée que l'électricité consommée est produite dans des centrales électriques à partir de gaz naturel, elle engendre une pollution atmosphérique trop importante pour être négligée. Pour réduire ces paramètres nous essayerons de trouver des solutions alternatives en utilisant des énergies renouvelables et propres, l'objet du chapitre suivant.

Chapitre VII

Introduction des énergies renouvelables dans la STEP

7.1 Évaluation de la possibilité de valorisation énergétique des boues

La STEP enregistre chaque mois une quantité de boues qui est extraite du bassin biologique et des clarificateurs. Dans le tableau suivant nous reportons les quantités mensuelles de boues en excès durant l'année 2010.

<i>Tableau VII.1 : Variation mensuelle de la quantité de boues produites durant l'année 2010</i>	
Mois	Quantité de boues (m3/mois)
Janvier	570
Février	510
Mars	1780
Avril	624
Mai	690
Juin	564
Juillet	624
Août	690
Septembre	570
Octobre	366
Novembre	96
Décembre	240
Production annuelle	7324,000
Production moyenne mensuelle	610,333

A partir des évaluations des volumes de boues en excès recueillit après épuration des eaux usées nous avons sommée ces valeur pour obtenir le volume recueillit au bout de l'année 2010 le résultat est de l'ordre 7324 m³.

Nous avons alors une production annuelle très importante. Ces boues sont épaissies et déshydraté mécaniquement avant d'être transporté à la décharge publique.

Cette quantité de boues est déshydraté mécaniquement ce qui entraine une consommation en énergie électrique supplémentaire pour une médiocre stabilisation alors qu'elle peut être valorisé pour produire elle-même de l'énergie qui pourrait même couvrir une importante part des besoins énergétique de la STEP.

A partir des quantités de boues en excès mensuelles prises pour l'année 2010 nous avons calculé la quantité de boues moyenne mensuelle soit $Q_{moy/mois}$ comme suit :

$$Q_{moy/mois} = \sum Q_{mois} / 12$$

Nous avons trouvé une production moyenne mensuelle de 610.33m³

Ensuite nous avons déterminé La production moyenne journalière de boues soit $Q_{moy/jr}$ comme suit :

$$Q_{moy/jr} = Q_{moy/mois} / \text{Nombre de jour moyen par mois}$$

$$Q_{moy/jr} = Q_{moy/mois} / 30.41$$

Nous obtenons une production de boues moyenne journalière de 20.07 m³.

Dans la figure VII.2 nous reportons la variation de la quantité mensuelle de boues produites par l'épuration des eaux usées.

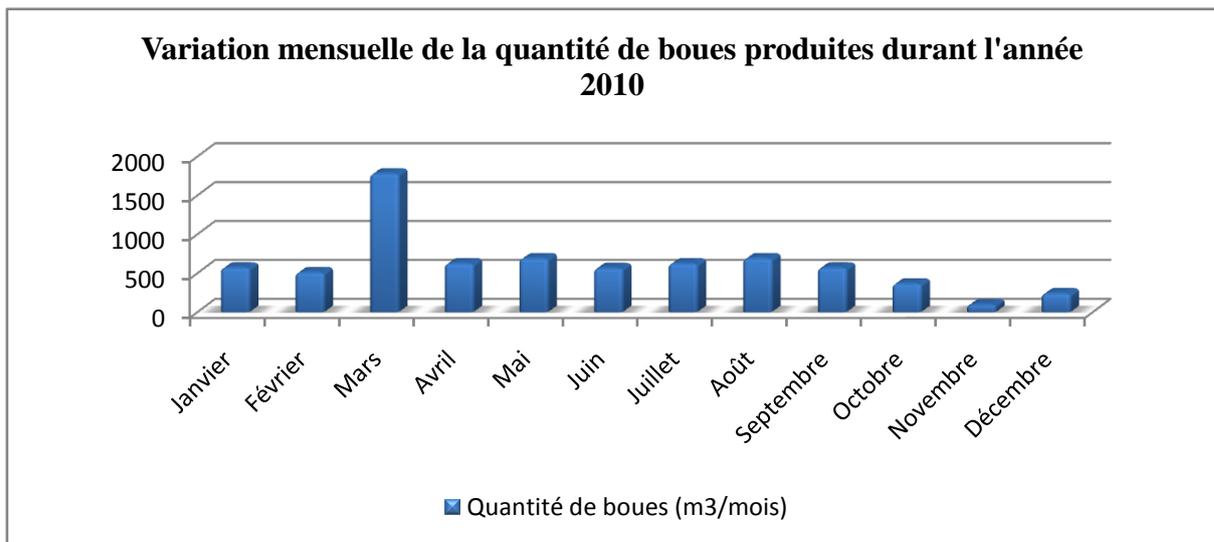


Figure VII.1 : Variation mensuelle de la quantité de boues produites durant l'année 2010

Nous pouvons observer sur la figure VII.1 que la production de boues a une variation régulière durant l'année entre (500 et 600 m³/mois) excepté le mois de MARS ou elle atteint un pic de 1780 m³ et le mois de novembre ou elle était à sa plus basse valeur qui été évalué à 96 m³. (Pourquoi)

Dans le but de :

- ✓ Réduire le coût de la consommation d'énergie électrique.
- ✓ Réduire le taux d'émission du CO₂ dans l'atmosphère.
- ✓ Augmenter l'autonomie en énergie électrique.
- ✓ Substituer la ressource d'énergie électrique qui est fossile par une énergie renouvelable.
- ✓ Stabiliser les boues.

Nous proposons la stabilisation et la valorisation énergétique des boues en excès de la STEP par la digestion anaérobie. Pour ce faire nous avons à réaliser des digesteurs anaérobies.

7.1.1 Dimensionnement de l'installation

Nous proposons de réaliser une installation de digestion anaérobie de type mésophile des boues en excès.

Sur la Figure VII.2 nous présentons les constituants de l'installation de digestion que nous proposons :

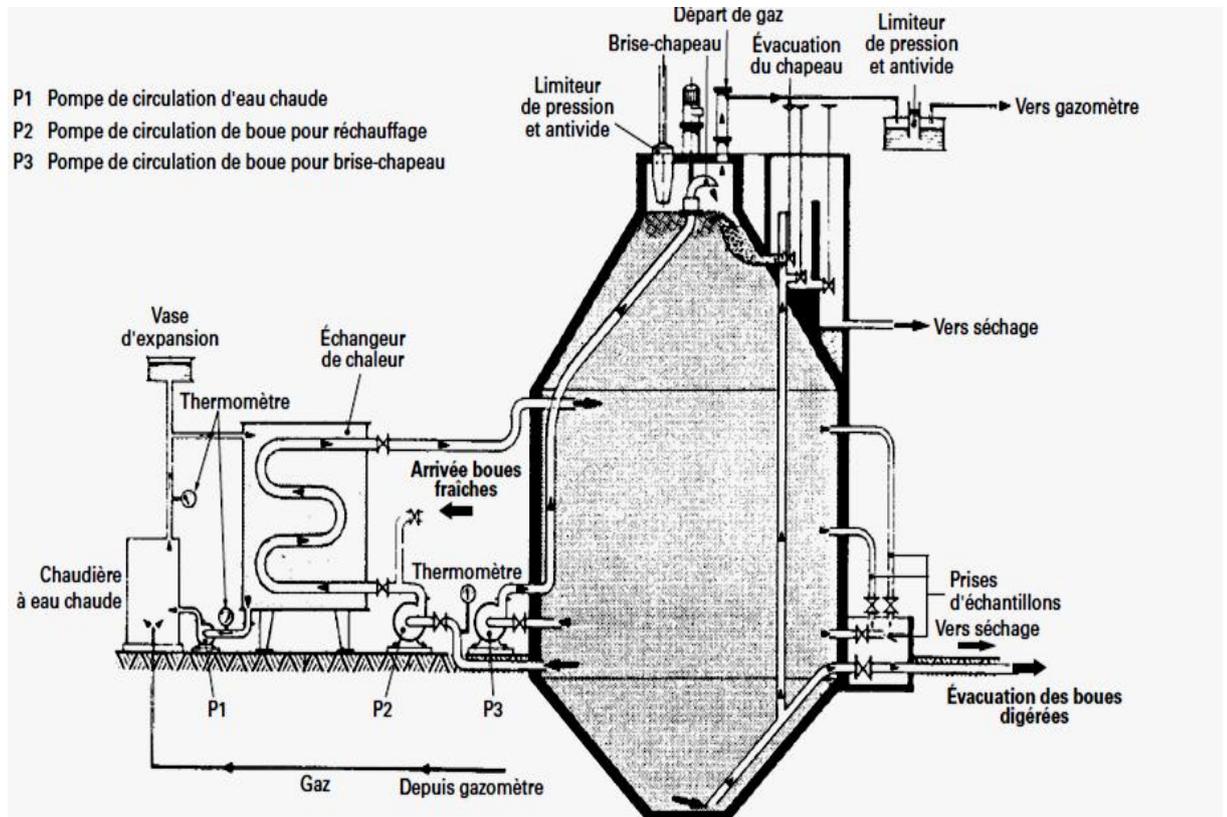


Figure VII.2 : Digesteur unique à moyenne charge (doc.degrémont) [6]

➤ Choix des paramètres de la digestion

Pour assurer le bon fonctionnement du digesteur nous choisissons les paramètres comme suit [12] :

- **Temps de rétention hydraulique**

Le temps de séjour est fonction de la charge de fonctionnement du digesteur en Kg MVS de boues introduite par jour et par m^3 et de la température la masse boueuse.

Le temps de rétention hydraulique TRH ou le temps de séjour dans la digestion anaérobie varie entre 20 et 30 jour.

Pour avoir la meilleure fermentation nous choisissons un TRH de 30 jours.

- **La température [technique de l'ingénieur]**

La température de la masse de boues doit être suffisante et maintenus constante.

Nous choisissons de concevoir un digesteur de type mésophile pour réduire le taux d'énergie nécessaire au chauffage de celui-ci.

Pour ce type de réacteur la température varie entre 33 et 37°C. Nous choisissons la température moyenne qui est de 35°C.

- **La concentration de boues**

Elle doit être élevée à l'alimentation pour limiter le volume et par suite le prix du digesteur, et surtout pour accélérer les réactions biochimiques et faciliter le démarrage de la digestion en augmentant la concentration en bactéries méthaniques. Pour cela nous alimenterons le réacteur en boues épaissies.

- **Le Brassage**

Un brassage puissant et efficace de façon à homogénéiser le contenu du digesteur. Il peut être pratiqué par une agitation purement mécanique ou hydraulique par recirculation des boues, mais nous choisissons la meilleure solution qui consiste à assurer un brassage hydraulique par réinjection du gaz de digestion.

- **L'alimentation**

La régularité de l'apport en boues fraîches, et du soutirage des boues digérées pour éviter de perturber le développement des micro-organismes.

- **Géométrie du digesteur**

Nous avons plusieurs types de géométries utilisées en digestions anaérobique des boues (figure VII.3).

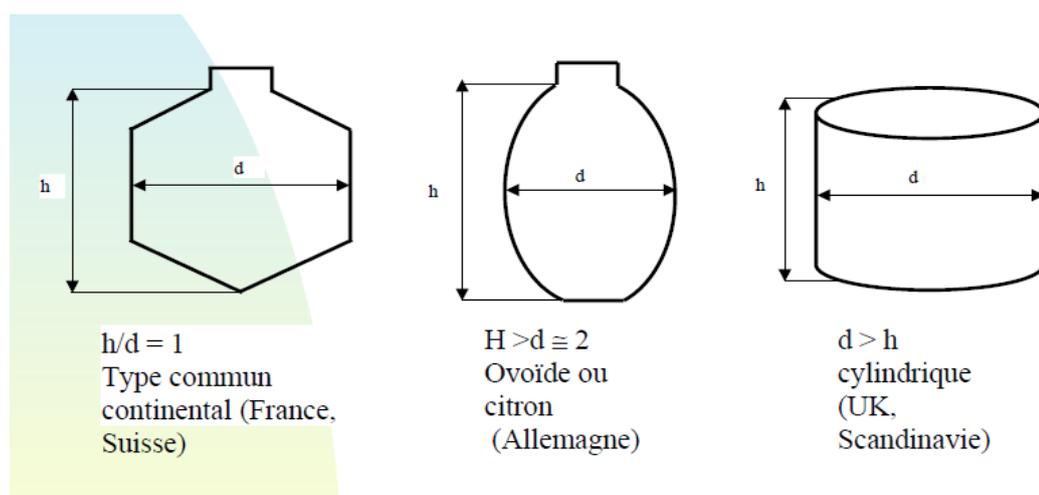


Figure VII.3 : Formes géométriques des digesteurs utilisées dans le monde [12]

Nous choisissons la forme 1 pour avoir une meilleure mobilité des boues et une construction plus simple. Nous proposons de modifier sa géométrie dans le but de lui

apporter une meilleure résistance à la pression et une bonne étanchéité vis-à-vis du gaz. La forme géométrique que nous proposons est présentée sur la figure VII.4.

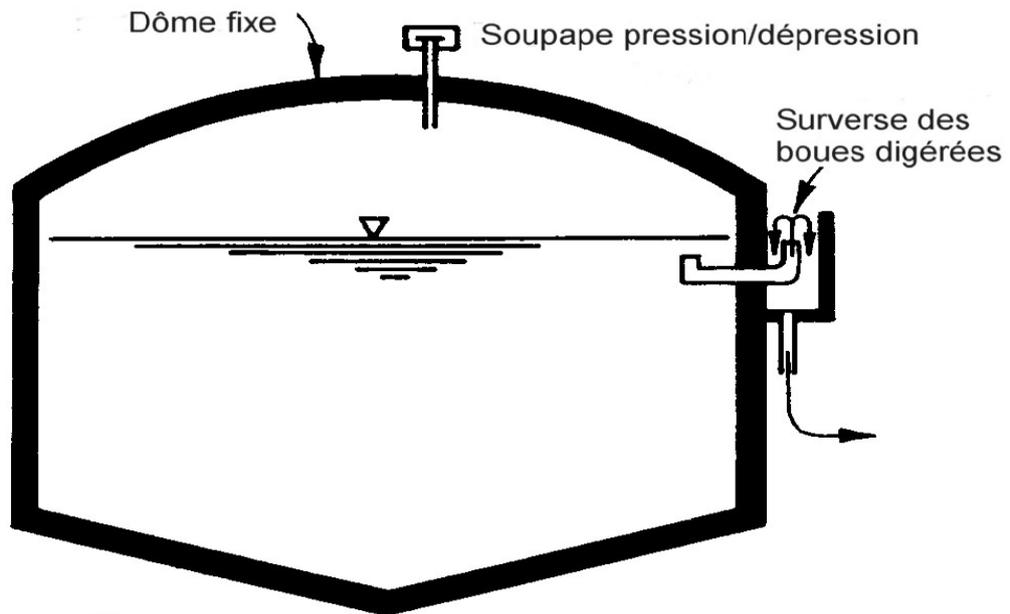


Figure VII.4 : Digesteur à dôme fixe bombée [12]

- **Calcul du volume du digesteur**

Nous avons déterminé précédemment que la production en boues moyenne journalière de la STEP est de 20.07 m^3 . Cette quantité correspond au débit moyen journalier de boues à introduire au réacteur.

Nous avons choisie au préalable un temps de séjour de 30 jours

Donc : $TRH = 30 \text{ jours}$

D'autre part nous avons le TRH définie comme suit :

$$TRH = \text{Volume de digestion} / Q_{\text{moyen journalier}}$$

D'où le volume d'un digesteur soit V_i est calculée comme suit :

$$\checkmark V_i = Q_{\text{moyen/jr}} * TRH = 20.07 * 30 = 602.1 \text{ m}^3$$

En tenant compte du bullage et de la variation de la quantité de boues produite dans la STEP nous prévoyons d'ajouter le 1/3 de ce volume au digesteur.

Donc le volume total que doit avoir le digesteur soit $V_{i_{tot}}$ est calculée comme suit :

$$\begin{aligned} \checkmark V_{i_{tot}} &= V_i + 1/3 * V_i \\ &= 602.1 * (1+1/3) \\ &= 800.79 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Le digesteur doit alors avoir un volume de 800.79 m³. Ce volume correspond à un cylindre des dimensions suivantes :

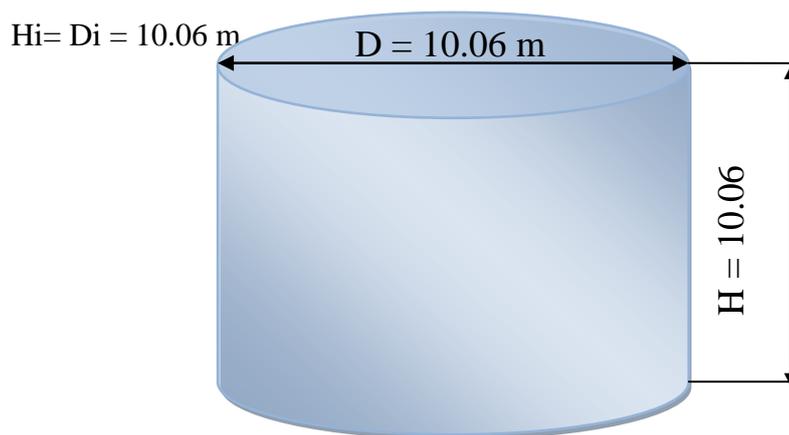


Figure VII.5 : Volume équivalent du digesteur à concevoir

Dans le but d'optimiser :

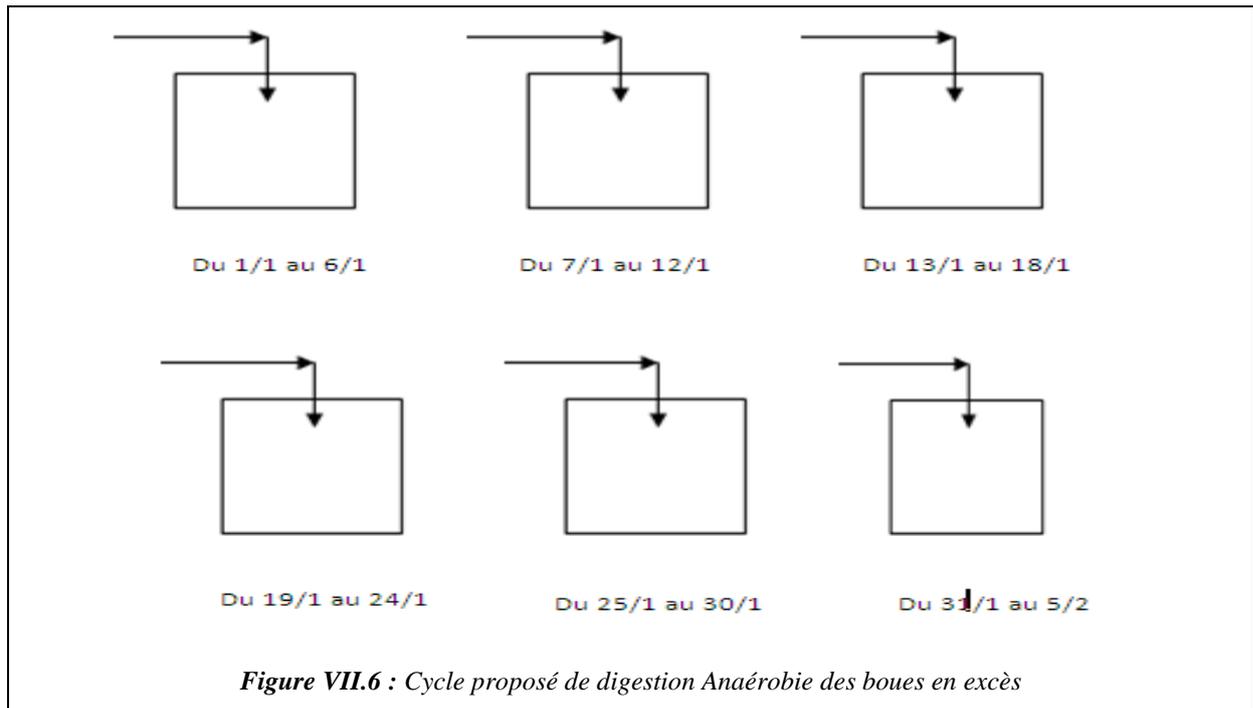
- la couverture en besoins énergétique journaliers de la STEP nous devons assurer une production continue de production de biogaz.
- la production de biogaz nous devons assurer la meilleur gestion maintenance et entretien du système de digestion

Nous proposons de procéder comme suit :

- ✓ concevoir 6 réacteurs identiques de volume égal à la quantité de boues recueillit en 6 jours augmenté d'un tiers par précaution : ce volume calculé suivant la relation suivante :

$$\begin{aligned}
 V_i &= Q_{moy/jr} * 6 * (1+1/3) \\
 &= 20.07 * 6 * (1+1/3) \\
 &= 160.56 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- ✓ Si nous débutons notre opération de remplissage du au 1^{er} Janvier de l'année nous obtenons le cycle représenté sur la figure suivante :



Chaque réacteur séjourne 30 jours pour débiter la digestion des boues. Le 6 janvier est la fin du remplissage du digesteur 1. Son temps de séjour débute à partir du moment où il est totalement rempli. Lorsque le 6^{ème} réacteur sera rempli, le premier réacteur aura séjourné 30 jours, il aura donc produit du biogaz pendant 30 jours et sera prêt à recevoir une nouvelle alimentation en boues fraîches le 5 Février. Chaque digesteur aura le même cycle de production de biogaz.

Ainsi nous aurons une production continue de biogaz et d'admission des boues produites par la STEP.

- **Calcule du volume d'un réacteur**

Les dimensions obtenues pour un réacteur de forme cylindrique de hauteur égale au diamètre seraient les suivantes :

$$H_i = D_i = 5.89 = 6 \text{ m}$$

L'installation comporte alors 6 réacteurs de volume 160.56 m^3 pour un débit d'alimentation de 20.07 m^3 par jour chacun.

➤ **Dimensionnement final**

Dans la forme du digesteur choisie nous avons trois parties :

- partie 1 bombée ;
- partie 2 cylindrique ;
- partie 3 conique ;

Soit D_i le diamètre du digesteur qui est égale à 6 m. Soit H_i la hauteur totale du digesteur nous avons H_i doit être égale à D_i (Figure VII.3). Soit H_1 , H_2 et H_3 les hauteurs des formes 1, 2, 3 respectivement.

Si nous divisons la hauteur sur les trois parties comme suit :

$$H_1 = 0.5 \text{ m}$$

$$H_2 = 5.16 \text{ m}$$

$$H_3 = 0.5$$

Soit V_1 , V_2 et V_3 les volumes des trois parties 1, 2, 3 respectivement. Ils s'écrivent comme suit :

$$V_1 = \pi \int_0^H (2 * Rz - z^2) dz = \pi H^2 (D/2 - H/3) = 2.23 \text{ m}^3$$

$$V_2 = \pi D^2 H/4 = 145.76 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 2 \pi \int_R^{R/3} r dr \int_0^H dz = \pi H (-D^2/36 + D^2/4) = 12.57 \text{ m}^3$$

$$\text{Nous obtenons : } V_1 + V_2 + V_3 = 10.55 \text{ m}^3 + 2.03 \text{ m}^3 + 106.9 = 119.48 \text{ m}^3$$

Sur la figure suivante nous reportons les dimensions de chacun des digesteurs à concevoir :

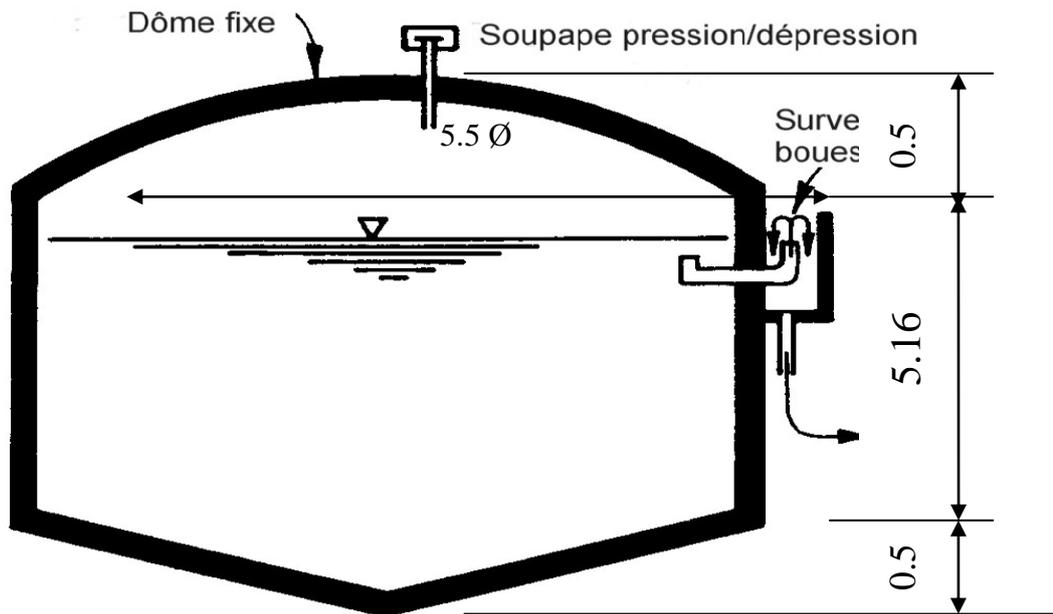


Figure VII.7 : Dimensions et forme du de chaque digesteur que nous proposons de concevoir.

- **Potentiel de production du biogaz**

La production du biogaz est directement proportionnelle à la quantité de matière volatile MV dégradée.

La constante de biogaz BG varie entre 0,5 et 0,7 m³/kg MVS.

Nous avons relevé des analyses mensuelles de boues effectuées par le laboratoire de la STEP le pourcentage mensuel des MVS dans les MS.

Dans le tableau VII.2 nous présentons la quantité mensuelle de matière volatile durant l'année 2010 calculée à partir de la quantité de matière sèche dans les boues de la STEP et de sa teneur en MVS.

Tableau VII.2 : Variation de la quantité de matière sèche et volatile dans les boues de la STEP durant l'année 2010

Mois	Matière sèche MS (kg)	Matière volatile MVS (%)	Matière volatile (kg)
Janvier	28937,1	51,3	14844,732
Février	26458	54,87	14517,505
Mars	83776,5	56,6	47417,499
Avril	60136,2	61,25	36833,423
Mai	81032	64,71	52435,807
Juin	84183	66,93	56343,682
Juillet	93208,8	66,77	62235,516
Août	106813,8	64,91	69332,838
Septembre	91645,1	60,27	55234,502
Octobre	67375,28	51,01	34368,13
Novembre	17572	44,68	7851,1696
Décembre	44540	43,52	19383,808
Moyenne	65473,15	57,24	39233,22
Total annuel	785677,78	686,82	470798,61

Nous représentons la variation mensuelle de la quantité d'MVS par des histogrammes sur la figure VII.8.

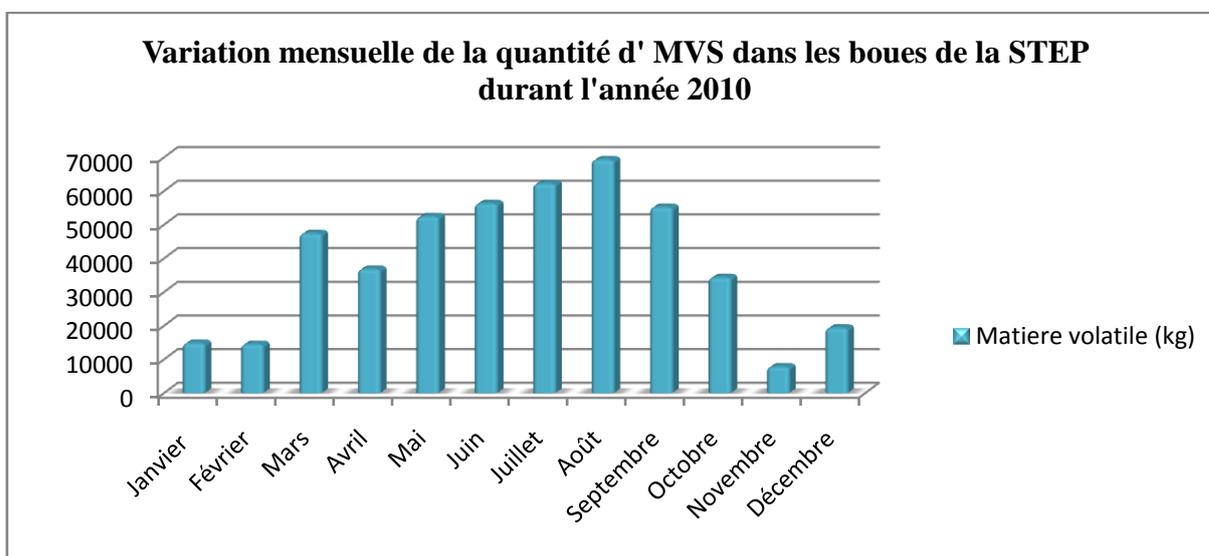


Figure VII.8 : Variation mensuelle de la quantité de matière volatile contenue dans les boues de la STEP durant l'année 2010

Nous observons sur la figure VII.3 que la variation de la quantité de matière volatile dépend directement de la variation de la température ce qui est due à l'augmentation de la

fermentation des boues en augmentation de la température ambiante d'où l'augmentation de leurs teneurs en matière organique volatile.

La quantité d'MVS moyenne mensuelle présentée dans le tableau VII.2 soit $MVS_{\text{moy/mois}}$ a été calculé comme suit :

$$\checkmark MVS_{\text{moy/mois}} = (\sum MVS_{\text{mois}}) / 12$$

Nous pouvons alors déduire la quantité d'MVS moyenne journalière soit $MVS_{\text{moy/jr}}$ comme suit :

$$\begin{aligned} \checkmark MVS_{\text{moy/jr}} &= MVS_{\text{moy/mois}} / 30.41 \\ &= 39233,22 / 30.41 = 1290.14 \text{ kg} \end{aligned}$$

Nous obtenons alors une quantité d'MVS moyenne journalière de 1290.14 kg.

• Calcul de la production de biogaz

La production en biogaz à partir des boues d'épuration est relativement proportionnelle à leur concentration en matière volatile. Le coefficient de proportionnalité varie entre 50 et 70 %.

La production de biogaz Soit P_{biogaz} est décrite par l'équation suivante :

$$\checkmark P_{\text{biogaz}} = MVS * BG$$

Nous avons choisie un réacteur de temps de séjour égale à 30 jours donc la quantité d'MVS qui produirait du biogaz correspond à la quantité cumulée en 30 jours soit $MVS_{\text{réacteur}}$.

➤ Production minimale

$$\checkmark MVS_{\text{réacteur}} = MVS_{\text{moy/jr}} * 30 = 1290.14 * 30 = 38704,26 \text{ Kg}$$

En nous plaçons dans les conditions les plus défavorable la production serait de 50% donc la constante de BG serait égale a 0,5 nous obtenons les résultats ci après :

$$P_{biogaz} = 38704.26 * 0.5 = 19352.13 \text{ m}^3$$

Dans les conditions les plus défavorables la méthanisation des boues nous produirait une quantité mensuelle de biogaz de l'ordre de 19352 m³, soit une production moyenne journalière de 645.1 m³.

➤ **Production maximale**

Si par contre nous nous plaçons dans les conditions les plus favorable nous obtiendrons la production maximale pour laquelle BG= 0.7 nous aurons dans ce cas :

$$P_{biogaz} = 38704.26 * 0.7 = 27092.94 \text{ m}^3$$

• **Calcul de la production en méthane**

La quantité de méthane produite par digestion anaérobie des boues de STEP représente 65 % du biogaz produit.

$$\text{D'où : } P_{CH4} = 0.65 * P_{biogaz}$$

➤ **Production minimal de méthane**

$$P_{CH4} = 0.65 * 19352.13 = 12578.88 \text{ m}^3$$

La production minimale mensuelle en méthane que nous pouvons recueillir est de l'ordre de 12579 m³, qui correspond à une production minimale journalière de 419 m³ de méthane.

➤ **Production maximale de méthane**

$$P_{CH4} = 0.65 * 27092.94 = 17610.41 \text{ m}^3$$

- **Calcul de l'énergie totale disponible**

Le pouvoir calorifique soit PCI d'un combustible est la quantité de chaleur dégagée par la combustion de l'unité de quantité de combustible.

On parle de pouvoir calorifique lorsque l'eau produite par cette combustion reste à l'état vapeur.

Le pouvoir calorifique du méthane vaut 9.94 kWh/ m³ dans les conditions normale de température et de pression [12].

L'énergie totale produite à partir du méthane soit E_T est exprimée comme suit :

$$E_T = PCI * P_{CH4}$$

- **Energie totale valorisable minimale**

$$E_T = 9.94 * 12578.88 = 125034.07 \text{ kWh /mois}$$

Le résultat obtenu pour le minimum d'énergie totale mensuelle produite par ce processus est de l'ordre de 125034 kWh, qui correspond à une production minimale journalière en énergie totale de l'ordre de 4167.8 kWh/ jr.

- **Energie totale valorisable maximale**

$$E_T = 9.94 * 17610.41 = 175047.49 \text{ kWh /mois}$$

Le résultat obtenu pour le maximum d'énergie totale mensuelle produite par ce processus est de l'ordre de 175047.49 kWh, qui correspond à une production maximale journalière en énergie totale de l'ordre de 5834.92 kWh/ jr.

- **Calcul de l'énergie valorisable**

La quantité d'énergie finale, c'est-à-dire intégralement valorisable sous forme de chaleur ou d'électricité, dépend du rendement de la chaîne des appareils (chaudière, moteur, régulation, échangeurs).

- Les rendements pour la production de chaleur seule à partir d'une chaudière sont évalués à 80-90 %.

- Les rendements pour la production d'électricité seule à partir d'un moteur à gaz sont évalués à : 33-36 %.
- Rendements de cogénération sur un moteur à gaz [12] :
 - ✓ Rendement électrique : 33 à 36 %.
 - ✓ Rendement thermique : 45 à 55 %.

La cogénération permet ainsi d'obtenir des rendements de transformation énergétiques très intéressants : jusqu'à 85 % de l'énergie initiale valorisable.

C'est un moyen de valoriser de façon quasi optimale l'énergie potentiellement disponible. L'électricité produite est donc consommée par la station, et une partie de la chaleur récupérée permet le chauffage du digesteur. Il est donc indispensable de trouver une utilisation à la chaleur non utilisée : usage sur site (séchage thermique des boues digérées, incinération)

Nous proposons alors de valoriser cette énergie par le mode de cogénération :

- **Calcul de l'énergie électrique utilisable**

Nous pouvons alors calculer l'énergie électrique minimale valorisable par mois soit E_{elec} comme suit :

$$E_{elec} = E_T * \text{rendement électrique}$$

➤ **Energie électrique minimale utilisable**

Le rendement minimal électrique est de 33% de l'énergie totale.

$$E_{elec} = 125034.07 * 0.33 = 41261.24 \text{ kWh}$$

Le minimum d'énergie électrique valorisable que nous pouvons obtenir par ce processus est de 41261.24 kWh par mois qui correspond à une énergie électrique valorisable de 1375.37 KWh par jour.

➤ **Energie électrique maximale utilisable**

Le rendement maximal électrique est de 36% de l'énergie totale.

$$E_{\text{élc}} = 175047.49 * 0.36 = 63017.1 \text{ kWh}$$

• **Calcul de l'énergie thermique utilisable**

L'énergie thermique utilisable soit E_{the} se calcul comme suit :

$$E_{\text{the}} = E_T * \text{rendement thermique}$$

➤ **Energie thermique minimale utilisable**

Le rendement minimal thermique est de 45% de l'énergie totale. Nous pouvons alors calculer l'énergie minimale mensuelle valorisable soit E_{the} comme suit :

$$E_{\text{the}} = E_T * 0.45 = 125034.07 * 0.45 = 56265.33 \text{ kJ}$$

Le minimum d'énergie thermique valorisable que nous pouvons obtenir par ce processus est de 56265 kJ par mois qui correspond à une énergie thermique valorisable de 1875.51 par jour.

➤ **Energie thermique maximale utilisable**

Le rendement maximal thermique est de 55% de l'énergie totale. Nous pouvons alors calculer l'énergie minimale mensuelle valorisable soit E_{the} comme suit :

$$\begin{aligned} E_{\text{the}} &= E_T * 0.45 \\ &= 175047.49 * 0.45 = 96276.12 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Le maximum d'énergie thermique valorisable que nous pouvons obtenir par ce processus est de 96276.12 kJ par mois qui correspond à une énergie thermique valorisable de 3209.20 kJ par jour.

Nous reportons les résultats obtenus dans les deux cas optimale et minimale dans le tableau suivant :

Tableau VII.34: La production d'énergie électrique et thermique par cogénération

	P biogaz (m³)	P CH₄ (m³)	Etotale(kWh)	E the (kj)	E élc (kWh)
Production minimale/mois	19352,13	12578,88	125034,07	56265,33	41261,24
Production minimale/jour	645,071	419,296	4167,80	1875,51	1375,37
Production Maximale/mois	27092,94	17610,41	175047,49	96276,12	63017,09
Production Maximale/jour	903,10	587,01	5834,92	3209,20	2100,57

- **Calcul de l'énergie nécessaire au chauffage du digesteur**

La consommation de chaleur pour le chauffage des digesteurs représente en moyenne :

- 32 % en moyenne de l'énergie valorisable pour des boues mixtes.
- 65 % dans le cas de digestion de boue biologiques de faible charge (étant donné la réduction plus faible de méthane pour ces dernières).

En tenant compte des températures et de la possibilité d'utiliser un échangeur thermique, qui permet de réchauffer les boues qui entrent en digestion avec les boues « chauffées » qui sortent du digesteur, les valeurs pourraient être les suivantes (voir annexe 5) :

- 30 % de l'énergie valorisable pour des boues biologiques de faible charge. Cette énergie sera soustraite de l'énergie thermique valorisée.

L'énergie nécessaire au chauffage E_c des digesteurs peut alors être calculée comme suit :

$$E_c = 0.3 * E_{the}$$

Les résultats obtenus pour les deux cas minimaux et maximaux d'énergie valorisée sont présentés dans le tableau suivant :

<i>Tableau VII.4 : Energie nécessaire au chauffage des digesteurs</i>		
	E the(kj)	E c (kj)
Production minimale/mois	56265,33	16879,599
Production minimale/jour	1875,51	562,6533
Production Maximale/mois	96276,12	28882,836
Production Maximale/jour	3209,2	962,76

Dans le tableau suivant nous portons l'énergie pouvant être utilisée pour couvrir les besoins énergétiques de la STEP par jour et par mois :

<i>Tableau VII.5 : Energie pouvant être utilisé par la STEP</i>		
	E élc (kWh)	E the utilisable
Energie minimale disponible/mois	41261,24	39385,731
Energie minimale disponible/jour	1375,37	1312,8577
Energie maximale disponible/mois	63017,09	67393,28094
Energie minimale disponible/jour	2100,57	2246,443898

Nous reproduisons dans le tableau VII.7 suivant la consommation d'énergie électrique minimale disponible par jour et les besoins en énergie électrique journalier de la STEP et les gains qu'elle pourrait recueillir:

En analysant les résultats illustrée dans le tableau VII.7 nous pouvons voir que l'énergie minimale disponible peut couvrir tout les besoins de la STEP en énergie électrique active pendant les horaires de pointe et elle pourra également couvrir une partie des besoins en énergie électrique active pendants les horaires pleine. Ceci réduira largement le coût de la consommation en énergie électrique en éliminant sa part en heure de pointe soit une réduction de **288419.29DA par jour**.

Tableau VII.6 : Energie électrique nécessaire et énergie minimale disponible par jour et gain engendré

Énergie consommée	Énergie Active par tranche (kWh)			Active totale	Réactive
	Cre	Pte	Ple		
Energie moyenne nécessaire (kWh/jour)	1215,18	396,9	2076,41	3688,53	2905,09
Energie électrique disponible (kWh/jour)	0	396,9	978	1375	0
Gain en énergie (kWh/jour)	0	396,9	978	1375	0
Gain en coût (DA/jour)	0	288419,29	157917,66	446336,95	0
Gain en bilan carbone (kg/jour)	0	232,19	572,13	804,375	0

Le reste de l'énergie non consommée en horaire de pointe nous l'utiliserons en horaire administrative autrement dit en horaire pleine. La réduction en consommation électrique pour cette tranche sera de **978 KWh/jour** soit une réduction de **2.37 %**. Cette réduction engendrera une réduction du coût de **157917.66 DA /jour**.

Le totale de réduction sur le coût est de **446336.95 DA par jour** soit une réduction de **13390108.5 DA par mois** et **160681302 DA par an**.

Une réduction du taux de CO2 émis dans l'atmosphère de **804.375 kg par jour** soit une réduction de **23 %**.

Nous proposons d'utiliser une partie de l'énergie thermique restante après chauffage des digesteurs pour chauffer les locaux administratifs pendant 4 mos de la période froide de l'année au lieu d'utiliser la climatisation.

La part de la consommation électrique des climatiseurs par jour est de **744.9 kWh**.

L'énergie thermique minimale que nous pouvons avoir à notre disposition a été estimée de **1312.86 par jour**. Nous aurons alors une réduction de la consommation électrique,

soit une réduction de **22374 kWh/mois**, ce qui réduirait la consommation totale annuelle de **89388 kWh**.

Cette réduction entrainera une réduction importante du coût de la consommation électrique, soit une réduction de **120279 DA/ jour**, **3608370 DA/mois** et **14433480 DA/an**.

En additionnant tous les gains obtenus nous obtenons les résultats représentés dans le tableau VII.8.

<i>Tableau VII.7 : Gains réalisée à partir de la valorisation minimale des boues de la STEP</i>			
	Avant valorisation des boues	Après valorisation des boues	Gain (%)
Énergie consommée (kWh/jour)	6593,62	4473,72	32%
Coût (DA/jour)	785045,54	218429,588	72%
Carbone émis (kg/jour)	3857,2677	2617,1262	32%

Nous illustrons le gain obtenu par la solution que nous proposons en représentant dans les figures qui suivent la consommation électrique, le coût et le bilan carbone avant et après valorisation des boues de la STEP.

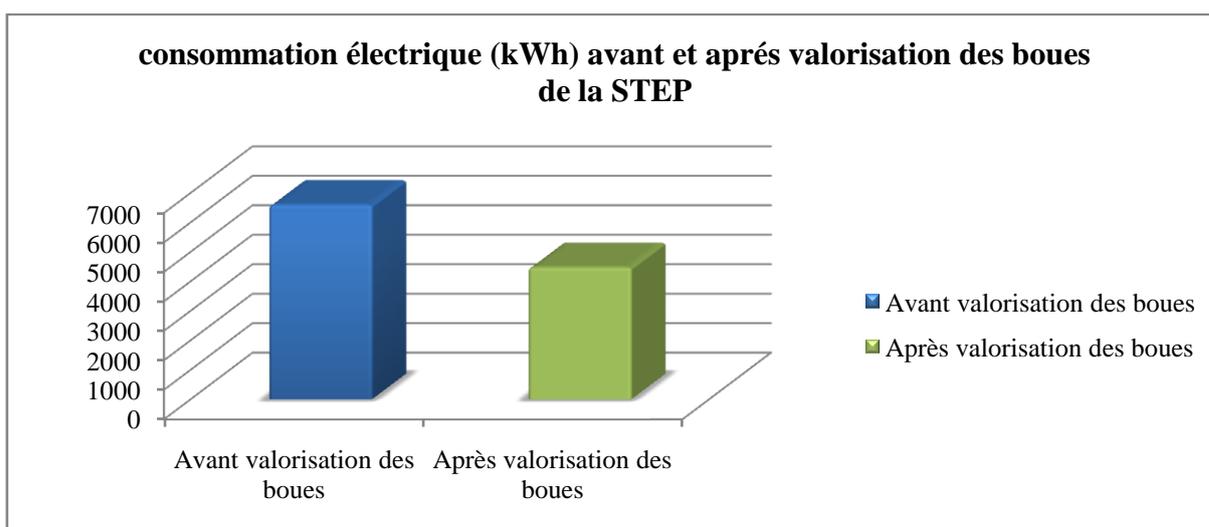


Figure VII.9 : La consommation électrique de la STEP avant et après valorisation des boues

La figure ci-dessus montre que la solution proposée réduira de plus de 20% la consommation électrique de la STEP.

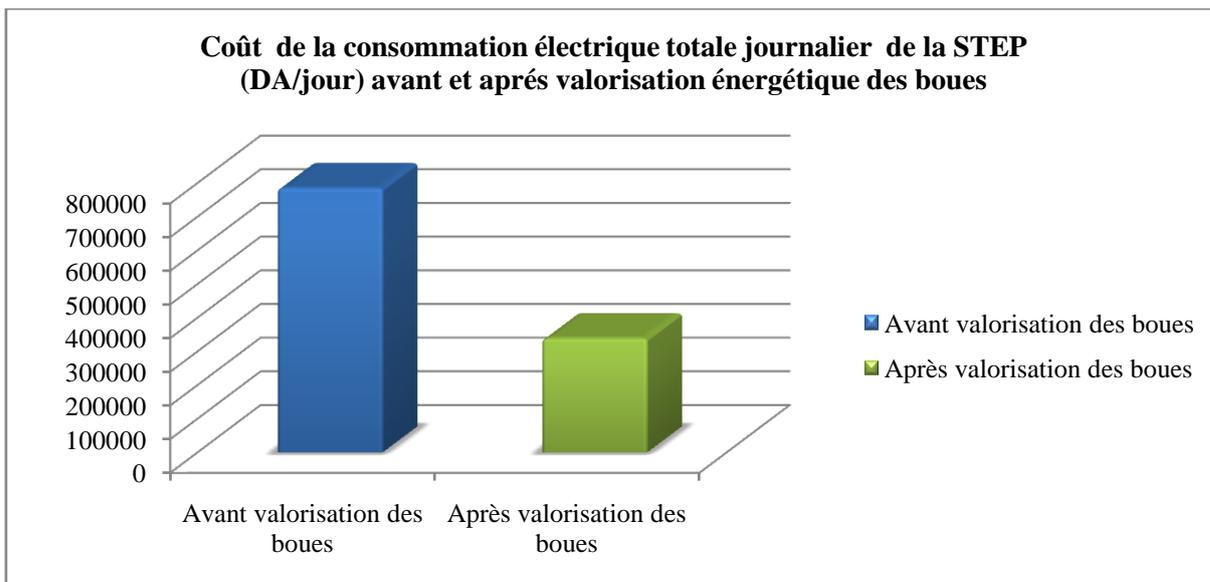


Figure VII.10 : Coût de la consommation journalière de la STEP avant et après valorisation énergétique des boues

Nous observons sur la figure ci-dessus que la solution proposée réduira le coût de la consommation électrique de plus de 70 %.

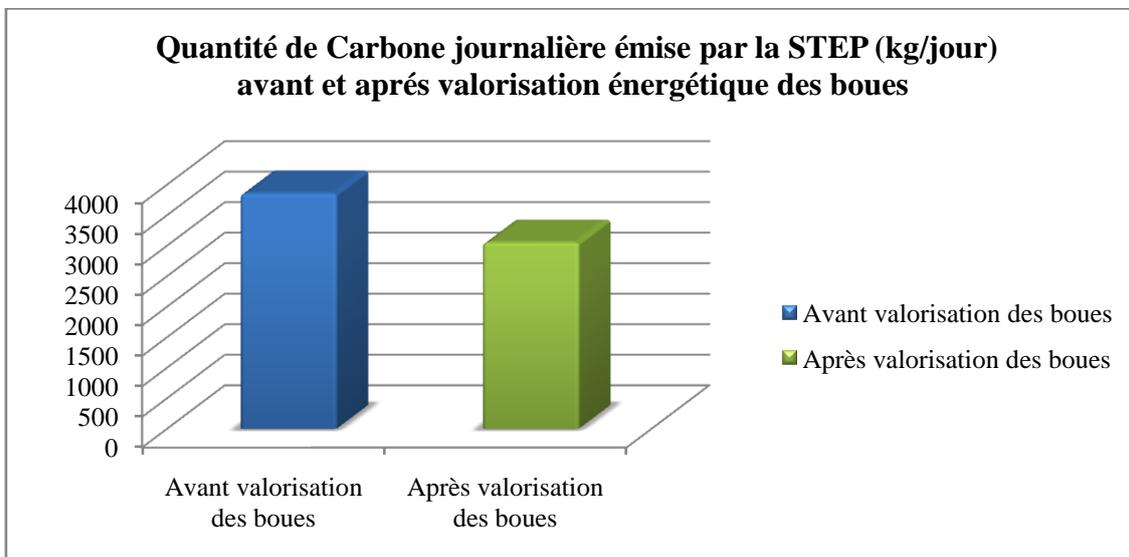


Figure VII.11 : Taux de carbone journalier émis par la STEP avant et après valorisation énergétique des boues

Sur la figure VII.11 nous pouvons voir que la valorisation énergétique des boues réduira au minimum de plus de 20% le taux de CO₂ émis dans l'atmosphère.

7.2 Evaluation de l'utilisation de l'énergie solaire pour l'éclairage extérieur

L'éclairage extérieur représente **2.32 %** de la consommation électrique globale de la STEP de Boumerdes. Une partie de notre étude consiste à proposer la réduction de cette consommation à travers sa substitution par énergie renouvelable. S'agissant de l'éclairage, la meilleure proposition serait l'utilisation des panneaux solaires photovoltaïques.

Cette proposition permettra de réduire la consommation électrique son cout et son bilan carbone.

Notre démarche a consisté par la réalisation d'une prospection au niveau du système d'éclairage de la STEP. Ce dernier se compose de 39 poteaux d'éclairage caractérisés par :

- Espacement : 20 mètres,
- Hauteur : 6 mètres,
- Type de lampes : lampes à vapeur de sodium haute pression (SHP).

Pour des raisons économiques, nous proposons de garder le système d'éclairage, actuel, en place et d'apporter les modifications nécessaires pour sa conversion en système d'éclairage solaire.

Selon les informations techniques recueillies au niveau du personnel technique de l'UDES, cette modification nécessiter l'introduction de l'équipement suivant au niveau de chaque poteau d'éclairage :



Figure VII.12 : Pilonne d'éclairage solaire type (UDES).

- Lampe de type CFL (23 W-1380 Lu) ;

- Générateur photovoltaïque 12V/120Wc ;
- Régulateur de charge crépusculaire 12V/10A ;
- Batterie stationnaire solaire ouverte 12V/200A ;
- Coffret métallique étanche IP 66 (600x400x200) ;
- Support coffret ;
- Structure métallique pour générateur photovoltaïque;
- Divers : câble électrique, cosses de raccordements, visserie, rail oméga, presse étoupe chatterton ;

Ces données nous ont également permis de prendre en considération l'optimisation de l'éclairage illustré dans la figure ci-dessous.

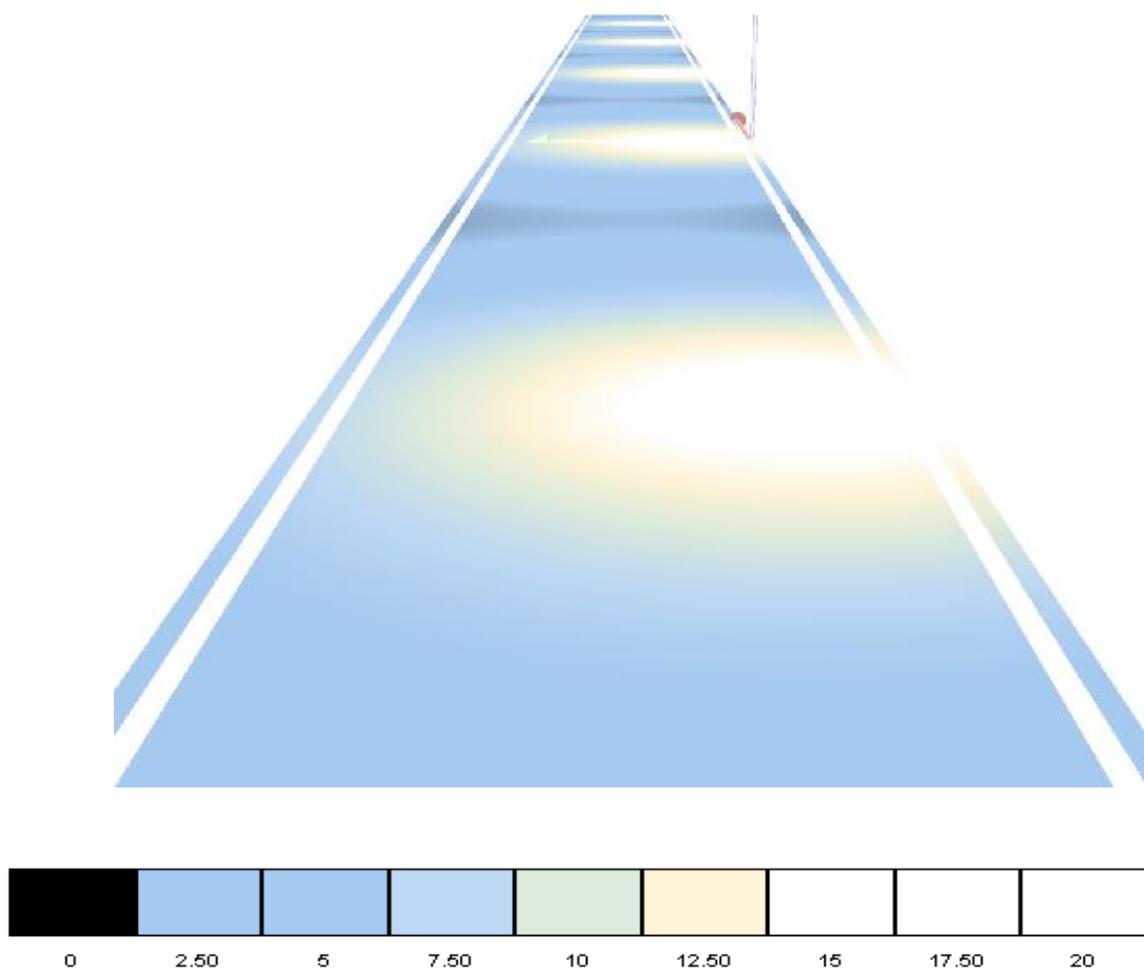


Figure VII.13 : Intensité lumineuse (Lux) reçu au sol (UDES)

Les données présentées nous ont permis de fixer les caractéristiques techniques du système d'éclairage solaire que nous avons proposé à savoir :

Hauteur : 6 mètres

Espacement : 20 mètres

A ce niveau, un avantage important est à relever. Il consiste au fait que la hauteur et l'espacement des poteaux d'éclairage conventionnel sont identiques à ceux des poteaux d'éclairage solaire qui devront être installés. Cela facilitera cette opération et surtout réduira énormément le coût d'investissement.

- **Dimensionnement du système d'éclairage solaire**

- ✓ **Générateur photovoltaïque**

La détermination de sa puissance de sortie prend en compte :

- l'énergie solaire incidente E_i reçue sur le site d'installation,
- la puissance des lampes utilisées,
- le temps de fonctionnement,
- le rendement de la batterie,
- le rendement des accessoires (régulateurs, câbles...).

Pour le dimensionnement donc, nous considérons la puissance du module photovoltaïque dite : la puissance crête :

$$P_c = \frac{E_j * 1000}{nR * nB * E_i}$$

- L'énergie solaire incidente E_i [Wh/m²/j].

Cette énergie dépend de l'inclinaison des panneaux solaires et des saisons (mois de l'année, généralement le mois de décembre),

- l'énergie journalière moyenne disponible E_j

Cette énergie est la multiplication de la puissance (P) par le temps de fonctionnement (t) :

$$E_j = P \times t$$

Pour une puissance des lampes $P = 23$ Watts et un temps de fonctionnement $t = 12$ h :

$$E_j = 276 \text{ Wh/j}$$

- Le rendement régulateur (nR) et le rendement de la batterie (nB)

Pour les modèles existants sur le marché algérien, nous avons $nR = 100\%$ et $nB = 85\%$ donc

A partir des différents paramètres évalués, la puissance crête des modules installés sera alors:

$$P_c = 104.55 \text{ Wc}$$

- **Dimensionnement du système de stockage :**

- ✓ **Batterie**

La détermination de sa capacité de stockage de sortie prend en compte :

- la puissance des lampes utilisées,
- le temps de fonctionnement,
- l'autonomie choisie,
- le rendement de la batterie et sa profondeur de décharge,
- la tension aux bornes de la batterie,

Pour le dimensionnement donc, nous considérons la capacité de stockage aux niveaux de la batterie :

$$Cr = \frac{E_j * N_j}{P * nR * nB * V}$$

- La décharge maximale admissible par les batteries : ces batteries ne doivent jamais être déchargées à plus de 80% avec une décharge maximale de 20% par jour,
- l'énergie journalière moyenne disponible E_j , tel que :

$$E_j = 276 \text{ Wh/j}$$

- Le rendement régulateur (nR) et le rendement de la batterie (nB)
- Le nombre de jours d'autonomie (Nj) nécessaires,

Cette autonomie varie selon le lieu géographique et l'application : Nj □ **6 jours.**

- La profondeur de décharge (P), tel que : P= 80%.
- la tension en Volts aux bornes de la batterie : V=12 V.

A partir des différents paramètres évalués, la capacité de stockage dans les batteries sera alors:

$$Cr = \frac{276 \times 6}{0.80 \times 1 \times 0.85 \times 12} = \mathbf{202.94Ah.}$$

Un régulateur de charge et de décharge permet de gérer le parc de batteries pour éviter les décharges profondes et les surcharges.

- **Coût d'investissement**

Le dimensionnement du système d'éclairage solaire, notre choix pour son incorporation sur le système conventionnel et l'estimation du coût de revient de chaque élément à installer nous a permis d'établir le coût de revient unitaire pour chaque poteau estimé à 79 600 Da ; soit donc un budget total estimé à pour l'installation complète.

Tableau VII.8 : Le coût des différents éléments d'installation du panneau solaire.

Eléments de l'installation	Coût de revient (DA)
Panneau photovoltaïque	45000
Structure métallique	800
Batterie stationnaire	18000
Coffret métallique	4800
Support coffret	300
Lampe et douille CFL	1200
Régulateur	9000
Câbles et autres accessoires	500
TOTAL	79 600

➤ Pour cela le coût de l'installation complète sera : **3 104 400 DA.**

- **Amortissement du coût d'installation du système d'éclairage solaire**

D'après l'étude effectuée, on a pu constater l'avantage que présente l'énergie solaire par rapport à la consommation électrique de l'éclairage au niveau de la station, en dépit du prix colossale consacre à l'installation des panneaux solaire et qui de l'ordre de 3 104 400 DA, pour une durée vie de 25 ans.

Le coût de la consommation électrique de l'éclairage conventionnelle est de 11041334,24 DA donc on à un taux d'amortissement de 3mois.

• **Evaluation du bilan carbone**

Le taux de CO₂ émis par la STEP est de 26231.56 KWh/an.

L'éclairage solaire élimine l'émission de carbone préservée ce qu'on obtient un nouveau bilan.

Tableau VII.9 : comparaison entre les deux éclairages.

	Eclairage actuel	Eclairage solaire	Réduction
Puissance totale (W)	250x39	23x39	/
Consommation électrique mensuelle (kWh)	3736.7	0	3736.7
Consommation électrique annuelle (kWh)	44840.3	0	44840.3
Le coût de la consommation annuelle (DA)	11041334,24	0	11041334,24
Bilan de carbone (kg de CO₂/an)	26231.58	0	26231.58

Nous constatons que le gain annuel engendré par ce type d'installation est de 11041334,24 DA.

7.3 Discussion des résultats

Dans le tableau suivant nous reportons l'ensemble des gains recueillis à partir de l'utilisation des énergies renouvelables proposées :

<i>Tableau VII.10 : Gain recueilli à partir des solutions proposées</i>				
Gain sur	Jour	Mois	Année	Gain (%)
consommation électrique (kWh)	2242,75	67282,5	818603,8	34,01%
coût (DA)	596866,18	17905985,4	217856156,7	76 %
Bilan carbone (kg CO₂)	1312,01	39360,27	478883,23	34,01%

Les résultats obtenus montrent l'efficacité de ces solutions dans la réduction de la consommation électrique son coût.

Conclusion générale

L'étude que nous avons menée au sein de la STEP nous a permis d'établir le bilan de sa consommation d'énergie électrique et de son coût. Comme nous avons également évalué le volume émis de gaz carbonique engendré par la production de l'énergie nécessaire au fonctionnement de la station.

A partir de ce bilan nous avons constaté que :

- L'ouvrage le plus énergivore est le traitement biologique
- Une grande perte en énergie électrique réactive
- Une consommation totale électrique colossal qui engendre un coût exorbitant et un taux d'émission de carbone très important.

A partir de ces constatations nous avons proposé les solutions suivantes :

- Production de biogaz par digestion anaérobiques des boues de la STEP.
- Transformation du biogaz produit en énergie électrique et thermique par cogénération.
- L'utilisation de l'énergie solaire pour l'éclairage extérieur.

Cette étude nous a permis de montrer que l'introduction des énergies renouvelables par le biais des solutions proposées couvrirait une grande part des besoins en énergie électrique de la STEP à moindre coût tout en limitant les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, d'où la nécessité de s'orienter vers l'utilisation des ressources d'énergie propres qui permettront aux stations d'épurations de préserver les ressources hydriques de notre environnement tout en évoluant dans le sens du développement durable.

Bibliographie

[1] : W.W.ECKENFELDER, *Gestion des eaux usées urbaines et industrielles*, Techniques et documentation (Lavoisier), Paris, 1982.

[2] : BEBIN (J.), *État des eaux résiduaires urbaines et industrielles*, Techniques de l'eau, n°269, 1969.

[3] : J.C.BO EGLIN, *Inventaire des traitements d'eaux résiduaires*, Techniques de l'ingénieur, Fasc. J 3940.

[4] : Commission Européenne, *Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux moyennes et petites collectivités*, Office nationale des publications officielles des communautés européennes, Office international de l'eau, 2001.

[5] : site internet de Cartel : <http://www.Carteleau.org> - rubrique guide des services.

[6] : J.C.BO EGLIN, *Traitement biologique des eaux résiduaires*, Techniques de l'ingénieur, Fasc. J 3942.

[7] : E.KOLLER, *Traitement des pollutions industrielles eaux et boues*, Dunod, Paris, 2009.

[8] : www.biogaz.atee.fr

[9] : Julien LALOE, *Méthanisation des boues de station d'épuration*, Agence régionale de l'énergie, 2003.

[10] : www.costic.com

[11] : Jean Paul CHABRIER, *La digestion anaérobie des boues d'épuration*, Journée technique GRESEYVERDON, le 23 septembre 2004.

[12] : Jean Paul CHARBIER, *La digestion anaérobie des boues d'épuration*, Copyright ENVIRO-CONSULT, 2004.

Sites internet : www.biogaz.atee.fr, www.ademe.fr, www.solagro.org.

Annexe 1

Durée d'obscurité moyenne mensuelle en Algérie		
Heure du	Levé du soleil moyen journalier	Coucher du soleil moyen journalier
Janvier	8	17h54
Février	7h37	18h28
Mars	6h59	18h55
Avril	6h14	19h22
Mai	5h41	19h49
Juin	5h29	20h08
Juillet	5h41	20h07
Août	6h5	19h40
Septembre	6h30	18h56
Octobre	6h55	18h12
Novembre	7h26	17h39
Décembre	7h53	17h33
Moyenne annuelle	6h42	18h54

Annexe 2



DIRECTION GENERALE DEVELOPPEMENTS ET SYSTEMES
DIRECTION DES NORMES ET SYSTEMES

BAREMES DES PRIX EN HORS TAXES

ABONNES MOYENNE ET HAUTE TENSION

A compter du 1^{er} décembre 2005

Décision D/06-05/CD du 30 mai 2005

ELECTRICITE							
Code Tarif	Redevance Fixe (DA /Mois)	PMD DA/kW/Mois	PMA	Energie Active (CDA / kWh)		Energie Réactive (CDA / Kvarh)	
						Malus	Bonus
31	421 177.73	31.61	157.88	Pointe	550.71	25.84	5.168
				Pleine	113.85		
				Nuit	49.19		
32	421 177.73	84.12	421.15	Unique	114.12	25.84	5.168
41	32 227.79	21.54	96.79	Pointe	726.68	37.94	7.588
				Pleine	161.47		
				Nuit	85.33		
42	429.71	32.25	150.48	Pointe	726.68	37.94	7.588
				Hors Pointe	150.53		
43	429.71	32.25	128.80	Nuit	85.33	37.94	7.588
				Jour	356.92		
44	429.71	32.25	150.48	Unique	313.02	37.94	7.588