

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger



Département Hydraulique

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau

Thèse de doctorat sciences en hydraulique

Etude des possibilités technico-économiques de la réutilisation
des boues et des eaux usées urbaines traitées

Salah KAREF

Sous la direction de Mr. Ahmed KETTAB Professeur

Présentée et soutenue publiquement le 27/11/2017

Composition du jury :

Président	Rabah	KERBACHI	Professeur-ENP/Alger
Rapporteur	Ahmed	KETTAB	Professeur-ENP/Alger
Examineurs	Saâdia	BENMAMAR	Professeur-ENP/Alger
	Lakhdar	ZELLA	Professeur- Université de Blida
	Khaled	BENRACHEDI	Professeur- Université de Boumerdes
	Hamid	YAHY	Professeur- Université de Tizi-Ouzou
Invitée	Rafika	KHACHEBA	Chef de Département/ONA-DG

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger



Département Hydraulique

Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau

Thèse de doctorat sciences en hydraulique

Etude des possibilités technico-économiques de la réutilisation
des boues et des eaux usées urbaines traitées

Salah KAREF

Sous la direction de Mr. Ahmed KETTAB Professeur

Présentée et soutenue publiquement le 27/11/2017

Composition du jury :

Président	Rabah	KERBACHI	Professeur-ENP/Alger
Rapporteur	Ahmed	KETTAB	Professeur-ENP/Alger
Examineurs	Saâdia	BENMAMAR	Professeur-ENP/Alger
	Lakhdar	ZELLA	Professeur- Université de Blida
	Khaled	BENRACHEDI	Professeur- Université de Boumerdes
	Hamid	YAHY	Professeur- Université de Tizi-Ouzou
Invitée	Rafika	KHACHEBA	Chef de Département/ONA-DG

DEDICACES

À la mémoire de ma Mère « Mira » que je sens maintenant sa fierté - là où elle est- de ce travail.

À la mémoire de mon Père « Mohamed » dit « Chambite » qui de son vivant, a toujours et tellement investi pour me voir réussir, il est maintenant très heureux et fière - là où il est- de ce travail.

« Que dieu le tout puissant les accueille dans son vaste paradis et fasse de moi leur charité qui prie dieu miséricordieux de les pardonner ».

À mes Chères Sœurs et Chers Frères « Mosfa, Omelkheir, Nadja, Amar, Rabiaâ, Aicha, Elghouini, Salema et Khadija » qui m'ont allégé la peine du départ de mes parents et sont source et prolongement de leur affection, et qui m'ont tous encouragé, poussé et incité à terminer mes études.

À ma femme et à mes enfants « Mira, Bachir, Mohamed Amine et Amani Rihab » à qui j'espère ce travail apportera la conviction qu'on n'est jamais assez vieux pour apprendre, avancer et réussir !

À tous ceux qui me sont chers.

...Je dédie ce modeste travail.

KAREF .S

REMERCIEMENT

Grâce à ALLAH le tout puissant, ce travail a été réalisé.

Au préambule de cette thèse, je tiens de façon plus particulière, à témoigner ma gratitude à mon directeur de thèse **Mr le Professeur KETTAB Ahmed**. Je le remercie pour la confiance et la compréhension qu'il a toujours manifestées à mon égard. Sa constante disponibilité scientifique, son dynamisme et ses qualités humaines, la qualité de ses conseils dans de nombreux domaines et son soutien moral pendant les moments difficiles que j'ai rencontré, m'ont permis de mener à bien ce travail dont il est à l'origine. S'il est mené à terme, c'est grâce à son aide et soutien. Qu'il soit ici assuré de toute ma gratitude.

C'est un grand honneur d'avoir comme président du jury, **Mr le Professeur KERBACHI Rabah**, aussi bien pour la présidence du jury que pour sa qualité d'enseignant. Avec lui nous avons appris beaucoup de chose. Je lui adresse un profond remerciement.

Que la **Professeure BENMAMAR Saâdia** trouve ici l'expression de toute ma reconnaissance pour son aide, conseils et soutien. Je tiens à la remercier pour sa patience et ses qualités de scientifique qui m'ont été d'une grande utilité et pour aussi avoir accepté de juger ce travail. Qu'elle soit assurée de ma profonde estime.

Mes vifs et profonds remerciements vont également à :

Mr le Professeur ZELLA Lakhdar de l'université de Blida pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant d'être membre de mon jury de thèse.

Mr le Professeur BENRACHEDI Khaled de l'université de Boumerdes, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger ce travail.

Mr le Professeur YAHY Hamid de l'université de Tizi-ouzou pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de faire partie du jury de cette thèse.

Mme KHACHEBA Rafika, Chef de département à la DG de l'ONA, pour l'intérêt qu'elle a manifesté en participant en qualité de membre, invitée à ce jury.

Je tiens à les assurer tous de ma profonde reconnaissance pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail.

Mr Beramoul K Directeur de l'ONA de Médéa et **Mr Cherifi S**, responsable de la STEP de Médéa, sont destinataires d'un grand merci pour leur accueil chaleureux et assistance technique et documentaire, ainsi que tout le personnel et les laborantines de la STEP.

Mes vifs remerciements vont également à: **Mr Boudaoud.H** directeur de l'INSID, **Mr Behih.E** responsable du laboratoire de l'INSID de K'sar chellala et **M^{elle} Okazi.F** du laboratoire de l'ADE Djelfa pour l'aide qu'ils m'ont présentée au cours des différentes analyses réalisées.

Melle Ziane Noura Docteure à l'université de Djelfa est vivement remerciée pour son assistance et aide précieuse concernant la mise en marche du traitement et de l'analyse des données à l'aide du logiciel statistique SPSS. **Mr JAOUAF Mohamed Amine** chef de service à l'université de Djelfa est profondément remercié pour m'avoir assisté sur le plan logiciel et maintenance informatique.

Que Mes chers amis **Kouider. K**, **Fodhili. Adr**, **Rahmani. K**, **Fodhili. M**, **Akhdari. A**, **Ghezal. A**, **Harrane. B**, **Hedjeri. A**, **Nadji. H**, **Bensidi Aek** et tous ceux qui n'ont cessé de me soutenir et de m'encourager au cours de la réalisation de cette thèse, trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance et le témoignage de mon amour pour leurs aides, conseils et soutien qu'ils m'ont apporté sans réserve.

ملخص :

على الجزائر العمل على ترشيد استخدام الموارد المائية التقليدية. لهذا فإن إعادة الإستخدام الزراعي للمنتجات الثانوية لمعالجة المياه المستعملة يمثل البديل المنتظر للحفاظ على البيئة وترقية القطاع الزراعي. هذا العمل يرمي من ناحية، إلى البحث عن إمكانية إعادة استخدام المياه العادمة المعالجة والحماة الناتجة عن التنقية في محطة معالجة مياه الصرف لمدينة المدية في الزراعة من خلال توصيفها ومتابعتها خلال مدة الدراسة لثلاث سنوات و كذا البحث و تحديد مؤشرات الأداء من أجل تحسين إدارة نظام الصرف الصحي. و من ناحية أخرى تمت دراسة الإمكانيات الإجتماعية والاقتصادية عن طريق التحليل الاقتصادي من نوع تحليل التكاليف – الفوائد (ت ت ف) ، الذي يهدف إلى تحديد ما إذا كان المشروع مبررا اقتصاديا و من الناحية الإجتماعية عن طريق التحقيق الميداني الاجتماعي الذي يدرس قابلية المجتمع للاستخدام الزراعي للمنتجات الثانوية للمعالجة بواسطة استبيان أعد لأغراض التحقيق. وكانت نتائج مختلف الإمكانيات ملائمة تحت شروط معينة خاصة فيما يتعلق بالجانب الاجتماعي الذي يتطلب العمل على التوعية 'الإعلام' تصحيح الاتجاه و القناعة التي لا تزال ضرورية لتنفيذ المشروع.

الكلمات الدالة: المياه المعالجة، الحماة، محطة المعالجة، الفلاحة، مؤشرات الأداء، الإمكانيات الإجتماعية والاقتصادية.

ABSTRACT:

It is imperative for Algeria to rationalize the use of water resources conventional. That is why the re-use agricultural of by-products of the treatment is an alternative expected to preserve the environment and promotion of the agricultural sector.

This work aims on the one hand, to search for the possibility of reuse of treated wastewater and sludge resulting from treatment from the wastewater treatment plant of the city of Médéa in agriculture, through their characterization and the monitoring during the period of study of three years , and also the identification of performance indicators for better wastewater management. On the other hand, socio-economic possibility are developed by an economic analysis of the cost-benefit analysis (CBA) type of the reuse project, which aims to determine whether the project is economically justifiable and a social field survey that examines the admissibility of the population of the agricultural use of the by-products of the treatment by means of a questionnaire elaborated for the needs of the survey. The results of the various possibilities were favorable under certain conditions, in particular for the social component, which requires awareness-raising, information, correction of the tendency and conviction which remains decisive for the implementation of the project.

Keywords: treated wastewater, sludge, treatment plant, agriculture, performance indicators, Socio-economic possibilities.

RESUME :

Pour l'Algérie, il est impératif de rationaliser l'usage des ressources en eau conventionnelle. En ce, la réutilisation agricole des sous produits de l'épuration, représente l'alternative attendue pour la préservation de l'environnement et la promotion du secteur agricole.

Le présent travail a pour objectifs, d'une part, la recherche des possibilités de réutilisation des boues et des eaux épurées de la STEP de Médéa en agriculture par leurs caractérisation et suivi pendant une période d'étude de 03 ans, ainsi que l'identification des indicateurs de performances pour une meilleure gestion du système d'assainissement. D'autre part les possibilités socioéconomiques sont développées par une analyse économique de type analyse coûts bénéfiques (ACB) du projet de réutilisation qui vise à déterminer si le projet est économiquement justifiable et une enquête sociale de terrain qui examine la recevabilité de la population de l'usage agricole des sous produits de l'épuration par un questionnaire élaboré pour les besoins de l'enquête. Les résultats des différentes possibilités étaient favorables sous certaines conditions en particulier pour le volet social qui demande un travail de sensibilisation, d'information, de correction de tendance et de conviction qui reste déterminant pour la mise en œuvre du projet.

Mots clés : Eau traitée, boue, station d'épuration, agriculture, indicateurs de performance, possibilités socioéconomiques.

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction	14
Première partie : Etude bibliographique	
Chapitre I : Composition et traitement des eaux usées	
I.1. Composition des eaux usées.....	17
I.1.1. les matières en suspension.....	17
I.1.1.1. Les matières volatiles en suspension (MVS).....	18
I.1.1.2. Les matières minérales(MM)	18
I.1.2. La demande biologique en oxygène (DBO ₅)	18
I.1.3. La demande chimique en oxygène (DCO).....	18
I.1.4. Les matières azotées.....	18
I.1.5. Les matières phosphorées.....	20
I.1.6. Les métaux lourds.....	20
I.1.7. Les micro-organismes pathogènes	21
I.1.7.1. Les virus	21
I.1.7.2. Les bactéries	21
I.1.7.3. Les protozoaires	22
I.1.7.4. Les helminthes	22
I.1.7.5. Facteurs de la pathogénicité chez les microorganismes.....	22
I.2. Traitement des eaux usées.....	24
I.2.1. Collecte des eaux usées	24
I.2.2. Généralités sur les filières de traitement	25
I.2.3. Prétraitement	26
I.2.3.1. Dégrillage	26
I.2.3.2. Dessablage	27
I.2.3.3. Déshuilage-dégraissage	27
I.2.4. Traitement primaire	28
I.2.5. Traitement secondaire ou biologique	28
I.2.5.1. Les procédés biologiques intensifs	28
I.2.5.2. Les procédés biologiques extensifs.....	35
I.2.6. Traitement tertiaire ou les traitements complémentaires	38
I.2.6.1. Déphosphatation chimique	39
I.2.6.2. Désinfection.....	40
I.2.7. Traitement des boues.....	41
I.2.7.1. Généralités	41
I.2.7.2. Définition et objectifs	42
I.2.7.3. Système de traitement des boues.....	42
I.2.7.4. Désignation des différents types de boues.....	47
Chapitre II: Réutilisation des sous produits de l'épuration en agriculture	
II.1. Réutilisation des eaux usées épurées.....	49
II.1.1. Définition et objectifs	49
II 1.2. Types et domaines de réutilisation	49
II 1.2.1. Les valorisations directes –Le cycle court.....	49
II 1.2.2. Les valorisations indirectes –Le cycle long.....	51
II 1.3. La valorisation agricole et ses avantages.....	52
II.1.3.1. Avantages environnementaux.....	52

II.1.3.2. Avantages économiques	53
II.1.3.3. Avantages sociaux.....	53
II.1.4. Risques liés à la réutilisation des eaux usées épurées.....	53
II.1.4.1. Le risque sanitaire microbiologique.....	53
II.1.4.2. Le risque sanitaire chimique	54
II.1.4.3. Le risque environnemental.....	57
II.1.5. Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation.....	58
II.1.5.1. Salinité.....	59
II.1.5.2. Les fertilisants dans les eaux usées traitées.....	62
II.1.5.3. Eléments traces et métaux lourds.....	64
II.1.5.4. Le pH de l'eau d'irrigation.....	64
II.1.5.5. Matières en suspension et matière organique.....	65
II.1.5.6. Qualité microbiologique des eaux usées pour l'irrigation.....	65
II.1.6. Systèmes d'irrigation.....	66
II.1.6.1. Irrigation de surface.....	66
II.1.6.2. Irrigation par aspersion.....	66
II.1.6.3. Irrigation localisée.....	67
II.1.7. Les différentes réglementations dans le monde.....	68
II.1.7.1. Les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).....	68
II.1.7.2. Les recommandations du CSHP de France	70
II.1.7.3. Les recommandations de l'USEPA.....	71
II.1.7.4. Les directives de la FAO.....	72
II.1.8. La REUE agricole dans le monde	73
II.1.9. La Réutilisation des eaux usées en Algérie	74
II.1.9.1. État des ressources en eau mobilisées.....	75
II.1.9.2. Développement de l'irrigation à travers la réutilisation des eaux usées épurées.....	75
II.1.9.3. Programme en cours en matière de REUE.....	76
II.1.9.4. Cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées.....	76
II.2. Valorisation agricole des boues d'épuration	77
II.2.1. Caractéristiques des boues.....	77
II.2.1.1. La teneur en matière sèche (siccité)	77
II.2.1.2. La teneur en matière volatile.....	77
II.2.1.3. Teneur en eau.....	77
II.2.1.4. La viscosité.....	78
II.2.1.5. La charge spécifique.....	78
II.2.1.6. La résistance spécifique.....	78
II.2.1.7. La compressibilité.....	78
II.2.1.8. Les pouvoirs calorifiques.....	78
II.2.2. Composition de la boue : intérêt agronomique/éléments indésirables.....	78
II.2.2.1. Les éléments utiles.....	78
II.2.2.2. Les éléments indésirables	80
II.2.3. L'application des boues sur les sols.....	82
II.2.3.1. Conditions d'utilisation des boues	82
II.2.3.2. Modalité d'application des boues	83

Deuxième partie: Etude expérimentale

Chapitre III: Méthodes et moyens d'analyse

III.1. Description de la STEP de Médéa.....	85
III.1.1. Base de dimensionnement et caractéristiques de l'eau brute.....	85
III.1.2. Description du procédé de fonctionnement de la station d'épuration.....	86
III.1.2.1. Ligne d'épuration des eaux	86
III.1.2.2. Ligne de traitement des boues	93

III.2. Analyse des sous-produits de l'épuration	95
III.2.1. Filière Eau.....	95
III.2.1.1. Mesure des débits	95
III.2.1.2. Echantillonnage	95
III.2.1.3. Mesure de la température.....	96
III.2.1.4. Le pH.....	96
III.2.1.5. Mesure de La conductivité électrique.....	97
III.2.1.6. Calcul de La salinité ou minéralisation	97
III.2.1.7. Détermination des matières en suspension MES	98
III.2.1.8. Mesure de La demande chimique en oxygène (DCO)	98
III.2.1.9. Mesure de la Demande biochimique en Oxygène (DBO ₅)	99
III.2.1.10. Mesure de l'ammonium NH ₄ ⁺	101
III.2.1.11. Dosage des Nitrates NO ₃ ⁻	101
III.2.1.12. Dosage des orthophosphates PO ₄ ³⁻	101
III.2.1.13. Dosage du Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , K ⁺ , Na ⁺	102
III.2.1.14. Calcul du SAR.....	103
III.2.1.15. Les éléments traces métalliques (ETM)	103
III.2.1.16. Les pathogènes	103
III.2.2. Filière Boue.....	105
III.2.2.1. L'indice de Boue IB.....	105
III.2.2.2. La siccité ou matière sèche.....	106
III.2.2.3. La matière organique ou MVS.....	106
III.2.2.4. Le C/N.....	106
III.2.2.5. Le phosphore assimilable.....	108
III.2.2.6. Dosage des cations Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ et K ⁺	108
III.2.2.7. Les éléments traces métalliques (ETM)	109
III.3. Etude économique.....	109
III.3.1. Gestion d'exploitation de la STEP de Médéa.....	109
III.3.2. L'analyse économique.....	110
III.3.3. Gains et bénéfices économique non monétaires.....	110
III.4. Analyse et enquête sociale	110
III.4. 1. Problématique de l'étude	110
III.4.2. Hypothèses	111
III.4.3. Population d'étude et l'échantillon.....	111
III.4.4. Elaboration du questionnaire.....	112
III.4.4.1. Mesure de la fiabilité et de la validité du questionnaire.....	112
III.4.4.2. Test d'adéquation de khi-deux χ^2	112
III.4.4.3. La forme finale du questionnaire.....	113
III.4.5. Traitement statistique des données.....	113

Chapitre IV: Résultats expérimentaux et interprétations

IV.1. Résultats d'analyse.....	118
IV.1.1. Filière Eau.....	118
IV.1.1.1. Le débit des effluents.....	118
IV.1.1.2. La température.....	118
IV.1.1.3. Le pH.....	119
IV.1.1.4. La conductivité	120
IV.1.1.5. La salinité	120
IV.1.1.6. Matières en suspensions (MES)	121
IV.1.1.7. La demande biologique en oxygène (DBO ₅)	122
IV.1.1.8. La demande chimique en oxygène (DCO)	122

IV.1.1.9. Coefficient de biodégradabilité $k=DCO/DBO_5$	123
IV.1.1.10. Le SAR.....	124
IV.1.1.11. les fertilisants	125
IV.1.1.12. les éléments traces métalliques (ETM)	127
IV.1.1.13. les pathogènes	129
IV.1.2. Filière Boue	130
IV.1.2.1. L'indice de Mohlman IM.....	130
IV.1.2.2. La siccité des boues	130
IV.1.2.3. La matière organique	131
IV.1.2.4. Le C/N.....	131
IV.1.2.5. Le phosphore.....	132
IV.1.2.6. Le potassium.....	132
IV.1.2.7. Les éléments traces métalliques (ETM)	132
IV.2. Identification des indicateurs de Performance	133
IV.2.1. Evolution de la charge hydraulique et part des eaux claires parasites	134
IV.2.2. Performances de traitement obtenues.....	136
IV.2.2.1. Suivi du traitement de l'azote	136
IV.2.2.2. Suivi du traitement du phosphore	137
IV.2.2.3. Equilibre nutritionnel	137
IV.2.2.4. Suivi du traitement des charges organiques	138
IV.2.2.5. Les ratios	139
IV.2.3. Energie électrique consommée	141
IV.3. Résultats économiques.....	142
IV.3.1. Coûts d'exploitation	142
IV.3.1.1. Production de l'Eau Epurée.....	142
IV.3.1.2. Production de la Boue d'épuration.....	147
IV.3.2. Calcul des prix de vente	151
IV.3.2.1. Prix de vente de l'eau épurée.....	151
IV.3.2.2. Prix de vente de la boue d'épuration.....	153
IV.3.3. Résultat analytique	153
IV.3.3.1. Calcul du chiffre d'affaires CA Eau	153
IV.3.3.2. Calcul du chiffre d'affaires CA Boue	154
IV.3.3.3. Calcul du Résultat analytique global.....	154
IV.3.4. Gains et bénéfices économique non monétaires.....	155
IV.3.4.1. Economie d'eau	155
IV.3.4.2. Gain en fertilisants	155
IV.4. Résultats de l'enquête sociale	156
IV.4.1. Mesure de la fiabilité et de la validité du questionnaire.....	156
IV.4.2. La répartition géographique de l'échantillon.....	157
IV.4.3. Caractéristiques démographiques de l'échantillon.....	158
IV.4.3.1. Selon le sexe.....	158
IV.4.3.2. Répartition de l'échantillon selon l'âge.....	158
IV.4.3.3. Par niveau de scolarité.....	159
IV.4.3.4. Par profession.....	160
IV.4.4. L'analyse des résultats et mise à l'épreuve des hypothèses de l'étude.....	161
IV.4.4.1. Analyse des résultats de la Partie I.....	161
IV.4.4.2. Analyse des résultats de la Partie II.....	166
IV.4.4.3. Analyse des résultats de la Partie III.....	169
V. Conclusion générale	177
Références bibliographiques.....	180
ANNEXES	192

Liste des tableaux

Tableau I.1	: Caractéristiques épidémiologiques de quelques agents pathogènes.....	23
Tableau I.2	: DMI moyennes des agents pathogènes présents dans les eaux usées.....	23
Tableau I.3	: Influence de la charge massique sur les paramètres d'exploitation.....	31
Tableau I.4	: Comparatif entre les méthodes d'élimination du phosphore.....	39
Tableau I.5	: Les opérations de traitement des boues et leurs objectifs.....	42
Tableau II.1	: Temps de survie de certains agents pathogènes après excrétion.....	53
Tableau II.2	: Les paramètres utilisés pour l'évaluation des eaux usées en agriculture.....	58
Tableau II.3	: Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation.....	60
Tableau II.4	: Influence de la salinité et du RAS sur le taux d'infiltration.....	61
Tableau II.5	: Degré relatif de dureté de l'eau selon la quantité de carbonate de calcium....	62
Tableau II.6	: Taux d'élimination des pathogènes en fonction du procédé d'épuration.....	66
Tableau II.7	: Facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales pour les eaux usées.....	67
Tableau II.8	: Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture.....	69
Tableau II.9	: Les recommandations du CSHPF.....	70
Tableau II.10	: Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO 1985).....	72
Tableau II.11	: Limites recommandées en éléments traces (mg/l) dans les eaux usées épures destinées à l'irrigation.....	72
Tableau II.12	: Composition en éléments utiles des boues.....	79
Tableau II.13	: Concentration des ETM dans la boue.....	80
Tableau II.14	: Valeurs des Composés traces organiques dans la boue.....	81
Tableau III.1	: Base de dimensionnement et caractéristiques de l'eau à traiter.....	85
Tableau III.2	: Caractéristiques de la grille grossière.....	87
Tableau III.3	: Caractéristiques de chacune des grilles fines.....	88
Tableau III.4	: Caractéristiques du dessableur déshuileur.....	88
Tableau III.5	: Dimensions des bassins d'aération.....	90
Tableau III.6	: Dimensions du décanteur secondaire.....	91
Tableau III.7	: Dimensions de l'épaississeur.....	93
Tableau III.8	: Caractéristiques des lits de séchage.....	94
Tableau III.9	: Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité.....	97
Tableau III.10	: Intervalle de mesure de la DBO et volume d'échantillon Correspondant.....	100
Tableau IV.1	: Les espèces ioniques du SAR mesurées.....	124
Tableau IV.2	: Résultats d'analyse bactériologique des eaux épures de Médéa.....	129
Tableau IV.3	: Résultats d'analyse des ETM dans la boue de la STEP de Médéa.....	133
Tableau IV.4	: Débits max enregistrés.....	134
Tableau IV.5	: Calcul et évolution du taux de dilution.....	136
Tableau IV.6	: Résultats de l'azote de l'entrée à la sortie de la STEP (Jan 2013 – Nov 2015).....	137
Tableau IV.7	: Résultats des paramètres globaux des eaux usées brutes et épures de la ville de Médéa (Jan 2013 - Nov 2015).....	138
Tableau IV.8	: Relation entre les paramètres de pollution.....	139
Tableau IV.9	: Frais de personnel de la STEP de Médéa.....	142
Tableau IV.10	: Rapport de Frais de personnel/volume d'eau épurée.....	143
Tableau IV.11	: Frais de l'énergie électrique consommée de la STEP de Médéa.....	143
Tableau IV.12	: Frais de maintenance de la STEP de Médéa.....	145
Tableau IV.13	: Prix de revient de l'eau épurée de la STEP de Médéa.....	146
Tableau IV.14	: Quantité de boue d'épuration produite à la STEP de Médéa.....	147

Tableau IV.15:	Coût de la production de la boue associé au frais de personnel.....	148
Tableau IV.16:	Coût de la production de la boue relatif à l'énergie électrique.....	149
Tableau IV.17:	Frais de maintenance pour la production de la boue.....	149
Tableau IV.18:	Prix de revient de la boue produite de la STEP de Médéa.....	150
Tableau IV.19:	Calcul du Prix de vente de l'eau épurée de la STEP de Médéa.....	152
Tableau IV.20:	Calcul du Prix de vente de la boue générée par la STEP de Médéa.....	153
Tableau IV.21:	Calcul du chiffre d'affaires de l'eau épurée de la STEP de Médéa.....	154
Tableau IV.22:	Calcul du chiffre d'affaires de la boue d'épuration.....	154
Tableau IV.23:	Calcul du résultat analytique global des sous produits de la STEP de Médéa.....	154
Tableau IV.24:	Quantité de fertilisants apportée par l'eau épurée.....	155
Tableau IV.25:	Quantité de fertilisants apportée par la boue d'épuration.....	156
Tableau IV.26:	Coefficient alpha de Cronbach.....	157
Tableau IV.27:	Répartition géographique de l'échantillon par région (rurale-urbaine)	157
Tableau IV.28:	La répartition de l'échantillon selon le sexe.....	158
Tableau IV.29:	Répartition de l'échantillon par catégorie d'âge.....	158
Tableau IV.30:	Répartition de l'échantillon selon le niveau de scolarité	159
Tableau IV.31:	Répartition de l'échantillon selon la profession.....	160
Tableau IV.32:	Résultats du questionnaire de la première partie.....	161
Tableau IV.33:	Classement de la tendance selon la moyenne pondérée.....	162
Tableau IV.34:	Résultats du questionnaire de la deuxième partie	166
Tableau IV.35:	Classement de la tendance selon la moyenne pondérée.....	167

Liste des figures

Figure I.1	: Réseaux de collecte des eaux usées- Unitaire et séparatif.....	24
Figure I.2	: Les différentes filières de traitements des eaux usées.....	25
Figure I.3	: Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien.....	29
Figure I.4	: Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique.....	30
Figure I.5	: Schéma de la filière boue activée.....	31
Figure I.6	: Processus de décomposition lors de l'élimination de l'azote.....	33
Figure I.7	: Infiltration - percolation étanchée et drainée.....	36
Figure I.8	: Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical.....	37
Figure I.9	: Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal.....	37
Figure I.10	: Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel.....	38
Figure I.11	: Principales filières de traitement des boues.....	43
Figure II.1	: Types de réutilisation des eaux usées	51
Figure II.2	: Classification des métaux en fonction de leur nuisance et de leur intérêt agronomique.....	55
Figure II.3	: Evolution du taux d'infiltration en fonction de salinité de l'eau et du RAS.....	60
Figure II.4	: Répartition par usage et localisation des expériences mondiales les plus importantes en REUE.....	73
Figure II.5	: Méthodes d'épandage des boues.....	83
Figure III.1	: Station d'épuration de la ville de Médéa.....	85
Figure III.2	: Grille grossière et fine (mécanisée et manuelle) de la STEP de Médéa....	87
Figure III.3	: Dessableur - déshuileur et chenal de comptage de la STEP de Médéa....	88
Figure III.4	: Bassin d'aération de la STEP de Médéa.....	90
Figure III.5	: Décanteur Secondaire de la STEP de Médéa.....	91
Figure III.6	: Canal de comptage et bassin de chloration de la STEP de Médéa.....	92
Figure III.7	: Epaisseur des boues et lits de séchage de la STEP de Médéa.....	94
Figure IV.1	: Représentation graphique de la variation mensuelle des débits	118
Figure IV.2	: Représentation graphique de la variation mensuelle des T°	119
Figure IV.3	: Représentation graphique de la variation mensuelle du pH	119
Figure IV.4	: Représentation graphique de la variation mensuelle de la CE	120
Figure IV.5	: Représentation graphique de la variation mensuelle de la salinité	121
Figure IV.6	: Représentation graphique de la variation mensuelle des MES	121
Figure IV.7	: Représentation graphique de la variation mensuelle de la DBO ₅	122
Figure IV.8	: Représentation graphique de la variation mensuelle de la DCO	123
Figure IV.9	: Représentation graphique de la variation mensuelle du rapport DCO/DBO ₅	123
Figure IV.10	: Diagramme de Richards (Riverside).....	125
Figure IV.11	: Représentation graphique de la variation mensuelle des NO ₃ ⁻	125
Figure IV.12	: Représentation graphique de la variation mensuelle des NH ₄ ⁺	126
Figure IV.13	: Représentation graphique de la variation mensuelle des PO ₄ ³⁻	127
Figure IV.14	: Représentation graphique de la variation mensuelle de l'indice de Boue... ..	130
Figure IV.15	: Représentation graphique de la variation mensuelle de la siccité des Boues.....	130
Figure IV.16	: Représentation graphique de la variation mensuelle des MVS de la Boue	131
Figure IV.17	: Représentation schématique de la STEP de Médéa.....	134
Figure IV.18	: Rapport du débit par rapport à la capacité nominale-2013	135

Figure. IV.19 :	Variations du débit et des % de dépassement de DBO ₅ et MES par rapport à la capacité nominale.....	138
Figure. IV.20 :	Variations des rapports EE/DBO ₅ éliminée et EE/DCO éliminée.....	141
Figure. IV.21 :	Rapport moyen des Frais de personnel/volume d'eau épurée.....	143
Figure. IV.22 :	Evolution de la consommation d'énergie électrique par m ³ d'eau.....	144
Figure. IV.23 :	Evolution du coût énergétique du m ³ d'eau épurée.....	144
Figure. IV.24 :	Rapport moyen des frais de maintenance/volume eau épurée.....	145
Figure. IV.25 :	Prix de revient du m ³ d'eau épurée de la STEP de Médéa.....	146
Figure. IV.26 :	Répartition des coûts d'exploitation de la STEP de Médéa.....	147
Figure. IV.27 :	Evolution du poids de la boue en MS produite 2013-2015.....	147
Figure. IV.28 :	Poids moyen de la boue en MS produite 2013-2015 de la STEP de Médéa.....	148
Figure. IV.29 :	Coût moyen de la boue associé aux frais de personnel.....	148
Figure. IV.30 :	Coût moyen énergétique de production de la boue.....	149
Figure. IV.31 :	Coût moyen de la boue associé au frais de la maintenance.....	150
Figure. IV.32 :	Prix de revient de la boue générée par la STEP de Médéa.....	151
Figure. IV.33 :	Evolution du prix de vente de l'eau épurée de la STEP de Médéa.....	152
Figure. IV.34 :	Evolution du prix de vente de la boue générée par la STEP de Médéa.....	153
Figure. IV.35 :	Répartition de l'échantillon selon la zone d'habitation.....	157
Figure. IV.36 :	Représentation graphique de l'échantillon selon le sexe.....	158
Figure. IV.37 :	Représentation graphique de l'échantillon par catégorie d'âge.....	159
Figure. IV.38 :	Représentation graphique de l'échantillon selon le niveau de scolarité.....	160
Figure. IV.39 :	Répartition de l'échantillon selon la profession.....	161
Figure. IV.40 :	Représentation graphique de la première expression de la partie I.....	162
Figure. IV.41 :	Représentation graphique de la 2eme expression de la 1ere partie.....	163
Figure. IV.42 :	Représentation graphique de la 3eme expression de la 1ere partie.....	164
Figure. IV.43 :	Représentation graphique de la 4eme expression de la 1ere partie.....	164
Figure. IV.44 :	Représentation graphique de la 5eme expression de la 1ere partie.....	165
Figure. IV.45 :	Représentation graphique de la tendance d'utilisation des eaux usées dans l'agriculture.....	171
Figure. IV.46 :	Représentation graphique du champ d'utilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture.....	171
Figure. IV.47 :	Représentation graphique du choix d'usage des sous produits de l'épuration.....	172
Figure. IV.48 :	Représentation graphique des préférences d'utilisation des boues d'épuration.....	172
Figure. IV.49 :	Représentation graphique de la pratique de l'agriculture.....	173
Figure. IV.50 :	Représentation graphique de la contribution des eaux usées traitées.....	174
Figure. IV.51 :	Représentation graphique du domaine favorisé de l'utilisation des EUT...	174
Figure. IV.52 :	Représentation graphique des difficultés aux quelles est confrontée l'idée d'utilisation des EUT en agriculture.....	175

Liste des abréviations

ACB	Analyse coût-bénéfice
ADE	Algérienne des eaux
CA	Chiffre d'affaires
CE	Conductivité électrique
CF	Coliformes fécaux
Cm	Charge massique
C _{org}	Carbone organique
CSHP	Conseil supérieur d'hygiène publique de France
CT	Coliformes totaux
DBO ₅	Demande biochimique en oxygène à 5 jours
DCO	Demande chimique en oxygène
DMI	Dose Minimale Infectieuse
ECP	Eaux claires parasites
EH	Equivalent habitant
ETM	Eléments traces métalliques
EUE/EUT	Eaux usées épurées/traitées
FAO	Food and agriculture organization
HT	Hors taxes
IANOR	Institut Algérien de Normalisation
INSID	Institut national du sol irrigation et drainage
Joradp	Journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire
MES	Matières en suspension
MM	Matières minérales
MO	Matière organique
MS	Matière sèche
MVS	Matières volatiles en suspension
NA	Norme Algérienne
NTK	Azote total Kjeldahl
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONA	Office National de l'Assainissement
pH	Potentiel hydrogène
prob	Probabilité
PR	Prix de revient
PV	Prix de vente
Q	Débit d'eau
RA	Résultat analytique
REUT	Réutilisation des eaux usées traitées.
SAR	Sodium Adsorption Ration (Taux de sodium adsorbé)
SPSS	Statistical Package for Social Sciences
STEP	Station d'épuration des eaux usées
TTC	Toute taxe comprise
TVA	Taxe sur la valeur ajoutée
USAID	United States Agency of International Development
USEPA	United States Environmental Protection Agency

INTRODUCTION

La rareté des ressources en eaux conventionnelles représente pour l'Algérie en vertu de son climat méditerranéen aride à semi aride, un souci majeur et une importante préoccupation qui affecte négativement le bien-être des citoyens et menace l'avenir des générations futures. Selon [1], l'Algérie a un potentiel hydrique global mobilisable ne dépassant pas les 13.2 milliards m³ d'eau, ce qui offre un volume annuel de 412 m³ à chaque citoyen tout usage confondu. Ce chiffre théorique est un indicateur d'une situation de grave pénurie d'eau qui entrave tout le développement du pays. En ce, la réutilisation agricole des eaux épurées et des boues générées par le traitement, représente l'alternative attendue pour la préservation de la ressource et en parallèle la promotion du secteur agricole [2]. D'après [3], la majorité des projets de réutilisation des eaux usées concerne des utilisations agricoles. L'irrigation de cultures ou d'espaces verts est la voie la plus répandue de réutilisation des eaux usées urbaines. Au niveau mondial, c'est également la solution qui a le plus d'avenir à court et à moyen terme.

Cette technique n'engendre aucun investissement supplémentaire parce que l'eau est déjà produite pour l'usage domestique, après pollution elle sera récupérée et épurée. Au lieu d'être rejetée au milieu naturel, elle sera utilisée en irrigation agricole. Cette ressource additionnelle est non négligeable et disponible en permanence. De plus, sa valeur agronomique est assurée par l'apport de fertilisants. La boue générée par l'épuration, est riche en matière organique et en nutriments, au lieu d'être mise en décharge ou incinérée, elle peut être utilisée comme support de fertilisant ou amendement organique.

En outre et en dépit de l'ampleur des retombées générées par les eaux usées sur la dégradation du milieu environnemental, sur la pénurie d'eau et par voie de conséquence sur la santé publique, selon [4] en Algérie, peu d'importance est accordée aux services d'assainissement comparés aux services d'approvisionnement en eau potable. Les problèmes d'assainissement demeurent une préoccupation majeure et nécessitent une prise en charge conséquente par des mesures appropriées dans une optique de sauvegarde et de respect de l'environnement [5]. Cet état de fait nous oblige à donner de l'importance et améliorer les performances en localisant les défaillances dans le système d'assainissement par la recherche des indicateurs de performance, qui peuvent également être mobilisées pour analyser la viabilité du service d'assainissement. La mise en place de ces indicateurs de performances constitue donc un outil d'aide à la gestion améliorée des stations d'épuration et des systèmes de collecte des eaux [6].

Pour la mise en œuvre du projet de réutilisation agricole des sous produits de l'épuration, une étude de faisabilité est déterminante. Elle visera les différentes contraintes liées à la mise en place du projet, notamment la possibilité technique relative à la caractérisation des sous produits de l'épuration, la possibilité économique engendrée par une analyse économique et enfin la possibilité sociale qui examine la recevabilité et la tendance de la société vis-à-vis une éventuelle réutilisation agricole des sous produits de l'épuration.

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude axée essentiellement sur :

- L'aptitude des eaux usées épurées et des boues d'épuration de la ville de Médéa à la réutilisation en agriculture.
- La recherche d'indicateurs de performances qui permettront d'identifier les insuffisances dans le système d'assainissement de la ville de Médéa et d'améliorer le rendement des installations d'évacuation et d'épuration des eaux usées.
- L'analyse économique qui permet de conclure si le projet doit être mis en place et vise à déterminer si le projet est économiquement justifié, c'est-à-dire si les bénéfices sont supérieurs aux coûts, ainsi que l'évaluation du gain économique non monétaire.
- L'étude sociologique qui identifie et examine la recevabilité et l'avis de la population sur un tel projet c.-à-d. voir si la population va accepter ou rejeter cette approche comme une alternative dans l'irrigation et l'épandage agricole.

Pour ce faire, le présent travail comporte deux parties; la première est une synthèse bibliographique constituée de deux chapitres, relatifs à la composition et traitement des eaux usées ainsi que la réutilisation agricole des sous produits de l'épuration, notamment les boues et les eaux épurées. Une deuxième axée autour d'une étude expérimentale structurée en deux chapitres, présentant la station d'épuration (STEP) de Médéa et les méthodes utilisées et moyens d'analyses effectuées, ensuite les résultats et interprétations des analyses trouvées sur les plans :

- Caractérisation des eaux brutes, épurées et la boue de la STEP de Médéa,
- Identification des indicateurs de performances de la STEP,
- Etude et analyse économique du projet de réutilisation de sous produits de la STEP de Médéa,
- Analyse et enquête sociale.

Enfin, une conclusion dans la quelle seront exposés les principaux résultats de ce travail et les recommandations y afférentes.

Première partie : Etude Bibliographique

Chapitre I

Composition et traitement des eaux usées

I.1. COMPOSITION DES EAUX USEES

Une eau usée est une eau polluée chargée de substances minérales et organiques, issues de l'activité humaine provoquant, sous une concentration anormale, une dégradation de la qualité de l'eau naturelle du milieu récepteur [4].

On distingue trois grandes catégories d'eaux usées :

- les eaux usées domestiques : Eaux vannes (WC) et les eaux sanitaires et ménagères,
- les eaux industrielles : Eaux de process, eaux de refroidissement,...
- les eaux pluviales : Provenant du ruissellement des eaux de pluie.

Les eaux usées urbaines arrivant aux stations d'épuration sont majoritairement constituées d'eaux usées domestiques dans les cas de réseaux d'assainissement séparatifs, auxquelles viennent s'ajouter les eaux pluviales issues du ruissellement sur les ouvrages routiers, toitures, etc... Dans le cas de réseau d'assainissement unitaire dans les zones industrialisées, des eaux usées industrielles peuvent également arriver aux stations d'épuration.

De part les quantités d'éléments véhiculés dans les eaux usées et la toxicité de certains d'entre eux, les eaux usées doivent être épurées avant d'être rejetées dans les eaux naturelles. Les principaux constituants des eaux usées que les traitements vont tenter de diminuer sont :

- les matières en suspension (MES),
- les matières oxydables (pollution carbonée) caractérisées généralement par:
 - La demande biochimique en oxygène (DBO₅ en mg/l d'O₂), quantité d'oxygène consommée en 5 jours par une biomasse pour décomposer les matières organiques.
 - La demande chimique en oxygène (DCO en mg/l d'O₂) qui représente la matière oxydable par voie chimique.
- l'azote et le phosphore (mg/l),
- les métaux lourds, les graisses et détergents,
- les germes et les virus.

I.1.1. Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiment arrachées par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales très riches en MES, d'êtres vivants planctoniques (notamment les algues). Elles correspondent à la concentration en éléments non dissous d'un échantillon.

L'abondance des matières en suspension dans l'eau favorise la réduction de la luminosité et abaisse la production biologique du fait, en particulier, d'une chute de l'oxygène dissous consécutive à une réduction des phénomènes de photosynthèse [7].

Ce sont des matières biodégradables pour la plupart. Les micro-organismes sont le plus souvent adsorbés à leur surface et sont ainsi « transportés » par les MES. Elles donnent

également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures [8].

I.1.1.1. Les matières volatiles en suspension (MVS)

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension. Elles sont mesurées par calcination à 560°C d'un échantillon dont on connaît déjà la teneur en MES; elles constituent environ 70 à 80 % des MES [9].

I.1.1.2. Les matières minérales (MM)

C'est la différence entre les matières en suspension et les matières volatiles. Elles représentent donc le résidu de la calcination et correspondent à la présence de sels, silice et poussières par exemples [9].

I.1.2. La demande biologique en oxygène (DBO₅)

La Demande biochimique en oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour assimiler la pollution biodégradable sur une période définie. En effet, une période allant de 21 à 28 jours serait nécessaire aux micro-organismes pour assimiler la totalité de la pollution biodégradable. Il a été déterminé qu'une période de 5 jours correspondait à l'assimilation de la pollution biodégradable carbonée (oxydation), et qu'ensuite les micro-organismes assimilaient la pollution biodégradable azotée (nitrification). Pour des raisons pratiques, on prendra en compte pour cette analyse la première phase de 5 jours que l'on notera DBO₅.

La détermination de la Demande Biochimique en Oxygène est une façon indirecte d'évaluer la quantité de matières biodégradables essentiellement organiques contenues dans l'eau.

L'effet principal des matières biodégradables sur le milieu récepteur est l'appauvrissement en oxygène dissous de ce milieu qui résulte de leur dégradation [10].

I.1.3. La demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO (demande chimique en oxygène) est la mesure de la quantité d'oxygène apportée par un réactif chimique (oxydant) pour détruire toutes les matières organiques biodégradables et non biodégradables [10].

I.1.4. Les matières azotées

L'azote peut se présenter dans les eaux aussi bien sous forme minérale qu'organique. En général, s'agissant des eaux naturelles, ce sont les formes minérales qui sont de loin les plus importantes.

Un certain nombre de termes doivent être précisés :

- **Azote total**

L'azote total comprend l'ensemble des formes azotées, aussi bien minérales qu'organiques.

- **Azote KJELDAHL**

L'azote KJELDAHL correspond à celui qui se trouve sous la forme de composés azotés organiques et d'ammonium. Il ne comprend donc pas des composés oxydés de l'azote tels les nitrates et nitrites, ni certaines autres formes, oximes, hydrazine, hétérocycles.

L'expression « azote KJELDAHL » trouve son origine dans le nom de celui qui a mis au point la méthode universelle utilisée pour doser les fractions azotées concernées.

- **Azote minéral**

L'azote minéral est constitué par l'ammoniaque, les nitrites, les nitrates.

- **Azote organique**

L'azote organique est essentiellement formé par des protéines, des polypeptides, de l'urée, des acides aminés.

- **Azote ammoniacal**

L'azote ammoniacal représente l'azote sous la forme NH_4^+ .

Compte tenu des définitions ci dessus, il existe les relations suivantes entre les différentes fractions azotées :

$$\text{N-total} = \text{N-organique} + \text{N-minéral} \quad (1)$$

$$\text{N-KJELDAHL} = \text{N-organique} + \text{N-NH}_4^+ \quad (2)$$

$$\text{N-minéral} = \text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^- \quad (3)$$

La relation (2) permet ainsi de déterminer l'azote organique à partir de la mesure de l'azote KJELDAHL et de l'azote ammoniacal.

On a en effet :

$$\text{N-organique} = \text{N-KJELDAHL} - \text{N-NH}_4^+ \quad (4) \quad [7]$$

L'élimination complète de l'azote est possible par sa transformation en azote gazeux (N-gaz) qui se dégage alors dans l'atmosphère. Cette transformation s'effectue en plusieurs étapes, dans des conditions très différentes :

L'azote organique se transforme en azote ammoniacal avec ou sans oxygène dissous, en station ou dans les réseaux d'assainissement: l'ammonification.

La transformation de l'azote ammoniacal en nitrite puis en nitrate s'effectue en présence d'oxygène sous l'action de bactéries nitrifiantes (autotrophe). Cette transformation est appelée : la nitrification.

La transformation des nitrates en azote gazeux est réalisée en absence d'oxygène dissous sous l'action des bactéries dénitrifiantes (hétérotrophes) : C'est la dénitrification [10].

La présence d'azote organique ou ammoniacal se traduit par une consommation d'oxygène dans le milieu naturel et par une entrave à la vie des poissons [11]. L'azote ammoniacal est toxique pour les poissons, à dose très faible (moins de 5 mg/l pour certaines espèces). Sa

transformation par les bactéries nitrifiantes présentes dans les cours d'eau consomme l'oxygène des rivières, au détriment des autres formes de vie. En effet l'oxydation biologique d'un kilo d'ammonium utilise cinq à six fois plus d'oxygène que la dégradation d'un kilo de matière organique exprimée en DBO₅ [12].

I.1.5. Les matières phosphorées

Le phosphore P est un élément indispensable pour les organismes vivants, il entre dans la constitution des cellules, des enzymes, des os et joue un rôle important dans les mécanismes énergétiques; il est utilisé comme engrais pour favoriser la croissance des plantes [13].

Le phosphore est présent dans l'eau sous plusieurs formes, en particulier :

- le phosphore organique noté P-orga,
- les orthophosphates notés PO₄.

L'ensemble des formes phosphorées représente le Phosphore Total noté P_T.

Dans l'eau usée urbaine, le phosphore total provient pour moitié des rejets humains et pour moitié des phosphates contenus dans les lessives. Les concentrations sont de l'ordre de 15 à 25 mg/l. Au cours du traitement, la quasi totalité du phosphore est transformée en orthophosphate, que l'on devra éliminer par traitement spécifique de déphosphatation si la protection du milieu naturel l'exige [10]. D'après [11] c'est un élément indispensable à la vie des algues. La présence de phosphore entraîne un risque d'eutrophisation du cours d'eau ou du lac, c'est-à-dire que celui-ci peut se voir envahi par un développement excessif de la population algale.

I.1.6. Les métaux lourds

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines proviennent « des produits utilisés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels ».

Les éléments cités dans la littérature comme étant les plus dangereux sont le plomb (Pb), l'arsenic (As), le mercure (Hg), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni) [8].

Les métaux lourds sont caractérisés par le phénomène de bioaccumulation qui est le fait des êtres vivants qui peuvent être végétaux ou animaux. Pour tous les métaux lourds, il est possible de trouver une plante ou un animal appartenant à la chaîne alimentaire de l'homme qui sert d'accumulateur vivant de métaux lourds [14].

La pollution métallique pose un problème particulier; car les métaux ne sont pas biodégradables et peuvent causer des dégâts considérables à la faune et la flore aquatique. En outre, certains se concentrent dans les organismes vivants tout au long de la chaîne alimentaire. Ils peuvent ainsi atteindre des taux très élevés dans certaines espèces consommées par l'homme et entraîner des risques pour la santé [15].

Ces métaux doivent en particulier être retirés de l'eau; ils sont généralement adsorbés sur les matières en suspension présentes dans l'eau brute et l'élimination de ces MES suffit alors à garantir leur élimination [16].

I.1.7. Les micro-organismes pathogènes

D'après [17], les microorganismes retrouvés dans les eaux usées se répartissent en 4 groupes : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Ils proviennent de l'environnement et des matières fécales; la flore entérique (*i.e.* intestinale) peut contenir des microorganismes pathogènes. On ne parlera ici que de ces derniers. Ils ont des effets divers sur la santé : ils sont la cause d'infections bénignes (gastro-entérite par exemple) comme de maladies mortelles (choléra,).

Le pouvoir pathogène des microorganismes (ou pathogénicité) dépend de plusieurs facteurs qui seront brièvement décrits.

I.1.7.1. Les virus

Les virus sont des parasites intracellulaires de très petite taille (10 à 350 nm) qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. Leur concentration dans les eaux usées urbaines est comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel [8].

Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries. Ils sont présents soient intentionnellement (après une vaccination intramusculaire contre la poliomyélite par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement. Le mode d'infection est, dans la majorité des cas, l'ingestion mais il peut également exister des cas d'inhalation.

Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries et que leurs faibles dimensions soient à l'origine de leurs possibilités de dissémination [17].

I.1.7.2. Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0.1 et 10 μm . Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^7 à 10^8 bactéries/l dont 10^6 entérocoques et entérobactéries, 10^4 à 10^5 streptocoques fécaux et 10^3 à 10^4 Clostridium. La majorité de ces organismes ne présentent pas un danger pour la santé et la concentration en bactéries pathogènes peut atteindre de l'ordre de 10^4 /l.

Toutefois, chez un hôte infecté, le nombre de bactéries pathogènes peut être très important. Les bactéries entériques sont adaptées aux conditions de vie dans l'intestin, c'est-à-dire une grande quantité de matière carbonée et de nutriments, et une température relativement élevée (37°C.). Leur temps de survie dans le milieu extérieur, où les conditions sont totalement différentes, est donc limité. Par ailleurs, les bactéries pathogènes vont se trouver en

compétition avec les bactéries indigènes d'origine environnementale, ce qui limitera leur développement.

La voie de contamination majoritaire est l'ingestion. Les bactéries pathogènes d'origine hydrique sont responsables de la mort de 3 à 10 millions de personnes par an dans le monde [17].

I.1.7.3. Les protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries (taille comprise entre 1 et 200 μm). La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire, qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées. Parmi les protozoaires les plus « connus », on peut citer *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne [17].

I.1.7.4. Les helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. Les œufs d'helminthes sont très résistants et peuvent notamment survivre plusieurs semaines voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10³ œufs/l [8].

I.1.7.5. Facteurs de la pathogénicité chez les microorganismes

Les microorganismes présents dans l'environnement ou dans l'eau ne vont pas déclencher systématiquement une maladie s'ils sont absorbés. La pathogénicité dépend de plusieurs facteurs qui peuvent être regroupés sous deux catégories: la physiologie du microorganisme et celle de l'hôte infecté [17].

I.1.7.5.1. Physiologie du microorganisme

D'après [17], La latence est la durée nécessaire pour qu'un pathogène devienne infectieux. Elle diffère selon les microorganismes. Ainsi, elle est faible (de nulle à 48 h) pour la majorité des virus, des bactéries et des protozoaires qui sont immédiatement infectieux dès qu'ils pénètrent dans l'hôte. En revanche, elle peut atteindre plusieurs semaines pour les helminthes en raison de la nécessaire maturité des œufs ou de leur passage imposé dans un hôte intermédiaire non humain.

Par ailleurs, dans des conditions favorables (pH, température, ensoleillement, ...) et suivant la nature du microorganisme (tableau I-1), les pathogènes peuvent survivre plusieurs semaines, voire plusieurs mois sur le sol, sur les plantes ou dans l'eau, ce qui présente un risque pour la santé publique non négligeable [18].

Tableau I-1 : Caractéristiques épidémiologiques de quelques agents pathogènes

Agents	Quantité excrétée par g de fèces	Latence	Survie	Dose infectante DI 50 ⁸ (unité)
VIRUS				
Entérovirus	10 ⁷	qq heures	3 mois	< 100
Hépatite A	10 ⁶	0	?	?
Rotavirus	10 ⁶	0	?	?
BACTERIES				
Coliformes	10 ⁸	0	3 mois	+ /- 10 ⁹
Salmonella typhi	10 ⁸	0	2 mois	10 ⁷
Autres Salmonelles	10 ⁸	0	2-3 mois	10 ⁶
Shigella	10 ⁷	0	1 mois	10 ⁴
PARASITES				
Amibe dysent	10 ⁷	0	25 jours	10 à 100
Giardia lamblia	10 ⁵	0	25 jours	10 à 100
Ascaris	10 ⁴	qq jours	> 1 an	quelques unités
Taenia	10 ⁴	qq jours	9 mois	1

Source : [17]

1.1.7.5.2. Physiologie de l'hôte infecté : notion de Dose Minimale Infectieuse (DMI)

La DMI correspond à la quantité de pathogènes qui doit être absorbée pour que des symptômes de la maladie se manifestent chez quelques sujets au moins. Les DMI sont très variables selon le type biologique de l'agent (tableau I.2).

Tableau I-2 : DMI moyennes des agents pathogènes présents dans les eaux usées

Microorganisme	Dose Minimale Infectieuse (unité)
Bactéries	10 ² – 10 ⁶
Virus	10 ²
Protozoaires	10 ¹ – 10 ²
Helminthes	1 – 10 ¹

Source : [17]

La DMI est différente aussi en fonction des individus et de leur réaction physiologique face à la contamination. La réponse de l'hôte est extrêmement variable, elle dépend des caractéristiques des individus exposés aux pathogènes, comme l'âge, le sexe, voire l'activité : c'est la variabilité interindividuelle. Enfin, il peut y avoir une contamination entre individus. La contamination peut avoir lieu à cause d'individus malades, mais les pathogènes peuvent également être transportés par des porteurs sains, c'est-à-dire, des sujets infectés mais non malades, qui excrètent l'agent pathogène autour d'eux sans que des signes d'alerte en permettent le diagnostic [17].

I.2. TRAITEMENT DES EAUX USEES

Avec le temps et l'évolution des modes de vie et l'intense développement de l'urbanisation et de l'industrialisation, les rejets d'eaux usées ont évolué et ne cessent d'augmenter et sont devenus plus difficiles à traiter.

Les rejets domestiques se sont enrichis en produits complexes et polluants. Les réseaux d'assainissement recueillent maintenant les rejets industriels, commerciaux et artisanaux, eux aussi chargés en produits polluants. Les eaux de pluies se chargent en produits minéraux et organiques divers et augmentent donc la quantité d'eaux usées à traiter.

Toutes ces eaux doivent être collectées et évacuées dans le milieu récepteur. Et afin d'être assimilées par ce dernier il est nécessaire de soutenir les processus naturels d'épuration par des systèmes complémentaires de traitement.

Si aucun traitement n'est proposé, les cours d'eau se retrouvent pollués, l'épuration des eaux usées a donc pour but de réduire la charge polluante que les eaux usées contiennent pour rendre à la nature une eau suffisamment propre pour son utilisation future.

I.2.1. Collecte des eaux usées

S'il est relativement facile de prévoir et de contrôler les volumes d'eaux usées domestiques, il en va différemment des eaux pluviales. Donc les eaux à évacuer sont, d'une part, les eaux usées domestiques ou assimilées et, d'autre part, les eaux pluviales.

Réduire la pollution suppose non seulement un bon outil de traitement mais également des réseaux pour que les eaux usées soient acheminées à la station. Lorsque des réseaux spécifiques sont construits pour les eaux usées et pour les eaux pluviales, on parle de réseaux séparatifs. Lorsque les eaux usées et pluviales sont évacuées par un même émissaire, on parle de réseaux unitaires [19].

L'écoulement des eaux usées se fait par gravité, selon la pente imposée lors de la construction du collecteur. Il existe donc deux types de réseau de collecte :

Le réseau unitaire

➤ Est moins coûteux que le réseau séparatif, et Les eaux pluviales contribuent à diluer la pollution des eaux usées urbaines.

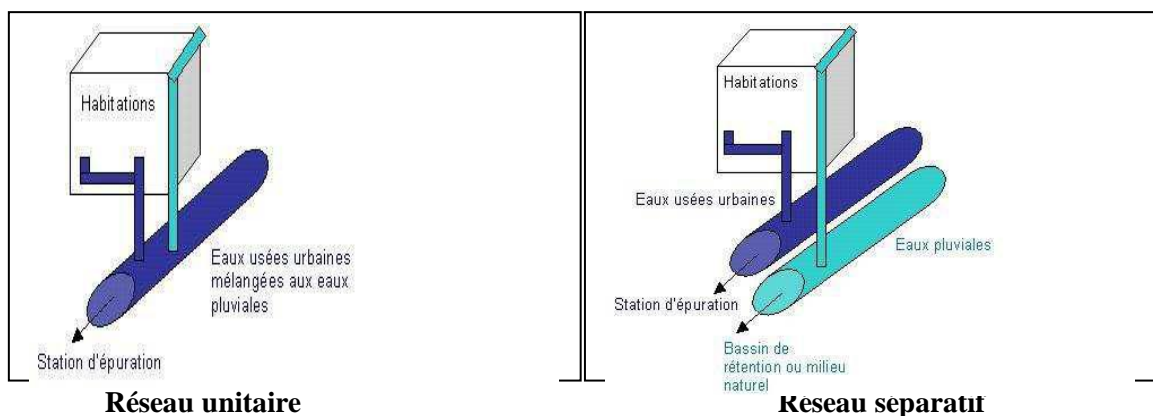


Figure I.1 : Réseaux de collecte des eaux usées unitaire et séparatif

- En cas de fortes pluies, la capacité de stockage des stations d'épuration ne permet pas de traiter tout le volume d'eau. Les eaux en surplus sont rejetées sans traitement dans le milieu naturel.

- Des précipitations abondantes entraînent une remise en solution de dépôts dans les canalisations et accentuent la charge de pollution qui arrive à la station.

Le réseau séparatif

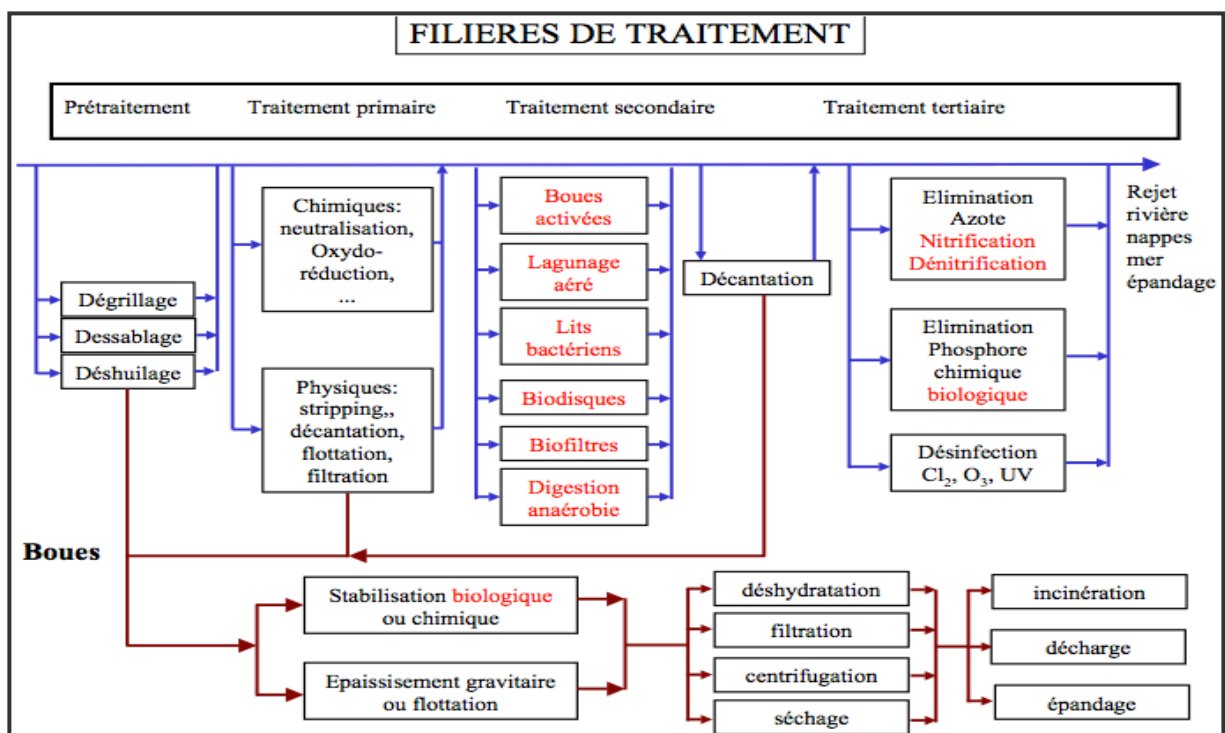
➤ Evite le risque de débordement d'eau usée dans le milieu naturel lorsqu'il pleut. Il permet de mieux maîtriser le flux et sa concentration en pollution et de mieux adapter la capacité des stations d'épuration et il facilite l'écoulement de l'eau de pluie jusque dans le milieu naturel.

- Ce système est plus coûteux à mettre en place que le réseau unitaire.
- Le réseau séparatif est difficile à mettre en place dans les quartiers possédant déjà un système unitaire.

I.2.2. Généralités sur les filières de traitement

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. En dehors des plus gros déchets présents dans les eaux usées, l'épuration doit permettre au minimum d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée.

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, trois niveaux de traitements sont définis (figure I.2) :



Sources: [20]

Figure I.2 : Les différentes filières de traitements des eaux usées

- **Les prétraitements** consistent à débarrasser les eaux usées des polluants solides les plus grossiers (dégrillage, dessablage et déshuilage). Ce sont de simples étapes de séparation physique.
- **Les traitements primaires** regroupent les procédés physiques ou physico-chimiques visant à éliminer par décantation une forte proportion de matières minérales ou organiques en suspension. Ces traitements primaires ne permettent d'obtenir qu'une épuration partielle des eaux usées. Pour répondre aux exigences réglementaires, une phase de traitement secondaire doit être conduite.
- **Les traitements secondaires** recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles (carbone, azote, et phosphore). Ils constituent un premier niveau de traitement biologique.
- **Les traitements tertiaires** dans certains cas sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible. A titre d'illustration, les rejets dans les eaux de baignade, dans des lacs souffrant d'un phénomène d'eutrophisation ou dans des zones d'élevage de coquillages sont concernés par ce troisième niveau de traitement. Les traitements tertiaires peuvent également comprendre des traitements de désinfection. La réduction des odeurs peut encore être l'objet d'attentions particulières.

I.2.3. Prétraitement

I.2.3.1. Dégrillage

Le principe du dégrillage consiste en l'insertion d'une grille en travers du courant d'eau usée à prétraiter dans le but d'éliminer des déchets volumineux et protéger la station de traitement. La grille peut être droite ou courbe ; placée en position verticale ou inclinée ; dans ce dernier cas elle présente au courant d'eau une plus grande surface.

L'espacement entre les barreaux permet de fixer la taille des déchets à éliminer ; pour cela, on distingue trois types de dégrillage, en fonction de la taille des détritrus à éliminer :

- 30 à 100 mm : prédégrillage
- 10 à 30 mm : dégrillage moyen
- 03 à 10 mm : dégrillage fin

Pour éviter le colmatage de l'installation, une opération de nettoyage est obligatoire, elle peut être manuelle dans le cas des petites stations ou automatique lorsque le volume des déchets à évacuer est important.

Selon [21], la vitesse de passage de l'eau doit permettre l'application des matières sur la grille sans provoquer de perte de charge importantes ni entraîner des colmatages en profondeur des barreaux.

- Vitesse moyenne de passage : $0.6 < V < 1.00$ m/s
- Perte de charge : $0.05 \text{ m} < \Delta h < 0.15 \text{ m}$

I.2.3.2. Dessablage

L'objectif essentiel du dessablage est de retenir les particules sédimentables afin de protéger les installations de l'aval, les dépôts de sables réduisant en outre la débitance des conduites. En théorie, le dessablage vise à piéger les matériaux denses ($d > 2$) et de taille grenue (diamètre $D > 0.2$ à 0.25 mm, voire à 0.5 mm), c'est à dire essentiellement des particules minérales type graviers et sables. Cependant, il est inévitable qu'une petite proportion de matière organique soit retenue au niveau de ces matériaux, ce qui engendre des problèmes de fermentation en anoxie au fond du bassin, aussi des procédés de lavage de sable sont-ils souvent mis en œuvre [22].

Au niveau pratique, la capture des particules est obtenue en réduisant leur vitesse, ce qui permet de distinguer les dessableurs rectangulaires (section mouillée large) des dessableurs tangentiels (mise en œuvre d'une force centripète).

Les dessableurs longitudinaux sont dimensionnés pour atteindre une vitesse de particule comprise en général entre 0.2 et 0.5 m/s. Ces ouvrages peuvent être aérés ou non afin d'assurer une séparation de la fraction organique fixée sur les sables et les graisses (ce sont alors des dessableurs- déshuileurs utilisés en station d'épuration pour des débits supérieurs à environ 50 l/s). L'efficacité des ouvrages est très variable et dépend en partie des conditions de conception (hydraulique) et surtout des conditions de fonctionnement, c'est à dire des débits admis [22].

Le volume de sable recueilli dans les dessableurs varie entre 5 et 12 litres par habitant et par an. Il dépend de la nature de l'effluent ; du type de réseau, de l'état de la voirie, etc... [9].

I.2.3.3. Déshuilage - dégraissage

Les problèmes de déshuilage et de dégraissage en prétraitement des eaux urbaines sont très complexes. En effet, ces deux opérations sont réalisées ensemble bien que correspondant à deux phénomènes physiques différents. Le déshuilage correspond à une opération de séparation liquide-liquide, le dégraissage correspond à une opération de séparation solide-liquide (à condition que la température de l'eau soit suffisamment basse pour permettre le figeage des graisses) [23].

L'objectif du déshuilage est de retenir les graisses et les huiles (particules de densité plus faible que l'eau) afin de protéger le milieu naturel. En effet, ces éléments peuvent former en zone calme une couche fine (souvent irisée) en surface qui réduit les échanges gazeux eau-atmosphère. Cette opération de séparation est également essentielle pour protéger les installations sensibles situées à l'aval (dans les stations d'épuration, les corps gras peuvent gêner l'efficacité des traitements biologiques qui interviennent ensuite et former des émulsions perturbant notamment les écoulements) [22].

Les déshuileurs sont en général dimensionnés pour des vitesses ascensionnelles voisines de 15 m/h, et il en existe de différents types: des déshuileurs indépendants installés après un dessableur ou des ouvrages combinés dessableur-déshuileur. Le premier type est souvent

utilisé pour des bassins de retenue pluviale, le bassin est alors simplement équipé de cloisons siphonides. Le second type est plus compact, il est en général utilisé dans les stations d'épuration et met en œuvre une insufflation d'air par fines bulles pour obtenir la flottation des graisses [22].

I.2.4. Traitement primaire

Lorsqu'il est nécessaire, le traitement primaire permet d'éliminer les matières particulaires (essentiellement les MES) par des procédés physiques ou physico-chimiques. Parmi les technologies habituellement rencontrées à ce stade de l'épuration, on trouve le décanteur primaire pour les procédés physiques et la coagulation-floculation-décantation primaire en tant que procédé physico-chimique [17].

La décantation primaire est chargée d'éliminer la fraction la plus grossière des matières décantables des eaux usées. 40 à 60 % des matières en suspension sont ainsi éliminées et avec elles, de 25 à 40% des matières organiques. Des traitements de coagulation et de floculation permettent, grâce à l'addition des réactifs chimiques, de séparer les fines particules en suspension et une partie de la fraction colloïdale. Ces procédés permettent d'obtenir des abattements de 50 à plus de 90 % des MES. La charge polluante organique est réduite dans des proportions bien supérieures à ce que procure une simple décantation primaire [24].

I.2.5. Traitement secondaire (biologique)

Le traitement biologique des eaux usées est le procédé qui permet la dégradation des polluants grâce à l'action des micro-organismes. Ce processus existe spontanément dans les milieux naturels tels que les eaux superficielles suffisamment aérées. Cette microflore, extrêmement riche, peut s'adapter à divers types de polluants qu'elle consomme sous forme de nourriture (substrats). Il est ainsi possible d'utiliser systématiquement cette microflore dans un processus contrôlé pour réaliser l'épuration des eaux résiduaires [25].

Les différents procédés d'épuration biologique peuvent être classés selon la nature des micro-organismes mis en jeu (aérobies et anaérobies). Actuellement en traitements d'eaux résiduaires urbaines, seuls les procédés aérobies sont pratiquement utilisés.

Les procédés anaérobies sont, quant à eux, soit réservés à la stabilisation des boues en excès soit au traitement d'effluents industriels très chargés [26].

Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés biologiques extensifs et intensifs.

I.2.5.1. Les procédés biologiques conventionnels ou intensifs

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.

Deux grands types de procédés sont utilisés :

- Les traitements sur support fixe : les lits bactériens et les disques biologiques
- Les traitements sur support libre: les boues activées

I.2.5.1. 1. Les traitements sur support fixe

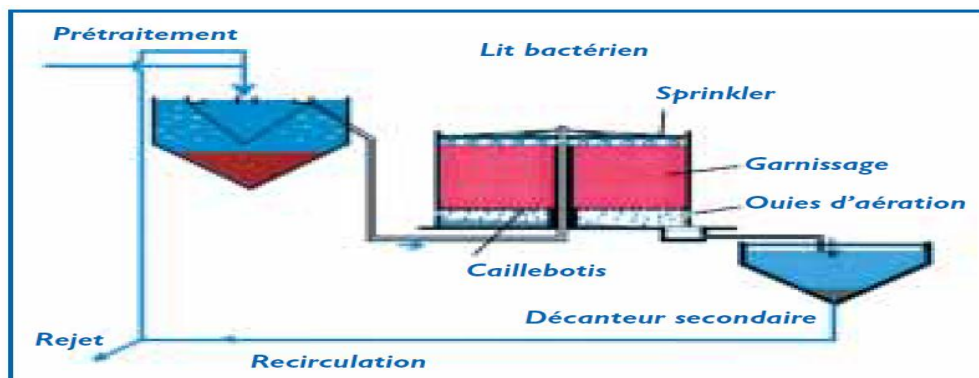
I.2.5.1. 1.1. Les lits bactériens

Cette filière consiste à alimenter en eau, préalablement décantée, un ouvrage contenant une masse de matériau (pouzzolane ou plastique) servant de support aux micro-organismes épurateurs qui y forment un film biologique responsable de l'assimilation de la pollution. Le film biologique se décroche au fur et à mesure que l'eau percole [27].

En sortie du lit bactérien, est recueilli un mélange d'eau traitée et de biofilm. Ce dernier est piégé au niveau d'un décanteur secondaire sous forme de boues et l'eau traitée rejoint le milieu naturel. La recirculation des boues vers le décanteur digesteur est essentielle.

Les eaux usées sont réparties sur la partie supérieure du lit dans la majorité des cas, au moyen d'un distributeur rotatif (sprinkler). La satisfaction des besoins en oxygène est obtenue par voie naturelle ou par aération forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire aux bactéries aérobies pour les maintenir en bon état de fonctionnement [27].

Les matières polluantes sont assimilées par les micro-organismes formant le film biologique. Celui-ci est constitué de bactéries aérobies à la surface et de bactéries anaérobies en profondeur.



Source : [27]

Figure I.3 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien

Les sous produits et le gaz carbonique normalement produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides ou gazeux. Les boues excédentaires qui se décrochent naturellement du support sous l'effet de la charge hydraulique sont séparées par décantation secondaire [28].

I.2.5.1. 1.2. Les Disques biologiques

Les supports de la microflore épuratrice sont des disques partiellement immergés dans l'effluent à traiter et animés d'un mouvement de rotation lequel assure à la fois le mélange et l'aération. Les microorganismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques sont semi-immersés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée [27].

L'effluent est préalablement décanté pour éviter le colmatage du matériau support. Les boues qui se décrochent sont séparées de l'eau traitée par clarification.

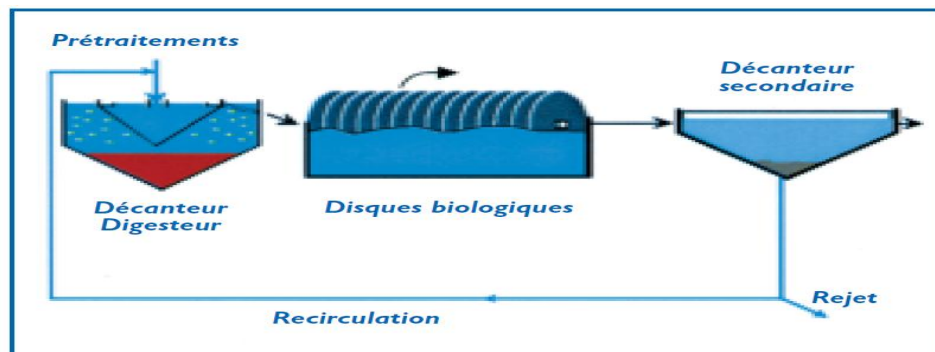
L'unité de disques biologiques est constituée de disques en plastique rotatifs montés sur un arbre dans un bassin ouvert rempli d'eaux usées.

Les disques tournent lentement dans le bassin et lorsqu'ils passent dans les eaux usées, les matières organiques sont absorbées par le biofilm fixé sur le disque rotatif. L'accumulation de matières biologique sur les disques en augmente l'épaisseur et forme une couche de boues. Lorsque les disques passent à l'air libre, l'oxygène est absorbé, ce qui favorise la croissance de cette biomasse. Quand cette dernière est suffisamment épaisse (environ 5 mm) une certaine quantité se détache et se dépose au fond de l'unité.

L'alternance de phases de contact avec l'air et l'effluent à traiter, consécutive à la rotation du support permet l'oxygénation du système et le développement de la culture bactérienne.

Lors de la phase immergée, la biomasse absorbe la matière organique qu'elle dégrade par fermentation aérobie grâce à l'oxygène atmosphérique de la phase émergée.

Les matériaux utilisés sont de plus en plus légers (en général du polystyrène expansé) et la surface réelle développée de plus en plus grande (disque plat ou alvéolaire) [28].



Source : [27]

Figure I.4 : Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique

I.2.5.1. 2. Les traitements sur support libre

I.2.5.1.2.1. Les boues activées

a)- Principe

C'est actuellement le procédé le plus répandu pour traiter des eaux résiduaires urbaines et au vue des recherches en cours, on peut penser que cette suprématie durera encore de nombreuses années [27].

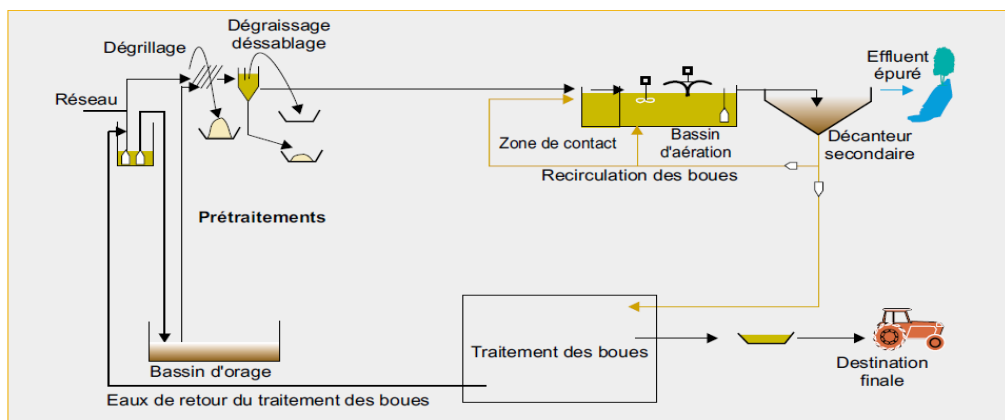
Il s'agit en fait d'un ensemble de procédés qui ont tous en commun le développement d'une culture bactérienne disposée sous forme de flocons (boues activées) dans un bassin brassé et aéré (bassin d'aération ou bioréacteur), alimenté en eau à épurer : cette eau pouvant avoir subi ou non un traitement primaire plus ou moins poussé (décantation avec ou sans réactif).

Dans le bassin d'aération, le brassage a pour but d'éviter les dépôts et d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée. L'aération a pour but de fournir aux bactéries

aérobies l'oxygène dont elles ont besoin pour épurer l'eau. L'aération est effectuée généralement à partir de l'oxygène de l'air soit par l'intermédiaire d'aérateur de surface à axe vertical (turbines lentes) ou à axe horizontal (brosses) soit par des dispositifs d'insufflation d'air (disques poreux et plus récemment membranes micro perforées). Dans les premiers cas, brassage et aération sont assurés par un même dispositif, alors que pour l'insufflation d'air, des dispositifs de mélange dissociés (hélice à vitesse lente) sont immergées pour assurer le brassage lors des arrêts de l'aération. Dans certains cas, on peut être amené à utiliser un gaz enrichi en oxygène, voire même de l'oxygène pur [26].

Après un temps de contact suffisant, la liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur appelé parfois décanteur secondaire destiné à séparer l'eau épurée des boues. Cet ouvrage de séparation solide-liquide est un ouvrage capital qui conditionne très fréquemment le bon ou le mauvais fonctionnement d'une station. C'est pourquoi, sur les grandes stations ou pour des traitements particuliers comme la déphosphatation biologique, les clarificateurs sucés sont préconisés, car ils permettent de minimiser et de mieux distribuer le temps de séjour des boues.

Les boues déposées au fond du décanteur secondaire sont pour une part recyclées dans le bassin d'aération afin d'y maintenir une concentration suffisante en bactéries épuratoires, pour une autre part extraites et évacuées vers la ligne de traitement des boues [26].



Source : [26]

Figure I.5 : Schéma de la filière boue activée

b)- Charge massique et performances

Un des critères fréquemment utilisés pour caractériser les différents systèmes de boues activées est la charge massique C_m qui traduit le rapport entre la masse journalière de pollution à éliminer et la masse des bactéries épuratoires mises en œuvre. On distingue ainsi des systèmes :

Tableau I.3 : Influence de la charge massique sur les paramètres d'exploitation

C_m	$C_m < 0,07$	$0,07 < C_m < 0,2$	$0,2 < C_m < 0,5$	$C_m > 0,5$
Paramètre d'exploitation	Aération prolongée	Faible charge	Moyenne charge	Forte charge

Rendement d'épuration sur la DBO ₅ (%)	95 %	95 %	90 %	85 %
Nitrification (oui = +, non = -)	+	+	-	
Production de boues biologiques en excès (kg boues/kg DBO ₅ éliminée)	0.8	0.9	0.9 - 1.1	> 1,2
Concentration maximale en boues admissible en aération (g/l)*	5	4 - 5	3 - 4	2
Temps de séjour de l'eau dans le bioréacteur (heure)	17 - 18	10 - 15	4 - 8	5
Consommation d'O ₂ en aération (kg d'O ₂ /kg DBO ₅ éliminée)	1.5 - 1.7**	1.3 - 1.5	0.9 - 1	0.7 - 0.8

* Cette concentration dépend de la conception générale de l'installation (clarificateur, ligne de traitement des boues) et des caractéristiques de décantation.

** La nitrification peut conduire à des consommations spécifiques d'oxygène plus importantes.

- à forte charge massique : $C_m > 0.5$ kg DBO₅ /kg de boues/jour;
- à moyenne charge massique : $0.2 < C_m < 0.5$;
- à faible charge massique : $0.07 < C_m < 0.2$;
- à aération prolongée : $C_m < 0.07$.

Chacun de ces systèmes présente des caractéristiques bien particulières (rendement, production de boues en excès, consommation énergétique, ...) résumées schématiquement dans le tableau II.1 (Ces chiffres donnés à titre indicatif s'entendent pour une eau résiduaire urbaine moyennement chargée (DBO₅ = 250 mg/l) sans apports industriels, comportant une parfaite clarification finale) [26].

Le tableau appelle quelques remarques :

Pour les procédés à forte charge, le rendement d'élimination de la DBO₅ chute à moins de 85 %, ce qui, sur une eau résiduaire urbaine classique n'est plus suffisant pour produire un effluent à 25 mg/l de DBO₅. Il est alors nécessaire de faire précéder l'étage boues activées d'une décantation primaire. Par contre, pour les procédés à plus faible charge, du point de vue uniquement rendement épuratoire, la décantation primaire n'est pas obligatoire.

Dans une région tempérée, seuls les procédés d'aération prolongée ou de faible charge très soigneusement dimensionnés permettent la nitrification (oxydation des formes réduites de l'azote en nitrites et nitrates).

Ces différentes concentrations en boues admissibles dans les bassins d'aération s'expliquent par leurs aptitudes différentes à la décantation. Ces procédés à forte charge donnent d'une

façon générale des boues plus gonflées (indice de Mohlman élevé) que les procédés à charge plus faible. Ceci oblige donc, de façon à conserver un volume de boues raisonnable dans les clarificateurs, à travailler avec des concentrations en boues plus faibles.

Les consommations spécifiques en oxygène sont plus élevées dans les procédés type aération prolongée que dans les procédés type forte charge.

L'examen de ce tableau montre que le choix entre tel ou tel type de traitement doit faire entrer en ligne de compte :

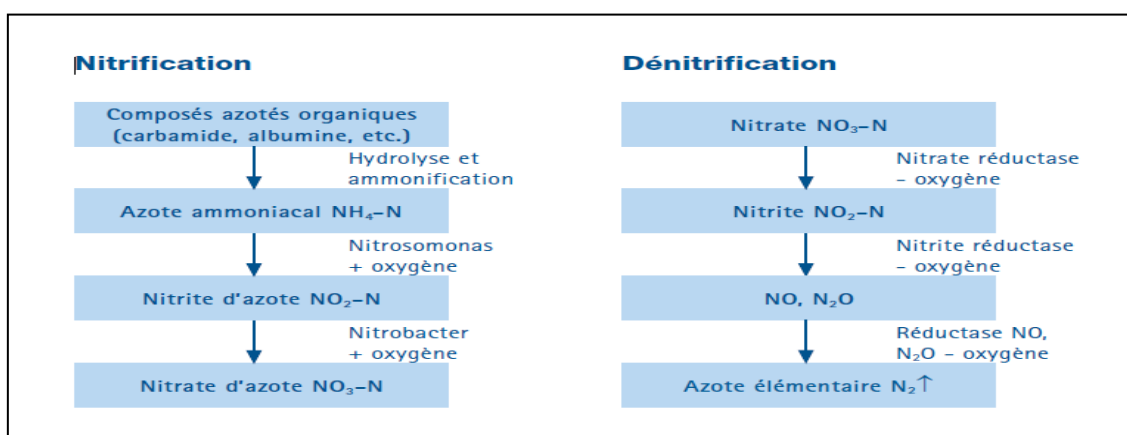
- Les coûts d'investissement;
- Les coûts d'exploitation;
- Les rendements d'épuration souhaités;
- Les contraintes d'exploitation;
- Le devenir des boues en excès.

Il n'y a donc pas un type de traitement idéal mais des traitements spécifiques correspondant à des besoins différents [26].

c)- Traitements d'élimination biologique de la pollution azotée

Ce sont aujourd'hui les procédés biologiques aérobies qui s'avèrent les plus compétitifs et les mieux adaptés au traitement de l'azote des effluents urbains et industriels, en raison de leur facilité de mise en œuvre, de leur coût modéré et de la possibilité de combiner l'élimination des pollutions carbonées et azotées [29].

Les eaux qui arrivent dans une station d'épuration contiennent majoritairement de l'azote organique (carbamide, albumine, etc.) et de l'azote ammoniacal. Le rapport précis entre les deux paramètres dépend entre autres de la longueur du réseau de canaux, car c'est là que commence la transformation de l'azote organique en NH_4-N . Dans la station d'épuration, l'ammonification se poursuit jusqu'à ce que l'azote à l'entrée du bassin des boues activées se présente principalement sous forme de NH_4-N [30].



Source : [30]

Figure I.6 : Processus de décomposition lors de l'élimination de l'azote

➤ **Nitrification**

Lors du traitement biologique des eaux usées, le $\text{NH}_4\text{-N}$ est transformé en $\text{NO}_2\text{-N}$ puis en $\text{NO}_3\text{-N}$ grâce à l'apport d'oxygène. Cependant, les microorganismes responsables de la nitrification (Nitrosomonas et Nitrobacter) sont très fragiles. Ils ont besoin de températures constantes (jamais inférieures à 12 °C), d'un rapport C/N/P favorable et d'une alimentation en oxygène suffisante. L'âge des boues doit être adapté à la lente croissance des nitrifiants. Si la nitrification s'interrompt, le processus mettra plusieurs jours à se stabiliser [30].

➤ **Dénitrification**

Dans des conditions anoxiques, la transformation du $\text{NO}_3\text{-N}$ en azote élémentaire s'effectue via les produits intermédiaires $\text{NO}_2\text{-N}$ et $\text{NO/N}_2\text{O}$. La dénitrification a lieu avant (en amont), pendant (simultanément) ou après (en aval, rarement) la purification biologique.

Pour cette étape, il est important de disposer d'une quantité suffisante de carbone (majoritairement du méthanol) facilement dégradable. Il ne doit rester aucune trace d'oxygène dissous [30].

Les traitements par boues activées sont des procédés couramment utilisés pour l'élimination de l'azote des effluents urbains et industriels par nitrification et dénitrification.

➤ **Procédé de nitrification et dénitrification en bassin unique :**

La nitrification et la dénitrification se font alternativement par le séquençage de l'aération. La dissociation des fonctions de brassage et d'aération est ici obligatoire pour optimiser la réduction des nitrates. Le bassin unique doit être suffisamment dimensionné pour permettre la réalisation successive des deux réactions ; c'est un bassin hydraulique à mélange intégral type bassin classique rectangulaire ou mieux chenal d'oxydation. Bien évidemment, une régulation des plages de fonctionnement des aérateurs doit être mise en place (utilisation de sondes redox).

➤ **Procédé de nitrification et dénitrification à zone anoxie de tête :**

Le procédé repose sur le concept de la zone anoxie en tête. Le principe est lié au fait que la dénitrification nécessite une source de carbone et que cette source est maximale dans l'effluent brut.

L'installation comporte trois ouvrages en série :

- Une zone anoxie brassée et non aérée dans laquelle est introduit l'effluent brut, la boue recirculée et la liqueur mixte ;
- Le bassin d'aération fonctionnant à une charge de 0.15 kg $\text{DBO}_5/(\text{kg MVS} \cdot \text{j})$ pour assurer la nitrification ;
- Et le clarificateur assurant la séparation de la biomasse de l'eau épurée.

Les nitrates produits sont renvoyés par l'intermédiaire du recyclage des boues et de la liqueur mixte dans la zone anoxique, où ils sont alors réduits en azote gazeux par l'utilisation du carbone contenu dans les eaux brutes. Le degré de dénitrification va donc être dépendant du taux de recyclage employé (un rendement de 100 % entraîne un recyclage infini). Ce principe ne permet donc théoriquement, avec un recyclage maximal de 500 % (400 % de liqueur mixte

et 100 % en recirculation des boues du clarificateur) qu'une réduction des nitrates de l'ordre de 85 %. En réalité, une partie de la dénitrification s'opère dans le bassin d'aération lors des séquences d'arrêt des aérateurs. Ce complément de dénitrification endogène permettra, si le dimensionnement est suffisant, d'obtenir des rendements supérieurs à 90 % [29].

d)- Traitements d'élimination biologique de la pollution phosphorée

Le principe de la déphosphatation biologique consiste en une suraccumulation de phosphore dans une biomasse. Si des teneurs de 2 à 3 % en phosphore dans les boues sont obtenues sous des conditions normales de dégradation d'un substrat organique, le mécanisme de suraccumulation nécessite de placer la biomasse alternativement en phase anaérobie (sans oxygène même lié à un composé chimique) et aérobie [11].

Pour les procédés assurant en plus une élimination de l'azote, la zone de dénitrification, caractérisée par la présence de nitrate, est donc assimilée à une zone aérobie. Mis dans ces conditions, les micro-organismes accumulent du phosphore, jusqu'à 10 % de leur poids sec, sous forme de granulés de polyphosphate.

En globalité, une biomasse déphosphatante, dans laquelle bien entendu existent d'autres bactéries, pourra stocker jusqu'à 6 % de son poids sec en phosphore.

Les réactions intervenant dans chaque zone peuvent être résumées ainsi :

— **zone anaérobie** : synthèse de réserves de polyhydroxybutyrate (PHB) via les ions acétate produits à partir du substrat organique de l'eau à traiter, relargage par les micro-organismes déphosphatants du phosphore intracellulaire ;

— **zone aérobie** : suraccumulation du phosphore sous forme de granulés de polyphosphate, consommation des réserves de PHB.

Ces phénomènes, indispensables au processus de déphosphatation biologique, vont conditionner la conception des filières de traitement.

Le schéma de base devra comporter au moins une zone anaérobie où se produira le relargage du phosphore et au moins une zone aérée où les réactions de surassimilation se réaliseront.

Pour obtenir une bonne déphosphatation biologique, l'élément essentiel est la présence d'une quantité suffisante de matières organiques facilement assimilables dans l'eau à traiter. À partir d'une eau usée urbaine classique, on obtient, en moyenne, un rapport de 3.5 % de phosphore éliminé par DBO₅ consommée. Cela conduit à n'assurer par voie biologique qu'entre 50 et 65 % d'élimination du phosphore.

Cette limitation oblige, pour atteindre les niveaux PT, à envisager des solutions mixtes où la part de phosphore restante sera précipitée par l'ajout de réactif [11].

I.2.5.2. Les procédés biologiques extensifs

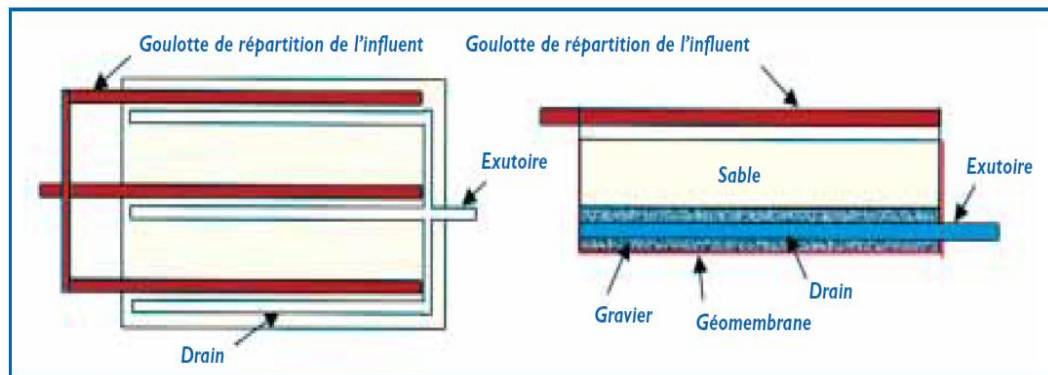
Les techniques dites extensives sont des procédés qui réalisent l'épuration à l'aide de cultures fixées sur support fin ou encore à l'aide de cultures libres mais utilisant l'énergie solaire pour produire de l'oxygène par photosynthèse. Le fonctionnement de ce type d'installation sans

électricité est possible, excepté pour le lagunage aéré pour lequel un apport d'énergie est nécessaire pour alimenter les aérateurs ou les matériels d'insufflation d'air.

I.2.5.2.1. Les cultures fixées sur support fin

I.2.5.2.1.1. L'infiltration-percolation

L'infiltration-percolation d'eaux usées est un procédé d'épuration par filtration biologique aérobie sur un milieu granulaire fin. L'eau est successivement distribuée sur plusieurs unités d'infiltration. Les charges hydrauliques sont de plusieurs centaines de litres par mètre carré de massif filtrant et par jour. L'eau à traiter est uniformément répartie à la surface du filtre qui n'est pas recouvert. La plage de distribution des eaux est maintenue à l'air libre et visible [27]. Une autre variante intéressante de l'épuration par le sol est constituée par les filtres à sable horizontaux ou verticaux enterrés. Ces techniques utilisées, avant tout, pour les situations relevant de l'assainissement autonome restent intéressantes pour l'assainissement autonome regroupé concernant quelques centaines d'équivalents-habitants. Pour un filtre à sable vertical enterré, un dimensionnement de $3.5 \text{ m}^2 / \text{hab}$ est nécessaire et une alimentation basse pression recommandée [27].



Source : [27]

Figure I.7 : Infiltration-percolation étanchée et drainée

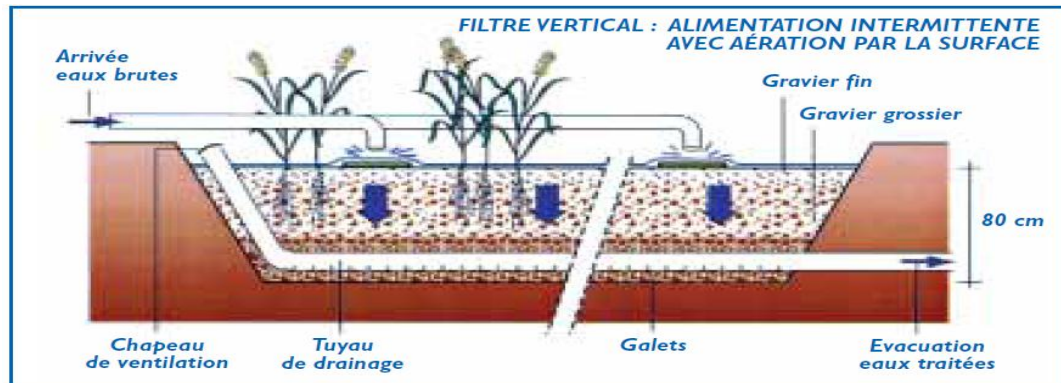
I.2.5.2.1.2. Les filtres plantés à écoulement vertical

Les filtres sont des excavations, étanchées du sol, remplies de couches successives de gravier ou de sable de granulométrie variable selon la qualité des eaux usées à traiter.

Contrairement à l'infiltration-percolation précédemment évoquée, l'influent brut est réparti directement, sans décantation préalable, à la surface du filtre. Il s'écoule en son sein en subissant un traitement physique (filtration), chimique (adsorption, complexation...) et biologique (biomasse fixée sur support fin). Les eaux épurées sont drainées. Les filtres sont alimentés en eaux usées brutes par bâchées. Pour un même étage, la surface de filtration est séparée en plusieurs unités permettant d'instaurer des périodes d'alimentation et de repos [27]. Le principe épuratoire repose sur le développement d'une biomasse aérobie fixée sur un sol reconstitué. L'oxygène est apporté par convection et diffusion. L'apport d'oxygène par les racelles des plantes est, ici, négligeable par rapport aux besoins.

La filière se compose :

- d'un dégrillage ;
- d'un premier étage de filtres verticaux ;
- d'un second étage de filtres verticaux [27].



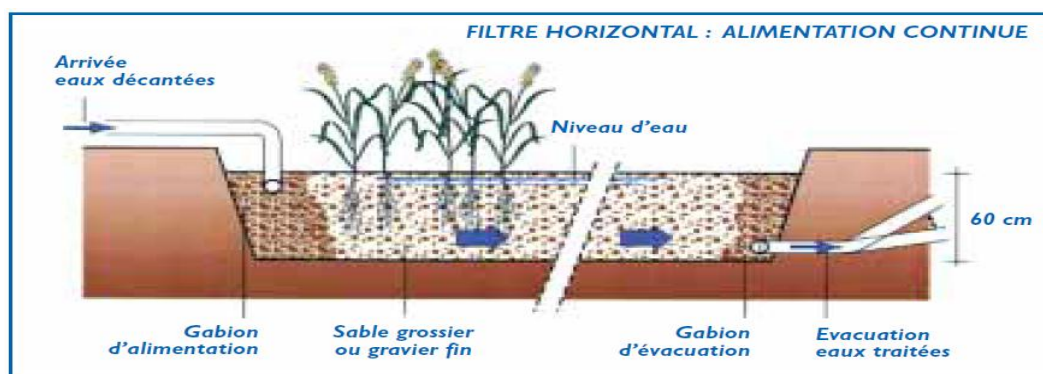
Source : [27]

Figure I.8 : Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical

I.2.5.2.1.3. Les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal

Dans les filtres à écoulement horizontal, le massif filtrant est quasi-totalement saturé en eau. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin; il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal au travers du substrat. La plupart du temps, l'alimentation s'effectue en continu car la charge organique apportée est faible [27].

L'évacuation se fait par un drain placé à l'extrémité opposée du lit, au fond et enterré dans une tranchée de pierres drainantes. Ce tuyau est relié à un siphon permettant de régler la hauteur de surverse, et donc celle de l'eau dans le lit, de façon à ce qu'il soit saturé pendant la période d'alimentation. Le niveau d'eau doit être maintenu environ à 5 cm sous la surface du matériau. En effet, l'eau ne doit pas circuler au-dessus de la surface pour ne pas court-circuiter la chaîne de traitement ; il n'y a donc pas d'eau libre et pas de risque de prolifération d'insectes [27].



Source : [27]

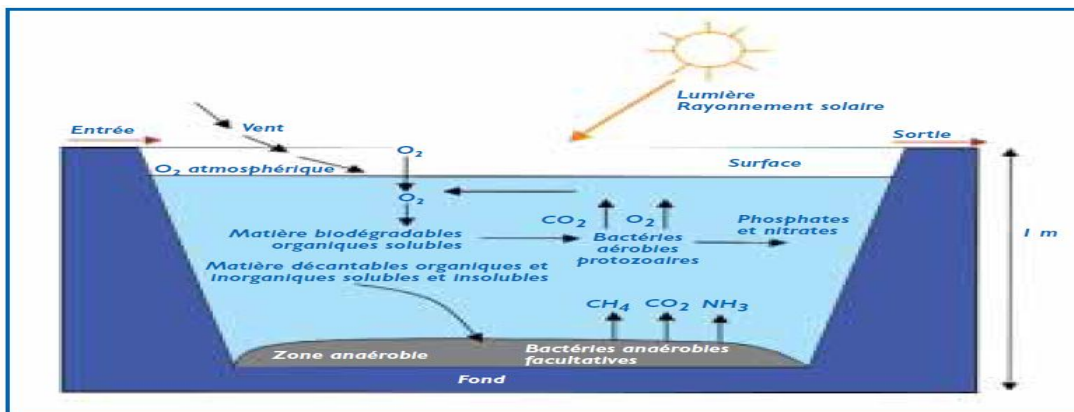
Figure I.9 : coupe transversale d'un filtre planté à écoulement horizontal

I.2.5.2.2. Les cultures libres

I.2.5.2.2.1. Le lagunage naturel

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. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique [27].

Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. 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.



Source : [27]

Figure I.10 : Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel

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 [27].

I.2.5.2.2.2. Le lagunage aéré

L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apportée 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) [27].

I.2.6. Traitement tertiaire ou les traitements complémentaires

A l'issue du traitement secondaire, l'eau traitée est parfois directement rejetée en milieu naturel. Autrement, elle subit un troisième niveau de traitement, visant soit la réutilisation

directe à des fins agricoles ou industrielles voire humaines, soit la protection des milieux naturels ou des systèmes de captage situés en aval.

Ces traitements complémentaires concernent l'azote, le phosphore (traitements biologiques déjà vus dans le traitement secondaire) et la désinfection.

La désinfection vient parachever le traitement en éliminant les germes potentiellement pathogènes encore présents dans l'eau. L'éventail des techniques de désinfection est assez large. On y retrouve le traitement au chlore, à l'ozone et à l'ultraviolet.

I.2.6.1. La déphosphatation chimique

Le traitement biologique ou physico-chimique permet une augmentation appréciable de la « valeur » agricole des boues dont les teneurs en phosphore sont trois fois supérieures à des boues issues d'une station classique.

Le procédé physico chimique consiste en une élimination chimique des phosphates par adjonction de réactif qui donne naissance à un précipité complexe insoluble. Ce procédé est particulièrement adapté pour des ouvrages de faible capacité [23].

Les principaux réactifs utilisés sont des sels métalliques et (ou) la chaux

$\text{Fe}(\text{SO}_4)$: sulfate ferreux, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)$: sulfate d'alumine, FeCl_3 : chlorure ferrique, $\text{FeCl}(\text{SO}_4)$: chlorosulfate ferrique, $\text{Ca}(\text{OH})_2$: chaux

Les techniques utilisées se classent en trois catégories suivant l'endroit où est injecté le réactif dans la station :

- Pré précipitation (primaire)
- Précipitation simultanée (boues activées)
- Post- précipitation (tertiaire)

Ces techniques sont connues et utilisées, elles permettent d'atteindre des rendements d'épuration élevés de façon fiable: rendements supérieurs à 80% et des concentrations de 1 à 2 mg/l de phosphore total.

La performance de traitement dépend de la qualité de réactif mis en œuvre ainsi que des conditions de fonctionnement de la décantation secondaire (en effet toute augmentation de la concentration en MES de sortie a une incidence directe sur la qualité de rejet en phosphore).

Pour des rendements d'épuration supérieurs à 80% les quantités de réactif mises en jeu sont fondées sur les rapports molaires Fe/P ou Al/P de l'ordre de 1 à 2 [23].

Les atouts majeurs de la déphosphatation physico-chimique sont un rendement d'élimination du phosphore élevé et une mise en œuvre aisée.

Tableau I.4 : Comparatif entre les méthodes d'élimination du phosphore

	Voie biologique	Voie physico-chimique
Elimination du Phosphore	Rendement instable : 50-70%	Potentiellement très poussé
Equipement nécessaire	Bassin d'anaérobiose équipé	Système d'injection et de stockage des réactifs

Coût de fonctionnement	Faible	Plus élevé
Production supplémentaire de boues	Négligeable	20% environ
Qualité de la boue	Inchangée	Meilleure décantabilité
Impact sur le traitement des Boues	Épaississement par voie mécanique obligatoire	Aucun
Impact de la composition de l'eau sur le rendement	Fort	Faible

Source: [31]

Cependant, elle se caractérise par un coût de fonctionnement non négligeable (les réactifs employés sont introduits en excès) et une production de boues importante.

Les avantages et inconvénients de cette méthode et de celle par voie biologique sont comparés dans le Tableau I.4.

I.2.6.2. La désinfection

I.2.6.2.1. La chloration

Le chlore est un oxydant puissant qui réagit à la fois avec des molécules réduites et organiques, et avec les micro-organismes. Le chlore agit dans l'ordre suivant : il réagit premièrement avec des minéraux réducteurs comme le fer, le manganèse ou le cyanure. Puis il réagit avec les molécules organiques, ce qui donne des dérivés halogénés éventuellement cancérigènes.

Ensuite, il peut réagir avec des composés azotés, ce qui donne des chloramines qui ont un pouvoir germicide. Et enfin, il s'attaque directement aux micro-organismes, notamment en perturbant l'activité enzymatique. L'action désinfectante du chlore est donc très réduite tant que toutes les autres molécules avec lesquelles il peut réagir n'ont pas été consommées. Donc les traitements de purification et de clarification en amont ont une très grande importance pour permettre une bonne efficacité du traitement, et éviter d'avoir à utiliser trop de chlore. D'autant plus que la déchloration, qui permet de limiter considérablement l'effet toxique de certains produits, coûte cher.

I.2.6.2.2. L'ozonation

L'ozone est produit par le passage d'un flux électrique dans de l'oxygène. Il réagit avec les composés minéraux réducteurs, avec la matière organique et les microorganismes.

– Il permet l'élimination de la couleur à 90 %, un abattement de la DCO de 20 % et une réoxygénation du milieu. Il permet l'élimination des bactéries, des virus et des protozoaires. C'est le seul procédé vraiment efficace contre les virus. Les tests de toxicité effectués sur des poissons, des crustacés et des algues n'ont pas permis de mettre en évidence une quelconque toxicité [8].

I.2.6.2.3. Les ultraviolets UV

Les systèmes UV désinfectent en inactivant les micro-organismes comme les bactéries, les virus, et les parasites qui pourraient causer des épidémies.

Dans le large spectre des rayonnements électromagnétiques, l'efficacité des longueurs d'ondes UV-C (200 à 280 nm), pour inactiver ces micro-organismes, est reconnue. Elles endommagent les acides nucléiques (ADN ou ARN) et stoppent la reproduction de ces organismes.

– L'effet germicide des systèmes UV varie en fonction de plusieurs facteurs: qualité et débit d'eau à traiter, ainsi que la dose UV que l'on applique. La dose est fonction de l'intensité UV délivrée par le système et le temps d'exposition dans le réacteur [32].

I.2.7. Traitement des boues

I.2.7.1. Généralités

Le processus de dépollution des eaux usées produit d'un côté de l'eau épurée, de l'autre des sous-produits en grande quantité : les boues. Au même titre que les eaux débarrassées de leur pollution retournent en permanence dans le milieu naturel, les boues qui représentent chaque jour un volume considérable, doivent trouver une destination en continu. C'est pour ces raisons que se développent des techniques de traitement des boues de plus en plus poussées. Le but de cette filière "boues" est de transformer un déchet produit au sein de la station en un produit stabilisé et valorisable [33].

En fonction des processus de traitement d'épuration des eaux usées, 3 grandes catégories de boues peuvent être distinguées: les boues de traitement primaire, les boues de traitement physico-chimique et les boues de traitement biologique [34] :

- **Les boues de traitement primaire** sont produites par simple décantation des matières en suspension (MES) contenues dans les eaux usées.
- **Les boues de traitement physico-chimique**, , sont issues de l'agglomération des matières organiques particulaires ou colloïdales contenues dans les eaux par l'addition d'un réactif coagulant dont les plus courants sont les acides et les bases, les sulfates d'aluminium ou de fer, les chlorures ferreux ou ferriques, etc. Les boues sont ensuite séparées par décantation. 90% des matières en suspension peuvent ainsi être captés. Ces boues sont essentiellement produites dans des stations balnéaires ou de montagnes qui sont conçues pour traiter des variations saisonnières importantes de la charge polluante [35].
- **Les boues de traitement biologique** sont essentiellement formées par les résidus de bactéries « cultivées » dans les ouvrages d'épuration. Ces bactéries se nourrissent des matières organiques contenues dans les eaux usées et les digèrent. La plupart des procédés font appel à des microorganismes anaérobies facultatifs et hétérotrophes qui ont un métabolisme aérobie en présence d'oxygène et un métabolisme anaérobie en absence d'oxygène et utilise le carbone organique à la fois comme source d'énergie et

pour leur synthèse cellulaire. Ces traitements sont essentiellement réservés aux eaux usées chargées en matières organiques [35].

Comme il peut y' avoir à partir de ces catégories :

- **Les boues mixtes** : constituées d'un mélange de boues primaires et biologiques, elles proviennent de la plupart des stations de traitement.
- **Les boues d'aération prolongée**, obtenues sans décantation primaire avec des matières polluantes intensivement aérées. Les boues sont peu concentrées, moins organiques et donc moins susceptibles de produire des nuisances.

I.2.7.2. Définition et objectifs

Le traitement des boues est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier les caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale fiable et sans nuisance.

Les boues résiduelles en excès sont, au moment de leur extraction du système d'épuration des eaux, un produit :

- peu concentré donc occupant un grand volume
- Fermentescible du fait de la forte teneur en matière organique.

Ces deux caractéristiques sont gênantes quelle que soit la destination des boues et imposent la mise en place d'une filière de traitement.

Tableau I.5 : Les opérations de traitement des boues et leurs objectifs

Opération	But
Stabilisation	Réduire la fermentescibilité des boues pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs
Concentration	Eliminer une partie de l'eau interstitielle afin d'éviter sont transport
Stockage	Assurer une capacité tampon harmonisant les besoins d'extraction et les possibilités d'évacuation à l'extérieur
Homogénéisation	Donner au destinataire finale un produit connu et relativement constant
Conditionnement	Modifier les caractéristiques de la boue afin de faciliter la séparation des phases solides et liquides
Déshydratation	Augmenter la siccité afin de rendre le produit solide ou pâteux

Source: [36]

I.2.7.3. Système de traitement des boues

Telle qu'elles apparaissent au cours du traitement des eaux usées, les boues d'épuration nécessitent un traitement préalable et ce dans le but de réduire leur volume et d'éviter la putréfaction des matières organiques facilement décomposables [37].

On distingue trois grands types de traitement :

I.2.7.3.1. Réduction de la teneur en eau des boues

Pour réduire les volumes à manipuler, différents procédés sont mis en œuvre comprenant, par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation et le séchage [38]. En amont de ces procédés, des traitements dits de conditionnement :

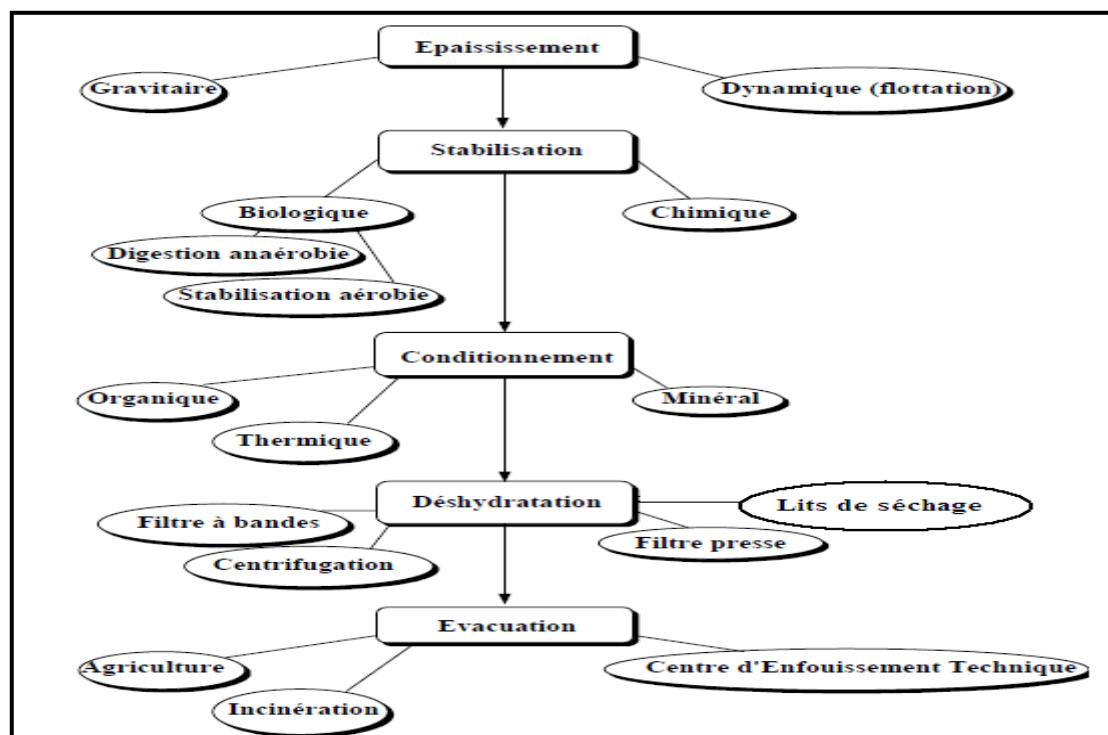
a)- Le conditionnement

Il est souvent utilisé pour favoriser la séparation liquide-solide. Il utilise des flocculants organiques de synthèse (appelés poly-électrolytes) ou minéraux (chaux, sels de fer ou d'aluminium). Le conditionnement peut aussi se faire par voie thermique (autoclavage) et consiste en une cuisson des boues à 180 - 220 °C pendant une demi-heure à deux heures pour casser les liaisons colloïdales propres à la rétention d'eau. Ce procédé est toutefois rarement utilisé en raison des difficultés d'emploi et d'un coût prohibitif [38].

b)- L'épaississement

La première étape du traitement des boues d'épuration est l'épaississement et permet de diminuer le volume des boues à traiter ou à disposer, en plus d'améliorer le rendement de digestion et de déshydratation [39].

Il vise donc à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues [40], sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue. Cet épaississement peut se faire simplement par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation). La siccité des boues épaissies ne dépasse pas usuellement 7 % en moyenne et se situe plutôt vers 5 à 6 %. Généralement, les boues épaissies gravitairement ne sont pas conditionnées et leur siccité plafonne à 3 ou 3.5 %.



Source : [41]

Figure I.11 : Principales filières de traitement des boues.

Ce procédé est fréquent en zone rurale et concerne les petites stations d'épuration, de taille inférieure à 2000 équivalents habitants. L'épaississement dynamique (ou mécanique) devient plus fréquent pour les stations de taille comprise entre 2000 et 5000 équivalents habitants.

Les intérêts de l'épaississement sont multiples.

-A capacité égale, augmentation du temps de séjour dans les cuves de stockage des digesteurs aérobies et anaérobies.

-Amélioration de la sécurité d'exploitation, en particulier dans les installations d'eaux résiduaires urbaines, les boues des décanteurs primaires peuvent être pompées très liquide.

-Amélioration de la production des dispositifs de déshydratation, lits de séchage, filtre sous vide, filtre presse, centrifugeuse [42]; [43].

c)- La déshydratation

Cette technique a pour but l'élimination de la majeure partie de l'eau contenue dans la boue et l'obtention d'un déchet solide facilement manutentionnable et de volume réduit [44]. On a alors :

-Séchage par des procédés mécaniques: soit par des filtres à bandes et les centrifugeuses qui donne des boues plutôt pâteuses en raison de performances de déshydratation qui plafonnent à 18-20% de siccité pour la première famille de matériels, et 20-25% de siccité pour la seconde ;

Soit par des filtres presses qui produisent par contre des boues de structure solide (30 à 35 % de siccité) car conjuguant un conditionnement au lait de chaux et des pressions élevées. Ces matériels sont réservés aux installations les plus importantes, car plus coûteuses et contraignantes d'emploi que les filtres à bande et les centrifugeuses.

-Séchage sur lit : se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combine évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable et de graviers. L'emprise au sol est de 1 m² pour 4 à 5 habitants raccordés.

Ce système extensif donne des boues solides à 35 - 40 % de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques .La boue sèche ainsi obtenue est pelletée, elle contient plus de 50% de matière sèche et peu être utilisée pour l'agriculture. Il arrive souvent qu'un début de végétation croisse au cours de séchage [45].

-Séchage thermique : permet une élimination quasi-totale de l'eau (siccité d'environ 95 %). Les boues obtenues sont pulvérulentes ou en granulés. En raison des coûts énergétiques, ce procédé reste peu utilisé, malgré son intérêt manifeste sur la réduction des volumes à manipuler. Le séchage thermique devrait connaître un nouveau développement dans les années à venir car les autres filières de traitement des boues, dont l'incinération, se renchérissent sous l'effet des nouvelles conditions réglementaires et économiques [45].

I.2.7.3.2. Traitement de stabilisation

Ce mode de traitement consiste soit à forcer l'évolution des boues jusqu'à une minéralisation assez poussée c'est la digestion ; soit une interruption de la vie au sein des boues, il s'agit de la stabilisation physico- chimique [46].

La notion de stabilisation renseigne sur le niveau d'odeur de la boue (absence d'odeur, ou odeur faible, moyenne, forte). A noter qu'une boue peut être traitée, tout en n'étant pas stabilisée au sens défini ci-dessus.

Les traitements de stabilisation utilisés sont de type biologique, chimique ou thermique. Ils s'appliquent aux boues mixtes fraîches, aux boues secondaires ou à l'ensemble des boues afin de réduire leur fermentescibilité, et limiter voire annuler, les nuisances olfactives [47].

a)- Stabilisation biologique

Elle réduit la teneur des boues en matières fermentescibles. La stabilisation biologique se fait soit par: voie aérobie (en présence d'oxygène) dans les bassins d'aération, jusqu'à l'obtention des boues à teneur non négligeable en oxygène et biologiquement stable. La consommation d'énergie de ce procédé ne permet pas d'envisager son utilisation de manière systématique pour les boues d'origine urbaines [48]; soit par voie anaérobie (absence d'oxygène) dans des digesteurs avec production d'un biogaz riche en méthane et on obtient des boues « digérées », encore appelées « Anaérobies » ou « stabilisées anaérobies ».

Pour maintenir l'activité biologique de la station à un bon niveau, une partie de la masse des bactéries ou « biomasse en excès » doit être prélevée soutirée régulièrement, entrants ainsi la dynamique de reproduction bactérienne [34].

b)- Le compostage

Le compostage constitue un procédé particulier de stabilisation biologique aérobie. Il se réalise de préférence sur des boues déjà déshydratées de façon à économiser l'approvisionnement en support de compostage, les boues n'étant pas auto-compostables.

Les boues compostées ont un aspect de « terreau » et présentent une structure solide; elles sont stables. On constate actuellement un fort regain d'intérêt pour cette technique en raison des nouvelles données réglementaires et économiques concernant la gestion des déchets. Le compostage se pratique dans des stations de moyenne taille et ne représente que 2% des tonnages des boues [49].

c)- La stabilisation chimique

Elle bloque simplement l'activité biologique, et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50 % de la matière sèche, en général 30 %) élevant le pH au delà de 12 [47].

Ce traitement apporte un appoint en calcium qui peut être bénéfique, si la boue sera valorisée [50], cité dans [44].

Le chaulage suppose généralement une déshydratation préalable des boues, sauf dans le cas du filtre-pressé où un lait de chaux est mélangé aux boues liquides. Les boues chaulées obtenues sont de structure pâteuse ou solide.

La stabilisation par chaulage connaît un développement soutenu depuis plusieurs années en raison de son efficacité vis à vis de la maîtrise des nuisances olfactives et de l'intérêt des boues pour le chaulage des sols acides.

L'inconvénient majeur est le coût de ce traitement, il faut en effet environ 100g de CaO par Kg de matière sèche, pour diminuer les frais, on ajoute souvent du chlorure ferrique qui améliore la floculation des boues et par conséquent, leur aptitude à la décantation ou à la filtration [51].

Pour être précis, il est utile de souligner que souvent chaulage et compostage se pratiquent sur des boues déjà stabilisées biologiquement en station d'épuration.

Ils constituent en quelque sorte un traitement complémentaire de stabilisation.

Toutefois, pour des boues primaires ou physico-chimiques, ce sont les uniques modes de stabilisation.

D'autres techniques chimiques, basées sur le blocage de l'activité biologique, commencent à être proposées (exemple: procédé de traitement aux nitrites à pH acide).

d)- Le séchage thermique

Le séchage thermique des boues revêt un effet temporaire de stabilisation (par absence d'eau), persistant aussi longtemps que les boues ne sont pas réhumectées.

Le séchage fait intervenir deux techniques :

- soit par action du soleil sur des boues placées sous serre, préalablement déshydratées mécaniquement. Ce procédé concerne surtout les usines d'épuration de petite et moyenne capacité.

- soit par action de la chaleur de manière directe, indirecte ou mixte, selon le type de sécheur.

Ce traitement est plutôt réservé aux usines d'épuration de plus grande capacité [52].

L'intérêt du séchage (réduction des volumes, réduction des odeurs, meilleure manutention) est d'élargir l'éventail des solutions pour les boues et d'en faciliter leur utilisation et l'accès aux filières agronomiques.

I.2.7.3.3. Les traitements d'hygiénisation

Les boues hygiénisées sont des boues qui ont subi un traitement qui réduit à un niveau non détectable les agents pathogènes présents dans les boues. Certains traitements déjà évoqués, détruisent les germes pathogènes contenus dans les boues: le chaulage en élevant le pH au dessus de 12. Le compostage peut détruire les germes pathogènes par les températures élevées (jusqu'à 70°C) atteintes lors du compostage et la sélection de microorganismes saprophytes.

Le séchage thermique est certainement le moyen le plus sûr de détruire les germes pathogènes grâce aux hautes températures et à l'augmentation de la siccité à plus de 95%, tout comme le conditionnement thermique (autoclavage, 195°C à haute pression) [53].

I.2.7.4. Désignation des différents types de boues

D'après [54], l'appellation des différents types de boues intègre un certain nombre de critères ayant trait notamment à la nature des traitements mis en œuvre. En résumant les situations les plus fréquemment rencontrées les principales boues produites sont les suivantes:

- boues liquides issues des traitements aérobies;
- boues pâteuses issues des traitements aérobies et anaérobies;
- boues chaulées, pâteuses ou solides;
- boues physico-chimiques, il s'agit le plus souvent de boues chaulées;
- boues de lits de séchage;
- boues de lagunage (catégorie particulière de boues liquide; le traitement de ces boues se fait de façon extensive, selon un mode anaérobie, au fond des bassins;
- boues compostées.

Chapitre II

Réutilisation des sous produits de l'épuration en agriculture

II.1. REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES

Les eaux usées ne sont plus considérées dans les régions souffrant de pénurie d'eau, comme déchets à éliminer mais comme partie intégrante des ressources potentielles en eau.

La valorisation des eaux usées passe obligatoirement par deux étapes essentielles. La première étape est la collecte des eaux usées dans un réseau d'égouts. La nature et les volumes des eaux usées collectées sont les facteurs les plus déterminants pour le choix du procédé de traitement et bien entendu, pour le dimensionnement des stations d'épuration. Ainsi, la réalisation des stations d'épuration constitue la deuxième étape du schéma général de valorisation des eaux usées. Les effluents une fois traités en générant des sous produits, au lieu d'être déversés dans le milieu naturel, vont être réutilisés pour différents usages dont le principal est La réutilisation agricole.

II.1.1. Définition et objectifs

La récupération et la réutilisation des eaux usées est un des éléments du développement et de la gestion des ressources en eau qui constituent une option durable pour l'agriculture, les municipalités et l'industrie [55].

La Réutilisation des Eaux Usées Traitées (REUT) recouvre deux notions : le traitement puis la réutilisation proprement dite d'eaux usées traitées. Les eaux usées sont celles rejetées par les collectivités, les industries et les particuliers, puis collectées et acheminées par les réseaux d'égouts vers les stations de traitement des eaux usées afin d'y être traitées. Ce n'est qu'à la fin de ces traitements qu'on les appelle eaux usées traitées. La REUT propose de récupérer ces eaux usées traitées, de leur apporter éventuellement un traitement complémentaire et de s'en servir pour différents usages [17].

D'après [56], les motifs qui ont conduit et qui conduisent à envisager la réutilisation des eaux usées traitées sont de deux ordres: en termes de ressource en eau, la valorisation des eaux usées traitées répond à un objectif quantitatif et ce sont surtout les zones arides et semi arides du globe qui sont concernées. En parallèle, dans le domaine de la préservation environnementale, et donc des objectifs qualitatifs, de nombreuses réflexions ont conduit et conduisent à des opérations de réutilisation. L'objectif quantitatif est prépondérant dans la genèse des projets de REUT. Pour répondre à des pénuries chroniques ou occasionnelles, et après prise en compte des coûts d'investissement et d'exploitation, la REUT s'impose de plus en plus comme une solution économiquement pertinente.

Toutefois force est de constater que la mise en œuvre effective de projets de REUT tarde souvent à voir le jour du fait des contraintes institutionnelles et organisationnelles, mais également des réticences culturelles [56].

II.1.2. Types et domaines de réutilisation

II.1.2.1. Les valorisations directes - Le cycle court

Dans cette nomenclature, l'eau usée traitée passe directement du statut d'eau usée au statut de nouvelle ressource après avoir transité par des mécanismes d'épuration [56].

II.1.2.1.1. Valorisation agricole et forestière

C'est actuellement, en volume, l'usage principal de REUT à travers le monde; les modalités de mise en œuvre sont multiples: il existe des périmètres irrigués exclusivement avec des EUT, des périmètres mixtes (certains irrigants s'alimentent au réseau EUT et d'autres sont autonomes), des dispositifs avec stockage ou transfert amont etc....

Au-delà des considérations hydrauliques, agricoles ou financières propres à tout périmètre irrigué, la particularité forte d'une valorisation avec des EUT est la dimension sociale et sociologique d'acceptabilité par les usagers ainsi que les particularités agronomiques associées à la qualité des EUT [56].

La mise en valeur sylvicole est un cas particulier de ce mode de valorisation car elle est moins exigeante en terme qualitatif, et présente des conditions d'acceptabilité très favorables.

II.1.2.1.2. Usages urbains

Selon [56], dans cet usage figurent :

- ✓ l'irrigation d'espaces verts (par réseau spécifique ou par camionnage), dont la gestion incombe le plus souvent à la collectivité,
- ✓ L'alimentation de plans d'eau récréatifs : cette valorisation s'apparente également à la catégorie du cycle long car souvent les eaux usées traitées viennent s'ajouter à l'eau de plans d'eau existants
- ✓ le lavage des rues et des marchés (à l'instar de ce qui se pratique dans certains ports avec des aiguades alimentées en eau de mer)
- ✓ des recyclages d'eaux grises à l'échelle d'un immeuble en vue d'alimenter des circuits particuliers de chasse d'eau ; les expériences japonaises dans ce domaine sont particulièrement avancées.

II.1.2.1.3. L'aquaculture

Cette valorisation est encore relativement embryonnaire à travers le monde mais elle est déjà pratiquée en Inde ainsi que des pays asiatiques à la fois comme procédé d'épuration et pour l'économie piscicole qui en résulte [56].

II.1.2.1.4. La valorisation industrielle

Les applications sont nombreuses et on peut classer les secteurs où se pratique la REUT en fonction des différentes catégories d'activités industrielles: Le secteur chimique et para chimique; Le secteur agro alimentaire; celui du cuir et du textile; le secteur des industries mécaniques, métallurgiques et électroniques. La REUT dans le cadre des circuits de refroidissement constitue un exemple fréquent. A cela s'ajoute les économies d'eau à

l'intérieur d'une unité industrielle par recyclage des eaux de process qui est en quelque sorte une réutilisation interne [56].

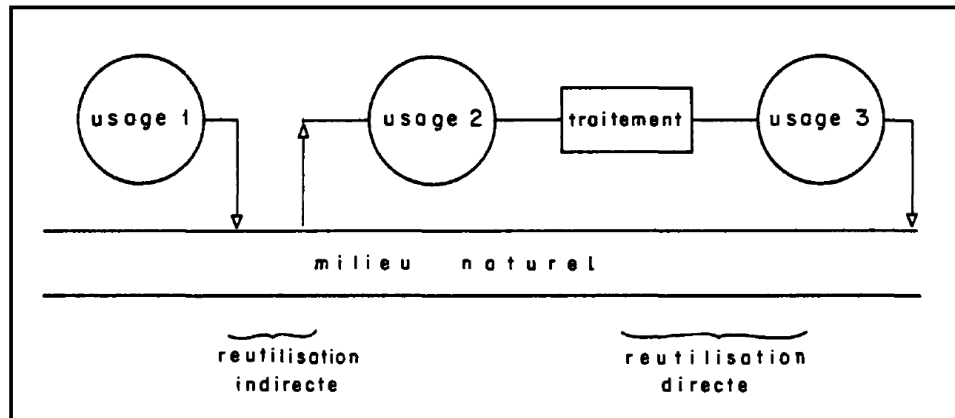
II.1.2.1.5. La valorisation à des fins d'AEP

La réutilisation des eaux à des fins de consommation en eau potable est une catégorie comptant un nombre réduit de projets. En Australie, la ville de Goulburn a mis en œuvre un projet de ce type.

C'est également le cas en Namibie (Windhoek), ou à Singapour où l'eau est mixée avec une ressource conventionnelle. On comprend aisément que le premier frein à ces projets est d'ordre psychologique. Par ailleurs les méthodes de traitement et leur fiabilité doivent être exemplaires pour permettre d'envisager de tels projets [56].

II.1.2.2. Les valorisations indirectes - Le cycle long

On considère généralement qu'il y'a le plus souvent REU par le fait que les effluents restitués, après épuration plus ou moins poussée, au milieu naturel (que ce soit en rivière ou dans le sous-sol), y sont dilués puis remobilisés par un utilisateur situé plus en aval ; nous qualifierons ceci de réutilisation indirecte [57]. La figure II.1 schématise la distinction entre les deux notions de réutilisation. Ces modes de valorisation indirecte peuvent être plus délicats car ils supposent qu'on puisse suivre efficacement le devenir des eaux injectées dans le milieu, ce qui n'est pas forcément simple, dans le cas d'une recharge de nappe par exemple [56].



Source : [57]

Figure II.1 : Types de réutilisation des eaux usées

II.1.2.2.1. Recharge de nappes

D'après [56], le dispositif de la recharge de nappe consiste à faire infiltrer ou percoler les EUT dans le sous sol. On poursuit de la sorte plusieurs objectifs :

- ✓ La restauration d'une nappe surexploitée par excès de pompage et dont le rabattement est préjudiciable,
- ✓ La protection des aquifères côtiers contre l'intrusion d'eau salée,
- ✓ Le stockage des eaux pour une utilisation différée,

- ✓ L'amélioration du niveau de traitement de l'eau, utilisant de la sorte le pouvoir autoépuration du sol
- ✓ La protection de l'environnement en évitant de rejeter les effluents dans un cours d'eau ou en mer.

II.1.2.2.2. Le soutien d'étiage

Le soutien d'étiage peut avoir pour objectif le maintien en vie faunistique d'un tronçon de cours d'eau. Il peut aussi viser à fournir à un cours d'eau (souvent de type oued) un débit dont la destination est d'être partiellement récupéré à l'aval pour différents usages dont principalement l'irrigation [56].

II.1.2.2.3. Alimentation de zones humides

La sauvegarde de zones humides par des EUT constitue à ce jour un domaine non négligeable de la REUT. Là aussi ce sont principalement les enjeux floristiques et faunistiques qui sont ciblés, et plus globalement la sauvegarde et la valorisation du patrimoine environnemental [56].

Nous développerons dans ce qui va suivre la réutilisation en agriculture des sous produits de l'épuration en raison de sa pertinence avec notre recherche.

II.1.3 La valorisation agricole et ses avantages

Parmi les différentes voies d'utilisation des eaux usées, l'irrigation agricole est la plus grande consommatrice d'eau. La valorisation des eaux usées en irrigation est considérée non seulement comme la création d'une nouvelle ressource mais aussi et surtout comme un traitement complémentaire qui permet de limiter le rejet direct dans le milieu naturel [58], qui selon lui, la réutilisation des eaux usées en agriculture apporte en outre des bénéfices additionnels résultant, dans certains cas, de l'augmentation du rendement des cultures et de l'amélioration de l'efficacité des systèmes d'irrigation.

Les principaux avantages qui peuvent découler d'une réutilisation des eaux usées épurées dans le domaine agricole nous citons :

II.1.3.1. Avantages environnementaux

Lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt que toute autre utilisation, l'environnement peut être amélioré. Voici quelques avantages environnementaux :

- La suppression de rejet en eaux de surface, prévient l'éventualité de situations esthétiques désagréables, de conditions anaérobies dans les cours d'eau et l'eutrophisation des lacs et réservoirs.
- La conservation des ressources en eau fournit des avantages à l'utilisation, tel que l'approvisionnement en eau et la préservation des étendues d'eau à usage récréatif.

- La sauvegarde des ressources en eaux souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources pour l'agriculture pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin.
- La possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion [59].

II.1.3.2 Avantages économiques

Du point de vue économique, la réutilisation des eaux traitées en irrigation contribuerait à l'amélioration de la situation économique auprès des agriculteurs. En fait, la disponibilité des eaux permettrait aux agriculteurs de limiter le risque de la sécheresse qui affecte souvent la récolte, pour ce qui est de l'agriculture dite « classique » basée principalement sur les précipitations. L'augmentation des récoltes est l'autre facette positive de cette réutilisation, en raison de la disponibilité des eaux pendant toutes les périodes de l'année à cause de la production quotidienne des eaux usées, ce qui encouragerait les agriculteurs à augmenter le niveau d'irrigation et les variétés de cultures. Un autre avantage est, cette fois, en lien avec les coûts liés à l'utilisation des engrais [60].

II.1.3.3. Avantages sociaux

Selon [60], du côté des avantages sociaux, l'irrigation serait avantageuse pour les agriculteurs, parce qu'elle créerait de l'emploi, limiterait la migration rurale vers les grandes villes et améliorerait la qualité de vie. En fait, le développement de l'irrigation et l'augmentation des rendements agricoles influenceraient d'une manière positive le niveau de vie dans la région.

II.1.4. Risques liés à la réutilisation des eaux usées épurées

II.1.4.1. Le risque sanitaire microbiologique

La plus grande préoccupation associée à la réutilisation des eaux usées, même traitées, est la transmission potentielle de maladies infectieuses, essentiellement, les pathogènes entériques. Les fèces des personnes et des animaux infectés représentent la source principale des pathogènes présents dans les eaux usées. De ce fait et selon [61], la nature et la concentration des microorganismes pathogènes des eaux usées dépendent de la santé des populations sources.

Tableau II.1 : Temps de survie de certains agents pathogènes après excrétion

Agents pathogènes	Temps de survie	
	Dans le sol	Sur les plantes
Virus		
Entérovirus	<100 mais généralement <20 jours	<60 mais généralement <15 jours
Bactéries		
Coliformes intestinaux	< 70 mais généralement <20 jours	<30 mais généralement <15 jours
Salmonelles	< 70 mais généralement <20 jours	<30 mais généralement <15 jours

Vibrio cholerae	< 20 mais généralement <10 jours	< 5 mais généralement < 2 jours
Protozoaires		
Kystes d'Entamoeba histolytica	< 20 mais généralement <10 jours	<10 mais généralement < 2 jours
Helminthes		
OEufs d'Ascaris lombricoïdes	Plusieurs mois	<60 mais généralement <30 jours
Larves d'ankylostomes	< 90 mais généralement <30 jours	<30 mais généralement <10 jours
CEufs de Taenia saginata	Plusieurs mois	<60 mais généralement <30 jours
CEufs de Trichuris trichura	Plusieurs mois	<60 mais généralement <30 jours

Source : [18]

[62] dénombre quatre études traitant des risques posés par la consommation des végétaux irrigués par les eaux usées brutes. Des infections parasitaires dues aux ascaris, aux trichocéphales et aux bactéries ont été observées chez les consommateurs des produits végétaux infectés. Le risque de contamination est élevé dans le cas de la réutilisation des eaux usées brutes comparativement à l'utilisation des eaux usées traitées [62].

Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque. Ainsi, l'irrigation gravitaire affecte la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes ont lieu lors de la maintenance du système d'irrigation. L'irrigation par aspersion crée des aérosols contaminants. Afin de limiter l'impact sanitaire de la réutilisation d'eaux usées pour irriguer des plantes destinées à la consommation humaine, les modes d'arrosage localisés sont recommandés [58]. L'irrigation localisée consiste à arroser les plantes une par une, avec le système goutte à goutte. Elle réduit les risques de contamination microbiologique [58]. Le système goutte à goutte expose le moins les professionnels et les consommateurs. Les risques sont possibles pendant la maintenance des goutteurs qui se bouchent fréquemment à cause des matières en suspension dans l'eau [63]. [64] cite les différentes populations humaines exposées à une pathologie associée à l'utilisation agricole d'effluents bruts ou traités. Le risque, pour les consommateurs de légumes crus, est plus élevé pour les helminthes et moindre pour les bactéries. Pour les consommateurs de viande bovine insuffisamment cuite, la contamination par le ver solitaire (Taenia) est possible car les bovins sont des hôtes intermédiaires. Pour les travailleurs agricoles, le risque est plus élevé pour les helminthes. Dans le laboratoire, l'exposition aux entérovirus est plus élevée. [64] mentionne que les helminthes intestinaux représentent le risque principal (ascaris, trichocéphales, ankylostomes), à un moindre degré, les affections bactériennes (choléra et shigellose), et enfin de façon très limitée, les virus. [62] rapporte que les travailleurs agricoles sont plus exposés aux risques de contamination, quoique l'adaptation immunitaire aux bactéries et aux virus semble exister.

II.1.4.2. Le risque sanitaire chimique

La seule voie de contamination vraiment préoccupante pour les éléments traces est la consommation de plantes cultivées, dans lesquelles ils s'accumulent. Les modes de réutilisation autre que l'agriculture ne semblent pas dangereux. Le danger réside donc dans la

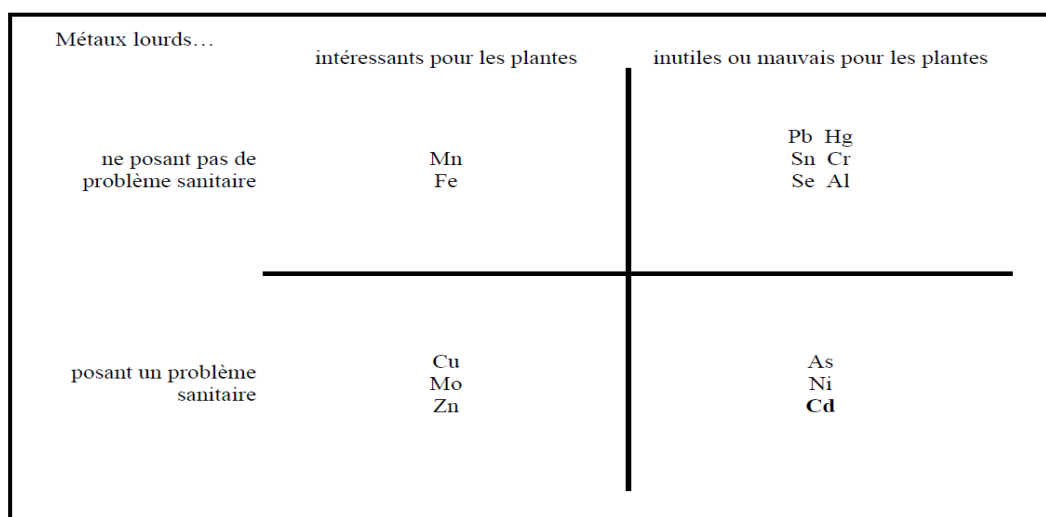
consommation de végétaux contaminés, et exceptionnellement dans une consommation d'eau directe.

Dans le cas d'une réutilisation agricole, l'accumulation des micropolluants dans les plantes peut sembler plus problématique. Mais certains de ces micropolluants peuvent être intéressants en tant que facteurs de croissance des végétaux; il faut donc trouver un équilibre entre le risque sanitaire et l'intérêt agronomique [8].

II.1.4.2.1. Les métaux lourds

On peut séparer les métaux lourds en quatre classes, selon qu'ils sont ou non indispensables au développement des végétaux, et selon qu'ils posent ou non des problèmes sanitaires.

Le manganèse (Mn) et le Fer (Fe) sont tous deux indispensables au bon développement des végétaux, et leur utilisation en agriculture ne pose pas de problème pour la santé. En effet, ils sont déjà naturellement présents en forte proportion dans les sols [8].



Source : [8]

Figure II.2 : Classification des métaux en fonction de leur nuisance et de leur intérêt agronomique

Les métaux suivants ne sont pas indispensables pour les végétaux, mais ne présentent pas non plus de danger pour l'utilisation agricole. En effet : le plomb (Pb) le sélénium (Se), l'étain (Sn) et le mercure (Hg) le chrome (Cr) et enfin, l'aluminium (Al).

Il existe des métaux lourds indispensables pour les végétaux, mais dont l'utilisation en agriculture peut poser des problèmes. Il s'agit : du cuivre, molybdène et le zinc.

Enfin, il existe trois métaux lourds qui ne sont pas indispensables au développement des végétaux, et qui, de plus, sont dangereux d'un point de vue sanitaire. Il s'agit : de l'arsenic (As) du nickel (Ni) du cadmium (Cd) [8].

En conclusion, [8] a remarqué que le risque posé par les métaux lourds dépend de leur toxicité potentielle et du niveau d'exposition (concentration, durée) ; par ailleurs, certains sont bons pour la croissance des végétaux. Ils s'éliminent facilement par des traitements physiques

(décantation) et se retrouvent généralement dans les boues. A noter donc qu'avec un bon traitement, et sauf exception (rejets industriels, accidents), les concentrations de la majorité des métaux lourds dans les eaux épurées domestiques sont trop faibles pour poser un réel problème sanitaire, quelle que soit la réutilisation envisagée, même agricole.

II.1.4.2.2. Toxicité spécifique des ions

Les ions les plus toxiques rencontrés généralement dans l'eau usée traitée sont le sodium (Na), le chlorure (Cl) et le bore (B) qui cause la plupart des cas courant de toxicité.

Chlore et sodium

Les chlorures (Cl) et le sodium (Na) peuvent également poser problème, notamment en bord de mer, quand les réseaux drainent des eaux phréatiques saumâtres. Certaines cultures, comme la vigne, les agrumes, les noyers, l'avocatier et l'haricot, les groseilliers, les fraisiers et d'une manière générale, les fruits à pépins et à noyaux, sont sensibles à des concentrations relativement faibles en sodium Na [17].

La plupart des arbres et autres plantes ligneuses pérennes sont sensibles au chlore à faible dose, alors que la plupart des cultures annuelles le sont moins. Les effets toxiques apparaissent beaucoup plus facilement quand les sels sont apportés directement sur les feuilles lors des irrigations par aspersion. C'est particulièrement vrai pour le chlore et le sodium.

Quand le résiduel en chlore est trop élevé au moment de l'irrigation, les cultures peuvent souffrir si elles sont arrosées par aspersion. Une teneur en chlore résiduel inférieure à 1 mg/L est sans danger pour le feuillage, mais une concentration supérieure à 5 mg/L serait hautement dommageable [24].

Avec une gestion appropriée de l'irrigation (système d'irrigation, fréquence d'irrigation, lessivage), les effets toxiques peuvent être réduits significativement, à des niveaux ne présentant aucune vraie contrainte pour la réutilisation [65].

Le bore

Le bore est un des éléments essentiels à la croissance végétale, mais il n'est nécessaire qu'à des doses relativement faibles. En quantité excessive il devient toxique. Les problèmes de toxicité par le bore sont souvent en rapport avec la présence de cet élément dans l'eau d'irrigation, mais ils peuvent à l'occasion se manifester quand le bore se trouve naturellement dans le sol. Il semble que la sensibilité au bore affecte des cultures très diverses. Les symptômes de toxicité se manifestent d'une manière caractéristique tout d'abord sur les bouts et les bords des feuilles plus âgées ou par des taches ou un détaches ou un dessèchement des tissus foliaires. Le jaunissement ou les taches sont suivie dans certains cas par un dessèchement qui progresse depuis le bout de la feuille, le long des bords et vers le centre des nervures [66].

II.1.4.2.3. Les micropolluants organiques

Les micropolluants d'origine organique sont extrêmement nombreux et variés, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestique de détergents, pesticides, solvants, et également des eaux pluviales: eaux de ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier, etc. Ils peuvent aussi provenir de rejets industriels quand ceux-ci sont déversés dans les égouts ou même des traitements de désinfections des effluents par le chlore (haloformes) [8]. La concentration totale moyenne des micropolluants d'origine organique dans les eaux usées est de 1 à 10 µg/l [24].

Selon [8], les pesticides sont les éléments traces les plus surveillés, et une étude d'impact et de métabolisme est obligatoire avant leur mise sur le marché. Par contre, le danger représenté par tous les autres polluants organiques est encore mal apprécié actuellement. Les contrôles de routine ne permettent pas de repérer toutes les toxines. Par ailleurs, on ne connaît rien de la toxicité des mélanges complexes qui peuvent se former par réaction entre les différents contaminants.

II.1.4.3. Le risque environnemental

D'après [65], l'utilisation d'eau usée pour l'irrigation peut avoir également des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Les principaux dangers pour l'environnement associés à l'eau usée sont :

- L'introduction des produits chimiques dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes),
- La propagation des microorganismes pathogènes.

II.1.4.3.1. Effets sur le sol

Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité chimique et physique, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes prévus au niveau du sol sont:

- La salinisation,
- L'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol,
- L'accumulation d'éléments potentiellement toxiques,
- L'accumulation de nutriments [65].

Le principal risque encouru par le sol lors de l'irrigation des cultures par des eaux d'effluents moyennant les différentes techniques existantes est celui du colmatage. En règle générale, ce colmatage n'affecte que la partie superficielle du sol.

II.1.4.3.2. Effets sur les eaux souterraines

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constituants de l'eau usée est

possible [65]. La contamination des eaux souterraines dépend de trois paramètres : le sol, les roches sous-jacentes et la nappe.

Deux caractéristiques sont essentielles pour les sols: la capacité de rétention et la capacité d'épuration. Les sols qui ont une bonne capacité de rétention sont les sols argilo sableux, ceux ayant une mauvaise qualité sont les roches fissurées.

Une bonne capacité de rétention assure une bonne assimilation par les plantes et un étalement de la pollution dans le temps. La capacité d'épuration est assurée par la fixation des substances polluantes (adsorption, précipitation), la transformation des molécules organiques par des micro-organismes et l'exportation par les végétaux [63].

II.1.4.3.3. Effet sur les eaux superficielles

Les rejets directs d'eaux épurées posent des problèmes d'eutrophisation des cours d'eau, de qualité de l'eau destinée à la production d'eau potable (norme d'un maximum de 50 mg/l pour l'azote) et de contamination microbiologique des zones de conchyliculture. C'est pourquoi une réutilisation des eaux usées épurées est quasiment toujours préférable à un rejet direct dans le milieu [8].

II.1.5. Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation

Les caractéristiques de qualité chimique et physique sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation [65]. Selon [67], les paramètres utilisés pour évaluer une eau usée destinée à l'irrigation sont donnés dans le Tableau II.2

Tableau II.2 : Les paramètres utilisés pour l'évaluation des eaux usées en agriculture

Paramètres	Symbol	Unité
Physique		
Total des solides dissous	TDS	mg/l
Conductivité électrique	E_{c_w}	dS/m
Température	T	°C
Couleur/Turbidité		NTU/JTU
Dureté	TH	mg equiv. $CaCO_3$ /l
Sédiments		g/l
Chimique		
Acidité/Alcalinité	pH	
Type et concentration des anions et cations:		
Calcium	Ca^{++}	me/l
Magnésium	Mg^{++}	me/l
Sodium	Na^+	me/l
Carbonate	CO_3^{--}	me/l
Bicarbonate	HCO_3^-	me/l
Chloride	Cl^-	me/l

Sulfate	SO ₄ ²⁻	me/l
Sodium adsorption ratio	SAR	
Bore	B	mg/l
Eléments traces		mg/l
Métaux lourds		mg/l
Nitrate-Nitrogène	NO ₃ -N	mg/l
Phosphate Phosphore	PO ₄ -P	mg/l
Potassium l	K	mg/

Source: [67]

II.1.5.1. Salinité

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles [17].

La salinité d'une eau correspond à sa concentration en sels dissous dans leur ensemble. Les principaux sels responsables de la salinité sont les sels de calcium (Ca²⁺), de magnésium (Mg²⁺), de sodium (Na⁺), de potassium (K⁺), les chlorures (Cl⁻), les sulfates (SO₄²⁻) et les bicarbonates (HCO₃⁻). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimées en mg/l ou, plus couramment, par la conductivité électrique. La conductivité électrique est exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm) [68].

D'après [24], on considère deux catégories de conséquences d'une salinité excessive de l'eau d'irrigation :

- ✓ les dommages vis-à-vis des sols et donc, indirectement, vis-à-vis des rendements culturaux,
- ✓ les dommages causés aux cultures.

II.1.5.1.1. Salinisation

La salinisation est l'accumulation de sels hydrosolubles dans le sol. Les sels se dissolvent et se déplacent avec l'eau. Quand l'eau s'évapore, les sels restent [69]. Selon [17], les plantes prélèvent l'eau du sol en y abandonnant une large part des sels apportés par l'eau d'arrosage, ce qui conduit à augmenter la salinité de l'eau du sol. Les conséquences de l'évaporation sont les mêmes. La pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sels de son tissu végétal de manière à pouvoir extraire du sol l'eau qui lui est nécessaire. Richards cité dans [24], a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique (tableau II.3).

Tableau II.3 : Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation

Qualité de l'eau	Conductivité de l'eau (µS/cm)	Sels solubles correspondants estimés en NaCl (mg/l)
I. Excellente	<250	< 160
II. Faible salinité	250 - 750	160 - 500
III. Forte salinité	750 – 2250	500 – 1500
IV. Très forte salinité	2250 – 5000	1500 – 3600

En dessous de 800 µS/cm, il n'y a pratiquement pas de culture dont le rendement soit affecté par la salinité; entre 800 et 5300 µS/cm, le maintien des rendements est encore possible avec des pratiques culturales adéquates. Quand une tendance à l'enrichissement en sels de la solution du sol menace les rendements cultureux, elle doit être compensée par des irrigations supérieures aux besoins en eau de la culture pour entraîner la solution du sol excessivement enrichie en ions en dessous de la zone racinaire. Si la perméabilité du sol n'est pas suffisante, un drainage doit être prévu. Le choix du mode d'irrigation doit aussi tenir compte de la salinité de l'eau d'arrosage. L'irrigation à la raie est déconseillée, par contre, l'irrigation par submersion ou l'irrigation localisée donnent de bons résultats [17].

II.1.5.1.2. Sodisation

Une grande quantité d'ions sodium Na⁺ dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Le phénomène d'accumulation de sodium dans les sols s'appelle la sodisation [17]. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace les ions calcium et magnésium adsorbés sur les argiles de sol et cause la dispersion des particules dans le sol. Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure. Ce problème est également relié à plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol. Par exemple, les sols sableux ne subiront que peu de dommage en comparaison aux plus lourds quand ils sont irrigués avec de l'eau à haut Rapport d'Adsorption du Sodium (RAS ou SAR en anglais) [17].

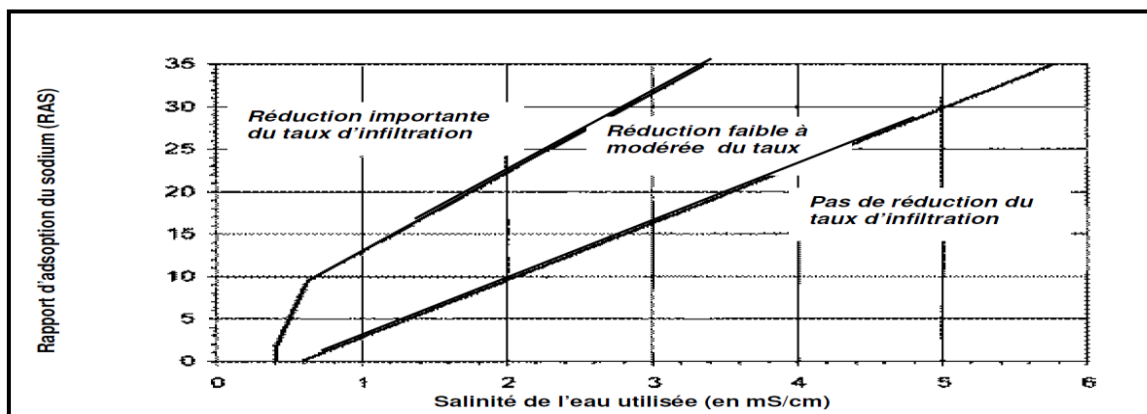


Figure II.3 : Evolution du taux d'infiltration en fonction de salinité de l'eau et du RAS

Pour mieux cerner l'importance et l'impact de cette variable, un graphique pertinent présentant l'évolution du taux d'infiltration en fonction de la salinité de l'eau employée et du SAR est proposé sur la figure II.3. Le tableau II.4 reprend les mêmes éléments.

Tableau II.4 : Influence de la salinité et du RAS sur le taux d'infiltration

	SAR					Influence sur le taux d'infiltration
	0-3	3-6	6-12	12-20	20-40	
Salinité de l'eau (mS/cm)	> 0.7	> 1.2	> 1.9	> 2.9	> 5	Nulle
	0.7	1.2	1.9	2.9	5	Faible
	0.2	0.3	0.5	1.3	2.9	Modérée
	< 0.2	< 0.3	< 0.5	< 1.3	< 2.9	Sévère

Source : [17]

D'après le tableau II.4 ou la figure II.3, pour une eau faiblement salée (faible conductivité) et un SAR faible, l'influence sur le taux d'infiltration peut être sévère et conduire à une réduction significative [17].

Les problèmes pour les récoltes, provoqués par un excès de Na⁺, sont la formation de lit de croûte de graines, une saturation temporaire à la surface du sol, un pH élevé et une possibilité accrue de présence de maladies, des herbes, d'érosion des sols, de manque d'oxygène et de disponibilité nutritive insatisfaisante. L'eau recyclée peut être une source d'excès en Na dans le sol par rapport à d'autres cations (calcium, potassium, magnésium) et doit donc faire l'objet de contrôles [17].

II.1.5.1.3. Alcalinité et dureté

L'alcalinité est une mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, c'est un peu comme le «pouvoir tampon de l'eau». En d'autres termes, l'alcalinité mesure la résistance à tout changement de pH. Le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué principalement à la présence de bicarbonates de calcium et de magnésium dissous dans l'eau (également dans une moindre mesure, des hydroxydes, des bases organiques, des borates, des ions ammoniums, phosphates et silicates) [70].

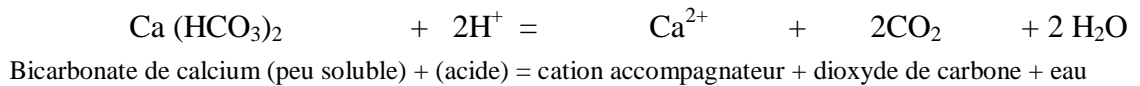
Une eau riche en calcium et en magnésium possède généralement des quantités équivalentes de bicarbonates ou de carbonates, lesquelles lui confèrent une alcalinité élevée. Les bicarbonates de calcium et de magnésium sont relativement peu solubles dans l'eau [68].



Bicarbonate de calcium (peu soluble) = carbonate de calcium (chaux) + dioxyde de carbone + eau

Et d'après [68], il est très important de « casser » cette alcalinité qui empêche le calcium et le magnésium d'être disponibles à la plante, par ajout d'acide pour abaisser le pH et libérer du fait même le calcium et le magnésium qui, sinon, restent emprisonnés par le carbonate. Tant que l'acide n'a pas maîtrisé les ions responsables de l'alcalinité, le pH ne bouge pratiquement pas. Une fois le processus d'acidification enclenché, la réaction produit alors de l'eau (H₂O),

du dioxyde de carbone (CO₂) qui est libéré dans l'air ainsi que le cation accompagnateur (soit le calcium ou le magnésium [70]).



Si on ne le fait pas, en séchant, tous les carbonates se transforment automatiquement en chaux calcique et dolomitique...Ce qui laisse des dépôts calcaires qui peuvent colmater les systèmes d'aspersion ou de goutte à goutte ou encore, des traces blanchâtres sur les feuilles si vous arrosez par aspersion [70].

La dureté fait référence à la quantité de calcium et de magnésium contenue dans l'eau. Ces deux éléments proviennent de l'altération de la roche-mère.

En général, une eau dure n'est pas souhaitable pour l'usage domestique car elle réduit de beaucoup l'efficacité des savons. Par contre, en agriculture, une eau dure aide le sol à conserver une bonne structure par les ponts calciques [70].

L'alcalinité, tout comme la dureté de l'eau, est généralement exprimée en ppm (mg/l) de carbonate de calcium (CaCO₃). Il arrive toutefois que la dureté de l'eau soit élevée sans pour autant que son alcalinité le soit. C'est le cas lorsque le calcium et le magnésium de l'eau sont sous forme de sulfates et de chlorures [68].

Tableau II.5 : Degré relatif de dureté de l'eau selon la quantité de carbonate de calcium

Dureté (ppm CaCO ₃)	Degré relatif de dureté
0-50	Très douce
50-100	Douce
100-200	Modérément douce
200-300	Dure
300 et plus	Très dure

Source : [68]

II.1.5.2. Les fertilisants dans les eaux usées traitées

Si la concentration élevée en éléments fertilisants augmente la valeur des eaux usées, il n'en est pas moins vrai que les éléments nutritifs peuvent constituer un facteur limitant dans le cas d'un apport excessif lié à une concentration élevée et/ou un apport d'eau usée élevée.

Les eaux usées urbaines contiennent beaucoup de macronutriments (N, P, K, Ca, Mg) et micronutriment Fe, Ze, Cu, Mn...) sous forme soluble, directement disponibles pour les plantes.

L'apport des nutriments des eaux usées à chaque irrigation, représente une sorte de fertigation. La fertigation est l'application combinée des fertilisants et de l'eau via le réseau d'irrigation .Cette technique est économiquement intéressante car elle réduit le coût de la fertilisation. Par contre l'application soutenue de nutriments par l'irrigation avec les eaux usées peut entraîner

un déséquilibre nutritionnel dans le cas de certaines plantes sensibles à un excès d'éléments fertilisants [71].

D'une façon générale, un volume d'eau usée traitée et réutilisée de 1000 m³, soit un apport d'une lame d'eau résiduaire de 100 mm à l'hectare, peut apporter d'après [24] :

- ✓ de 16 à 62 kg d'azote ;
- ✓ de 2 à 69 kg de potassium ;
- ✓ de 4 à 24 kg de phosphore ;
- ✓ de 18 à 208 kg de calcium ;
- ✓ de 9 à 100 kg de magnésium ;
- ✓ et de 27 à 182 kg de sodium.

II.1.5.2.1. Azote (N)

L'azote joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes. En effet, c'est le constituant numéro un des protéines qui sont les composés fondamentaux de la matière vivante. L'excès de N, par temps couvert et froid, entraîne l'accumulation des nitrates dans la plante. L'excès des nitrates dans le tissu végétal est néfaste pour la santé du consommateur (cas des légumes foliacés: laitue, céleri, épinards...) [72].

La teneur en azote dans les eaux usées peut varier de 20 à plus de 100 mg/l, selon les usages et le traitement de l'effluent de ces eaux [73].

L'usage d'eaux usées en irrigation peut faire craindre un excès d'apports azotés. Cet excès se réfère d'une part aux tolérances de la végétation cultivée et, d'autre part, aux risques de pollution des nappes phréatiques sous-jacentes [17].

L'azote en quantité excessive peut, dans des mesures qu'il ne faut pas exagérer, perturber certaines productions, retarder la maturation de certaines cultures, abricots, agrumes, avocats, vigne par exemple, altérer leur qualité, comme par exemple réduire la teneur en sucre des fruits ou des betteraves, accentuer la sensibilité des cultures aux maladies, la tendance à la verse pour les céréales, limiter le développement des jeunes racines [17].

Certaines cultures sont très efficaces pour consommer l'azote et empêcher son accumulation dans le sol et sa migration, sous forme nitrique, vers les eaux souterraines. Ce sont généralement des cultures à coupes multiples et à enracinement profond. Dans les cas où trop peu d'azote est présent dans les effluents, un apport supplémentaire est nécessaire pour atteindre le rendement optimum [71].

II.1.5.2.2. Phosphore (P)

D'après [71], Le phosphore comme l'azote est un nutriment essentiel à toutes plantes. La teneur en phosphore dans l'effluent d'une installation de traitement secondaire varie de 6 à 15 mg/l (15 à 35 mg/l P₂O₅). Cette teneur en phosphore dans les eaux usées recyclées ne sera peut être pas suffisante en début de croissance pour assurer un rendement satisfaisant .La capacité d'absorption du phosphore dans le sol dépend de sa concentration en solution .Un excès de phosphore dans l'eau d'irrigation ne pose pas de problème. Il n'existe pas de valeur

indicative pour estimer la valeur du phosphore en excès. Pour l'établissement d'un programme de fertilisation, l'évaluation du phosphore dans les eaux usées à recycler doit être réalisée en conjonction avec l'analyse des terres.

II.1.5.2.3. Potassium (K)

C'est un macronutriment essentiel pour les plantes et il joue un rôle positif dans la fertilité du sol, le rendement et la qualité des cultures. La quantité de potassium dans les effluents de traitement secondaire varie entre 10 et 30 mg/l de K (12 à 36 mg/l K₂O). Cette concentration doit être prise en compte pour l'établissement d'un programme de fertilisation des cultures.

Logiquement, les concentrations de N, P et K dans les eaux épurées dépendent de l'origine des eaux brutes et du procédé de traitement. En première approximation, on peut admettre que tout l'azote et une grande partie du phosphore et du potassium normalement requis pour la production agricole sont apportés par l'effluent [71].

II.1.5.2.4. Autres nutriments

La plupart des effluents contiennent suffisamment de soufre, zinc, cuivre et d'autres micronutriments pour corriger les déficiences du sol au bout de trois ans d'irrigation. Par ailleurs, pour éviter les effets toxiques sur les plantes, les valeurs maximales des micronutriments ne devraient pas dépasser certaines valeurs recommandées [66] cité par [71].

II.1.5.3. Eléments traces et métaux lourds

Les eaux usées d'origine urbaine peuvent contenir dans certains cas des éléments toxiques minéraux (notamment des métaux lourds) et organiques même en l'absence de rejets industriels les quels doivent, selon leur nature, faire l'objet d'un traitement spécifique ou d'un prétraitement avant introduction dans le réseau. Lorsque l'activité industrielle lourde est faible, la présence de métaux lourds et d'éléments traces ne devraient pas être considérés comme un problème extrême ou sérieux. Les éléments présents dans l'effluent brut sont retenus en grande partie dans les boues, sous produit de l'épuration. Lorsqu'elles sont d'origine urbaine, les concentrations en éléments traces des eaux usées traitées sont, en général, inférieures aux teneurs maximales proposées pour l'irrigation des cultures [71].

II.1.5.4. Le pH de l'eau d'irrigation

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogènes de la solution (H⁺). Il est représenté par une expression logarithmique, Plus la concentration en ions hydrogènes est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale [70].

II.1.5.5. Matières en suspension et matière organique

[17] indique que les matières en suspension (MES) sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Les particules en suspension, plus lourdes que l'eau, sont éliminées par décantation. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires. Une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que le bouchage des systèmes d'irrigation.

La présence de matière organique dans les eaux usées ne constitue pas, sauf cas très particulier, un obstacle à la réutilisation de ces eaux. Bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Cependant, l'expérience montre que le maintien d'une concentration importante en matière organique dans les eaux usées gêne considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes. Enfin, les concentrations significatives en matière organique peuvent aussi entraîner des odeurs désagréables, notamment si les eaux stagnent à la surface du sol [17].

II.1.5.6. Qualité microbiologique des eaux usées pour l'irrigation

Vu le risque sanitaire, cité dans le paragraphe (II.1.4.1) engendré par l'existence des microorganismes dans l'eau usée épurée destinée à l'irrigation, la qualité de cette eau doit répondre à certaines normes et respecter les directives élaborées pour la réutilisation en agriculture et qui seront détaillées au paragraphe (II.1.7).

D'après [74], La réduction des microorganismes pathogènes a été un objectif secondaire dans les traitements classiques des eaux usées visant la protection de la qualité des sources d'eau potable utilisée par les communautés en aval. Cependant, les systèmes de traitements classiques des eaux usées, quand ils existent, ne sont pas particulièrement efficaces pour l'élimination des agents pathogènes.

Alors que [8] indique que lors des traitements, l'élimination des micro-organismes pathogènes a lieu selon trois mécanismes :

- La décantation des MES (sachant qu'une majorité des micro-organismes s'y trouve) ;
- La compétition avec les microorganismes non pathogènes (pour les traitements biologiques);
- L'action physico-chimique des procédés de désinfection et des facteurs naturels (lumière, température).

En ce qui concerne les analyses de la qualité microbiologique des E.U.T., plusieurs travaux de recherche ont été consultés. Ainsi, [75] cités par [76] ont mentionnés des rendements bactériologiques épuratoires variant entre 78,4 et 88% pour les coliformes fécaux et de 87,7 à 99,4% pour les streptocoques fécaux. Il en reste une certaine quantité qui se retrouve ainsi dans les EUT avec lesquelles est réalisée l'irrigation, ajoute [77].

Au cours des procédés d'épuration, comme ordre de grandeur, [71] mentionne qu'on peut retenir les taux d'élimination repris au Tableau II.6.

Tableau II.6 : Taux d'élimination des pathogènes en fonction du procédé d'épuration.

Procédé de traitement	Taux d'élimination (log)	
	Bactéries	Helminthes
Décantation primaire	0-1	0-2
Boues activées	0-2	0-2
Désinfection (chloration)	2-6	0-1
Stockage des effluents	1-6	1-3
Bassins de stabilisation (temps de séjour=20j)	1-6	Quasi-totale

II.1.6. Systèmes d'irrigation

Le système d'irrigation permet d'amener l'eau de l'endroit de sa production (station d'épuration) à l'endroit de son utilisation (systèmes sol/plantes). D'après [78], la réussite de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture passe par le choix du système d'irrigation le plus approprié; c'est le moyen de valoriser les eaux usées traitées en les appliquant sur des cultures pour augmenter les rendements.

Et selon [79], le système d'irrigation est en relation avec les risques sanitaires et de phytotoxicité. Le choix de ce système lui-même dépend de certains paramètres de la qualité de l'eau (carbonates, bicarbonates, MES, etc.).

Les principaux systèmes d'irrigation d'après [79] sont:

II.1.6.1. Irrigation de surface

On distingue :

- Par submersion (à la planche ou par bassin)
- à la raie (ou par sillon)

Ce système présente les caractéristiques suivantes :

- ✓ La surface humectée est variable
- ✓ La non uniformité d'application de l'eau (besoin de nivellement)
- ✓ Déconseillé pour les sols très filtrants (sols de texture sableuse)
- ✓ C'est le Système le moins coûteux, le plus utilisé, le moins efficient (< 70%) et le moins recommandé pour la REUE
- ✓ Risque modéré à élevé en cas de REUE.

II.1.6.2. Irrigation par aspersion

Les cultures et le sol sont mouillés de la même manière qu'avec la pluie.

Ses caractéristiques sont les suivantes :

- ✓ Il peut être adopté en terrains de pente supérieure à 15% et n'est pas très limité par la qualité des EUE sauf si l'eau est assez chargée en carbonates et bicarbonates (brûlure de feuillage, etc.)
- ✓ Difficulté de garantir une bonne uniformité d'arrosage

- ✓ Dispersion des pathogènes et risqué plus élevé.

II.1.6.3. Irrigation localisée

On distingue:

- Le Goutte à goutte
- Irrigation souterraine (meilleure protection sanitaire)
- Bubbler est une technique d'irrigation localisée avec régulation de l'écoulement (système recommandé en cas de danger de colmatage).

Le système présente les caractéristiques suivantes:

- ✓ Efficacité élevée d'application: système économe
- ✓ Recommandée pour l'irrigation avec l'eau usée épurée, en particulier si le traitement est suffisant pour empêcher l'obstruction des orifices (colmatage des goutteurs), la filtration est nécessaire: filtres à gravier, à sable ou autres
- ✓ Le contact de l'eau usée avec les agriculteurs et les cultures irriguées est réduit au minimum.
- ✓ Aucun aérosol ne se forme et, en conséquence, aucune pollution de l'atmosphère et de la zone proche des champs irrigués ne se produit.

Le tableau II.7 nous décrit les facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales nécessaires quand l'eau usée est utilisée, en particulier quand elle ne satisfait pas les directives de l'OMS.

Tableau II.7: Facteurs affectant le choix de la méthode d'irrigation et les mesures spéciales pour les eaux usées.

Méthode d'irrigation	Facteurs affectant le choix	Mesures spéciales pour les eaux usées
Irrigation à la planche	Plus faible coût, planage précis non nécessaire	Protection complète pour les ouvriers agricoles, les ouvriers qui manipulent les produits agricoles et les consommateurs
Irrigation à la raie	Faible coût, planage précis peut être nécessaire	Protection pour les ouvriers agricoles, éventuellement pour les ouvriers qui manipulent les produits agricoles et les consommateurs
Irrigation par aspersion	Efficacité moyenne d'utilisation de l'eau, nivellement non requis	Quelques cultures de la catégorie B*, principalement les arbres fruitiers, ne devraient pas être irrigués. Distance minimum de 50 – 100 m des maisons et des routes. Des eaux ayant été traitées par voie anaérobie ne devraient pas être employées, en raison des nuisances olfactives.
Irrigation souterraine et localisée	Coût élevé, efficacité d'utilisation de l'eau élevée, rendements plus élevés	Filtration pour prévenir le colmatage des distributeurs

Source : [65]

II.1.7. Les différentes réglementations dans le monde

L'élimination des risques microbiologiques et chimiques est le principal objectif du traitement des eaux usées destinées à être réutilisées en irrigation agricole. Afin de garantir la protection de la santé publique, il est indispensable de mettre en place des normes et des réglementations strictes et adaptées à la spécificité des différentes cultures.

D'après [80], La majorité des acteurs internationaux, promouvant une réutilisation sûre des eaux usées destinées à l'irrigation, sont l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'Organisation de l'Alimentation et de l'Agriculture des Nations Unies (FAO).

II.1.7.1. Les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

Les recommandations de l'OMS (Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture) ou « Recommandations sanitaires pour l'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture » (1989) sont les seules à l'échelle internationale. Elles sont source d'inspiration pour de nombreux pays à travers le monde. Elles ne concernent que l'usage agricole et sont ciblées uniquement sur les quantités de microorganismes. Les protozoaires ne sont pas inclus directement car il est considéré qu'ils sont éliminés en même proportion que les helminthes. Les virus ne sont pas considérés non plus, leur présence étant difficile à détecter lors des contrôles de routine [8].

Les deux microorganismes de référence considérés dans les directives de l'OMS sont les coliformes fécaux et les nématodes intestinaux. Ce choix est justifié par des considérations épidémiologiques [71] et pour des raisons de facilité analytique.

Ces recommandations ont été révisées en 2000, en intégrant les résultats de nouvelles études épidémiologiques [81]. Les modifications ont essentiellement porté sur la norme « œufs d'helminthes » qui pour certaines catégories est passée de 1 à 0,1 œuf/l. Ces normes sont destinées à une utilisation internationale, et sont donc adaptées aux pays en voie de développement. Elles représentent la limite au-delà de laquelle la santé publique n'est plus assurée.

Le tableau II.8 résume les recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture. Dans ses recommandations, l'OMS, définit les catégories, les conditions de réutilisations, les groupes cibles, les techniques d'irrigation utilisées et celles d'épuration recommandées pour atteindre des limites de rejets de coliformes fécaux et nématodes intestinaux. Il précise toutefois, que dans certains cas particuliers, les facteurs épidémiologiques, socioculturels et environnementaux qui devront être pris en compte, et les recommandations modifiées en conséquence.

Tableau II.8 : Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour le Traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture ^a

Catég	Conditions de réutilisation	Groupe exposé	Techniques d'irrigation	Nématodes intestinaux ^b	Coliformes fécaux / 100ml	Traitements recommandés pour atteindre le niveau de qualité microbiologique
A	Irrigation sans restrictions A1 pour les cultures maraîchère consommées crues, les terrains de sports, les parcs publics ^d	Travailleurs, consommateurs, public	Toutes	≤ 1	≤ 10 ³	Série de bassins de stabilisation, réservoir de stockage et de traitement ou traitement équivalent permettant d'atteindre la qualité microbiologique escomptée
B	Irrigation restreinte. Céréales, cultures industrielles, fourragères, pâturage et forêt ^c	Travailleurs Population sis dans l'environnement proche	Par aspersion Par rigole d'infiltration ou par gravité Toutes	≤ 1 ≤ 1 ≤ 0.1 ^e	≤ 10 ⁵ ≤ 10 ³ ≤ 10 ³	Série de bassins de rétention avec un temps de séjour suffisant (8 à 10 jours) ou traitement équivalent permettant l'abattement des oeufs d'helminthes et des coliformes
C	Irrigation localisée sur des cultures ^f de la catégorie B s'il n'y a pas d'exposition des travailleurs ou du public	Aucun	Goutte-à-goutte, micro-jet, etc.	Non applicable	Non applicable	Prétraitement nécessaire pour des raisons techniques liées à l'irrigation, mais pas moins qu'une sédimentation primaire

a : Dans certains cas, tenant compte du contexte épidémiologique, socioculturel et environnemental, ces limites sont changées en conséquence ;

b : Les espèces de Ascaris et Trichuris;

c : Durant la période d'irrigation

d : Des limites plus restrictives de moins de 200 coliformes fécaux /100 mL sont plus appropriées pour les Golfs, les hôtels et des espaces où le public peut avoir un contact direct avec les espaces irrigués.

e : Cette limite peut être augmentée à ≤ 1 oeuf/l si (i) il fait chaud et sec et que l'irrigation de surface n'est pas pratiquée ou (ii) le traitement de l'eau contient aussi des traitements chimiothérapeutiques anti-helminthes.

f : Dans le cas des arbres fruitiers, l'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la récolte, et aucun fruit ne doit être récolté au sol. L'irrigation par aspersion ne doit pas être utilisée.

Source : [81]

II.1.7.2. Les recommandations du CSHP de France

La réglementation française sur la réutilisation des eaux usées épurées ne concerne que la réutilisation agricole, elle est assez succincte concernant la réutilisation des eaux épurées [74]. Le CSHPF (Conseil supérieur d'hygiène publique de France) a émis des recommandations en 1991 afin de protéger la santé publique. Elles visent à protéger la santé des professionnels en contact avec les eaux épurées, des consommateurs de produits irrigués avec ces eaux et des populations vivant autour des zones irriguées. Elles définissent trois catégories d'eau de qualité sanitaire croissante, correspondant à des usages adaptés. Ces recommandations s'inspirent de celles l'OMS [82]. Ces recommandations sont présentées dans le tableau II.9.

Tableau II.9 : Les recommandations du CSHPF

Cat	Normes ^a	^a Type de culture	Type d'irrigation	Traitement
A	- Œufs d'helminthes ≤ 1/L - Coliformes thermo tolérants ≤ 1 000/100 ml	Irrigation de légumes consommés crus Arrosage de terrains de sport et d'espace verts ouvert au public	Irrigation gravitaire, arrosage sous frondaison Irrigation par aspersion sous certaines conditions ^b	Un traitement efficace peut être atteint par une série de bassins de lagunage naturel, pour un séjour de 30 jours avec un ensoleillement suffisant, ou tout autre traitement similaire
B	- Œufs d'helminthes ≤ 1/L	Vergers, cultures céréalières et fourragères, pépinières et cultures de végétaux consommables après cuisson (pommes de terre, betteraves, choux...) Terrain de sport s'ils sont utilisés plusieurs semaines après l'arrosage	Irrigation gravitaire ou à la raie Irrigation par aspersion sous certaines conditions ^c	Un traitement efficace peut être une série de bassin de décantation pendant une dizaine de jours, ou tout autre procédé ayant une efficacité équivalente
C	Aucune	Céréales, cultures industrielles et fourragères, vergers et zones forestières, Espaces verts non ouverts au public	Irrigation souterraine ou localisée Irrigation par Aspersion	Épuration préalable nécessaire pour des raisons d'ordre Technique

(a) le CSHPF précise dans ses recommandations complémentaires de 1992 qu'il s'agit de valeurs impératives qui ne doivent être dépassées en aucun cas.

(b) l'irrigation par aspersion est autorisée si :

- Elle est réalisée en dehors des heures d'ouverture au public;
- Les asperseurs sont de faible portée;
- L'aspersion est réalisée à une distance suffisante des habitations, des zones de sport et de loisirs, prenant en compte les conditions climatiques locales.

(c) l'irrigation par aspersion est autorisée si :

- l'aspersion est réalisée à une distance suffisante des habitations, des zones de sport et de loisirs, prenant en compte les conditions climatiques locales (100 m minimum) ;
- Des écrans ou des obstacles (arbres) sont mis en place pour limiter la propagation des aérosols et si l'arrosage direct des voies de communication est évité;
- La protection du personnel d'exploitation contre les risques d'inhalation des aérosols est suffisamment assurée.

Source : [74]

Le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France émet un avis favorable, sous les réserves définies ci –dessous, au principe de l'utilisation des eaux usées urbaines après épuration. Ces réserves concernent principalement :

- ✓ la protection des ressources en eau souterraine et superficielle;
- ✓ la restriction des usages en fonction de la qualité des effluents épurés;
- ✓ les réseaux de canalisation "d'eaux usées épurées";
- ✓ la qualité chimique des effluents épurés;
- ✓ le contrôle des règles d'hygiène applicables aux installations d'épuration et d'irrigation;
- ✓ la formation des exploitants et des contrôleurs [83].

II.1.7.3. Les recommandations de l'USEPA

L'USEPA (United States Environmental Protection Agency) a publié en 1992, en collaboration avec l'USAID (United States Agency of International Development), ses propres recommandations sur la réutilisation des EUT, intitulées "Guidelines for Water Reuse". Contrairement à l'OMS, ces recommandations ne sont pas basées sur des études épidémiologiques ni sur une estimation du risque, mais sur un objectif de zéro pathogène dans les eaux réutilisées. Ces normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes [74]. Les recommandations de l'USEPA concernent tous les usages envisageables pour des eaux usées épurées (usage urbain, agricole, industriel, recharge de nappe, etc.). Ces recommandations portent sur plusieurs paramètres: le pH, la demande biologique en oxygène (DBO₅), la turbidité ou les solides en suspension et les coliformes fécaux. Selon [74], Le pH est toujours fixé entre 6 et 9. La turbidité ne doit pas dépasser en général 2 NTU. La DBO₅ maximale est fixée soit à 10 mg/l, soit à 30 mg/l, selon les usages. Les coliformes fécaux doivent être soit en concentration inférieure à 200 CF/100 ml (pour l'irrigation avec restriction, les usages paysagers, industriels et environnementaux), soit à un niveau de non-déteçtabilité (pour l'irrigation sans restriction, la baignade et la réutilisation indirecte pour l'eau potable). Enfin, ce qui est un des aspects les plus drastiques des normes de l'USEPA, est qu'il est imposé dans la plupart une norme en chlore résiduel de 1 mg/l.

D'après [84], Les deux recommandations (OMS et USEPA) s'opposent à plusieurs points de vue. Une des différences concerne le niveau de traitement recommandé. Il est dit dans le document de l'OMS qu'un traitement extrêmement efficace peut être atteint par des bassins de stabilisation, alors que l'USEPA n'évoque que des traitements de désinfection tertiaire type chloration, ozonation, etc. Les modes de contrôle varient aussi: alors que l'OMS préconise de contrôler le nombre de nématodes, l'USEPA recommande le comptage des coliformes totaux comme unique contrôle de la qualité microbiologique. En général, l'OMS est taxée d'être trop laxiste, et l'USEPA de préconiser des traitements trop chers et trop technologiques, inaccessibles aux pays en voie de développement.

II.1.7.4. Les directives de la FAO

La FAO (Food and Agriculture Organisation) a établi des directives pour l'interprétation de la qualité physicochimique de l'eau pour l'irrigation et des limites recommandées en éléments traces métalliques dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation dans lesquelles l'accent était mis sur l'influence à long terme de la qualité de l'eau. Ces directives générales sont présentées dans les tableaux II.10, et II.11.

Tableau II.10 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation FAO 1985

Problèmes potentiels en irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
Salinité				
CE	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
TDS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltration				
SAR = 0-3 et CE =	dS/m	> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
= 3-6 =		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
= 6-12 =		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
= 12-20 =		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
= 20-40 =		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Toxicité Spécifique des ions				
Sodium (Na ⁺)				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Irrigation par aspersion	még/l	< 3	> 3	
Chlorure (Cl ⁻)				
Irrigation de surface	még/l	< 4	4 - 10	> 10
Irrigation par aspersion	még/l	< 3	> 3	
Bore (B)	mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
Effets divers				
Azote (NO ₃ -N)	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonates (HCO ₃)	még/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
pH	Gamme normale 6.5 - 8.4			
CE: conductivité électrique; TDS: total dissolved solids; SAR: rapport d'absorption du sodium				

Sources : [71]

Tableau II.11 : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation ^a

Constituant	Utilisation à long terme ^b (mg/l)	Utilisation à court terme ^c (mg/l)
Aluminium	5.0	20
Arsenic	0.1	2
Béryllium	0.1	0.5
Bore	0.75	2
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1
Cobalt	0.05	5
Cuivre	0.2	5
Fluor	1	15

Fer	5	20
plomb	5	10
Lithium	2.5	2.5
Manganese	0.2	10
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2
Sélénium	0.02	0.02
Vanadium	0.1	1
Zinc	2	10

a : Adapté de: Académie nationale des sciences - National Academy of Engineering (1973)

b : Pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols

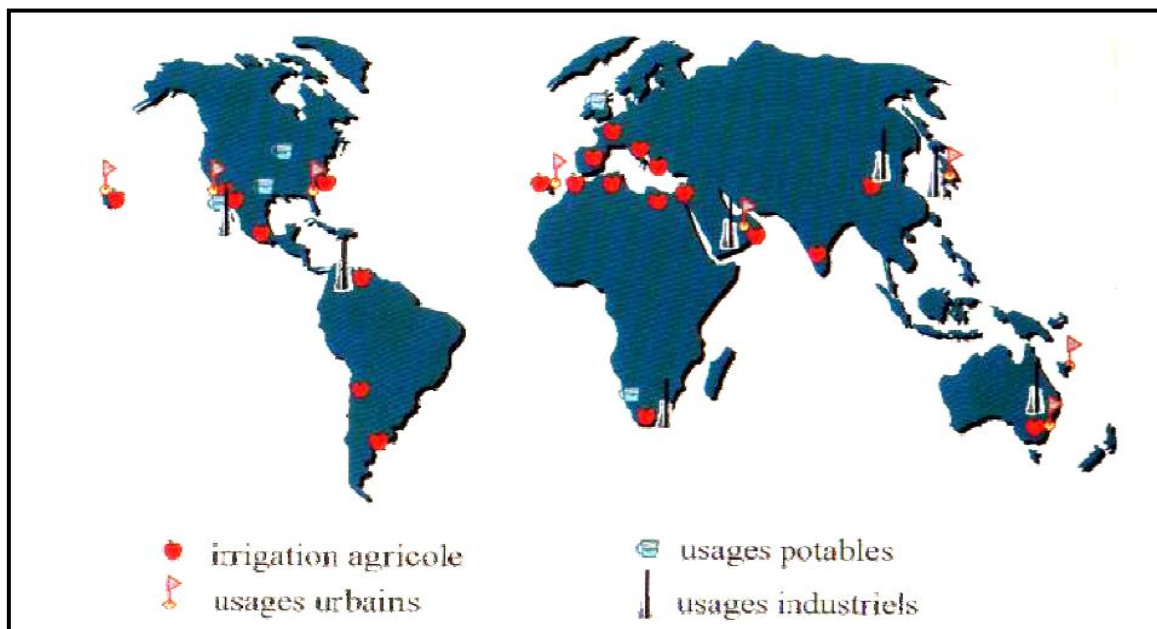
c : Pour l'eau utilisée pendant une période d'au plus 20 ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalins

Source : [65]

II.1.8. La REUE agricole dans le monde

La majorité des projets de réutilisation des eaux usées concerne des utilisations agricoles. L'irrigation de cultures ou d'espaces verts est la voie la plus répandue de réutilisation des eaux usées urbaines. Au niveau mondial, c'est également la solution qui a le plus d'avenir à court et à moyen terme [3].

Les projets de REUE se concentrent autour du bassin méditerranéen et dans les pays industrialisés, en Europe, aux États-Unis ou encore en Australie. Certains pays comme la Tunisie a de véritables politiques nationales de réutilisation des eaux usées épurées.



Source : [3]

Figure II.4 : Répartition par usage et localisation des expériences mondiales les plus importantes en REUE

La Tunisie a développé un programme de réutilisation des eaux usées épurées dès les années soixante. Dans ce pays, l'augmentation de la population et du niveau de vie ont accru à la fois les besoins en eau et les rejets d'eaux épurées dans le milieu naturel. Les politiques se sont

donc trouvés face à une crise économique et écologique dans certaines régions. La première utilisation d'eaux épurées a eu lieu aux alentours de Tunis, pour irriguer 600 ha de citronniers. La nappe qui alimentait autrefois les circuits d'irrigation avait été surexploitée et commençait à être envahie par l'eau de mer. Il a donc fallu trouver une solution alternative. Puis, à partir des années quatre-vingt, une politique ambitieuse de réutilisation a été mise en place. En 1993, 6400 ha de terres agricoles étaient irrigués avec des eaux épurées, et ce chiffre devait atteindre 20 à 30 000 ha dans les années suivantes [63] cité dans [8]. Le traitement préconisé est le bassin de maturation, le plus adapté aux conditions techniques et économiques locales. Les restrictions d'utilisation ne concernent que les légumes destinés à être consommés crus ou cuits, selon la réglementation tunisienne établie en 1989 [85].

Aux Etats-Unis, la réutilisation agricole est une pratique très répandue. 34 états disposent de réglementations ou de recommandations, souvent très sévères. Ces mesures législatives, et plus de trente ans d'expérience, font des Etats-Unis un pays phare au plan mondial dans le domaine de la réutilisation des eaux usées. En Floride et en Californie, respectivement 34 % (340 000 m³/j) et 63 % (570 000 m³/j) du volume total d'eaux usées réutilisée le sont pour l'agriculture [3].

Au Mexique, en 1996, les eaux usées brutes (non traitées) de Mexico étaient utilisées pour irriguer 85000 hectares de maïs, d'orge et de tomates, dans ce qui constituait le plus grand plan d'irrigation au monde. Les critères sanitaires de la réglementation ont depuis changé, ce qui est heureux au vu de l'étude épidémiologique réalisée dans cette région mettant en évidence une augmentation des maladies intestinales liées à l'irrigation par ces eaux brutes [85].

Des pays comme la Grèce, le Portugal, l'Italie, l'Espagne ont des programmes plus ou moins avancés de REUE pour l'agriculture. En Europe du nord, l'Allemagne et la Hongrie utilisent les eaux épurées pour irriguer des céréales, des pommes de terre, etc. mais à moindre échelle. Notons que, mis à part le cas exceptionnel de Mexico, aucun des rapports concernant ces différents cas de réutilisation ne fait état de problèmes sanitaires [8].

II.1.9. La Réutilisation des eaux usées en Algérie

La réutilisation des eaux usées traitées longtemps délaissée, en raison de l'état défectueux du parc de stations d'épuration qu'il a fallu réhabiliter, est devenue un axe important de la nouvelle politique de l'eau. Avec la remise en état des anciennes STEP et la construction de nouvelles stations, plusieurs projets d'irrigations à partir des eaux usées traitées sont en cours d'études ou déjà réalisés [86].

La stratégie nationale en matière de réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation a trois objectifs :

- ◆ économiser et préserver les ressources en eaux traditionnelles,
- ◆ accroître les superficies irriguées
- ◆ et participer à l'augmentation de la production agricole.

Le programme en cours doit porter le nombre de stations d'épuration de 150 STEP avec une capacité d'épuration installée de 550 millions de m³ par an à 216 STEP en 2020 avec une capacité de 1200 millions de m³ par an d'eaux épurées. Il est prévu d'assurer l'irrigation de 100 000 ha à partir de ces ressources nouvelles [86].

II.1.9.1. État des ressources en eau mobilisées

Eaux souterraines:

- Volume exploité au nord : 1,8 milliards de m³/an.
- Volume exploité au Sahara : 2 milliards de m³/an.

Eaux superficielles:

- Nombre de grands barrages : 59.
- Capacité totale actualisée : 6 milliards de m³.
- Volume régularisé : 2 milliards de m³/an.
- Volume mobilisé (juillet 2007) : 3 milliards de m³.
- Taux de remplissage : 50 %.

a). Constat

- Déficit pluviométrique de plus de 30%.
- Faible taux de remplissage des barrages.
- Taux de satisfaction de l'irrigation de 25 %.
- Demande en eau en augmentation.
 - Croissance démographique.
 - Développement économique

b). Solutions retenues pour le développement de l'agriculture irriguée:

- Accroissement de la mobilisation des ressources en eau:
 - Eaux conventionnelles : Barrages et transferts - Retenues collinaires - Forages.
 - Eaux non conventionnelles : Réutilisation des eaux usées épurées.
- Actions sur la demande à travers des programmes d'économie d'eau [87].

II.1.9.2. Développement de l'irrigation à travers la réutilisation des EUE

a). Eaux usées produites.

- Volume annuel : 730 hm³/an.
- Volume annuel à l'horizon 2020 horizon : 01 milliard de m³/an.

b). Eaux usées épurées.

- Capacité installée actuelle : 270 hm³.
- Volume actuel épuré : 150 hm³.
- Capacité installée à l'horizon 2020 : 990 hm³.
- Capacité installée à l'horizon 2030 : 1100 hm³

c). Réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles.

- Superficie irriguée en 2006 : 410 ha

- Superficie en projet : 12000 ha
- Superficie irriguée à terme : 60000 ha [87].

II.1.9.3. Programme en cours en matière de REUE.

a). Exploitation

D'après [86] deux projets sont en exploitation :

- ✓ Projet de Hennaya à Tlemcen à partir d'une station d'épuration, irrigation d'un périmètre de 912 ha (arboriculture et fourrages).
- ✓ Projet de Boumerdès : Deux exploitants privés irriguent 89 ha d'arboriculture à partir des eaux usées traitées de la STEP de Boumerdès.

b). Travaux :

- ✓ Périmètre de Dahmouni (wilaya de Tiaret) sur une superficie de 1214 ha.
- ✓ Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la ville de Bordj Bou Arreridj sur une superficie de 350 ha.
- ✓ Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de Hamma Bouziane à Constantine sur une superficie de 327 ha.

c). Étude : Trois projets totalisant une superficie de 9000 ha.

- ✓ Périmètre d'irrigation de M'leta à partir de la STEP d'Oran sur une superficie de 8100 ha.
- ✓ Aire d'irrigation à l'aval de la STEP de la ville Médéa a sur une superficie de 255 ha.
- ✓ Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la vallée d'oued Saida oued sur une superficie de 330 ha.

d). Une étude de réutilisation des eaux usées à l'échelle nationale est en cours

- ✓ Etude d'un schéma directeur de réutilisation des eaux usées épurées.
- ✓ Elaboration d'un projet de normes de réutilisation des eaux usées épurées [87].

II.1.9.4. Cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées.

En Algérie, la présence de normes de rejet spécifiques à la réutilisation des eaux usées en agriculture ainsi que la présence de textes réglementaires fixant la modalité de réutilisation des eaux usées et la liste des cultures et les conditions de leur irrigation par les eaux usées épurées constituent une promotion de projets de réutilisation des eaux usées épurées [88]. Ces textes sont venus comme suit :

- La loi n° 05 - 12 du 04 août 2005, relative à l'eau, a institué, à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation [89].

- Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixe les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges y afférent [90].

- ✓ Concession à travers un cahier des charges à toute personne morale ou physique de droit public ou privé.
- ✓ Qualité spécifique fixée par arrêté (Santé- Eau- Agriculture).

- ✓ Cultures fixées par arrêté (Santé–Eau -Agriculture)
- ✓ Contrôle sanitaire (personnel, produit agricole, sol)
- ✓ Dispositions financières:
 - Redevance pour la concession.
 - Tarif pour la fourniture d'eaux usées épurées

Sur le plan normatif, l'Algérie dispose actuellement d'une norme Algérienne N°17683 « Réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles, municipales et industrielles - Spécifications physico-chimiques et biologiques » (donnée en Annexes). Elle est disponible au niveau de l'Institut Algérien de Normalisation IANOR [91].

II.2. VALORISATION AGRICOLE DES BOUES D'EPURATION

Cette filière permet le retour au sol de la matière organique et de ses composés fertilisants, réduisant d'autant l'utilisation d'engrais minéraux [52].

Cette valorisation répond parfaitement aux besoins de matières organiques et d'éléments fertilisants des sols mis en cultures, ainsi qu'aux critères du développement durable.

La valorisation agronomique des boues sous forme brute, chaulée, compostée ou séchée est réalisée par épandage sur les sols. Il consiste en l'application au sol des boues à l'aide de matériels appropriés [52].

II.2.1. Caractéristiques des boues

II.2.1.1. La teneur en matière sèche (siccité)

Les boues sont constituées d'eau et de matières sèches. La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90 %. Selon la puissance du procédé de séchage utilisé, épaissement, déshydratation ou séchage thermique, on obtient des boues à différents pourcentages de siccité : Boues liquides (4 à 10 %), Boues pâteuses (10 à 25), Boues solides (25 à 50 %), Boues granulées ou en poudre pour une siccité supérieure à 85 % [38].

II.2.1.2. La teneur en matière volatile

On mesure cette teneur par la différence entre le poids de boues sèches (105°C) et celui de cette même boue après chauffage jusqu'au poids constant à 550°C, cette teneur varie de 60 à 85% des matières sèches [45].

II.2.1.3. Teneur en eau

L'eau présente 95% de la masse de la boue. Dans une boue urbaine elle est sous deux états:

- l'eau libre : assez facilement éliminable par filtration ou décantation,

- l'eau liée ou combinée : comprenant: l'eau d'hydratation colloïdale, l'eau capillaire et enfin l'eau chimique liée. Cette eau ne peut être éliminée que par la chaleur (conditionnement thermique, séchage ou incinération).

II.2.1.4. La viscosité

Les boues ne sont pas des liquides newtonien, on mesure leur viscosité en fonction de la contrainte de cisaillement (viscosité de Bingham), cette viscosité permet de définir leurs caractères thixotropiques (aptitude à se prendre en masse au repos et devenir fluide après brassage) qui est important pour leur transport [92].

II.2.1.5. La charge spécifique

Ce paramètre permet de mesurer l'aptitude à la décantation des boues, il est exprimé en (Kg/m²/j).c'est la quantité de la matière sèche décantée sur l'unité de surface, cette charge dépend de la teneur en matière volatil [92].

II.2.1.6. La résistance spécifique

Il s'agit de mesurer l'aptitude à la filtration des boues sous une pression donnée, cette résistance s'exprime en m/kg [92].

II.2.1.7. La compressibilité

Lorsqu'on fait croître la pression au dessus d'un filtre, on obtient un écrasement du gâteau et une augmentation de la résistance à la filtration, la représentation logarithmique de la résistance spécifique en fonction de la pression augmente et atteint des valeurs de l'ordre de 10 bars, la filtration de l'eau contenue dans les boues est pratiquement bloquée, on atteint alors la siccité limite [16].

II.2.1.8. Les pouvoirs calorifiques

Les teneurs en matières organiques des boues leur donne une aptitude à la combustion non négligeable qui permet de les incinérer [92].

II.2.2. Composition de la boue : intérêt agronomique/éléments indésirables

Les boues résiduaires représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (Matière organique, éléments fertilisants (N et P ...), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes).

II.2.2.1. Les éléments utiles

La valorisation des boues en agriculture est intéressante, tant par les quantités de matière organique qu'elles contiennent que par la présence en quantité appréciable d'éléments

fertilisants. D'après [54] Le tableau II.12 donne la composition en éléments les plus communément rencontrés dans les boues.

Grâce aux apports de matières organiques et de calcaire, la fertilisation avec des boues d'épuration contribue à une amélioration de la qualité physique, chimique et biologique des sols. Des essais sur le terrain ont révélé qu'elle entraînait une augmentation de la teneur en humus, du pH, de l'activité biologique du sol (respiration, minéralisation de l'azote, activité enzymatique, etc.) et de la biomasse bactérienne. Cette amélioration est perceptible jusqu'à 1 m de profondeur. Le pH a en outre une influence sur la quantité de métaux lourds liés ou libres dans le sol: une augmentation du pH résulte en une diminution des teneurs en métaux lourds libres, et de ce fait, des métaux accessibles aux végétaux [93]. Selon [94], le chaulage, en augmentant le pH, stabilise les boues en les hygiénisant (si $\text{pH} > 11$), réduit temporairement la mobilité des ETM (car les microorganismes du sol peuvent les redispobiliser facilement), et apporte un amendement calcaire aux sols intéressant pour de nombreux agriculteurs.

Tableau. II.12. Composition en éléments utiles des boues

	Boue liquide	Boue pâteuse	Boue sèche	Boue chaulée	Boue compost.
Teneur en matières sèches MS	2 à 7	16 à 22	90 à 95	25 à 40	40 à 60
Teneur en matières organiques % MS	65 à 70	50 à 70	50 à 70	30 à 50	80 à 90
Teneur en matières minérales % MS	30 à 35	30 à 50	30 à 50	50 à 70	10 à 20
pH	6.5 à 7	7 à 8	6 à 8	9 à 12	6 à 7
Rapport Carbone/azote (C/N)	4 à 5	5 à 6	4 à 6	8 à 11	15 à 25
Azote (kg N/T brute)	2 à 4	8 à 12	30 à 50	6 à 9	5 à 9
Phosphore (kg P_2O_5 /T brute)	2 à 3	6 à 9	50 à 70	6 à 10	6 à 8
Potasse (kg K_2O /T brute)	0.9	0.8	5	1	1 à 2

Source : [34]

II.2.2.1.1 Les éléments fertilisants

Le recyclage des boues en agriculture se justifie d'abord par leur valeur agronomique. Ils sont sources d'éléments fertilisants nécessaires aux plantes (N, P, K, oligo-éléments). En fonction de leur composition chimique, les épandages de boues apportent aux sols des quantités d'éléments fertilisants équivalentes à une fertilisation minérale classique. Ils sont alors utilisés, au moins en partie en substitution, d'engrais à prix en forte croissance comme les engrais azotés. Dans le cas du phosphore, le recyclage ajoute une valeur complémentaire, liée au fait que le phosphore est une ressource limitée et non renouvelable [95].

II.2.2.1.2. La matière organique

La matière organique contenu dans la boue sert de source d'énergie aux microorganismes du sol qui, en la transformant (c'est-à-dire en la décomposant), libèrent des éléments nutritifs et

du CO₂ nécessaires à la croissance des plantes. Celles-ci retournent au sol la matière organique sous forme de résidus culturels, de feuilles, de racines mortes et le cycle est bouclé.

Le sol contient 2-3 kg/m² de biomasse. L'activité biologique de cette biomasse participe à des phénomènes tels que la structure du sol et sa porosité, la perméabilité du sol, la lutte contre le lessivage des éléments nutritifs ou l'érosion voire encore la disponibilité de certains éléments nutritifs comme le P ou le K [94].

Le rapport C/N ou rapport carbone sur azote est un indicateur qui permet de juger du degré d'évolution de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol [96].

[96] a donné les valeurs de référence suivantes :

- C/N < 15 : production d'azote, la vitesse de décomposition s'accroît ; elle est à son maximum pour un rapport C/N = 10,
- 15 < C/N < 20 : besoin en azote couvert pour permettre une bonne décomposition de la matière carbonée,
- C/N > 20 : Pas assez d'azote pour permettre la décomposition du carbone (il y a compétition entre l'absorption par les plantes et la réorganisation de la matière organique par les microorganismes du sol, c'est le phénomène de "faim d'azote"). L'azote est alors prélevé dans les réserves du sol. La minéralisation est lente et ne restitue au sol qu'une faible quantité d'azote minéral.

Il est couramment admis que, plus le rapport C/N d'un produit est élevé, plus il se décompose lentement dans le sol mais plus l'humus obtenu est stable.

II.2.2.2. Les éléments indésirables

Parmi ceux-ci on distingue les éléments traces métalliques (ETM), les composés traces organiques (CTO) et les microorganismes pathogènes, pouvant porter atteinte à la santé et à l'environnement.

II.2.2.2.1. les éléments traces métalliques (ETM)

Les éléments traces métalliques sont normalement présents dans les sols et certains sont indispensables à la croissance des plantes (ils sont appelés oligo-éléments). Dans l'ensemble (tableau II.13), la concentration de ces ETM dans les boues est faible, et très inférieure lorsqu'on rapproche la valeur de chaque ETM à la valeur limite réglementée [54].

Tableau II.13 : Concentration des ETM dans la boue

Elément-trace	Valeur moyenne* observée (en g/T MS)	Valeur-limite réglementaire**	En % de la valeur réglementaire
Cadmium (Cd)	2.5	10	25

Chrome (Cr)	50	1 000	5
Cuivre (Cu)	330	1 000	33
Mercure (Hg)	2.3	10	23
Nickel (Ni)	40	300	13
Plomb (Pb)	90	800	12
Sélénium	10	/	/
Zinc (Zn)	800	3000	32
Cr +Cu+ Ni+Zn	1 220	4 000	30

*Données moyennées

Source : [54]

**Seuil à partir du 1^{er} Janvier 2004 en g/T MS

II.2.2.2.2. Les composés traces organiques (CTO)

Ce sont des produits chimiques (hydrocarbures et leurs dérivés, produits de dégradation, solvants...) qui résultent essentiellement de l'automobile et engins motorisés, des activités industrielles dans une moindre mesure du fait des réglementations de plus en plus suivies mais également de pratiques domestiques irrespectueuses des règles. Les précipitations pluviales et le lessivage des chaussées interviennent largement dans cet apport de CTO dans les boues [54].

Ces produits sont plus ou moins dégradés par l'activité microbologique du sol et à concentration élevée, ils peuvent devenir toxiques pour les microorganismes essentiels à la fertilité des sols.

On distingue deux grandes classes de CTO – hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA) et polychlorobiphényles (PCB) - résumées dans le tableau II.14 ci-joint, avec les concentrations moyennes observées et les valeurs limites réglementaires retenues [54].

Tableau II.14 : Valeurs des Composés traces organiques dans la boue

Composés-traces organiques CTO	Val. moyennes g/T MS*	V. limites règlement. g/T MS**	% de valeur réglementaire
HPA			
- fluoranthène	0.53	5	11
- benzo(a) fluoranthène	0.39	2.5	16
- benzo(a)pyrène	0.31	2	16
PCB			
- total 7 PCB	0.19	0.8	25

* Données moyennées

Source : [54]

** Valeurs limites à partir de Janvier 2004

II.2.2.3. Les micro-organismes pathogènes

Les boues d'épuration peuvent être porteuses d'une multitude d'agents pathogènes tels que des bactéries (p.ex. des salmonelles); des virus, des protozoaires et des helminthes (p.ex. les ascaris). Une désinfection des boues d'épuration par traitement thermique permet de réduire considérablement le nombre de pathogènes. L'utilisation agricole de boues hygiénisées ne présente donc que très peu de danger d'infection pour les êtres humains et les animaux [93].

D'après [97], les boues et les organismes qu'elles peuvent contenir, se déposent à la surface du sol et des végétaux. Les organismes ne pénètrent pas à l'intérieur des végétaux. Dans ces milieux, les populations d'organismes pathogènes décroissent. Le rythme de décroissance dépend des capacités propres des organismes, mais aussi de nombreuses variables extrinsèques, dont la plus importante est le climat (température, humidité, insolation).

La survie est plus courte :

- sur les végétaux que dans ou sur le sol,
- en été qu'en hiver,
- dans une boue en surface que dans une boue enfouie,
- sur un sol desséchant (sableux) que sur un sol humide

II.2.3. L'application des boues sur les sols

II.2.3.1. Conditions d'utilisation des boues

D'après [98], les principales conditions d'épandage à maîtriser sont :

- La quantité de boues épandues est quant à elle calculée en fonction de la fertilité des sols, des besoins nutritionnels des plantes, notamment en phosphore et en azote, et en tenant compte des autres produits épandus. Cette quantité ne doit pas dépasser la capacité d'absorption des plantes, notamment dans les zones sensibles aux nitrates d'origine agricole.
- Les conditions techniques d'épandage. Elles sont strictement définies de manière à éviter toute accumulation de substances toxiques dans les sols et à protéger les ressources en eau superficielles et souterraines.
- Les périodes d'épandage se résument à deux périodes de un à deux mois au cours d'une année et l'épandage est interdit durant les périodes où le sol est gelé ou abondamment enneigé et pendant les périodes de forte pluviosité.
- Après épandage sur prairie ou culture fourragère, une période de six semaines doit être respectée avant la remise à l'herbe des animaux ou avant la récolte. Ce délai s'élève à dix-huit mois avant la récolte pour les cultures maraîchères ou fruitières. L'épandage est interdit pendant la période de végétation pour ces deux types de cultures.
- Des distances minimales par rapport aux ressources en eaux et au voisinage doivent être respectées. Les boues sont épandues à au moins 35 mètres de captages d'eau, d'aqueducs et de réservoirs enterrés d'eau potable. La même distance est requise vis-à-vis des berges

des cours d'eau et des plans d'eau. Une distance de 100 mètres par rapport aux immeubles habités et aux zones de loisirs doit être respectée.

- Le stockage des boues ne doit pas engendrer de risques de pollution des sols ou de l'eau. Les boues ne pouvant être épandues que durant certaines périodes de l'année, elles doivent être stockées le reste du temps. La durée de stockage varie en général entre 4 et 9 mois (cas le plus fréquent). Ce stockage fait lui aussi l'objet d'une réglementation précise. Il est notamment conçu pour recueillir les jus afin d'éviter leur dispersion dans l'environnement.

II.2.3.2. Modalité d'application des boues

Les méthodes d'épandage se classent suivant le degré de siccité des boues.

Les boues liquides : dont l'humidité est comprise entre 95% et 99% peuvent être répandues par aspersion ou par labourage. Ce mode d'épandage évite les opérations coûteuses de déshydratation et permet de disposer d'un produit riche en azote rapidement utilisable; il présente cependant un inconvénient: celui des transports des masses importantes d'eau. Ces boues fraîches liquides, susceptibles de présenter des problèmes d'odeurs, doivent être mélangées au sol immédiatement après l'application [50].

Les boues solides : Elles sont épandues facilement avec des épanduses agricoles à fumier. Quelques fois, elles nécessitent un broyage avant leur utilisation car elles peuvent durcir au contact de l'air et composer de gros fragments. Il s'agit essentiellement de celles résultant d'un traitement thermique [9].

Les boues pâteuses : leur consistance gélatineuse et leur tendance à coller les rend difficilement utilisables dans de bonnes conditions. Il est fortement conseillé de les sécher avant l'épandage [9]. Les boues séchées reprennent difficilement l'humidité, ce qui représente un inconvénient pour le sol.

Un autre problème, plus complexe à résoudre, est l'irrégularité des besoins; en effet l'épandage des boues liquides ne peut pas être effectué pendant toute l'année, mais seulement pendant la période végétative des cultures, alors que la production des boues est régulière. Ceci suppose une mise en réservoir de celle-ci dans les fosses à purin ou des lagunes à boues [50].



Epannage de boues liquides

Enfouissement par labour

Epannage de boues pâteuses

Figure II.5 : Méthodes d'épandage des boues

Deuxième partie :
Etude Experimentale

Chapitre III

Méthodes et moyens d'analyse

III.1. DESCRIPTION DE LA STATION D'EPURATION DE MEDEA

La station d'épuration est située au bord de l'oued « Lahrech » au sud de la ville, dans une zone relativement enclavée entre les collines. Elle a été conçue pour traiter les eaux usées de la ville de Médéa et ses environs. Ces eaux usées arrivent gravitairement à la station par un collecteur unique caractérisant le réseau d'assainissement qui est de type unitaire [2].

Réalisée et mise en service durant le mois d'avril 2007, la construction et la mise en place des équipements électromécaniques de cette station étaient projetées sur deux phases permettant de traiter la pollution résultante d'une population équivalente de 162500 en première phase (horizon 2010) et 195.000 en deuxième phase (extension horizon 2020).



Figure III.1 : Station d'épuration de la ville de Médéa

III.1.1. Base de dimensionnement et caractéristiques de l'eau brute

Les données de base pour le dimensionnement de la STEP de Médéa sont portées, ainsi que les caractéristiques de l'eau brute, dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Base de dimensionnement et caractéristiques de l'eau à traiter

Paramètre	Unité	Valeur
Population raccordées	E.H	162500
Consommation spécifique	l/h/j	160
Débit moyen journalier	m ³ /j	26000
Débit moyen horaire - temps sec	m ³ /h	1083
Débit de pointe horaire - temps sec	m ³ /h	1776
Débit de pointe horaire - temps de pluie	m ³ /h	3249
Charge massique de MES	Kg/j	11375
Charge massique de DBO ₅	Kg/j	8775
Charge massique de DCO	Kg/j	17550
Charge massique de N _{tot}	Kg/j	2194

Charge massique de P_{tot}	Kg/j	293
pH	/	6.5-8.5
Température	°C	17-20

Source : [99]

III.1.2. Description du procédé de fonctionnement de la station d'épuration

La station d'épuration fonctionne à faible charge massique suivant le processus d'une aération prolongée. Par ce procédé, nous obtenons une bonne efficacité d'élimination de la DBO. La stabilisation (minéralisation) des boues s'effectue dans le bassin d'aération.

La chaîne d'épuration est composée de deux lignes : une ligne d'eau et une ligne de boue. Le débit est devisé sur certains ouvrages afin d'améliorer la fiabilité, les opérations de maintenance et la souplesse de fonctionnement de la station.

La filière de traitement comprend ainsi en totalité et successivement:

- Prétraitement mécanique constitue de :
 - Dégrillage grossier manuel
 - Dégrillage mécanique fin
 - Deux ouvrages de dessablage et déshuilage
 - Chenal de comptage et d'échantillonnage
- Traitement biologique constitue de :
 - Ouvrage de répartition
 - Deux bassins d'aération avec 06 aérateurs de surface chacun
 - Deux décanteurs secondaires circulaires
 - Ouvrage de pompage et de recirculation des boues
- Désinfection et comptage de l'eau épurée constitue de :
 - Bassin de désinfection
 - Poste et station de chloration
 - Canal de comptage et d'échantillonnage
- Epaissement des boues constitue de :
 - Un épaisseur de boues
 - Station de pompage des boues épaissies
 - Station de pompage des filtrats et des eaux troubles
- Séchage de boue constitue de :
 - 23 lits de séchage

III.1.2.1. Ligne d'épuration des eaux

III.1.2.1.1. Prétraitement mécanique

III.1.2.1.1.1. Dégrillage grossier

Les eaux usées sont admises directement au dégrillage grossier, constitué d'un canal dans le quel est disposé une grille grossière inclinée à nettoyage manuel permettant ainsi de retenir et d'enlever les débris volumineux. Ce dégrilleur assure ainsi la protection des équipements électromécaniques et réduit les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration.

Tableau III.2 : Caractéristiques de la grille grossière

Largeur	1.5 m
Hauteur d'eau max	1.29 m
Espacement entre les barreaux	50 mm
Inclinaison	70 % soit 30°

Source : [99]

L'opérateur remonte les refus de grille à l'aide d'un râteau dans un bac d'égouttage installé à la partie supérieure de la grille, après ils sont repris par une fourche et déposés dans le conteneur de refus de grille.

La grille peut être isolée en amont, par une vanne murale.

III.1.2.1.1.2. Dégrillage fin

Les effluents prédégrillés sont dirigés vers l'ouvrage de dégrillage fin qui a pour rôle de débarrasser les eaux brutes des déchets solides ayant échappés à la grille grossière .Il comprend trois grilles, deux mécanisées et une manuelle en by-pass. Cet ensemble est en communication hydraulique directe avec les deux dessableurs déshuileurs. La lame de débordement d'extrémité de ces ouvrages impose la hauteur d'eau dans les grilles ; Cette disposition est nécessaire pour obtenir en toutes circonstances des vitesses acceptables au droit des barreaux des grilles.



Figure III.2 : Grille grossière et fine (mécanisée et manuelle) de la STEP de Médéa

Les grilles mécanisées sont inclinées offrant une grande surface de passage. Leur nettoyage s'effectue par une racle rigide qui épouse les barreaux de la grille.

La grille manuelle, ou encore grille de by-pass est installée sur une margelle ayant une hauteur telle que la grille n'est utilisable que lorsque le niveau d'eau à l'amont des grilles

mécanisées s'élève anormalement suite à un arrêt intempestif ou un colmatage très important des grilles mécanisées, de même en cas de leurs isolement.

Tableau III.3 : Caractéristiques de chacune des grilles fines

Largeur	1.00 m
Hauteur d'eau max	0.83 m
Espacement entre les barreaux	15 mm
Inclinaison	70 % soit 30°

Source : [99]

Les trois grilles peuvent être isolées chacune par deux vannes batardeaux et les refus de dégrillage sont déversés dans une vis transporteuse horizontale et seront compactés par un compacteur hydraulique avant de retomber dans une benne tractable.

La station peut être isolée par des vannettes à main installées à l'amont du dégrillage fin. Les eaux débordent dans ce cas du déversoir du canal d'entrée vers une chambre attenante à ce canal et reliée à la conduite de by-pass de la station.

III.1.2.1.1.3. Dessablage déshuilage

A la sortie des grilles fines, l'eau est admise via deux entrées dans le dessableur déshuileur qui est composé de deux compartiments sous formes de canaux rectangulaires de section trapézoïdale possédant chacun les caractéristiques suivantes :

Tableau III.4 : Caractéristiques du dessableur déshuileur

Largeur canal dessableur	2.2 m
Largeur canal déshuileur	0.9 m
Longueur	22 m
Hauteur d'eau moyenne	3.04 m
Charge hydraulique en pointe	24.6 m ³ /m ² /h
Charge superficielle moyenne du déshuilage -temps sec	10.9 m/h
Temps de séjour minimal	5 min

Source : [99]



Figure III.3 : Dessableur - déshuileur et chenal de comptage de la STEP de Médéa

Dans chaque canal, un baffle à claire voile installé parallèlement à l'axe principal délimite deux zones distinctes du point de vue fonctionnel: une zone turbulente de dessablage et une zone calme pour le déshuilage.

Dans la première zone; les filets d'eau décrivent un mouvement en forme d'hélice résultant de la conjugaison de l'avancement horizontal de l'eau et du mouvement vertical ascendant engendré par les bulles d'air émises par les rampes de diffusion d'air située à environ 2.80 m en profondeur dans le but d'empêcher la sédimentation des matières plus légères lavées, ainsi les sables décantent au fond de l'ouvrage dans une partie approfondie ou le système Air Lift va pouvoir remonter le sable.

C'est dans la zone de déshuilage qu'on observe la flottation des huiles et des graisses entraînées à la surface par leurs poids spécifiques et aidées par les bulles d'air fixées à ces matières.

Un pont roulant commun aux deux canaux constitué d'une passerelle, assure l'opération dessablage déshuilage de l'effluent par le compresseur Air lift embarqué qui sert à pomper les sables piégés au fond de l'ouvrage vers le chenal de collecte de sables, le mélange eau sable est envoyé ensuite vers le classificateur à sable installé au pied de l'ouvrage, ou s'effectuera une séparation d'eau des particules de sable qui sédimentent et seront extraites par une vis sans fin et rejetés dans une benne transportable, tandis que l'eau sera récupérée et revient gravitairement en tête de la station.

D'autre part l'insufflation d'air assurée par les surpresseurs assure le passage des particules de graisse et des huiles de la zone agitée vers une goulotte longitudinale limitée par des cloisons de tranquillisation. Les matières flottantes retenues dans cette zone seront évacuées au moyen d'un système de raclage fixé au pont roulant vers le convoyeur à graisse puis transférées dans un conteneur de graisse.

IV.2.1.1.4. Chenal de comptage et d'échantillonnage d'eau brute

Le canal de sortie des dessableurs continue par un canal de mesure de débit de la STEP, équipé d'un jaugeur venturi, la hauteur d'eau est mesurée par une sonde ultrasonique reliée à un transmetteur, donnant une mesure locale de la valeur instantanée du débit ainsi que le cumul des volumes traitées.

Proportionnellement à la mesure de débit, un échantillonneur automatique et une analyse de l'eau brute délivre les signaux de mesure (MES, CE, pH et T°).

III.1.2.1.2. Traitement biologique

III.1.2.1.2.1. Bassin d'aération

En provenance du prétraitement, les eaux arrivent à la chambre de répartition entre les deux bassins d'aération distincts et accolés (un voile commun) de forme rectangulaire et ayant les dimensions suivantes:

Tableau III.5 : Dimensions des bassins d'aération

Nombre de bassin	2
Longueur au plan d'eau	66 m
Largeur au plan d'eau	44 m
Hauteur d'eau	4.5 m
Volume net unitaire	13068 m ³
Volume net total	26136 m ³

Source : [99]

A fin d'assurer le métabolisme microbien et le besoin énergétique pour la biodégradation des matières organiques, un apport d'oxygène est donc indispensable pour le traitement biologique, une teneur d'oxygène dissous de l'ordre de 1 à 3 mg/l devrait être maintenue dans le système d'aération.



Figure III.4 : Bassin d'aération de la STEP de Médéa

Les équipements prévus pour l'épuration biologique sont :

- 06 aérateurs de surface pour chaque bassin.
- 01 turbine à 12 pales d'acier de diamètre 2400 mm pour chaque aérateur.
- 01 déversoir de sortie du bassin avec baffle siphonide pour chaque bassin.

Chaque turbine ayant une capacité d'oxygénation de 120 kg O₂/h sous conditions standards, l'ensemble permet donc de fournir 1440 kg O₂/h.

Situé à l'aval de chaque bassin, une paroi siphonide exécutée en béton retient dans le bassin les mousses et autres flottants qui pourraient être générés par la rotation des aérateurs de surface, comme elle sert de paroi de tranquillisation.

Les bassins d'aération sont dotés chacun d'une chaîne de mesure de l'oxygène dissous, constituée de deux points de mesure pour le pilotage du fonctionnement des aérateurs de surface. La mesure d'oxygène au centre de l'ouvrage et à la sortie permet d'optimiser l'oxygénation et de faire donc des économies d'énergie.

III.1.2.1.2.2. Décantation secondaire

La liqueur mixte de boues activées est ensuite dirigée sur les ouvrages de décantation secondaire via le puisard de sortie des bassins d'aération et une tuyauterie DN 800, dans le but

de séparer l'eau épurée des boues qu'elle contient. La liqueur mixte est introduite en son centre; l'eau clarifiée déborde en périphérie dans une double goulotte de reprise et les boues se déposent sur le radier et seront raclées vers le centre de l'ouvrage ou elles s'épaississent légèrement.

Chaque ouvrage, de forme cylindro-conique a les dimensions suivantes :

Tableau III.6 : Dimensions du décanteur secondaire

Forme	Cylindro-conique
Diamètre	43 m
Hauteur cylindrique	3.8 m
Volume	5518 m ³

Source : [99]



Figure III.5 : Décanteur Secondaire de la STEP de Médéa

Chaque décanteur est équipé d'un pont roulant radial à commande périphérique et actionné par un motoréducteur d'entraînement disposant d'un racleur de surface pour la récupération des flottants et d'un racleur de fond pour la concentration des boues décantées vers le centre de l'ouvrage. Ce racleur repose sur un radier lisse et muni de bavettes en caoutchouc. Le raclage est facilité par une pente de 10% de l'ouvrage.

La récupération des flottants ayant échappés à l'ouvrage de déshuilage, s'effectue par l'intermédiaire d'une lame radiale en caoutchouc avec un raclage en surface et poussés vers un puisard annexe via un dispositif de récupération. Ils rejoignent la tête de station à travers une station de drainage.

Les eaux épurées se déversent dans la goulotte du type double afin de maintenir une charge hydraulique la plus faible même en temps de pluie; ce déversement s'effectue à travers des lames de débordement exécutées à partir de tôles d'acier galvanisé de 3 mm d'épaisseur; elles sont fixées à la goulotte de débordement.

III.1.2.1.2.3. Ouvrage de pompage et de recirculation des boues

Les boues décantées sont acheminées par une tuyauterie DN600 vers une fosse de pompage des boues de recirculation et d'excès située à l'axe des deux bassins d'aération. A l'arrivée de chaque conduite à la fosse; une vanne murale permet d'isoler le décanteur concerné.

Les pompes de recirculation de type submersible d'un débit de 820 m³/h à 6 m HMT sont au nombre de 04 (03 en fonctionnement et 01 en réserve). Chaque pompe à une tuyauterie de refoulement indépendante vers le canal de recirculation des boues qui se trouve entre les deux bassins d'aération. Dans ce canal est installé un jaugeur venturi pour la mesure de débit de recirculation avec une sonde ultrasonique et un transmetteur de débit qui sera affiché dans le système de gestion.

Au bout du canal venturi, les boues sont introduites dans chaque bassin d'aération par l'intermédiaire d'une ouverture aménagée dans le canal et qui peut être fermée grâce à une vannette à main, dans le cas où un bassin n'est pas en service.

Les boues activées en excès produites sont prélevées à partir de la dite fosse et refoulées en tête de l'épaississeur par deux électropompes immergées d'une capacité unitaire de 100 m³/h à 15 m HMT. Ces boues excédentaires sont comptabilisées au moyen d'un débitmètre électromagnétique.

III.1.2.1.3. Désinfection et comptage de l'eau épurée

III.1.2.1.3.1. Canal de comptage et d'échantillonnage

A la sortie de la décantation secondaire, les eaux dites épurées sont envoyées ensuite vers les bassins de chloration, via le chenal de mesure intégré à l'ouvrage, le chenal est équipé d'un jaugeur venturi, la hauteur d'eau au niveau du col de ce venturi est mesurée par une sonde ultrasonique, cette sonde est reliée à un transmetteur donnant une mesure locale de la valeur instantanée du débit ainsi que le cumul des volumes traités et qui seront affichés sur le système de gestion de la station.

Proportionnellement à la mesure de débit un échantillonneur automatique et une analyse de l'eau épurée délivre les signaux de mesure (MES, CE, pH et T°).

III.1.2.1.3.2. Bassin de chloration

Le chenal de mesure débouche ensuite sur le bassin de désinfection des eaux épurées, qui est d'un volume utile de 938 m³, il est dimensionné pour un temps de séjour de 30 mn pour le débit de pointe par temps sec et 17 mn par temps de pluie.



Figure III.6 : Canal de comptage et bassin de chloration de la STEP de Médéa

III.1.2.1.3.3. Station de chloration

Pour la désinfection des eaux épurées, une station de dosage d'hypochlorite de sodium prévue à cet effet est équipée de :

- Une pompe de transfert
- 02 pompes de dosage
- 02 cuves de stockage
- 01 cuve de préparation de l'hypochlorite de Ca équipée d'un agitateur
- 02 sondes de mesure de niveau continu
- Trois détecteurs de niveau
- Un rotamètre à contact

III.1.2.2 Ligne de traitement des boues

III.1.2.2.1. Epaissement des boues

Il s'agit d'une étape intermédiaire dans la diminution du volume de boues produites par la station, les boues en excès sont introduites par une tuyauterie DN150 au centre de l'épaississeur, doté d'un système de raclage des boues à commande centrale avec motoréducteur d'entraînement, et ce afin d'améliorer la concentration de ces boues en terme de matière sèche. En effet, la concentration des boues en excès avant l'épaississement est de l'ordre 9 g/l, quant à celle après épaissement, elle peut atteindre 25 g/l.

Tableau III.7 : Dimensions de l'épaississeur

Nombre des épaisseurs	1
Diamètre	16.00 m
Hauteur de boue	4.25 m
Surface	201.1 m ²
Volume net total	854 m ³
Charge superficielle	44.6 kg/m ² .j
Temps de séjour	1.3 j

Source : [99]

Les boues s'épaississent par l'action de pesanteur et du mécanisme racleur équipé des herse facilitant le dégagement de l'eau en créant des chemins dans la masse des boues.

L'eau ainsi séparée passe en surverse et sera récupérée via un déversoir équipé de lames crantées dans une bêche dite des filtrats. Ces derniers provenant en outre du débordement du drainage du classificateur de sable, du drainage du compacteur hydraulique et principalement du drainage des lits de séchage, seront pompés au moyen de deux pompes submersibles (une de secours) en tête de station.

Les boues épaissies sont raclées par des racles de fonds munis de bavettes en caoutchouc vers une poche à boues au centre du radier de l'ouvrage. Ce raclage est facilité par la pente du

radier de l'épaisseur. Après ces boues seront ainsi pompées vers les lits de séchage en vue de leur déshydratation naturelle.

III.1.2.2.2-Lits de séchage

Les boues épaissies, principalement constituées d'eau (environ 97%) représentent des volumes importants que la filière de traitement des boues va s'attacher à réduire autant que faire se peut; afin d'abaisser les coûts d'évacuation de ces produits de l'épuration.

La déshydratation des boues sur lits de séchage est un procédé de traitement qui permet l'épaississement, la minéralisation et le stockage, basé sur la filtration naturelle par gravité et le séchage à l'air de la boue.

Tableau III.8 : Caractéristiques des lits de séchage

Nombre de lits de séchage	23
Hauteur max de remplissage	0.3 m
Surface du lit de séchage unitaire	350 m ²
Volume du lit de séchage unitaire	105 m ³
Volume du lit de séchage total	2415 m ³

Source : [99]

Les boues arrivent par une conduite en PEHD de diamètre 90 et sont distribuées vers chaque lit par une tuyauterie en bec de DN80. L'eau contenu dans les boues s'infiltre à travers le massif filtrant constitué de plusieurs couches de matériaux (sable, gravier, galets...) et est récupérée ensuite par des drains et la boue est retenue à la surface du massif.

Dans le fond du lit des tuyaux de drainage en PVC évacuent l'eau filtrée vers le réseau de drainage, l'épaisseur de la boue peut atteindre 20-30 cm avant que l'on doive vider le lit de séchage. On dira donc que la déshydratation naturelle de la boue se déroule en deux phases :

- a). dans une première phase, la plus grande partie de l'eau interstitielle filtre rapidement sans entrave vers le fond du lit ; cette phase est estimée à un jour.
- b). la seconde phase est le séchage à l'air par évaporation, ce qui peut être estimé à une ou deux semaines.

Ces boues une fois pelletables peuvent être soit évacuées directement vers les utilisateurs (agriculteurs) soit envoyées à la décharge.



Figure III.7 : Epaississeur des boues et lits de séchage de la STEP de Médéa

III.2. ANALYSE DES SOUS-PRODUITS DE L'ÉPURATION

Le laboratoire de la STEP de Médéa a pour mission principale, le contrôle de la qualité des eaux à l'entrée et à la sortie de la station, c'est au niveau du laboratoire que s'effectue l'ensemble des analyses nécessaires au contrôle du bon fonctionnement du processus d'épuration par boues activées à savoir la T° , le pH, la Conductivité électrique, la DBO5, la DCO, les MES, les NO_3^- , l' NH_4^+ , le NTK et les PO_4^- pour l'eau et l'indice de boue, la siccité et les MVS pour la boue .

Le Ca^{++} , le Mg^{++} , le Na^+ , le K^+ Les ETM (Fe, Cu, Mn et Zn) de l'eau et de la boue ont été déterminés, au laboratoire de l'Institut National des sols et de l'irrigation et drainage (INSID) de K'sar Chellala ; ainsi que le C_{org} , le NTK et le phosphore de la boue.

L'analyse bactériologique de l'eau a porté sur la quantification des paramètres d'origine fécale (coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux) et a été réalisée au niveau du laboratoire de l'ADE de Djelfa.

III.2.1. FILIERE EAU

III.2.1.1. Mesure des débits

Pour l'eau brute à l'entrée de la station d'épuration de Médéa, le canal de sortie des dessableurs continue par un canal de mesure de débit de la STEP, équipé d'un jaugeur venturi, la hauteur d'eau est mesurée par une sonde ultrasonique reliée à un transmetteur, donnant une mesure locale du débit entrant ainsi que le cumul des volumes traités.

La mesure de débit est du type ultrasonique par canal "venturi", combinée avec un transmetteur, délivrant un signal correspondant à la valeur instantanée du débit et un signal impulsionnel pour totalisation du débit des eaux usées entrées à la station.

A la sortie de la décantation secondaire, les eaux dites épurées sont envoyées ensuite vers les bassins de chloration, via le chenal de mesure intégré à l'ouvrage, le chenal est équipé d'un jaugeur venturi, comme pour les eaux brutes, la hauteur d'eau au niveau du col de ce venturi est mesurée par une sonde ultrasonique, cette sonde est reliée à un transmetteur donnant une mesure locale de la valeur instantanée du débit ainsi que le cumul des volumes traités et qui seront affichés sur le système de gestion de la station.

III.2.1.2. Echantillonnage

Pour évaluer la qualité des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration, deux sites de prélèvement ont été échantillonnés pendant la période d'étude allant du mois de janvier 2013 au mois de novembre 2015. Ces sites de prélèvement sont situés proportionnellement à la mesure de débit à l'entrée et à la sortie de la STEP et sont équipées chacun d'un échantillonneur automatique; il s'agit d'une armoire d'échantillonnage autonome.

Les échantillons d'eau sont prélevés automatiquement dans des flacons en polyéthylène, préalablement lavés et rincés avec de l'eau distillée, puis ramenées au laboratoire de la STEP pour analyse.

III.2.1.3. Mesure de la température

L'analyse de ce paramètre est très importante, car elle conditionne de nombreux paramètres, tels que la conductivité électrique, l'oxygène dissous et le pH, ainsi que les réactions de dégradation et minéralisation de la matière organique. L'élévation de température s'accompagne d'une modification de la densité, d'une réduction de la viscosité, d'une diminution de la solubilité des gaz (oxygène). Quelques-uns de ces effets peuvent avoir une action bénéfique; c'est ainsi, par exemple, que l'augmentation de la température favorise l'autoépuration et accroît la vitesse de sédimentation, ce qui peut présenter un intérêt dans les stations d'épuration [100]; de plus, l'activité biologique prenant place lors du traitement décroît avec le froid, la vitesse de nitrification est très ralentie en dessous de 10°C [101]. Selon [102], une eau trop chaude ou trop froide peut donner lieu à des accidents surtout sur des jeunes plantes.

Matériel utilisé

La mesure de la température pour l'eau brute et épurée, a été réalisée au laboratoire de la STEP, par la méthode thermométrique à l'aide d'un multiparamètre de type Hach SensIon 156, appareil à lecture directe.

III.2.1.4. Le pH

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Il intervient dans ces phénomènes complexes avec d'autres paramètres comme la dureté, le dioxyde de carbone, l'alcalinité et la température [100]. Il est l'un des paramètres chimiques importants lorsqu'il s'agit de déterminer la qualité d'une eau. Il sert au contrôle de la qualité de l'eau à l'entrée de la station d'épuration (les variations importantes du pH sont presque toujours la conséquence de rejets industriels).

Le pH est généralement déterminé par la méthode potentiométrique, elle est plus précise et couramment utilisée. Son principe selon [100] est basé sur la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution, elle est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ présents.

Matériel utilisé

Le pH de l'eau brute et épurée a été déterminé au laboratoire par potentiométrie selon les protocoles de l'AFNOR NF T 90- 008, à l'aide d'un pH-mètre de type Hach SensIon 1, appareil à lecture directe.

III.2.1.5. Mesure de La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau traduit l'aptitude que possède celle-ci à laisser passer le courant électrique. Le transport des charges se fait par l'intermédiaire des ions contenus dans l'eau. Il est logique d'admettre que la conductivité d'une eau sera d'autant plus importante que sa minéralisation sera élevée, d'où l'intérêt que présente la mesure de la conductivité, mesure quasi instantanée, pour connaître la minéralisation d'une eau.

Selon [100] la conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

La conductivité d'un liquide dépend largement de la température. Cette dernière sera relevée très exactement au cours de la mesure. En dehors de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, effectuer une correction de la conductivité électrique mesurée à $\theta \text{ }^\circ\text{C}$ d'après la formule suivante :

$$C_{25 \text{ }^\circ\text{C}} = C_T \times f$$

C_T = Conductivité obtenue à la température lue sur le thermomètre.

f est donné par le tableau spécial (donné en Annexes).

Matériel utilisé

La conductivité de l'eau brute et épurée a été mesurée au laboratoire avec un conductimètre de type Hach SensIon 5, appareil à lecture directe.

III.2.1.6. Calcul de La salinité ou minéralisation

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité. Toutefois, la minéralisation déterminée par pesée de l'extrait sec n'est pas rigoureusement identique à celle calculée à partir de la conductivité, étant donné les erreurs inhérentes à la détermination de chacune de ces deux mesures [100].

La minéralisation de l'eau est calculée à partir du tableau suivant:

Tableau III.9 : Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité

Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	Minéralisation (mg/l)
conductivité $< 50 \mu\text{S/cm}$	$1.365079 \times$ conductivité
conductivité $[50 \text{ à } 166] \mu\text{S/cm}$	$0.947658 \times$ conductivité
conductivité $[166 - 333] \mu\text{S/cm}$	$0.769574 \times$ conductivité
conductivité $[333 - 833] \mu\text{S/cm}$	$0.715920 \times$ conductivité
conductivité $[833 - 10000] \mu\text{S/cm}$	$0.758544 \times$ conductivité
conductivité $> 10000 \mu\text{S/cm}$	$0.850432 \times$ conductivité

Source : [100]

III.2.1.7. Détermination des matières en suspension MES

La détermination des matières en suspension dans l'eau est réalisée par filtration ou centrifugation d'un volume aliquote, séchage à 105°C et pesée. Le choix de l'une ou l'autre des alternatives est guidé par la charge en matières en suspension de l'eau à analyser: la centrifugation est préférée pour des eaux chargées (colmatage du filtre), par contre La technique par filtration est adaptée à des échantillons peu chargés.

La mesure des MES au laboratoire de la STEP est effectuée sur les deux types d'eau, épurée (peu chargée) et brute (chargée).

Pour sa détermination, Un volume aliquote d'eau est filtré (eau épurée) sur papier filtre (0.4µm) ou centrifugé (eau brute) à 3250 tr/mn pendant 20 minutes. La masse de matière filtrée ou centrifugée est déterminée par pesée après séchage à 105°C pendant 02 heures. Le résultat est exprimé en mg de matière en suspension par litre d'échantillon, et donné par la formule suivante :

$$\text{MES (mg/l)} = (M2 - M1) \frac{1000}{V}$$

Avec M1: masse de la capsule vide ; M2 : masse de la capsule pleine après séchage à 105°C; V : Volume de la prise d'essai de l'échantillon d'eau en ml.

Matériel utilisé

- Centrifugeuse de marque Hermle Z300
- Pompe +fiole à vide + papier filtre 0.4
- Etuve à 105°C marque Binder
- Balance analytique marque KERN Als 220.4N

III.2.1.8. Mesure de La demande chimique en oxygène (DCO)

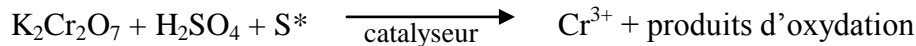
La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. Ainsi, par la mesure de la DCO, on pourra évaluer la charge polluante d'une eau usée en matières organiques avant et après un traitement physique, chimique ou biologique afin de contrôler le fonctionnement d'une STEP et l'activité des microorganismes.

Dans des conditions opératoires bien définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées, sous reflux durant 120 minutes à la température d'ébullition (150 °C), par le dichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) en milieu acide (H₂SO₄) et en présence des sulfates d'argent (AgSO₄) comme catalyseur. Un agent masquant, les sulfates de mercure (HgSO₄), permet d'éviter l'interférence éventuelle des chlorures.

L'excès de dichromate introduit est dosé par un réducteur, le sel de Mohr ((NH₄)₂Fe(SO₄)₂.6H₂O), on peut ainsi remonter à la quantité de dichromate consommé par les matières oxydables. Une à deux gouttes de l'indicateur Ferroïne, permet de détecter la fin du dosage.

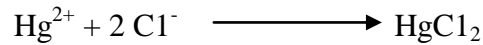
Les réactions peuvent être schématisées comme suit :

❖ Oxydation des substances (s*) présentes dans l'eau

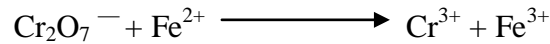


❖ Intervention d'un agent masquant

Pour éviter l'oxydation des ions chlorures en chlore, on utilise le sulfate de mercure (II) qui complexe les ions Cl^- :



❖ Réaction de dosage



La DCO, exprimée en milligramme par litre, est donnée par la formule :

$$\text{DCO (mg/l)} = 8000 \times C (V_1 - V_2) / V_0$$

Où

- C : est la concentration en quantité de matière, exprimée en moles par litre, de la solution de sulfate de Fer et d'Ammonium.
- V_0 : est le volume en millilitres, de la prise d'essai avant dilution (s'il ya lieu).
- V_1 : est le volume en millilitres de la solution de sulfate de Fer et d'Ammonium utilise pour l'essai à blanc.
- V_2 : est le volume en millilitres, de la solution de sulfate de Fer et d'Ammonium utilise pour l'échantillon.
- 8000 : est la masse molaire en milligrammes par litre de $\frac{1}{2} \text{O}_2$.

Matériel utilisé

- Un DCO mètre constitue de :
 - Bloc chauffant de 6 trous pour tubes DCO, Marque Behr-Labor Technik connecté à un appareil de programme de chauffage (150 pendant 120 mn)
 - Tubes à DCO (poste à 6)
- Agitateur marque IKA-REO basicc

III.2.1.9. Mesure de la demande biochimique en oxygène (DBO_5)

La demande biochimique en oxygène (DBO) est un critère de pollution organique basé sur la quantité d'oxygène consommée à 20°C et à l'obscurité pendant un temps donné pour assurer l'oxydation des matières organiques présentes dans l'eau, par voie biologique. On utilise conventionnellement la DBO_5 , c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée après 5 jours d'incubation.

Elle est mesurée par la méthode respirométrique dite manométrique ; la diminution de l'oxygène consommé lors de la biodégradation d'un échantillon provoque une diminution de pression mesurée à l'aide d'un manomètre. L'échantillon d'eau introduit dans une enceinte thermostatée est mis à incuber en présence d'air. Les micro-organismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par de l'oxygène en provenance du volume d'air situé au-dessus de l'échantillon. L'anhydride carbonique formé est piégé par de

l'hydroxyde de potassium ou de sodium. L'échantillon d'eau est donc mis dans un flacon surmonté d'un bouchon spécial qui mesure le processus respiratoire des micro-organismes vivants dans l'eau.

Plus la masse organique est importante et plus les micro-organismes consomment l'oxygène dont la concentration diminue, entraînant ainsi une diminution de la pression et donc une augmentation de la DBO.

Le flacon contenant l'échantillon est hermétiquement fermé à l'aide d'un bouchon spécial qui mesure la diminution de pression. L'afficheur analogique intégré au bouchon indique après calcul, la valeur de la DBO en mgO_2/l .

Le volume de l'échantillon diffère selon la valeur de la DBO attendue (estimée à 80% de la DCO). Le tableau III.10 présente la relation entre la DBO et le volume de l'échantillon. On procède à la fin à une correction de la mesure qui doit être multipliée par un facteur correctif F qui dépend de la quantité d'échantillon prélevée et de la gamme de mesure souhaitée.

Tableau III.10 : Intervalle de mesure de la DBO et volume d'échantillon Correspondant.

Volume de l'échantillon (ml)	Intervalle de mesure (mg/l O_2)	Facteur F
432	0 - 40	1
365	0 - 80	2
250	0 - 200	5
164	0 - 400	10
97	0 - 800	20
43.5	0 - 2000	50
22.7	0 - 4000	100

Source : [7]

Matériel utilisé

Le respiromètre adapté à la détermination de la DBO, utilise un bouchon équipé d'un capteur de pression qui garde automatiquement en mémoire les pressions aux temps 1, 2, 3, 4 et 5 jours.

Dans tous les cas, le flacon d'incubation est équipé d'un système d'agitation et d'une nacelle contenant de l'hydroxyde de sodium qui piège le dioxyde de carbone libéré lors de la biodégradation.

Le DBO mètre donc est constitué de :

- 12 flacons DBO adaptés au respiromètre utilisé (model oxitop IS12 marque WTW)
- enceinte thermostatée à $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ marque Aqua®lytica.



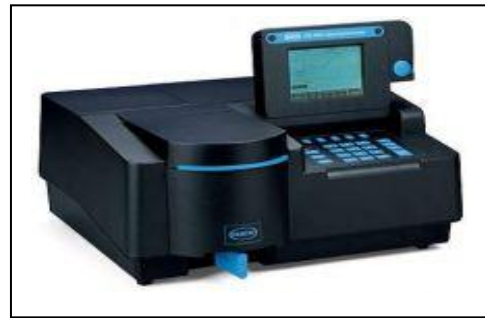
III.2.1.10. Mesure de l'ammonium NH_4^+

La méthode de détermination de l'azote ammoniacal est basée sur la mesure spectrométrique du composé formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

Pour faire, on prend 40 ml d'eau à analyser et on ajoute 4 ml du réactif coloré (Tricarbonate de sodium; Salicylate de sodium, Nitropruciate de sodium et H_2O distillée) en agitant, puis on ajoute 4 ml de la solution dichloroisocyanurique, ensuite on ajuste à 50 ml avec l'eau distillée et attendre 1h 30 minutes. L'apparition de la couleur verdâtre indique la présence des NH_4^+ , on effectue donc la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 655 nm, préalablement étalonné avec la gamme des solutions de concentrations connues d'ammonium. Le résultat est donné en mg/l, qu'il faut le multiplier par le facteur de dilution.

Matériel utilisé

- Spectrophotomètre type HACH modèle DR/4000 V



III.2.1.11. Dosage des Nitrates NO_3^-

Le principe du dosage des nitrates NO_3^- est basé sur le mesurage spectrométrique du composé jaune issu

de la réaction des nitrates avec l'acide sulfosalicylique (formé par addition à l'échantillon de salicylate de sodium et d'acide sulfurique) après traitement à l'alcali. En même temps que l'alcali, on ajoute de l'EDTA pour empêcher les précipitations des sels de Ca et de Mg. L'adjonction d'azoture de sodium vise à neutraliser l'interférence des nitrites.

On effectue donc la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415 nm, préalablement étalonné avec la gamme des solutions de concentrations connues de nitrates.

Matériel utilisé

- Spectrophotomètre type HACH modèle DR/4000 V

III.2.1.12. Dosage des orthophosphates PO_4^{3-}

La réaction des ions orthophosphates avec une solution acide contenant des ions de molybdate et d'antimoine, forme un complexe d'antimonyl- phosphomolybdate.

Ensuite, la réduction du complexe par l'acide ascorbique pour former un complexe de molybdène fortement coloré en bleu. L'absorbance de ce complexe sera mesurée pour déterminer la concentration des orthophosphates.

On effectue donc la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 880 nm, préalablement étalonné avec la gamme des solutions de concentrations connues des orthophosphates.

Matériel utilisé

- Spectrophotomètre type HACH modèle DR/4000 V

III.2.1.13. Dosage du Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+

Les cations Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+ présents dans les échantillons d'eau épurée, après filtration, sont analysés au laboratoire de l'INSID, par spectrométrie d'absorption atomique (SAA), qui est un procédé de dosage quantitatif, principalement destiné à la détermination des faibles teneurs, généralement en suspension ou en solution. C'est une méthode d'analyse élémentaire qui utilise la propriété des atomes d'être excités par apport d'une énergie extérieure sous forme de photons de fréquence bien définie.

En spectrométrie d'absorption atomique (SAA) on utilise un générateur de photons dont la fréquence correspond à l'élément à doser. Une population d'atomes, générée par un atomiseur à partir de l'échantillon, est éclairée par ce rayonnement lumineux de longueur d'onde donnée. Les atomes absorbent cette énergie incidente pour passer du niveau fondamental au niveau énergétique excité et le nombre de photons absorbés dans ce rayonnement incident est en rapport avec la concentration.

Pour le dosage au spectromètre d'absorption atomique, il faudra prévoir pour ces cations des gammes étalons préparées comme suit, avec pour chaque élément, sa longueur d'onde de lecture :

- Na^+ : solution étalon, à partir du chlorure de sodium (NaCl). Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 589 nm.
- K^+ : solution étalon à partir du chlorure de potassium (KCl). Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 766.5 nm.
- Ca^{++} : solution étalon à partir du carbonate de calcium (CaCO_3). Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 422.7 nm.
- Mg^{++} : solution étalon à partir du (MgSO_4). Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 285.2 nm.

Puis nous passons les échantillons et lisons directement les concentrations en mg/l

Matériel utilisé

Le SAA du laboratoire de marque Perkin Elmer type AAnalyst 200 est constitué des parties suivantes :

- **Le générateur d'absorption:** Une lampe à cathode creuse dont la nature varie suivant l'élément à doser.
- **Une source d'atomisation:** On utilise la flamme produite par la combustion du mélange air-acétylène.
- **Un sélecteur de radiation (système dispositif):** On utilise un monochromateur à prisme, son rôle principal est la séparation de la ligne de résonance de l'élément recherché des lignes non absorbables émises par la lampe à cathode creuse.



- **Un dispositif de mesure (le détecteur):** L'énergie lumineuse est alors transformée en tension électrique proportionnelle à l'énergie incidente, qui sera amplifiée avant d'être sur un cadran de lecteur ou enregistrer automatiquement.

III.2.1.14. Calcul du SAR

Une fois connaître les concentrations des éléments Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} en ml/g, puis les convertir en me/l, le SAR est obtenu à partir de la formule :

$$\text{RAS} = \frac{[\text{Na}^+]}{([\text{Ca}^{++}] + [\text{Mg}^{++}]) / 2}^{1/2} \quad \text{Avec } [\text{Na}^+], [\text{Ca}^{++}] \text{ et } [\text{Mg}^{++}] \text{ en me/l.}$$

III.2.1.15. Les éléments traces métalliques (ETM)

Les ETM ont été dosés au laboratoire de l'INSID de la même façon que les cations précédents en utilisant le même SAA, seulement en lui changeant les lampes (à cathodes) par celles des Fe^{++} Mn^{++} Cu^{++} Zn^{++} . Les gammes d'étalonnage sont préparées à l'aide de solution mère Perkin-Elmer à 1g/l. Ensuite nous passons les échantillons et lisons directement les concentrations en mg/l à des longueurs d'ondes suivantes :

- Fe^{++} , effectuer les lectures à la longueur d'onde de 248.3 nm
- Mn^{++} , effectuer les lectures à la longueur d'onde de 309.3 nm
- Cu^{++} , effectuer les lectures à la longueur d'onde de 324.7 nm
- Zn^{++} , effectuer les lectures à la longueur d'onde de 213.86 nm

III.2.1.16. Les pathogènes

La colimétrie et la streptométrie ont été effectuées au laboratoire de l'ADE de Djelfa par la méthode de filtration, qui est une méthode rapide, simple, normalisée et nécessitant la disponibilité d'une rampe de filtration.

III.2.1.16.1. Recherche de coliformes totaux

Tout d'abord, nous débutons par le remplissage de façon aseptique de l'entonnoir avec 100 ml d'eau à analyser puis nous actionnons la pompe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane, nous retirons ensuite la membrane à l'aide d'une pince stérile et la plaçons dans une boîte de Pétri de 45 mm de diamètre contenant de la gélose TTC (2, 3,5-triphenylterazoliumchloride). Cette membrane sera incubée à 37°C pendant 24 heures et servira à la recherche des coliformes totaux.

III.2.1.16.2. Recherche des coliformes fécaux

Nous avons appliqué la même méthode que celles des coliformes totaux sauf qu'ici les boîtes de Pétri sont incubées à 44°C pendant 24 heures. Après ce temps d'incubation, et dans le cas positif, il y aura un développement de petites colonies jaunes ou orangées, lisses, légèrement bombée. Le nombre de colonies trouvées sera exprimé à 100 ml d'eau à analyser.

III.2.1.16.3. Recherche des streptocoques fécaux en milieu solide

A l'égard de la colimétrie, la streptométrie par filtration est une méthode rapide, simple, normalisée mais nécessitant la disponibilité d'une rampe de filtration.

Tout d'abord, nous mettons en place de façon aseptique une membrane de 0.45 μ entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile, ensuite nous remplissons de façon aseptique l'entonnoir avec 100 ml d'eau à analyser, puis actionnons la pompe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane. Par la suite nous retirons la membrane à l'aide d'une pince stérile et la plaçons dans une boîte de Pétri de 45 mm de diamètre contenant de la gélose SLANETZ et BARTLEY. Cette membrane sera incubée à 37°C pendant 24 heures.

Après 24 heures d'incubation, si les résultats sont positifs, les streptocoques fécaux apparaissent sous forme de petites colonies rouges, marron ou roses, lisses légèrement bombées. Etant donné le caractère sélectif de la gélose SLANETZ, ne pousseront théoriquement que les streptocoques fécaux. Le nombre de colonies trouvées sera exprimé dans 100 ml d'eau.

Matériel utilisé

La Rampe de filtration utilisée



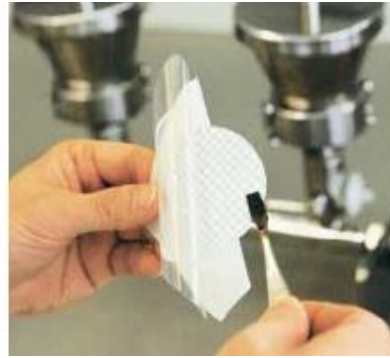
Etuve model BINDER



Stériliser : l'entonnoir, le fritté et le couvercle à la flamme



Stériliser les pincettes à la Flamme et les laisser refroidir



Retirer la membrane de son emballage



Mettre le filtre sur le fritté du Support du filtre



Filter l'échantillon



Déposer le filtre sur la gélose
En faisant attention qu'il n'y ait pas de bulle d'air



Mettez les boîtes dans l'étuve avec le couvercle vers le haut

III.2.2. FILERE BOUE

III.2.2.1. L'indice de Boue IB

Ce paramètre permet d'apprécier l'aptitude de la boue à la décantation. Cet indice représente le volume occupé par un gramme de boue, après 30 minutes de décantation dans une éprouvette transparente d'un litre.

Il dépend donc de deux éléments :

- Le volume de boues décantées V_{30} exprimé en ml.l^{-1}
- La concentration en MES des boues exprimée en g.l^{-1}

$$\text{IB (ml.g-1)} = V_{30} / [\text{MES}]$$

Le volume décanté V_{30} mesuré, doit impérativement être inférieur à 300 ml, ce qui peut nécessiter une dilution de la boue par de l'eau épurée avant réalisation du test. Pour le calcul, il faut tenir compte de la dilution.

Matériel utilisé

- Eprouvette transparente d'un litre
- chronomètre

III.2.2.2. La siccité ou matière sèche

La siccité est le pourcentage de matière sèche .En effet une boue avec une siccité de 10% correspond à 90% d'eau.

Cette mesure s'effectue par la mise en place de l'échantillon dans une étuve à 105 °C durant 24 heures .Connaissant la masse initiale et la masse finale après perte d'eau, la siccité est calculée comme suit:

$$\text{Siccité \%} = 100.(P_2-P_0)/(P_1-P_0)$$

Où

P_0 : poids de la capsule vide

P_1 : poids de la capsule vide + échantillon

P_2 : poids de la capsule vide + échantillon, après séchage 105°C à l'étuve /24h

Matériel utilisé

- Etuve à 105°C marque Binder
- Balance analytique marque KERN Als 220.4N

III.2.2.3. La matière organique ou MVS

Les matières sèches (MS) sont composées de matières minérales (MM) et de matières organiques appelées matières volatiles sèches (MVS). La concentration des MVS est généralement exprimée en pourcentage par rapport aux MS, on parle alors de taux MVS.

Pour la détermination du taux MVS, mettre sous calcination pendant 2 heures la capsule (échantillon ayant servi à la détermination de la siccité à 105 °C) dans le four à 550 °C.

Ce taux est donné par la formule suivante :

$$\text{MVS \%} = 100.(P_2-P_3)/(P_1-P_0)$$

Où :

P_3 : poids de la capsule vide + échantillon, après calcination au four à 550 pendant 02heures

Matériel utilisé

En plus du matériel de la siccité :

- Four à 550°C marque Nabertherm 30-3000°C

III.2.2.4. Le rapport C/N

III.2.2.4.1. Le carbone organique

Le carbone organique (%) est dosé par la méthode de WALKLEY, dont il est oxydé par du bichromate de potassium en excès, en milieu acide sulfurique. L'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par une solution de sel de Mohr (qui réduit les bichromates) en présence de diphénylamine jusqu'obtention d'une couleur bleu vert.

Calcul

$$\% \text{ C} = 0.9975.t. (N-n)$$

Ou :

N : le nombre de millilitre de sel de Mohr versés

n : le nombre de millilitre de sel de Mohr versés pour le témoin (sable calciné).

III.2.2.4.2. L'azote NTK

La plus grande partie de l'azote dans la boue se trouve sous forme organique. Afin de déterminer l'azote total de la boue, le laboratoire de l'INSID adopte la méthode de « KJELDAHL », son principe est basé sur deux étapes : la digestion puis la distillation :

La boue sèche finement broyée est chauffée avec de l'acide sulfurique concentré, qui à l'ébullition détruit par son action oxydante les matières organiques azotées.

Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de CO₂ et H₂O, et l'azote transformé en ammoniacque est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammoniacque SO₄(NH₄)₂.

Cette transformation nécessite l'emploi de catalyseurs (un mélange de : sulfate de potassium, sulfate de cuivre et sélénium).

Enfin, l'ammoniacque formée est déplacée de ses combinaisons par la soude concentrée, distillée par entraînement de vapeur, recueillie dans une solution d'acide borique, et dosée par l'acide sulfurique titré.

Calcul

$$(\%) N = A/A' \cdot (T-B) \cdot N \cdot 1,4/S$$

Ou :

T : volume de l'acide sulfurique utilisé pour le dosage de l'échantillon,

B : volume de l'acide sulfurique utilisé pour le dosage de témoin,

A : volume de la fiole jaugée,

A' : volume prélevé de la fiole,

N : normalité de l'acide sulfurique,

S : poids de l'échantillon.

Matériel utilisé



Aspirateur Buchi Scrubber B -414



Digesteur/ Buchi digest Automat K-438



Distillateur/ Buchi distillation unit K-314

III.2.2.5. Le phosphore assimilable

L'extraction et le dosage du phosphore sont réalisés par la méthode JORET- HEBERT qui utilise une solution d'oxalate d'ammonium avec une agitation pendant 2 heures.

Le P_2O_5 (ppm) est déterminé par colorimétrie basée sur la formation et la réduction d'un complexe de l'acide phosphorique et de l'acide molybdique par l'acide ascorbique qui provoque par chauffage, le développement d'une coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en orthophosphates.

Les solutions étalons d'ortho phosphate sont préparées à partir du KH_2PO_4 et servent à l'étalonnage du colorimètre.

Les lectures à l'aide du colorimètre sont faites à une longueur d'onde de 650 nm.

Calcul

$$P_2O_5 \text{ (mg/l)} = X \cdot U / v \cdot V/p$$

Ou :

X : concentration lue sur le graphique en mg/l de P_2O_5

U : volume colorimétrique (10 ml).

v : volume de prise d'essai (1.5 ml).

V : volume de la solution d'extraction (100 ml).

P : poids de la prise de terre (4g).

Matériel utilisé

- Colorimètre marque JENWAY model 6051
- Agitateur mécanique
- Bain marie



III.2.2.6. Dosage des cations Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+

Les cations Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+ présents dans les échantillons de boue sont analysés au laboratoire de l'INSID, par spectrométrie d'absorption atomique (SAA). Cependant les boues étant des solides, il est nécessaire d'extraire totalement ces éléments dans une solution par digestion en mettant en contact une partie d'un échantillon de boue préalablement asséché, broyé et passé au tamis (2 mm) avec une solution d'eau régale (acide nitrique+ acide chlorhydrique) concentrée puissante et chauffée .

Une fois la mise en solution est établie, les extraits seront traités de la même façon que pour le dosage des cations des eaux épurées ainsi que la préparation des gammes étalons

Nous passons ensuite les échantillons et lisons directement les concentrations.

Ou :

$$\text{(ppm) Na, K, Ca ou Mg} = X \cdot (V/100) \cdot (V_1/V_2) \cdot (1000/P)$$

X : concentration lue sur le graphique en mg/l de

V : volume de la solution dosée (ml).

V_1 : volume de la solution de percolation (ml).

V_2 : volume prélevé du V_1 pour la dilution (ml).

P : poids de la prise de boue (g).

Matériel utilisé

- SAA marque Perkin Elmer type AAnalyst 200

III.2.2.7. Les éléments traces métalliques (ETM)

Les teneurs totales en éléments traces métalliques (ETM) dans la boue ont été mesurées par la même méthode employée dans le dosage des cations précédents, à savoir la digestion par l'eau régale (ER = HCl + HNO₃) puis dosage au même SAA, avec remplacement des lampes (à cathodes) par celles des Fe⁺⁺ Mn⁺⁺ Cu⁺⁺ Zn⁺⁺. Les gammes d'étalonnage et les longueurs d'ondes sont celles utilisées pour le dosage des ETM de l'eau épurée.

III.3. ETUDE ECONOMIQUE

Tout projet de réutilisation des sous produits de l'épuration en agriculture dans sa deuxième phase, doit faire l'objet d'une étude économique avant sa mise en oeuvre, si les autres conditions techniques sont réunies à savoir l'aptitude de ces sous produits à l'utilisation en agriculture. La contrainte économique est diagnostiquée par une étude de rentabilité de ce projet (coûts d'investissement, prix de revient, tarification, bénéfice.)

En Algérie, la mise en place des stations d'épuration avait pour origine la protection de l'environnement et non pas la réutilisation de ses sous produits. Ce qui limite l'étude économique au stade de l'épuration qui débute à l'entrée de la STEP et ne prend pas en considération le coût d'investissement relatif au réseau d'assainissement et la réalisation de la STEP. De là il ressort que notre étude touchera les coûts d'exploitation de la STEP accordant ainsi un prix de revient pour arriver à une tarification de ces sous produits qui seront mis à la disposition des agriculteurs à des fins d'irrigation et d'épandage. Et ce, par un contrat ou une convention d'exploitation régie par un cahier des charges portant sur la concession d'utilisation des eaux usées épurées [89], entre les deux parties à savoir l'exploitant du service d'assainissement (l'ONA) et l'agriculteur.

Selon [103], il existe fondamentalement deux méthodes pour l'évaluation économique des programmes de gestion de l'eau: l'analyse coût-bénéfice (ACB) et l'analyse coût-efficacité (ACE). Pour notre cas d'étude, nous avons utilisé l'ACB qui vise à déterminer si le projet est économiquement justifié, c'est-à-dire si les bénéfices sont supérieurs aux coûts [104]. En outre, nous avons déterminé les gains et bénéfices économiques non monétaires.

III.3.1. Gestion d'exploitation de la STEP de Médéa

Pour une bonne exploitation et un suivi rigoureux des performances de la station et dans le but de programmer les opérations nécessaires à temps, l'unité de l'ONA de Médéa établit un rapport d'exploitation où seront consignées les observations, les mesures et le bilan des activités réalisées au niveau de la station d'épuration. Ce rapport comprend: les travaux d'entretien réalisés, les analyses de laboratoire (résultats d'analyses et dépouillement de ces résultats) et les frais d'exploitation (frais du personnel, frais d'entretien, frais de laboratoire,

frais divers de gestion et autres frais). Ces rapports sont communiqués mensuellement à la Direction générale où se fait la collecte nationale dans le but de faire une synthèse et un tableau de bord mensuel qui servira d'outil d'aide à la décision pour la tutelle.

III.3.2. L'analyse économique

L'analyse économique permet de conclure si le projet doit être mis en place et vise à déterminer si le projet est économiquement justifié, c'est-à-dire si les bénéfices sont supérieurs aux coûts [104]. Cette rentabilité économique constitue un enjeu majeur pour les projets de réutilisation des sous produits de l'épuration en agriculture, puisque celle-ci détermine leur faisabilité [105].

Dans cette étude, l'accent est mis sur l'analyse économique de type analyse coûts bénéfices (ACB). D'après [104], les coûts privés incluent les coûts de l'investissement initial (coût de construction ou mise à niveau de l'usine de traitement et du réseau) et les coûts d'exploitation et de maintenance. Dans notre cas, la STEP de Médéa a été conçue et réalisée dans le cadre de la protection de l'environnement. La réutilisation de ses sous produits n'a pas été envisagée et par conséquent, le coût d'investissement ne sera pas inclut dans cette étude. Les principaux coûts associés à la réutilisation sont les coûts d'exploitation de la station d'épuration, enregistrés pendant la période d'étude 2013, 2014 et 2015.

III.3.3. Gains et bénéfices économiques non monétaires

La valeur économique des projets de réutilisation des eaux usées municipales ne correspond pas seulement à son coût monétaire, mais aussi à ses gains et bénéfices économiques non monétaires [105]. Il s'agit de l'économie de l'eau et du gain en eau conventionnelle engendré par la réutilisation des eaux épurées, ainsi que le gain en fertilisants générés par les sous produits de l'épuration.

III.4. ANALYSE ET ENQUETE SOCIALE

III.4. 1. Problématique de l'étude

En sa troisième phase, le projet de réutilisation des sous produits de l'épuration en agriculture fera l'objet d'une étude sociologique à travers une enquête sociale de terrain qui mesure la recevabilité de la population pour l'usage agricole des sous produits de l'épuration. Sur cette base, des questions principales ont été formulées comme suit :

- Quelle est la perception de la population (membres de l'échantillon, des personnes) de l'importance de la préservation de l'eau pour les générations futures?
- La population possède-t-elle une idée sur les eaux usées traitées et les STEP existantes en Algérie?
- Les répondants acceptent-ils la consommation des produits agricoles ou produits des animaux ayant consommés des fourrages des sols irrigués par les eaux épurées ou épandus par les boues ?

- Dans quel domaine acceptent les membres de la société l'utilisation des eaux usées traitées?

III.4.2. Les hypothèses

D'après [106], une hypothèse peut être conçue comme une réponse provisoire à une question que l'on se pose relative à une question de départ et qui va être validée ou invalidée, confirmée ou infirmée par le travail de terrain.

Sur la base des questions posées autour de notre sujet de recherche, il est possible d'élaborer un ensemble d'hypothèses pour ensuite mettre à l'épreuve celles-ci sur le terrain. Les hypothèses aux quelles nous tenterons de répondre par le biais de notre recherche empirique sont les suivantes :

- a- Les individus de la population sont conscients de l'importance de la préservation de l'eau pour les générations futures.
- b- La majorité de la population ne dispose pas d'une bonne idée sur les stations de dépollution en Algérie.
- c- Les individus de la population sont contre la consommation des produits agricoles ou produits des animaux ayant consommés des fourrages irrigués par les eaux épurées.
- d- Les individus de la population acceptent d'utiliser les eaux épurées en irrigation des produits agricoles non consommables.

III.4.3. Population d'étude et l'échantillon

Une population, dans le sens statistique du terme, est un ensemble d'individus ou d'unités statistiques qui composent la totalité de l'univers qui est étudié [107]. C'est le fondement essentiel pour la réalisation d'une enquête sur terrain.

En pratique, il est souvent difficile de considérer la population dans sa totalité. On choisit alors un groupe d'individus dans la population suivant un processus de sélection précis. Ce groupe est appelé échantillon [108].

La population d'étude ciblée représente les habitants de la ville de Médéa. Ce choix est basé sur l'existence de la STEP, objet de l'étude, dans cette région qui se caractérise par les terres agricoles et la culture à grande échelle sous ses diverses formes, ainsi que la facilité de communication et de mobilité soit personnelle, soit par des collègues et des parents.

Un questionnaire formulé pour les besoins de l'enquête, a été distribué à un échantillon de la population de la ville de Médéa choisi au hasard. Et en réponse aux objectifs de l'étude, 384 formulaires ont été distribués, 323 ont été récupérés d'où un pourcentage de 84% de l'ensemble des formulaires distribués. 302 ont été validés soit 93% des formulaires récupérés. Les résultats ont été analysés en fonction de ce nombre.

III.4.4. Elaboration du questionnaire

Nous avons opté pour la technique du questionnaire, qui consiste d'après [109] à poser à un ensemble de répondants une série de questions relatives à leur situations sociales, professionnelles ou familiales, à leurs opinions, à leurs attitudes à l'égard d'options ou d'enjeux humains et sociaux, à leurs attentes, à leurs niveaux de connaissance ou de conscience d'un événement ou d'un problème, ou encore sur tout autre point qui intéresse les chercheurs. Cette méthode appelle à formaliser une série de réponses à la plupart des questions de sorte que les répondants puissent choisir leurs réponses parmi celles qui leurs sont proposées [106].

Pour ce faire nous avons utilisé l'échelle de Likert comme modalité de réponse qui évalue les attitudes et comportements en proposant des choix de réponses allant d'un extrême à l'autre. Alors le répondant exprime son degré d'accord ou de désaccord sur une ou plusieurs propositions. L'échelle de Likert employée est de type trois et cinq niveaux [110]. Pour le test statistique d'hypothèse, nous avons utilisé le test d'adéquation de khi-deux χ^2 .

III.4.4.1. Mesure de la fiabilité et de la validité du questionnaire

Le développement et la validation d'une échelle de mesure requièrent une phase préparatoire avant d'aborder la phase de collecte par questionnaire. Il est recommandé d'identifier un nombre important d'items, de le soumettre à un jury d'expert et seulement ensuite de vérifier auprès des répondants la qualité de la formulation des items et de leur compréhension [111].

La fiabilité du questionnaire est la stabilité de l'échelle de mesure et l'absence de contradiction. D'après [112], La fiabilité (ou fidélité) est vérifiée lorsque, utilisé plusieurs fois dans les mêmes conditions, un instrument donne les mêmes résultats. Pour la validité du questionnaire, elle réfère au degré auquel l'échelle mesure ce qu'elle est supposée mesurer [113].

La mesure du degré de fiabilité et de validité se fait à l'aide du coefficient alpha de Cronbach qui est un nombre ou une échelle unique qui mesure le degré de fiabilité et de validité des questions du questionnaire. Cet instrument de mesure sert à évaluer les corrélations entre les énoncés d'une échelle qui mesure un concept. Il s'interprète comme un coefficient de corrélation classique: plus il est proche de 1, plus l'échelle est fiable (0.6 et 0.8). C'est sans doute l'instrument de fiabilité le plus utilisé par les chercheurs [114]. Ses valeurs varient entre le zéro 0 et un 1 et s'il n'y a pas de constance dans les données, la valeur du paramètre est égale à zéro et au contraire, s'il y a une stabilité parfaite des données, la valeur du paramètre est égale à 1. Une valeur d'alpha de Cronbach de 60% est acceptable pour la validité du questionnaire. Plus cette valeur augmente plus le degré de validité augmente aussi.

III.4.4.2. Test d'adéquation de khi-deux χ^2

Pour s'assurer de la validité des résultats, nous avons utilisé le test d'adéquation de khi-deux χ^2 , c'est un test non paramétrique inférentiel qui peut être utilisé pour parvenir à des

conclusions sur la population à travers l'échantillon prélevé de celle-ci. Ce test est utilisé lorsque les données sont nominales ou sous forme de fréquences. L'adéquation vise à étudier la similarité des fréquences de l'échantillon, appelées habituellement fréquences observées avec les fréquences attendues de la variable, objet de l'étude dans la population de référence [115].

➤ **Hypothèses de test**

Hypothèse nulle H_0 : Signifie que les réponses n'ont pas d'Indication significative; il n'y a pas de différences significatives entre les fréquences observées et celles attendues.

Hypothèse alternative H_1 : Les réponses ont une Indication significative; il existe des différences significatives entre les fréquences observées et celles attendues.

D'après [110], si $\text{prob} < 0.05$ on rejette H_0 et on accepte H_1 et vice versa.

III.4.4.3. La forme finale du questionnaire

Le questionnaire a été divisé en deux sections pour prendre la forme suivante :

1ere section : comporte des informations générales sur :

Le sexe, l'âge partagé en catégorie d'âge : moins de 30 ans - entre 31 et 50 ans – plus de 51 ans, Résidence : rurale – urbaine, Niveau de scolarité: aucun-primaire-lycée et universitaire, Profession : agriculteur – autre.

2eme section : relative au renseignement sur l'avis et le degré d'acceptation liée au sujet d'étude à travers trois parties:

Partie I : Concerne le diagnostic de la perception générale de l'importance de la conservation de l'eau, ainsi que le degré de connaissance des eaux usées traitées, et se compose de cinq expressions ou variables.

Partie II: Analyse de la tendance générale de l'échantillon d'étude sur l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture, et se compose de six expressions.

Partie III: Examine les détails de l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture, et se compose de huit expressions.

Le questionnaire a été formulé dans sa majorité sous forme de questions aux choix multiples et ceci pour faciliter le dépouillement et l'interprétation des réponses fournies.

Une version complète du questionnaire final en langue française est présentée en Annexe. A signaler que la version soumise dans l'enquête de terrain était présentée en Arabe.

III.4.5. Traitement statistique des données

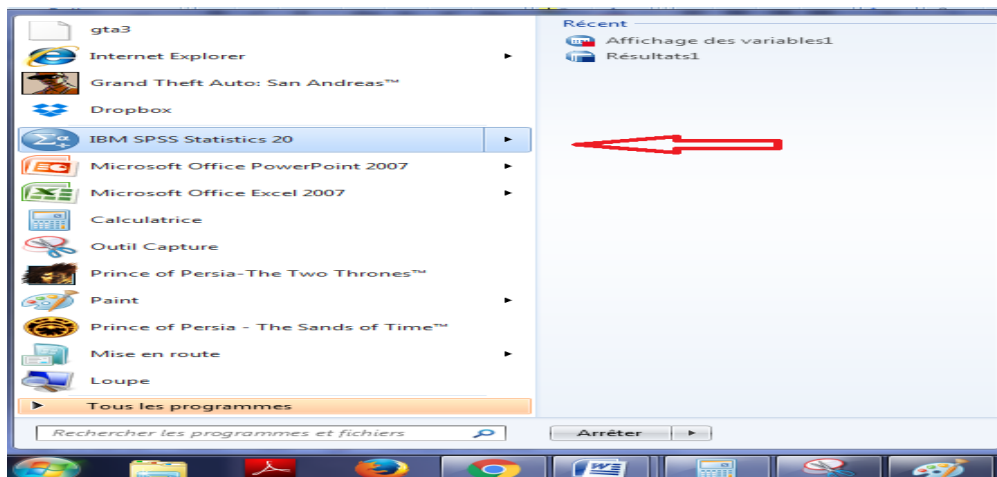
Les données du questionnaire ont été saisies dans la plateforme du logiciel SPSS (Statistical Package for Social Sciences), qui d'après [116], son objectif est d'offrir un logiciel permettant de réaliser la totalité des analyses statistiques habituellement utilisées en sciences humaines. Notre but est d'aboutir au résultat de la tendance sociale à l'égard de l'objet de l'enquête. Les

méthodes statistiques descriptives ont été utilisées pour le traitement des données et ont comporté:

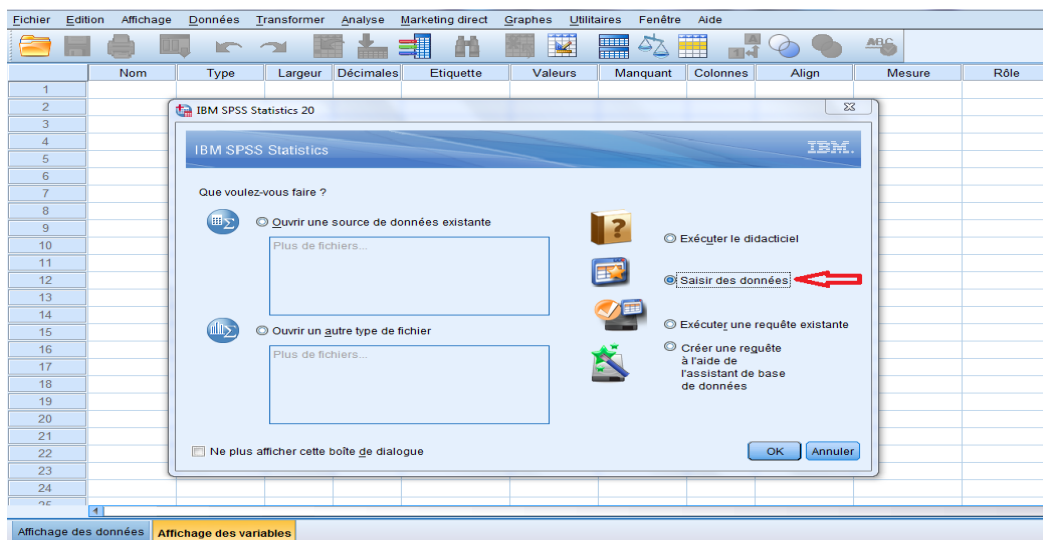
- ✓ l'utilisation des fréquences et pourcentage et la représentation graphique de la distribution des caractéristiques de l'échantillon d'étude ainsi que la distribution des tendances des répondants de l'échantillon en fonction des questions du formulaire.
- ✓ L'utilisation des moyennes arithmétiques pondérées afin d'identifier les tendances de l'échantillon, ainsi que l'écart type pour mesurer la dispersion des valeurs des réponses de l'échantillon d'étude par rapport à la moyenne arithmétiques.

Les étapes de définition des variables et saisie des données dans la plateforme du logiciel SPSS20 sont comme suit :

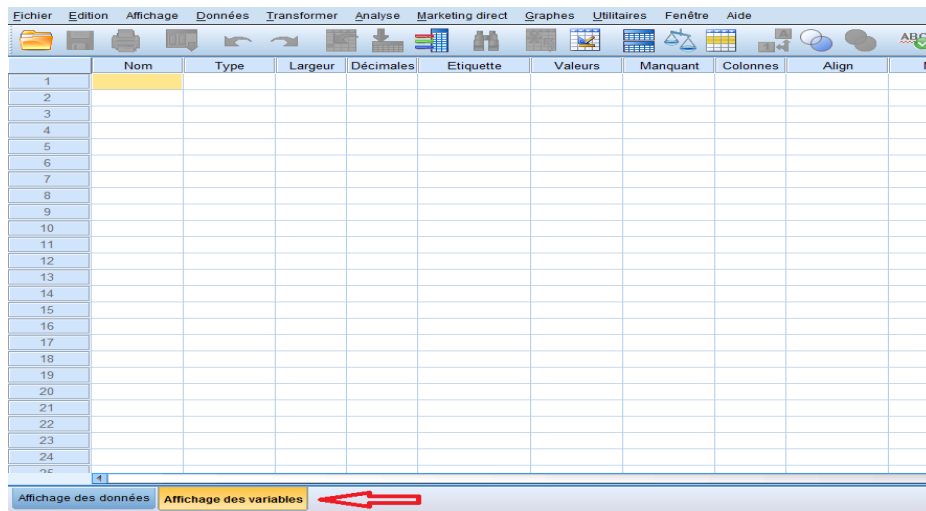
1. Commencez par ouvrir **IBM-SPSS Statistics** en double-cliquant son icône dans le menu Démarrer au bas de l'écran.



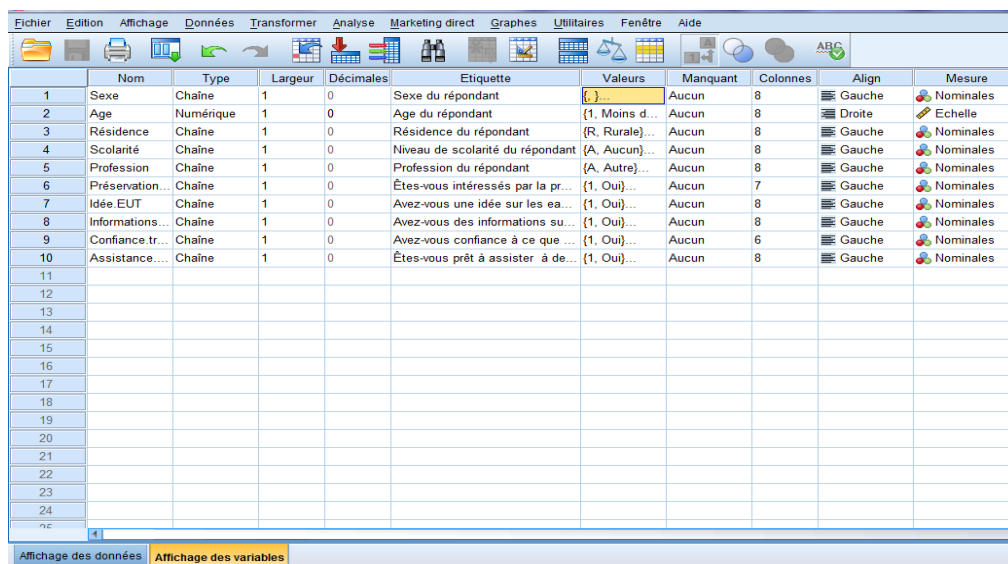
2. Une fenêtre s'ouvre, choisir à droite **Saisir des données**.
3. Puis cochez **OK**, au bas de la fenêtre.



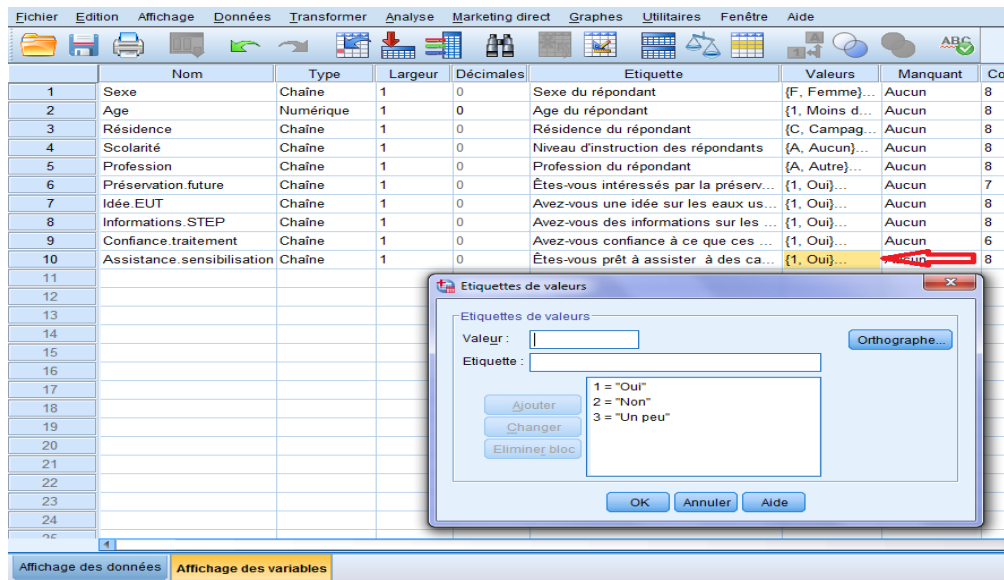
4. Une matrice de données vierge s'ouvre.
5. Avant d'inscrire les données dans cette matrice, il faut définir les variables de notre recherche en cliquant sur l'onglet **Affichage des variables** au bas de la page.



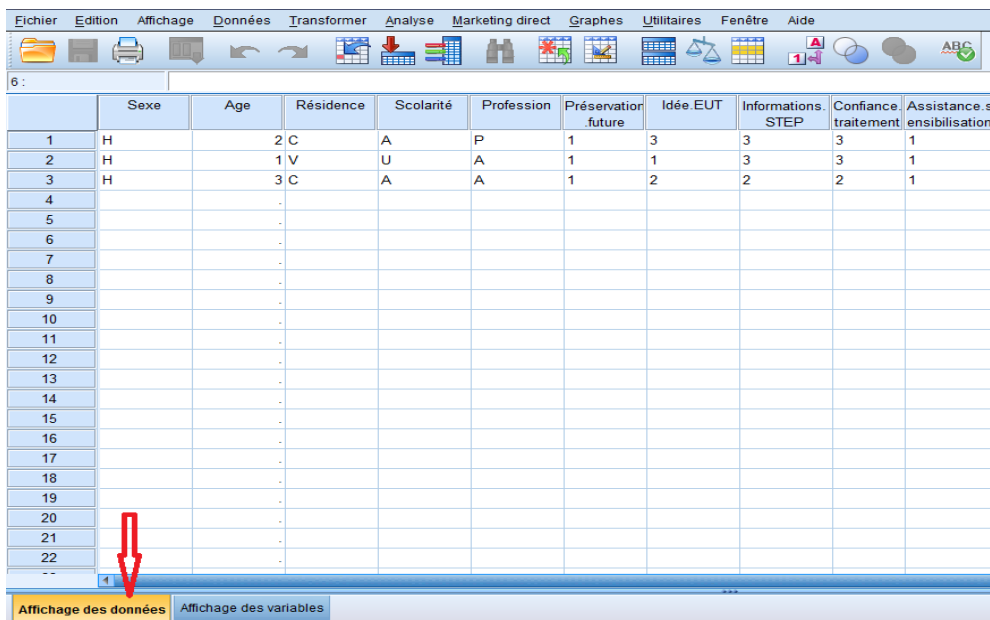
6. Maintenant on définit les variables en commençant par leur donner un **nom** et on passe aux colonnes suivantes : **type**, **largeur**, **décimales** et dans l'**étiquette** on met la question, ensuite on définit la **valeur** en cliquant sur le carré bleu à droite de la case valeur. Finalement, on choisit sous **Mesure** la nature de votre variable : Arrivant à Échelle (= quantitative), Nominale (= qualitative) ou Ordinale (= qualitative)



7. Ensuite, on attribue une **Valeur** à chacun des niveaux.



8. Après avoir terminé toutes les variables relatives aux questions formulées, on commence la saisie des données en cliquant sur l'onglet **Affichage des données** au bas de la page. Les variables vont se mettre en colonnes et les données en lignes.



9. Le plus important est la saisie des données, une fois terminée vient ensuite tout ce qui est traitement et analyse des données, tableaux des valeurs déduites, graphiques et calcul des paramètres.

Chapitre IV

Résultats expérimentaux et interprétations

IV.1. RESULTATS D'ANALYSE

Pour tout projet de réutilisation des sous produits de l'épuration en agriculture, particulièrement les eaux et les boues, des analyses physico-chimiques et bactériologiques doivent être opérées sur ces éléments afin d'évaluer leurs qualités et leurs niveaux de réponse aux exigences et directives établies dans le cadre de l'irrigation et l'épandage agricole. Dans ce contexte, les résultats obtenus des analyses effectuées sur les différents échantillons à travers les trois (03) laboratoires à savoir le Laboratoire de la STEP, celui de l'INSID de K'sar chellala et celui de l'Algérienne des Eaux de Djelfa, sont interprétés et comparés à quelques recommandations et normes existantes. Pour ce faire nous avons choisi une période d'étude de 35 mois, du mois de janvier 2013 au mois de Novembre 2015; durant la quelle, les résultats obtenus pour les deux filières, sont présentés et interprétés comme suit :

IV.1.1. FILIERE EAU

IV.1.1.1. Le débit des effluents

Les différentes valeurs du débit enregistré au niveau de la STEP, sont portés sur la graphique suivant :

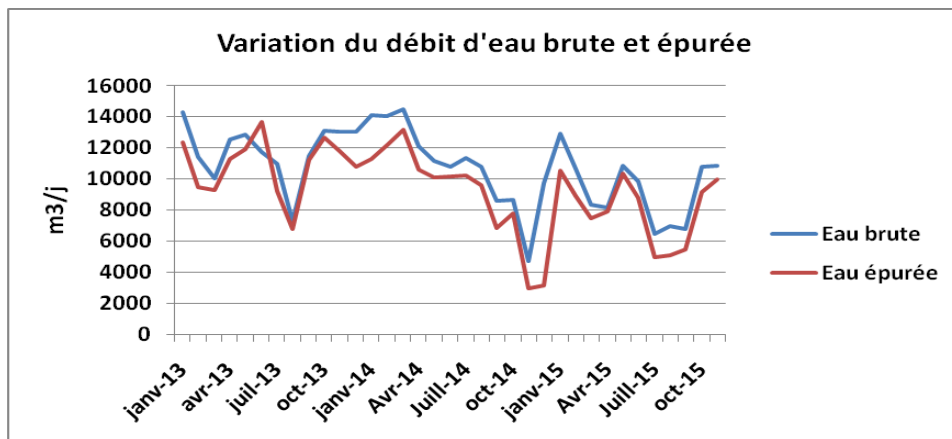


Figure IV.1. Représentation graphique de la variation mensuelle des débits

Ce graphe présente une valeur moyenne de débit à l'entrée de la STEP de $10723 \text{ m}^3/\text{j}$ comprise entre un minimum de $4705 \text{ m}^3/\text{j}$ et un maximum de $14502 \text{ m}^3/\text{j}$ et une valeur moyenne à la sortie de $9362 \text{ m}^3/\text{j}$ comprise entre $2957 \text{ m}^3/\text{j}$ et un maximum de $13186 \text{ m}^3/\text{j}$ pendant la période d'étude. Le pic enregistré au mois de mars 2014, représente 55.77% de la capacité nominale de la station. Il est du fait que le réseau d'assainissement de la ville de Médéa est du type unitaire avec une pluviométrie importante pendant ce mois (la station a été by passée à cause de la crue plusieurs fois: le 02, 05, 09, 14, 15, 25 et 29/03/2014). Quant à la valeur minimale enregistrée au mois de Novembre 2014, elle est due à l'arrêt de la station du 19/10/2014 au 18/11/2014 pour nettoyage et entretien des ouvrages hydrauliques.

IV.1.1.2. La température

Les valeurs moyennes de la température des eaux usées au cours de la période d'étude, varient entre 17.28°C à l'entrée de la STEP et 17.26°C à sa sortie. Ces valeurs sont conditionnées, essentiellement, par la température des rejets domestiques d'une part et des conditions météorologiques d'autre part. A la sortie, une valeur maximale de 27.35°C est enregistrée, au mois d'aout 2014 et une valeur minimale de 6.31°C pendant le mois de février 2013.

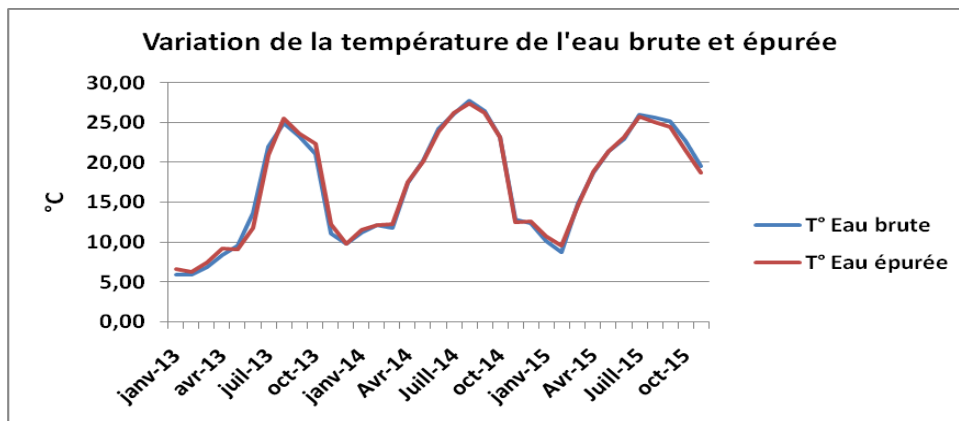


Figure IV.2.Représentation graphique de la variation mensuelle des T°

Les valeurs prises par la température des effluents de la STEP de Médéa se situent dans une gamme favorable à l'activité microbienne (< 30 °C). Ceci favorise le traitement biologique des eaux usées ainsi que le développement de la végétation lors de leur valorisation agricole [117].

IV.1.1.3. Le pH

Le pH conditionne un grand nombre d'équilibre physicochimique et dépend de multiples facteurs, dont l'origine de l'eau, les apports agricoles, les rejets des agglomérations et des industries.

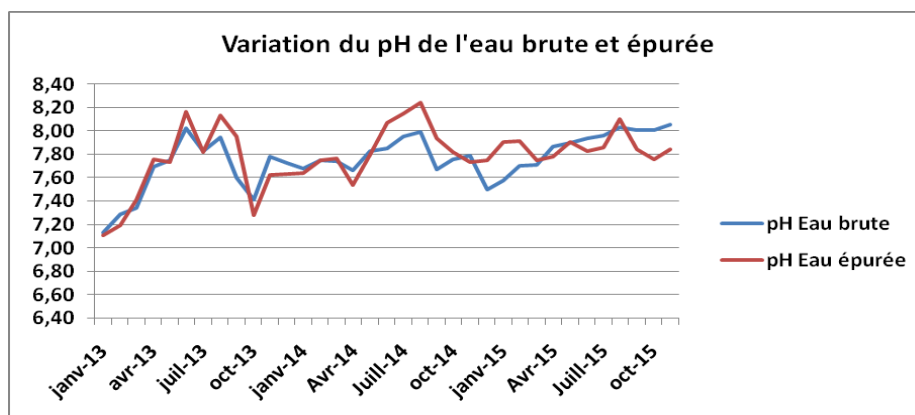


Figure IV.3.Représentation graphique de la variation mensuelle du pH

Le pH des eaux usées de Médéa varie en moyenne de 7.76 à l'entrée de la STEP et 7.78 à la sortie. Il est relativement stable au voisinage de la neutralité, comme c'est le cas pour la plupart des eaux usées domestiques. D'après [71] le pH est compris dans la gamme normale

située entre 6.5 et 8.4, dans les directives de la FAO. Il est conforme à la NA (Norme Algérienne) [91]. Mais dans le cas des eaux usées acides à cause de rejets industriels ou accidentels, il y a alors risque de dégradation de la structure du sol et de mise en solution des métaux toxiques pour la plante et pour l'homme.

IV.1.1.4. La conductivité électrique Ce

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées au sein de la station d'épuration varient entre une moyenne de 2412 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à l'entrée et 2165 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à la sortie (figure IV.4)

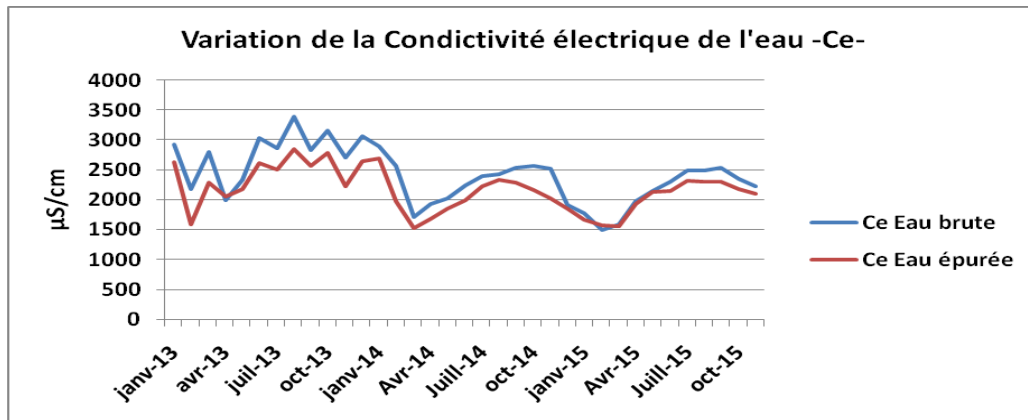


Figure IV.4. Représentation graphique de la variation mensuelle de la Ce

Nous remarquons que la Ce des eaux brutes est supérieure à celle des eaux épurées. Ces valeurs trouvées sont situées entre 700 et 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, un intervalle de restriction légère à modérée, apporté dans les directives de la FAO pour la qualité des eaux d'irrigation [71]. Ces valeurs sont inférieures à la concentration maximale de la NA [91]

D'après la classification des eaux d'irrigation rapportée par Richards [24], les effluents de la STEP de Médéa appartiennent à la classe III. Cette classe se caractérise par une forte salinité. En cas d'exploitation en agriculture, elle peut provoquer des phénomènes de salinisation au niveau du sol. Une exploitation qui reste toujours possible sous certaines conditions.

IV.1.1.5. La salinité

Quant à la salinité, elle est donnée à partir de la conductivité électrique par le tableau III.9. Alors, la conductivité de notre eau est comprise entre [833 – 10000] $\mu\text{S}/\text{cm}$, d'où une salinité qui correspond à $0.758544 \times$ conductivité. Ce qui donne à l'eau brute une salinité moyenne de 1830 mg/l et 1643 mg/l pour l'eau épurée.

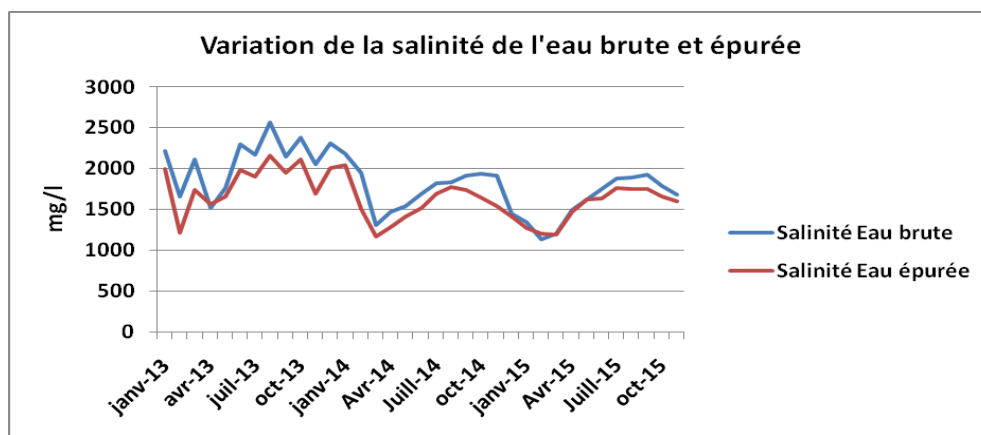


Figure IV.5.Représentation graphique de la variation mensuelle de la salinité

L'évolution de la salinité est semblable à celle de la conductivité. Elle confère aussi à l'eau le même caractère de restriction légère à modérée quant à sa valorisation agricole. Selon [118], l'usage des eaux de forte salinité, appartenant aux classes III, à des fins agricoles est envisageable sur des cultures particulièrement résistantes. Le risque encouru par les cultures est fonction de la nature des sels minéraux contenus dans l'eau d'irrigation, leurs teneurs et la texture du sol [119].

IV.1.1.6. Matières en suspensions (MES)

L'analyse des MES révèle une diminution très importante des valeurs moyennes de l'entrée (479.44 mg/l) vers la sortie (22.31 mg/l) de la station. La STEP de Médéa a réussi à atténuer fortement la pollution particulaire, soit un abattement de 95%. Les valeurs des MES de l'eau brute varient entre 733.71 mg/l enregistrée au mois d'Août 2013 comme maximale et 211 mg/l comme valeur minimale au mois de Septembre 2015.

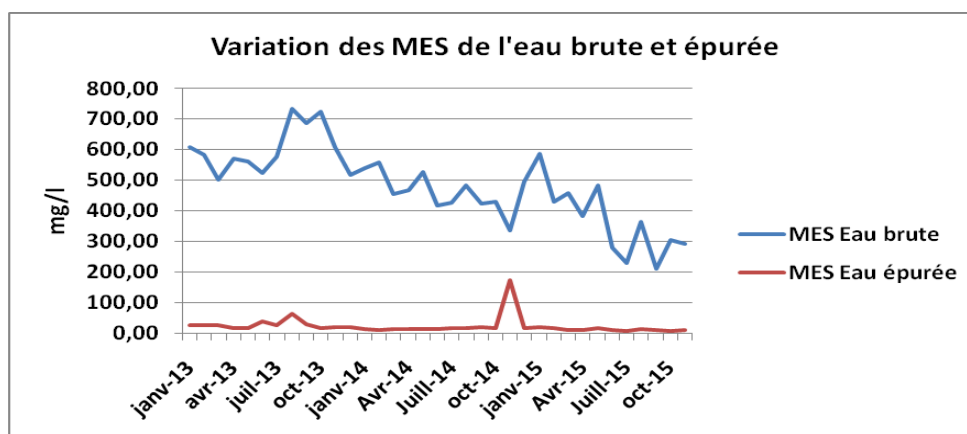


Figure IV.6.Représentation graphique de la variation mensuelle des MES

Le résultat obtenu au niveau de l'entrée de station d'épuration est évidemment élevé car il s'agit d'eau usée urbaine, et sa diminution à la sortie est due au traitement d'épuration qu'a subie l'eau usée. Cette diminution est très importante car il ne reste que 5% des MES initiales, ce qui donne encore une idée sur l'efficacité du traitement, surtout si on considère que les

normes des MES dans les recommandations USEPA, pour le rejet des eaux traitées est de < 30 mg/l [74]. C'est la même concentration maximale apportée dans la NA [91], d'où il n'y a aucune restriction quant à la réutilisation de cette eau en irrigation.

IV.1.1.7. La demande biologique en oxygène (DBO₅)

La concentration organique des eaux usées, telle que mesurée par sa DBO₅, est un des plus importants critères utilisés dans la conception d'une installation de traitement des eaux usées afin de déterminer le degré de traitement nécessaire. La charge organique de l'installation de traitement est la DBO₅ des eaux usées qui y sont amenées. Pour déterminer l'efficacité du traitement et prévoir l'impact des effluents sur les eaux réceptrices, on effectue des tests de DBO₅, avant et après le traitement.

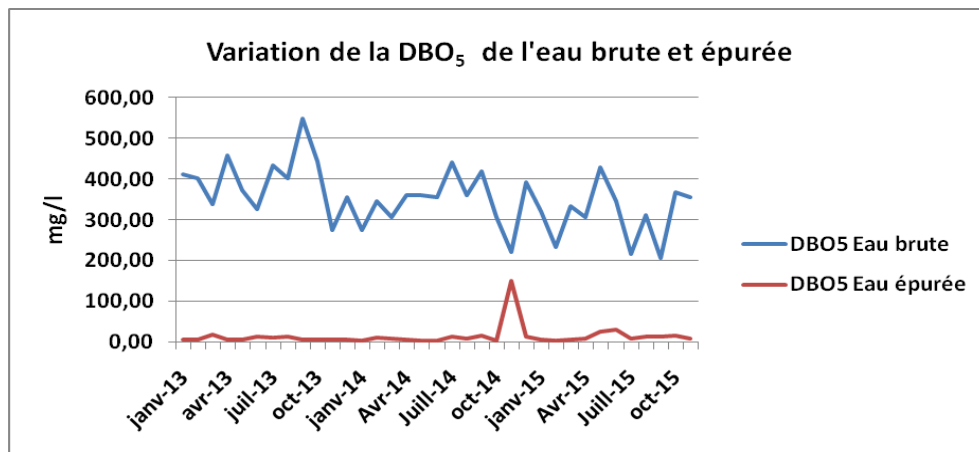


Figure IV.7. Représentation graphique de la variation mensuelle de la DBO₅

Les valeurs moyennes de la DBO₅ enregistrées au sein de la station d'épuration varient de 352.33 mg/l à l'entrée et 13 mg/l à la sortie (figure IV.7), d'où un abattement de 96% de la charge organique. La valeur minimale enregistrée au niveau de la sortie de la station d'épuration, indique que le traitement biologique effectué sur l'eau usée est acceptable, surtout si on considère que la recommandation USEPA exige une DBO₅ < 30 mg/l [74]. Elle est inférieure à la valeur maximale de 30 mg/l dans la NA [91]. Ceci souligne le rôle des bactéries aérobies et micro-organismes minéralisateurs qui utilisent l'oxygène pour détruire la matière organique.

Si la matière organique présente des effets néfastes pour les milieux aquatiques par la surconsommation d'oxygène de ces milieux, elle est d'un grand intérêt en irrigation. Les effets de la matière organique s'exercent principalement sur les propriétés du sol, soient physiques (stabilité structurale, aération, rétention et économie d'eau), chimiques (capacité d'échange) ou biologique [120]; [121].

IV.1.1.8. La demande chimique en oxygène (DCO)

Les résultats de la DCO sont présentés dans le graphe suivant :

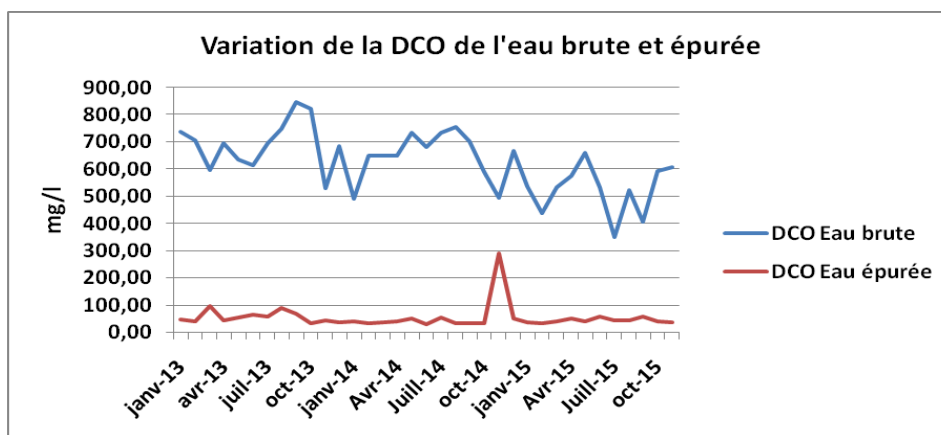


Figure IV.8.Représentation graphique de la variation mensuelle de la DCO

Le graphe retraçant la moyenne des concentrations de la DCO, montre des abattements poussés dans le procédé d'épuration, soit 91% de rendement, justifié par un enregistrement d'une valeur moyenne de DCO pour les eaux brutes de 624.97 mg/l et pour les eaux épurées à la sortie de la station, une valeur moyenne de 55.10 mg/l. D'après [91], cette valeur est inférieure à la concentration maximale exigée dans la NA. La valeur maximale à l'entrée de 846.16 mg/l est observée au mois de Septembre 2013 et le minimum de 351.09 mg/l est relevé au mois de Juillet 2015.

IV.1.1.9. Coefficient de biodégradabilité $k=DCO/DBO_5$

Ainsi, d'après le graphe (figure IV.9), les eaux usées à l'entrée de la STEP sont majoritairement de nature domestique, cela est déduit du rapport $k=DCO/DBO_5$ qui est en moyenne de $1.77 < 2.5$, ce qui indique que la matière oxydable (MO) de ces eaux usées est facilement très biodégradable. Par ailleurs, ça signifie que la contribution des activités industrielles – si elles existent - à l'évolution de la DBO_5 et la DCO est faible.

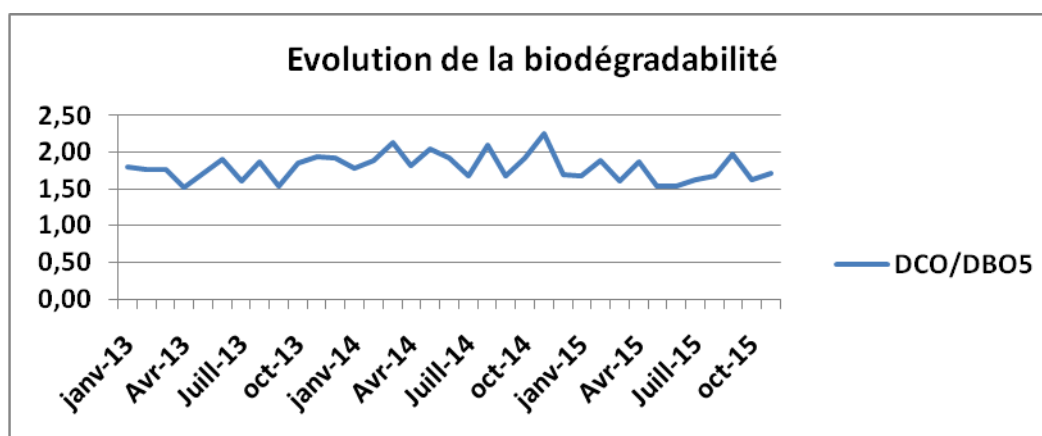


Figure IV.9.Représentation graphique de la variation mensuelle du rapport DCO/DBO_5

IV.1.1.10. Le SAR

L'interprétation des résultats du sodium ne peut se faire sur la teneur du sodium seul, malgré ses effets indésirables sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et sur le comportement des cultures. Ces effets sont tributaires de la présence/absence d'autres éléments. Les ions comme le calcium et le magnésium, dans les proportions rencontrées naturellement dans les sols, maintiennent la structure de ceux-ci. Lorsque ces sols sont soumis à l'irrigation avec des eaux riches en Na^+ échangeable, ce dernier peut se substituer aux ions alcalino-terreux des argiles et défloculer ces dernières, entraînant une destruction du sol qui se traduit par une réduction de la perméabilité et de la porosité des couches superficielles du sol. L'eau d'irrigation stagne alors à la surface de celui-ci, et ne parvient plus jusqu'aux racines. D'autre part, à proportions égales de sodium et d'alcalino-terreux dans la solution, la tendance à la sodisation du sol est d'autant plus forte que la concentration en cations totaux dans la solution est plus élevée.

Sachant que le $\text{SAR} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})/2]^{1/2}$; les résultats d'analyse des espèces ioniques du SAR, trouvées dans l'eau épurée, sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV.1. Les espèces ioniques du SAR mesurées

Elément mesuré	(mg/l)	(meq/l)
Na^+	95	4.13
Mg^{++}	35	2.88
Ca^{++}	102	5.09
SAR		2.06

Ainsi, les risques de sodisation relatifs à une eau d'irrigation sont caractérisés par deux paramètres: le SAR (Sodium Adsorption Ratio), qui rend compte du rapport entre les concentrations en sodium et en alcalino-terreux, et la conductivité de l'eau appliquée.

La conductivité électrique mesurée des eaux épurées de la STEP est d'une moyenne de 2165 $\mu\text{S}/\text{cm}$, elle est supérieure à 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le SAR est compris entre 0 et 3. D'après les recommandations de la FAO (1985), ces valeurs de la conductivité et du SAR, confèrent à l'eau une qualité d'irrigation sans aucune restriction d'utilisation [71]. Pour la NA qui exige pour un SAR compris entre 0 et 3, une CE supérieure à 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [91], ces valeurs sont conformes.

D'après le diagramme de la classification des eaux d'irrigation sur l'échelle de Riverside (figure IV.10), les eaux épurées de la STEP de Médéa sont du type C3S1.

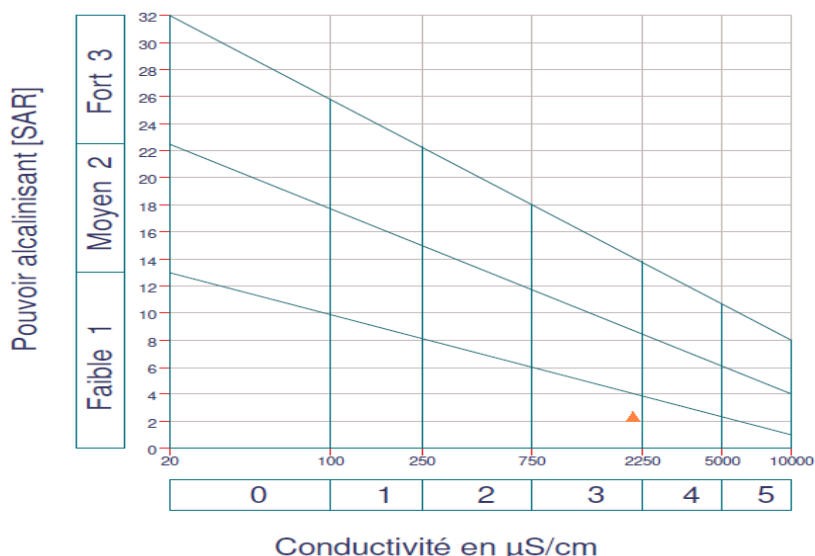


Figure IV.10 Diagramme de Richards (Riverside)

Les eaux d’irrigation du type C3S1 sont des eaux utilisables sans contrôle particulier pour l’irrigation de cultures moyennement tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité. Toute fois la qualité d’une eau d’irrigation ne peut être établie qu’en fonction du sol qui la reçoit et la culture à pratiquer [65].

Et d’après [17] (tableau II.4 ou la figure II.3), pour les valeurs du SAR et la C_e , cette eau n’a aucune influence sur le taux d’infiltration au niveau du sol irrigué.

IV.1.1.11. les fertilisants

IV.1.1.11.1. L’azote

L’azote des eaux usées se trouve sous formes organique et inorganique. Les formes inorganiques sont immédiatement disponibles pour la plante tandis que les formes organiques doivent être minéralisées par les microorganismes. La forme de l’azote ciblée par cette étude est la forme minérale, ammoniacale (NH_4^+) et nitrique (NO_3^-).

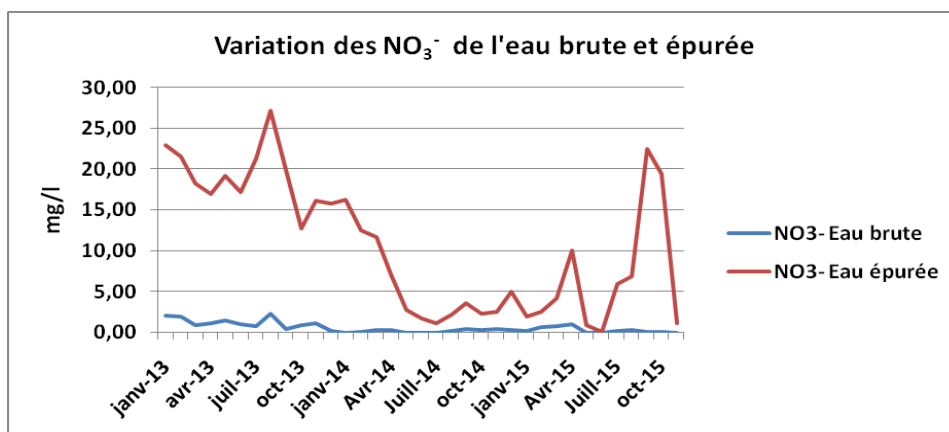


Figure IV.11.Représentation graphique de la variation mensuelle des NO_3^-

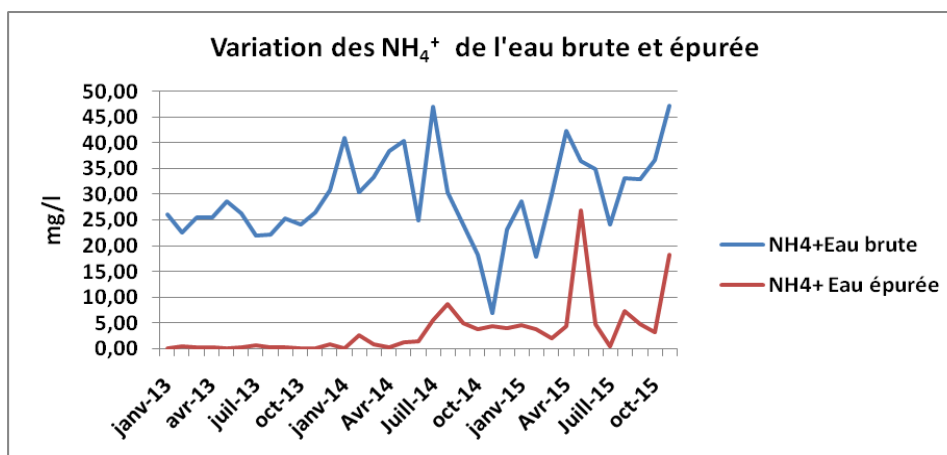


Figure IV.12.Représentation graphique de la variation mensuelle des NH₄⁺

D'après les résultats obtenus au laboratoire pendant la période d'étude, les valeurs moyennes des nitrates varient de 0.59 mg/l à l'entrée et 10.61 mg/l à la sortie de la station (figure IV.11). Celles de l'ammonium varient de 29.36 mg/l à l'entrée et 3.46 mg/l pour les eaux épurées. Ces résultats indiquent une augmentation légèrement croissante des teneurs moyennes des nitrates de l'entrée à la sortie de la STEP. La teneur en ammonium, par contre, diminue sur le même axe.

A l'entrée de la STEP, la faible teneur en nitrates est due au fait que l'azote, se trouve sous ses formes ammoniacales ou organique, fortement présentes dans les eaux usées domestiques, puis progressivement pendant l'épuration, ces derniers s'oxydent par nitrification au niveau du bassin d'aération, générant les nitrates; ce qui explique la proportionnalité inversée entre l'ammonium et les nitrates, c-à-d les quantités d'azote ammoniacal sont transformées en azote nitrique.

D'après les recommandations de la FAO données par [71], notre eau épurée a une valeur moyenne des nitrates située entre 5 mg/l < 10.61 < 30 mg/l, un intervalle qui a un degré de restriction à l'usage agricole léger à modérer. En cas de fortes doses selon [71], certaines cultures sont très efficaces pour consommer l'azote et empêcher son accumulation dans le sol et sa migration, sous forme nitrique, vers les eaux souterraines. Ce sont généralement des cultures à coupes multiples et à enracinement profond.

IV.1.1.11.2. Le phosphore

Dans les eaux usées, la part des rejets humains ne représente que 30 à 50 % du phosphore total (entre 5 et 20 mg/l), le reste provenant des produits de nettoyages [100].

D'après [122], le phosphore est assimilé par les plantes sous la forme d'ortho phosphates, ce qui permet de dire que le phosphore apporté par les eaux usées est biodisponible dans de grandes proportions, allant jusqu'à 60 à 70% [123].

Les teneurs moyennes enregistrées des phosphates varient de la plus élevée, celle de l'entrée de la station d'épuration (2.29 mg/l), à la plus basse vers la sortie (0.63 mg/l).

Les phosphates selon [100], ont longtemps échappé au traitement des stations d'épurations biologiques classiques et de ce fait, se retrouvaient dans les rejets. Donc la diminution des teneurs en phosphates de l'entrée à la sortie de la station est due à leur consommation par les bactéries au cours du processus d'épuration.

On ne rencontre pas en général de problèmes liés à un excès de phosphore; selon [124], Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol; leur présence naturelle dans les eaux est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique.

Ici dans notre cas la teneur de l'eau épurée en phosphate (0.63 mg/l) est située entre 0 et 2 mg/l; une gamme habituelle dans l'eau d'irrigation [65].

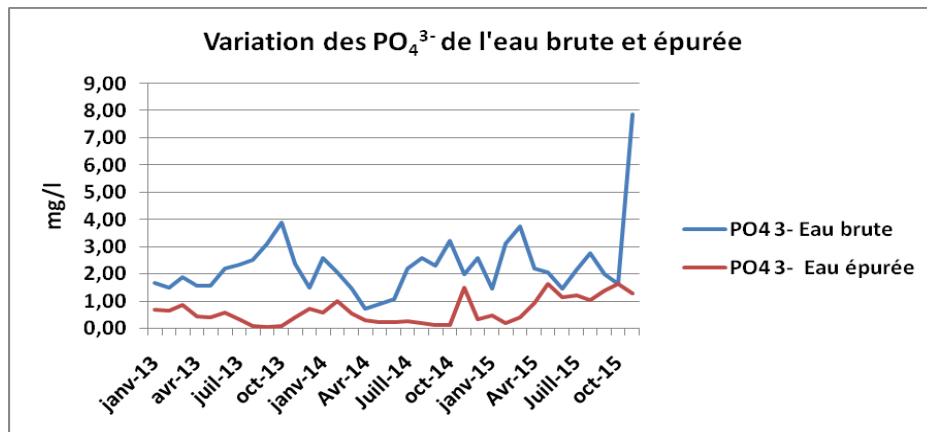


Figure IV.13.Représentation graphique de la variation mensuelle des PO₄³⁻

IV.1.1.11.3. Le potassium

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 [65].

Et d'après [24], la concentration en potassium dans les effluents secondaires varie de 10 à 30 mg/l et permet donc de répondre partiellement aux besoins des plantes. Un excès de fertilisation potassique conduit, à une fixation éventuelle du potassium, à un état très difficilement échangeable, à une augmentation des pertes par drainage en sols légers et à une consommation de luxe pour les récoltes.

Dans notre cas, la concentration en potassium des eaux épurées est de 14 mg/l, une valeur considérée normale et sans aucun effet nocif ou inhibiteur quant à l'utilisation de ces eaux en irrigation.

IV.1.1.12. les éléments traces métalliques (ETM)

Les métaux lourds (ETM) que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux; les plus abondants sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel,

etc.) sont présents à l'état de traces [8]. En irrigation, la solubilité des ETM dépend essentiellement du pH du sol, et leur assimilation par les plantes est plus élevée dans les sols acides que dans les sols basiques ou calcaires.

Cependant, il faut noter que, sauf exception, telles la présence d'établissements industriels très polluants raccordés directement au réseau d'assainissement ou la réutilisation directe des eaux usées brutes, les concentrations en métaux lourds dans les eaux résiduaires traitées sont faibles et ne constituent pas un facteur limitant la réutilisation des eaux usées en irrigation. En effet, l'essentiel de ces métaux est retenu dans les boues des stations d'épuration lors du traitement des eaux usées [24].

IV.1.1.12.1. Le fer et le manganèse

Si on se réfère à la classification des métaux en fonction de leur dangerosité et de leur intérêt agronomique (Figure II.2) selon [8], on trouve que les métaux lourds intéressants pour les plantes et ne posant pas de problème sanitaire sont bien le fer et le manganèse.

En agriculture, le fer est un élément qui intervient dans la synthèse des éléments organiques indispensables à la vie des plantes. Le manque de fer disponible pour la plante entraîne un symptôme bien connu et fréquent : la chlorose des feuilles, qui prennent alors une teinte jaune plus ou moins prononcée. La chlorose affecte la capacité photosynthétique de la feuille, ce qui affecte la croissance et le développement de la plante entière.

Sur la même portée, le manganèse joue un rôle très important pour les cultures et il est considéré comme oligo-élément. Sa carence a des effets néfastes sur les plantes. Parmi les cultures sensibles aux carences de Mn, on trouve les céréales (blé, avoine), les cultures maraîchères et les légumineuses. Cependant, un apport excessif en Mn peut être à l'origine de certaine toxicité des plantes.

D'après [65], le seuil fixé par la FAO pour les eaux d'irrigation, au-dessus duquel les problèmes de toxicité pourraient avoir lieu, est de 10 mg/l et 20 mg/l en Manganèse et en Fer respectivement, pour une utilisation à court terme et de 0.2 mg/l et 5 mg/l pour une utilisation à long terme.

Les eaux épurées de la STEP de Médéa se caractérisent par des teneurs faibles en Fer et en Mn, comparées aux concentrations maximales recommandées pour les eaux d'irrigation [65]. Elles représentent des valeurs moyennes respectives de 1.25 mg/l et 0.12 mg/l. Ces teneurs très négligeables, n'auront aucun effet de toxicité ni sur le sol ni sur la plante. Elles sont conformes à la NA qui exige des concentrations maximales respectives de 5 mg/l et 0.2 mg/l [91].

IV.1.1.12.2. Le Cuivre et le Zinc

D'après [8], le cuivre et le zinc sont classés parmi les métaux intéressants pour les plantes et posant un problème sanitaire.

D'après [65], la valeur limite tolérable retenue par la FAO pour les eaux d'irrigation est de 5 mg/l et 10 mg/l en Cuivre et en Zinc respectivement, pour une utilisation à court terme et de 0.2 mg/l et 2 mg/l pour une utilisation à long terme.

Alors, les analyses faites sur les eaux épurées de la STEP de Médéa ont montré aussi des teneurs moyennes respectives en Cu et en Zn de 0.05 mg/l et 0.16 mg/l. Ces concentrations sont assez négligeables et ne représentent aucun effet toxique en irrigation. Elles sont conformes à la NA qui exige des concentrations maximales respectives de 0.2 mg/l et 2 mg/l [91].

IV.1.1.13. les pathogènes

Les résultats des analyses bactériologiques des eaux épurées de la STEP de Médéa révèlent l'existence des germes indicateurs de contamination fécale. En effet, la charge moyenne en coliformes fécaux des eaux épurées est 17.60×10^4 UFC/100ml et 8.45×10^4 UFC/100ml pour les streptocoques fécaux.

Tableau IV.2 : Résultats d'analyse bactériologique des eaux épurées de Médéa

Paramètres	Résultats (UFC/100ml) x 10 ⁴	Normes OMS (UFC/100ml)
Coliforme Total (CT)	23.03	/
Coliforme Fécaux (CF)	17.60	≤ 1000
Streptocoques Fécaux (SF)	8.45	/
CF/SF	2.08	/

Cependant, l'analyse des résultats bactériologiques montre des concentrations assez élevées en Coliforme Fécaux dépassant la norme retenue par l'OMS pour les eaux d'irrigation qui est ≤1000 UFC/100ml [81]. Ces concentrations dépassent aussi la NA qui exige une valeur ne dépassant pas 1000 UFC/100 ml [91].

Sachant que le tube digestif de l'homme contient plus de coliformes que de streptocoques fécaux, contrairement aux animaux à sang chaud, on peut estimer l'origine humaine ou animale de la pollution fécale à partir de l'étude des valeurs du rapport CF/SF contenu dans les eaux [125]. Ce qui nous donne une idée sur la quantification de la flore de contamination fécale qui révèle que le rapport de CF/SF des eaux épurées est égal à 2.08. Ce facteur détermine l'origine de la source de pollution qui est du type mixte à dominance humaine.

Compte tenu des résultats bactériologiques obtenus, la qualité sanitaire des eaux épurées de la STEP de Médéa est loin d'être acceptable pour l'irrigation non limitée en général. Le procédé actuel de l'épuration ne permet pas d'éliminer la pollution bactérienne, une étape de traitement tertiaire (désinfection) est impérative. Il est à signaler que la chloration au niveau de la STEP est suspendue.

IV.1.2. FILIERE BOUE

IV.1.2.1. L'indice de Mohlman IM

Comme on a vu précédemment, l'indice de Mohlman (IM) ou appelé aussi indice de Boue (IB), permet d'une part de traduire la bonne ou la mauvaise disponibilité des boues à la décantation, et d'autre part de fixer un taux des MES à maintenir dans le bassin d'aération.

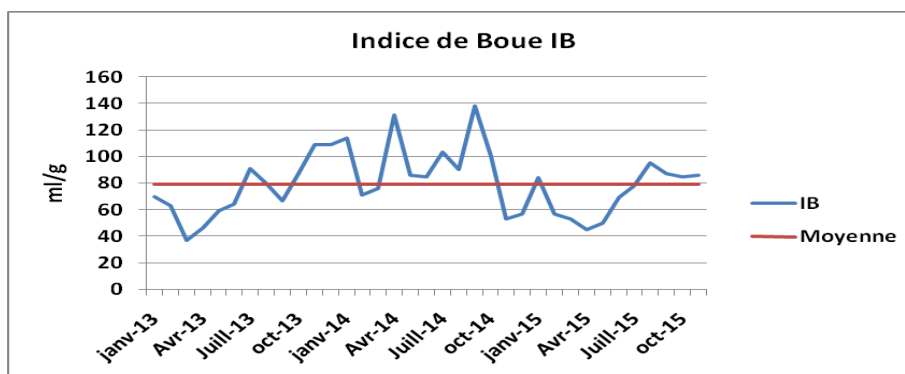


Figure IV.14.Représentation graphique de la variation mensuelle de l'indice de Boue

D'après le graphique, la valeur de IB varie de 37 à 138 ml/g, donnant une moyenne de 79 ml/g, ce qui reflète une bonne disponibilité de la boue à la décantation ; il y a une bonne décantation lorsque IB est compris entre 50 ml/g et 150 ml/g [126].

IV.1.2.2. La siccité des boues

La matière sèche est ce qui reste lorsque l'on enlève toute l'eau contenue dans les boues. C'est elle qui renferme les éléments nutritifs des boues, valorisables en agriculture. La teneur des boues en éléments nutritifs est donc fonction de leur teneur en matière sèche.

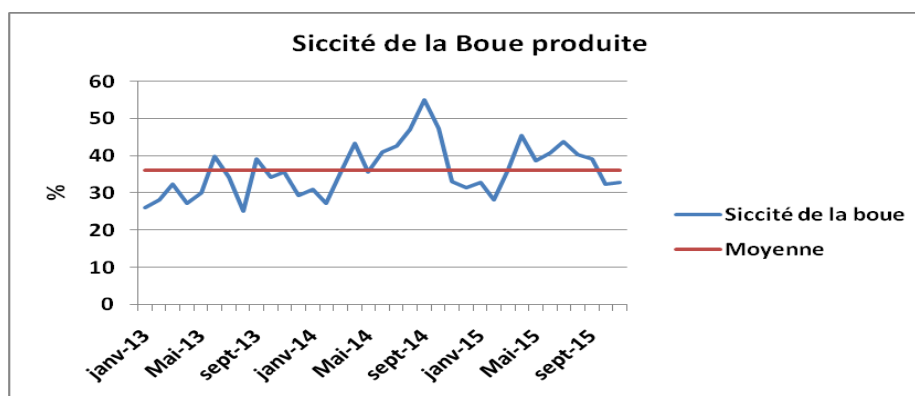


Figure IV.15.Représentation graphique de la variation mensuelle de la siccité des Boues

Il est envisageable d'atteindre sur des lits de séchage des siccités entre 40 % et 60 %. Pour ce faire, des échantillons de boue ont été prélevés à partir des lits de séchage de la STEP. Les mesures au laboratoire ont donné une siccité oscillant entre 25.26% et 55.14 %, d'où une valeur moyenne de 36.21%. Ce qui révèle le caractère solide des boues de la STEP de Médéa.

IV.1.2.3. La Matière organique

La matière organique contenue dans la boue donne une bonne structure et une meilleure aération au sol, il est moins compact, donc elle combat l'érosion de celui-ci.

Cette matière organique est également essentielle aux micro-organismes vivants dans le sol car elle leur sert de nourriture pour leurs besoins énergétiques et pour la formation de nouvelles cellules, qui peuvent ensuite libérer les éléments nutritifs emprisonnés sous forme organique, et seront donc disponibles et assimilables par les plantes.

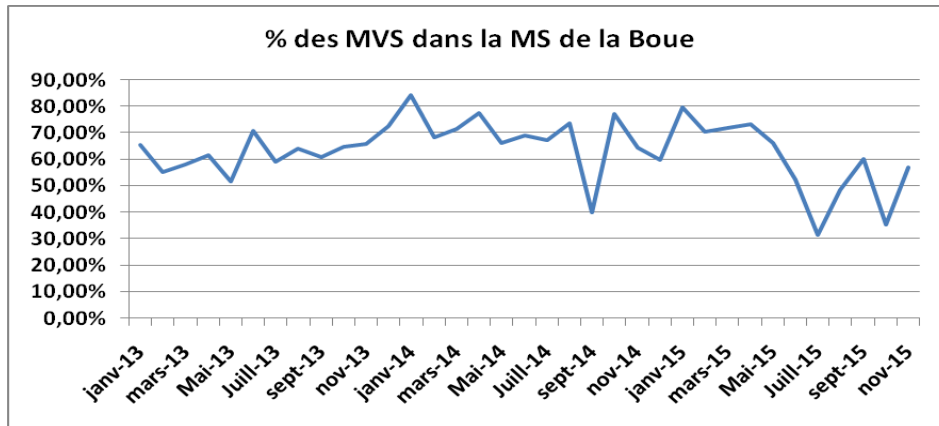


Figure IV.16. Représentation graphique de la variation mensuelle des MVS de la Boue

D'après le graphe, La quantité de matière organique mesurée dans la boue de la STEP de Médéa représente un pourcentage moyen de 61.70% de la matière sèche (figure 6 IV.16). Elle reflète le caractère dominant de la pollution domestique.

Des micro-organismes présents en grand nombre dans le sol digèrent en partie les matières organiques apportées par les boues et les transforment en éléments minéraux disponibles pour la plante. Une autre partie des matières organiques est incorporée au sol et contribue à l'entretien d'une structure favorable au développement des racines.

IV.1.2.4. Le C/N

Le rapport C/N de la boue d'épuration permet d'apprécier qualitativement la capacité de minéralisation de l'azote organique contenu dans la boue. Plus ce rapport est élevé, plus la minéralisation de l'azote est lente. Ça s'explique par le fait que le carbone est utilisé par les microorganismes (biomasse) comme source d'énergie et qui est converti en CO₂, alors que l'azote s'intègre essentiellement dans les tissus microbiens.

D'après les résultats d'analyse, la boue de la STEP de Médéa renferme 27 % de carbone organique et 3.25 % d'azote (N_{TK}) dans la matière sèche, ce qui donne un rapport C/N= 8.31. Cette valeur nous indique une disponibilité importante de l'azote, il est rapidement minéralisé et peut subir un lessivage. Afin d'éviter son lessivage, la boue doit être épandue pendant la période de croissance des plantes. L'azote est donc assimilé, et sa perte par volatilisation et percolation sera réduite.

IV.1.2.5. Le phosphore

Le phosphore, comme l'azote, est un élément indispensable à la croissance de la plante, il est fondamental pour les processus de floraison, la mise en graine ou en fruit des plantes. En plus d'être présent dans les boues résiduaires, il a l'avantage de ne pas se lessiver vers la nappe ou les eaux de surface, car d'après [2], le phosphore reste fixé et fortement adsorbé aux particules de sol.

Les boues d'épuration de la STEP de Médéa contiennent du phosphore assimilable (P_2O_5), il a pour origine l'utilisation des détergents et le métabolisme humain. Les résultats de nos échantillons montrent une teneur moyenne de 3316 mg/kg de matière sèche soit 0.33%, c'est un apport intéressant et peut couvrir les besoins des cultures [2].

IV.1.2.6. Le potassium

Il est reconnu que le potassium est un élément essentiel à la croissance des plantes, parmi ses avantages, son rôle important dans le maintien de la turgescence de la cellule et la régulation de l'économie en eau de la plante. C'est aussi un élément de résistance des plantes au gel, à la sécheresse et aux maladies.

Le potassium dans les boues se trouve en très faibles concentrations, les sels de cet élément sont très solubles et sont entraînés par les eaux épurées.

Les échantillons de boues analysées au laboratoire ont donné une concentration moyenne en potassium (K_2O) de 0.19 % de la matière sèche, c'est une faible valeur qui, en épandant de fortes doses de boues, ne dispense donc pas l'agriculteur d'apporter un engrais minéral potassique.

IV.1.2.7. Les éléments traces métalliques (ETM)

La présence des métaux lourds dans les boues est inquiétante. Et d'après la classification de [8], certains métaux lourds sont des oligoéléments intéressants et essentiels à la croissance des plantes et leur présence dans les boues est bénéfique. Ce sont le manganèse (Mn), le fer (Fe), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn). Cependant ils ne doivent pas dépasser certaines concentrations car alors ils deviennent toxiques.

Et dans la même classification, on trouve d'autres métaux qui sont tout à fait inutiles dans le métabolisme des plantes par exemple le plomb (Pb), le nickel (Ni), le cadmium (Cd), le mercure (Hg) et le chrome (Cr). Ce sont justement ces métaux qui commandent la prudence pour la valorisation des boues.

Le fait le plus inquiétant est le passage des métaux lourds dans la chaîne alimentaire. Du point de vue agricole, c'est très important car on consomme directement les plantes qui auraient été fertilisées avec les boues résiduaires ou on les consomme indirectement via les animaux qui ont pâture sur les champs fertilisés.

Les boues d'épuration de la STEP de Médéa, une fois analysées, nous ont donné les résultats suivants :

Tableau IV.3 : Résultats d'analyse des ETM dans la boue de la STEP de Médéa

Elément trace métallique	Concentration (mg/kg de MS) *	Concentration (mg/kg de MS) **	Concentration (mg/kg de MS) ***	Valeurs limites réglementaires
Cd	0.57	2	/	10
Cr	10.96	42	/	1000
Cu	41.96	150	65.89	1000
Ni	12.13	41	/	200
Zn	217	717	425	3000
Cr+Cu+Ni+Zn	282		/	4000
Pb	/	200		
Fe	/		1800	
Mn	/		97.78	

* analysés au laboratoire central de l'ONA -2010

** analysés au laboratoire central de l'ONA -2015

*** analysés au laboratoire de l'INSID-2014

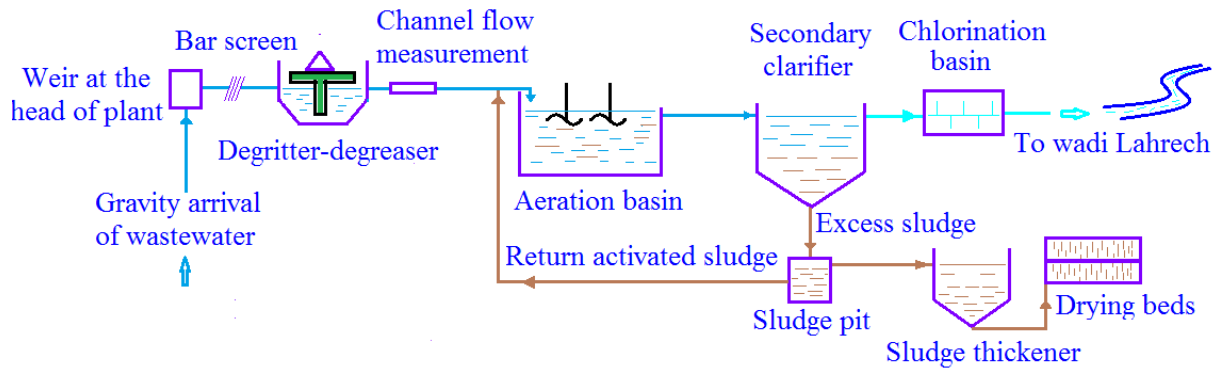
A la lecture de ce tableau, il s'avère que les teneurs en éléments traces métalliques dans la boue d'épuration de Médéa, sont suffisamment faibles et ne constituent donc pas un facteur limitant son utilisation en agriculture.

IV.2. IDENTIFICATION DES INDICATEURS DE PERFORMANCE

Selon [127], la gestion des systèmes d'assainissement doit faire face à plusieurs réalités telles que la dégradation physique des infrastructures, pour cause de vieillissement ou de défaut de maintenance et la pollution des milieux naturels par les rejets directs ou indirects provenant de l'assainissement urbain qui commence à devenir très inquiétant.

En Algérie, peu d'importance est accordée aux services d'assainissement comparés aux services d'approvisionnement en eau potable. Les problèmes d'assainissement demeurent une préoccupation majeure et nécessitent une prise en charge conséquente par des mesures appropriées dans une optique de sauvegarde et de respect de l'environnement.

Dans ce contexte de maîtrise du système d'assainissement, nous avons cherché à obtenir et à valoriser le maximum de données disponibles concernant l'hydraulique et le suivi des principaux paramètres physico-chimiques de pollution. Les résultats doivent permettre de détecter les insuffisances et de proposer des solutions techniques pour une meilleure gestion et amélioration des performances en localisant les défaillances dans le système d'assainissement de la ville de Médéa, par la recherche des indicateurs de performance.



Source : [6]

Figure. IV.17. Représentation schématique de la STEP de Médéa

La STEP de Médéa permet de traiter la pollution résultante d'une population équivalente de 162500. Le réseau d'assainissement est d'un linéaire total de 243.19 Km avec un taux de raccordement de 99%. Le système d'assainissement de la ville est partagé en deux zones nord et sud, seule la partie sud qui est raccordée à la station d'épuration. Le volume journalier arrivant à la STEP est de l'ordre de 10723 m³/j et représente 41% de la capacité nominale de la STEP qui est de 26 000 m³/j [6].

Dans le cadre de ce travail, nous avons procédé au contrôle et suivi des différents paramètres mesurés et analysés de l'eau brute et épurée de la station d'épuration de la ville de Médéa, durant la période de janvier 2013 jusqu'au mois de novembre 2015.

IV.2.1.Évolution de la charge hydraulique et part des eaux claires parasites.

La station d'épuration de Médéa a été conçue pour un débit nominal de 26000 m³/jour. Les dépassements de débits enregistrés sont donnés dans le tableau suivant:

Tableau IV.4. Débits max enregistrés

Période	Débit max (m ³ /j)	Dépassement/Débit nominal (26000 m ³ /j)
Septembre 2013	26280	1.1 %
Octobre 2013	33540	29 %
Décembre 2013	27000	3.84 %

Les dépassements enregistrés dans le débit représentent la part des eaux claires parasites (ECP) qui sont en nette augmentation pendant la saison de pluie (septembre, octobre et décembre). D'après [128] les eaux claires parasites (eaux de drainage, fontaines, refroidissement, etc.) surchargent également inutilement le réseau de collecteurs. Elles diluent les eaux usées avant le traitement. Elles peuvent provoquer l'augmentation des rejets en amont sur le réseau, engendrent une augmentation des coûts d'exploitation des STEP et peuvent empêcher le respect des performances exigées.

Le débit moyen représente 51% de la capacité nominale (figure. IV.18), mais on a observé des dépassements de débit pour quelques jours en Septembre, Octobre et Décembre 2013. Tant que la capacité nominale n'est pas atteinte, de telles pointes de charges peuvent être absorbées par l'installation.

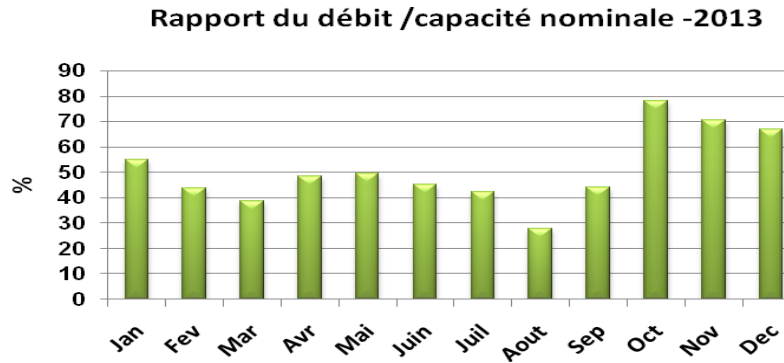


Figure. IV.18. Rapport du débit par rapport à la capacité nominale -2013

La part des eaux claires parasites (ECP) est calculée en évaluant l'effet de la dilution des eaux usées par les eaux claires sur le paramètre DBO_5 , par rapport à de l'eau usée théorique non diluée [128]. Avec un Equivalent Habitant correspond à une charge de pollution journalière de: 60 g de DBO_5 et 150 l/j d'eau consommée [129].

On procède comme suit (voir tableau IV.5) :

Eau brute désigné par (1); Charge entrante en $kgDBO_5/J$ désigné par (2); Charge entrante (Eh) désigné par (3); Volume eau usée théorique non diluée désigné par (4); Volume eau claire parasite désigné par (5); Taux de dilution désigné par (6).

On aura (3)= (2) x1000/60

$$(4)= (3) \times 150/1000 = (2) \times (1000/60) \times (150/1000) = (2) \times 150/60 = (2) \times 2.5$$

$$(5)= (1) - (4) = (1) - 2.5 (2),$$

D'où on aura une équation de la forme $Y = a-bX$

Avec Y : le volume journalier d'eaux claires parasites

a : le volume quotidien d'eaux usées

$$b = 150/60 = 2.5$$

X: charge entrante en $kg DBO_5/j$

On note un taux de dilution généralement plus important pendant les événements pluvieux.

Le volume d'eau claire parasite est estimé à partir des concentrations de DBO_5 à l'entrée de la station d'épuration. [ECP (DBO_5)]. Il est donné par l'équation trouvée de la forme $Y = a-bX$, ce qui confirme que moins les concentrations mesurées sont élevées, plus la part d'eaux claires parasites est importante [6].

Tableau IV.5. Calcul et évolution du taux de dilution

Date	Eau Brute m ³ /j (1)	Charge entrante kgDBO ₅ /J (2)	Charge entrante (EH) (1EH=60g DBO ₅ /j) (3)	Volume Eau utilisée théorique non diluée m ³ /j (150 l/EH/j) (4)	Volume eau claire parasite m ³ /j (5)	Taux de Dilution % (6)
06 jan 2015	13380	4282	71360	10704	2676	25%
10 fév 2015	17250	3795	63250	9488	7763	82%
18 fév 2015	16400	3280	54667	8200	8200	100%
08 mars 2015	10240	2355	39253	5888	4352	74%
01avr 2015	5360	1179	19653	2948	2412	82%
25 mai 2015	10540	2108	35133	5270	5270	100%
21 juin 2015	8750	1838	30625	4594	4156	90%
19 juil 2015	4350	348	5800	870	3480	400%
21 juil 2015	5240	603	10043	1507	3734	248%
28 juil 2015	7380	886	14760	2214	5166	233%
08 sept 2015	6810	953	15890	2384	4427	186%
14 sept 2015	6090	1035	17255	2588	3502	135%
16 sept 2015	6800	476	7933	1190	5610	471%
21 sept 2015	7520	1429	23813	3572	3948	111%
13 oct 2015	11520	2189	36480	5472	6048	111%
02 nov 2015	11480	2640	44007	6601	4879	74%

La part moyenne des eaux claires parasites pour la période d'étude (Janvier 2013- Novembre 2015), avec un volume moyen journalier de 10723 m³/j et une concentration moyenne DBO₅ de 352.33 mg/l, ce qui donne une charge moyenne journalière de DBO₅ 3778 kg/j, elle est estimée à partir de l'équation trouvé $Y = a-bX$. Nous aurons $Y = 10723 - 2.5 * 3778 = 1278$ m³/j, représentant 14% du volume des eaux usées théoriques non dilués, un volume donné par l'équation (4) et trouvé de 9445 m³/j.

IV.2.2. Performances de traitement obtenues

IV.2.2.1. Suivi du traitement de l'azote

L'azote Kjeldahl NTK, est le paramètre le plus représentatif de la collecte des eaux usées [130]. Les concentrations moyennes en azote Kjeldahl en entrée et en sortie de la station sont respectivement 55.5 mg/l et 5.20 mg/l, soit 91% d'abattement (tableau IV.6).

Tableau IV.6. Résultats de l'azote de l'entrée à la sortie de la STEP (Jan 2013 – Nov 2015)

Paramètres	Moyenne	Max	Min
	Entrée Sortie	Entrée Sortie	Entrée Sortie
NTK mg/l	55.5	75	37
	5.20	11	3.70
N-NH ₄ ⁺ mg/l	29.36	47.20	6.90
	3.46	26.96	0.03
N-NO ₃ ⁻ mg/l	0.59	2.25	0.01
	10.61	27.11	0.02

Les concentrations moyennes de l'ammoniaque NH₄⁺ varient de 29.36 à 3.46 mg/l de l'entrée vers la sortie.

Par contre les concentrations en nitrates NO₃⁻ varient entre 0.01 mg/l et 2.25 mg/l à l'entrée, avec une moyenne de 0.59 mg/l. Leurs teneurs en sortie varient entre 0.02 mg/l et 27.11 mg/l avec une moyenne de 10.61 mg/l. Donc une augmentation de 1698%, de l'entrée vers la sortie qui est due à la nitrification.

On peut considérer que la nitrification ne fonctionne bien que si la concentration d'azote ammoniacal dans l'eau traitée est inférieure à 1 mg N-NH₄/l. Inversement, si la concentration d'azote nitrique dans l'eau traitée dépasse, par temps sec, 3 à 5 mg N-NO₃/l, il y a lieu de diminuer légèrement la durée journalière d'aération [131].

L'augmentation de la durée journalière d'aération permet d'accélérer le rétablissement de bonnes performances de traitement de l'azote, mais elle n'est pas impérative pour la viabilité de la nitrification [132]. Pour la STEP de Médéa, il est nécessaire de diminuer la durée journalière d'aération.

IV.2.2.2. Suivi du traitement du phosphore

A l'entrée de la STEP, les phosphates oscillent entre 0.73 mg/l et 7.85 mg/l avec une moyenne de 2.29 mg/l. A la sortie, les teneurs résiduelles moyennes en orthophosphates sont de 0.63 mg/l. Ces valeurs sont très élevées par rapport à la limite tolérable de 0.1mg/l en phosphore total pour le rejet d'effluents dans un milieu sensible à l'eutrophisation [66]. Par contre elles sont inférieures à 10 mg/l en orthophosphates, comme étant une valeur limite acceptable d'un rejet direct dans le milieu récepteur [133]. Le niveau d'élimination du phosphore est instable avec un rendement d'élimination moyen de 72 %.

IV.2.2.3. Équilibre nutritionnel

Le métabolisme bactérien s'accompagne de besoins azotés sous forme d'azote ammoniacal et de besoins phosphorés sous forme d'orthophosphates dans les proportions suivantes: DBO₅/N-NH₄⁺/P-PO₄³⁻ : 100/5/1 [134].

Pour une DBO₅ moyenne de 352.33 mg/l (tableau IV.7) et pour respecter ce ratio théorique, les concentrations en N-NH₄⁺ et P-PO₄³⁻ doivent être respectivement de 17.61 mg/l et 3.52 mg/l. Or les valeurs moyennes enregistrées (29.36 mg/l en N-NH₄⁺ et 2.29 mg/l de P-PO₄³⁻) indiquent un déficit de 35% pour P-PO₄³⁻ et une hausse de 67% pour N-NH₄⁺ par rapport aux ratios théoriques respectifs. Ce déséquilibre en nutriments peut constituer un handicap au niveau du traitement biologique.

IV.2.2.4. Suivi du traitement des charges organiques

Les MES représente 109% de la valeur nominale, avec une fréquence de dépassement de 63% et un rendement de 95.35% (tableau IV.7).

Tableau IV.7. Résultats des paramètres globaux des eaux usées brutes et épurées (Jan 2013 – Nov 2015)

Paramètres	Moyenne	Max	Min	Valeur nominale
	Entrée Sortie	Entrée Sortie	Entrée Sortie	
MES mg/l	479.44 22.31	733.71 175.11	211 6.57	438
DCO mg/l	624.97 55.10	846.16 290	351.09 31.20	675
DBO ₅ mg/l	352.33 13	548.67 150	206.25 2.67	338

La DBO₅ égale à 104% de la valeur nominale et enregistre une fréquence de dépassement de 62% (figure. IV.19) et un rendement d'abattement de 96.31%.

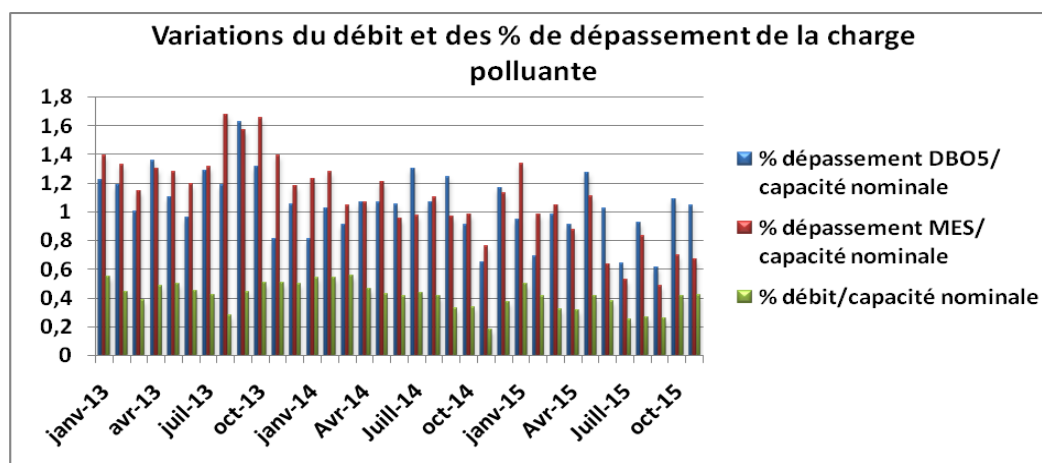


Figure. IV.19. Variations du débit et des % de dépassement de DBO₅ et MES par rapport à la capacité nominale

La DCO est d'un rendement de 91%. C'est une forte réduction de la DCO qui selon [135] est liée à une meilleure oxygénation qui permet aux bactéries aérobies de proliférer et d'assurer en conséquence une meilleure minéralisation ou oxydation de la matière organique. La valeur maximale (846.16 mg/l) est en hausse de 35% par rapport à la concentration moyenne (624.97 mg/l).

En 2015, la charge moyenne annuelle de DBO₅ à l'entrée de la STEP est de 971 tonnes et représente 71% de la charge moyenne annuelle enregistrée en 2014 (1371 tonnes). Mais en 2015 à la sortie de la station, le flux de charge rejetée dans le cours d'eau est de 32 tonnes de DBO₅, représentant 50% de la charge rejetée en 2014. La diminution de la charge DBO₅ de 71% à 50% de l'entrée à la sortie, de l'année 2015 par rapport à 2014 est due au rendement d'élimination de 96.18% en 2015, qui a augmenté de 1.80 % par rapport à 94.38% enregistré en 2014.

IV.2.2.5. Les ratios

L'utilisation de ces paramètres de caractérisation constitue un bon moyen pour donner une image du degré de pollution des effluents bruts et aussi pour optimiser les paramètres physico chimiques de ces eaux usées afin de proposer un mode de traitement convenable [6]. Les valeurs des différents ratios sont données dans le tableau suivant:

Tableau IV.8. Relation entre les paramètres de pollution

RATIO	Moyenne	MAX	MIN
MES/DBO ₅	1.36	2.22	0.8
DCO/MES	1.3	2.07	0.87
MES/DCO	0.77	1.15	0.48
DCO/DBO ₅ (eau brute)	1.77	2.25	1.52
DCO/DBO ₅ (eau épurée)	4.24	14.4	1.63
DBO ₅ /DCO	0.56	0.66	0.44
DBO ₅ /NTK	6.34	9.89	3.72
DBO ₅ /MES	0.73	1.24	0.45
NH ₄ /NTK	0.53	0.85	0.12
NTK/DBO ₅	0.16	0.27	0.10
DCO/NTK	11.26	15.25	6.33
NH ₄ /DCO	0.05	0.08	0.01

DCO/DBO₅ (E. brute): Le coefficient de biodégradabilité est calculé par le rapport DCO/DBO₅ et dépend de la nature et de l'origine des eaux usées qui peuvent être domestiques ou industrielles, ce qui nécessite des traitements différents [136]. Le ratio DCO/DBO₅ pour les eaux usées brutes est généralement compris entre 1.25 et 2.5. Lorsque le ratio DCO/DBO₅ est entre 3 et 7, les eaux usées peuvent être difficilement biodégradables. Ce ratio trouvé de

1.77 est caractéristique d'un effluent domestique. Une valeur inférieure à 2 confirme la biodégradabilité de ces eaux usées. Donc le traitement biologique est adéquat pour ses effluents.

DCO/DBO₅ (E. épurée): Trouvé de 4.24, montre une diminution de la part de matières organiques oxydables durant le processus de traitement.

DBO₅/DCO: Ce ratio donne des indications très intéressantes sur l'origine d'une pollution des eaux usées et ses possibilités de traitement [137]. Le rapport DBO₅/DCO de 0.56 est supérieur à 0.40 trouvée par [137], donc là encore cet effluent est biodégradable et confirme que ces eaux sont chargées en matières organiques (56%) et en matières inorganiques (44%). Selon [138] cette charge organique rend ces eaux usées assez instables, c'est à dire qu'elles évolueront vite vers des formes "digérées" avec le risque de dégagement d'odeurs.

DCO/NTK: Egale à 11.26 et d'après [139], pour un effluent urbain strict, ce ratio est compris entre 8.8 et 12 et il indique la mixité de l'effluent et a une influence sur la dénitrification. Dans le cas d'une eau usée avec un faible ratio DCO/NTK, la teneur en carbone organique de l'effluent digéré peut être insuffisante pour atteindre une dénitrification complète [140]. Mais des ratios DCO/NTK trop élevés risquent de perturber la nitrification car selon [132] DCO/NTK de l'intrant a un effet direct sur la concentration en biomasse autotrophe des boues et donc sur la vitesse maximale de nitrification.

NH₄/NTK : Ce ratio indique le degré d'ammonification réalisé durant le transfert de l'effluent dans le réseau [139]. L'azote se trouve dans les eaux usées sous ses deux formes réduites (organique et ammoniacale). Le transit dans le réseau modifie leurs proportions en faveur de la forme ammoniacale. Selon le temps de séjour et la température, la proportion d'azote ammoniacal à l'entrée de la station d'épuration varie entre 50 % (réseaux courts) et 75 % (réseaux très longs) [131]. Donc, une valeur du ration NH₄/NTK trouvée de 0.53 traduit un écoulement de l'eau brute à travers un réseau relativement court.

NH₄/DCO: Ce ration est de 0.05, il est inférieur à la valeur de 0.1 trouvée par [141], qui selon lui cette valeur peut être considérée comme caractéristique des eaux usées domestiques.

MES/DCO : La valeur trouvée de ce ratio de 0.77 est élevée par rapport à la valeur moyenne de 0.5, recommandée par [142] et [129]. D'après [141] l'augmentation du ratio MES/DCO est un indice qui nous permet de suspecter un phénomène de remise en suspension des dépôts (phénomène de sédimentation- érosion durant le transport en réseau).

MES/DBO₅: Selon [143] la valeur classique pour les eaux usées domestiques de ce ratio est entre 0.8 et 1.2 et informe sur la production de boue, fraction « naturelle » apportée par les MES déjà présentes dans l'eau brute. Il indique la répartition de la pollution particulaire et de la pollution dissoute. La valeur moyenne de 1.36 indique que la pollution est plutôt granulaire que dissoute, ce qui caractérise un réseau essentiellement unitaire. Cette valeur est

comparable au rapport MES/DBO₅, trouvé de 1.84 par [137]. Les variations enregistrées entre 0.8 et 2.22 peuvent être attribuées au phénomène de sédimentation -érosion au sein du réseau.

DBO₅/NTK : Pour un effluent urbain ce rapport varie entre 4 et 5, il indique la mixité relative de l'effluent et influence le dimensionnement du réacteur biologique en cas de traitement de l'azote (nitrification) [139]. Une valeur trouvée de 6.34 dépasse légèrement celles usuellement rencontrées (4 à 5).

DBO₅/MES: Trouvé de 0.73, comparable à 0.75 trouvé par [141]. Les valeurs extrêmes de ce ratio varient entre 0.45 et 1.24 et sont imputables au phénomène sédimentation-érosion dans le réseau. Il est donc important de retenir qu'à un âge de boue donné, la charge massique maximale applicable dépend du ratio DBO₅/MES de l'intrant dont une valeur moyenne de 1.0 est généralement retenue pour les eaux usées urbaines [132].

DCO/MES: Ce ratio varie de 0.87 à 2.07 avec une moyenne de 1.3 inférieure à 1.62 donné par [120]. Ceci représente la teneur de la DCO dans les particules.

NTK/DBO₅: Evolue entre 0.10 et 0.27 avec une valeur moyenne de 0.16. La cinétique de dénitrification dépend de ce ratio [139].

IV.2.3. Énergie électrique consommée

La valeur moyenne de l'énergie électrique consommée est de 3210 kWh/j. La masse de pollution éliminée en termes de DBO₅ et de DCO s'élève respectivement à 3638.67 et 6562 kg/j.

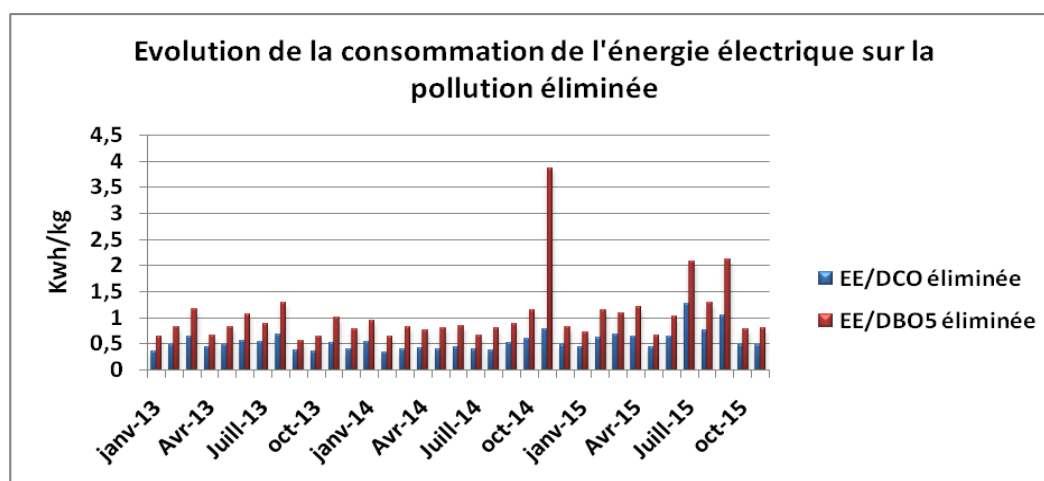


Figure. IV.20. Variations des rapports EE/DBO₅ éliminée et EE/DCO éliminée

La quantité d'énergie nécessaire pour éliminer la pollution s'élève à 0.88 kWh/kg de DBO₅, par contre elle est de 0.49 kWh/kg de DCO. La valeur maximale du rapport EE/DBO₅-éliminée (Énergie Électrique /DBO₅ éliminée) de 3.85 enregistrée durant le mois de novembre 2014, et les valeurs de 2.07 et 2.10 enregistrées respectivement pendant les mois de juillet et septembre 2015 sont excessives et dépassent les valeurs usuelles pour la filière Boue activée qui selon [27] sont de 2 kWh/kg DBO₅ éliminée.

Il est recommandé à cause de ces consommations spécifiques élevées, d'effectuer une analyse diagnostique énergétique de l'installation.

IV.3. RESULTATS ECONOMIQUES

IV.3.1. Coûts d'exploitation

IV.3.1.1. Production de l'Eau Epurée

La maîtrise des contraintes d'exploitation d'une station de traitement des eaux usées domestiques par boues activées est indispensable à la pérennité du système et au maintien des performances épuratoires. L'exploitation est assurée par un personnel disposant d'une formation spécifique [144].

D'une façon générale, l'exploitant s'assure de l'état des ouvrages de génie civil (absence de fuites, fissures...) et privilégie les opérations de maintenance préventive sur les équipements électromécaniques. Il est particulièrement attentif aux alimentations électriques, ainsi que sur les dispositifs de protection [144].

Les couts d'exploitation de la STEP de Médéa toucheront alors :

- ✓ Frais de personnel affecté à la STEP,
- ✓ Frais de l'énergie électrique,
- ✓ Frais de maintenance (Pièces de rechange et Consommables).

IV.3.1.1.1. Frais de personnel

Le personnel affecté à la STEP de Médéa assure l'exploitation et la gestion de la station, il est composé de différentes catégories : les cadres, les agents de maîtrise et les agents d'exécution, chacun lui est assigné une mission et une tâche selon la nomenclature des postes, adoptée par les services de l'ONA.

Pendant les 03 années d'étude, les frais mensuels du personnel affecté à la STEP de Médéa est donné par catégorie et par an dans le tableau suivant :

Tableau IV.9. Frais de personnel de la STEP de Médéa

Catégorie	2013		2014		2015	
	effectif	Frais personnel (DA/mois)	effectif	Frais personnel (DA/mois)	effectif	Frais personnel (DA/mois)
Cadre	11	342622.55	5	387300.87	5	280456.59
Maîtrise	4	343325.28	7	313311.63	9	505855.51
Exécution	16	811876.18	17	833750.11	17	786203.88
Total	31	1497824.01	29	1534362.6	31	1572516

Et par rapport au volume moyen mensuel des eaux épurées produites à la sortie de la station d'épuration de Médéa, les frais de personnel sont donnés comme suit :

Tableau IV.10. Rapport de Frais de personnel/volume d'eau épurée

Année	Volume eau épurée (m ³ /mois)	Frais du personnel (DA/mois)	Frais Personnel/Vol eau épurée (DA/m ³)
2013	332948	1497824.01	4.50
2014	290266	1534362.60	5.30
2015	208283	1572516	7.50
Moyenne	277166	1534900.87	5.54

D'après le tableau précédent, nous observons que le cout du m³ d'eau épurée par rapport au frais du personnel est passé de 4.5 DA/m³ en 2013 à 5.3 DA/m³ en 2014 puis à 7.5 DA/m³ en 2015, cela est du à l'augmentation de la masse salariale dans la grille de salaire en 2014 et une diminution du volume produit d'eau épurée en 2015, qui est passée de 290266 m³/mois en 2014 à 208283 m³/mois en 2015, donnant ainsi un coût moyen de 5.54 DA/m³ (figure. IV.21).

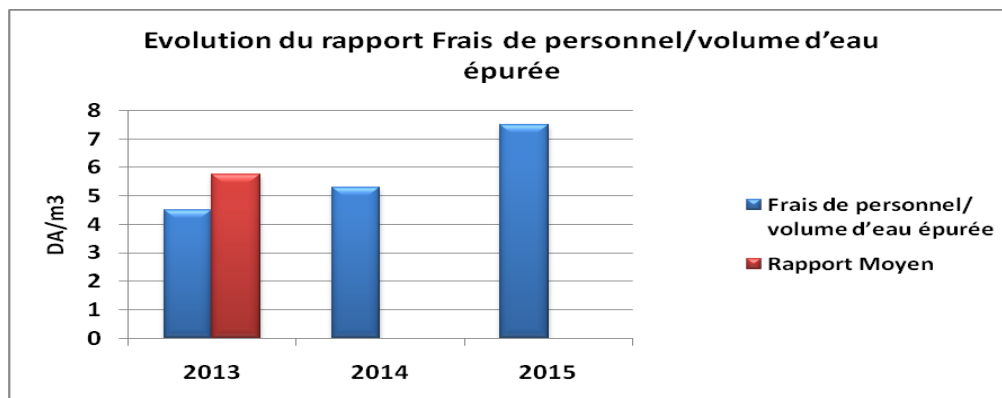


Figure. IV.21. Rapport moyen des Frais de personnel/volume d'eau épurée

IV.3.1.1.2. Frais de l'énergie électrique

La STEP de Médéa est du type Boue activée suivant le processus d'une aération prolongée, caractérisée par une grande consommation d'énergie électrique et basée sur l'aération qui est d'après [145], un des procédés les plus fondamentaux et les plus coûteux de l'épuration biologique aérobie des eaux usées et elle représente à elle seule jusqu'à 75% de la consommation énergétique totale de la station.

La consommation de l'énergie électrique de la STEP durant la période d'étude est donnée dans le tableau suivant :

Tableau IV.11. Frais de l'énergie électrique consommée de la STEP de Médéa.

Année	Volume eau épurée (m ³ /mois)	Consommation Kwh/mois	Montant facture DA/mois	Montant facture/Volume épurée (DA/m ³)
2013	332948	107458	337724.92	1.01
2014	290266	89938	304174.05	1.04

2015	208283	87738	303678.62	1.45
Moyenne	277166	95044	315192.53	1.13

On remarque que la consommation de l'énergie électrique représentée par les kwh/mois a connu une baisse durant 2013 à 2015, elle est passée de 107458 Kwh/mois en 2013, ensuite 89938 Kwh/mois en 2014 arrivant à 87738 Kwh/mois (figure IV.22). Cette baisse est justifiée par la diminution du volume d'eau épurée qui est passé de 332948 m³/mois en 2013 à 208283 m³/mois en 2015, pour un coût moyen de 1.13 DA /m³ (figure IV.23).

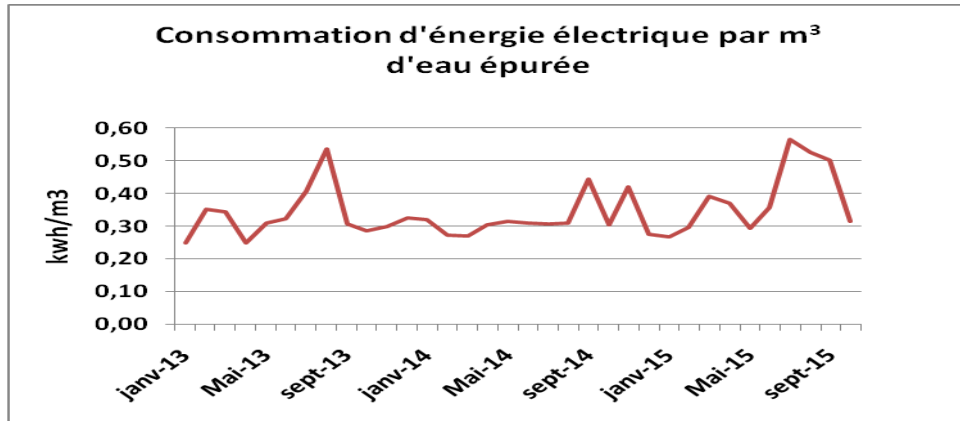


Figure. IV.22. Evolution de la consommation d'énergie électrique par m³ d'eau

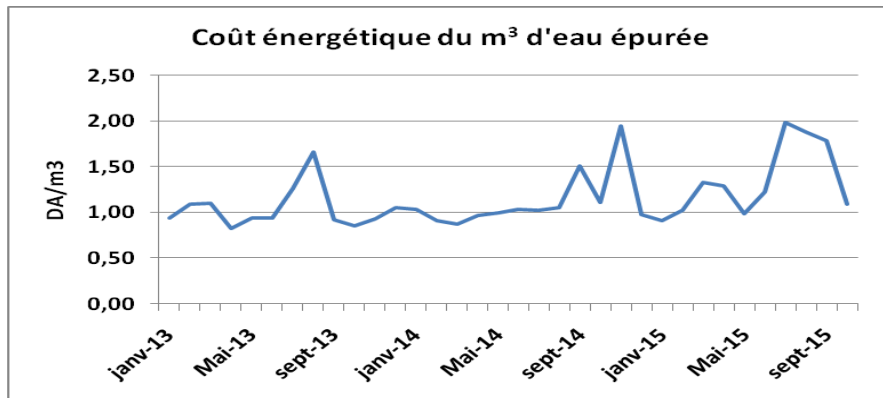


Figure. IV.23. Evolution du coût énergétique du m³ d'eau épurée

IV.3.1.1.3.Frais de la maintenance de la STEP

La maintenance a pour but d'assurer un entretien continu et des travaux de réparation sur les différents ouvrages de la STEP. Les frais de maintenance au niveau de la station d'épuration de Médéa englobe les pièces de rechange et les consommables y compris les produits chimique et les réactifs utilisés au laboratoire d'analyse de la STEP. Au cours de la période d'étude ces frais sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV.12. Frais de maintenance de la STEP de Médéa

Année	Vol eau épurée (m ³ /mois)	Frais de maintenance (DA/mois)			Frais Maint/Vol épurée (DA/m ³)
		Pièces de rechanges	Consommable	Total	
2013	332948	93261.53	4296.47	97558	0.30
2014	290266	159885.55	17401.70	177287.25	0.60
2015	208283	12200.00	124814.40	137014.4	0.66
Moyenne	277165	88449.03	48837.52	137286.55	0.50

Le cout moyen relatif aux frais de maintenance, enregistré pendant les 03 ans est de 0.5 DA/m³, le plus bas de 0.3 DA/m³ est constaté en 2013 contre le plus élevé en 2015 de 0.66 DA/m³ (figure IV.24), cette variation est due aux frais de consommables qui sont en nette augmentation pendant 2015, ainsi que la diminution du volume produit d'eau épurée.

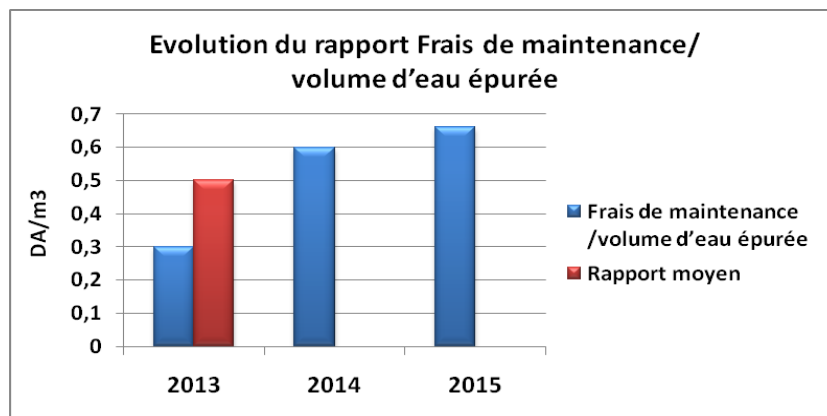


Figure. IV.24. Rapport moyen des frais de maintenance/volume eau épurée

IV.3.1.1.4. Coût d'investissement en traitement tertiaire

La STEP de Médéa dispose d'une station de chloration dans le but de désinfecter les eaux épurées dans des bassins de chloration. Actuellement, ces eaux à la sortie de la STEP sont jetées directement au Oued Lahrche et par conséquent, la désinfection est suspendue par mesure d'économie du produit chimique (hypochlorite de sodium).

Etant donné que la culture la plus pratiquée dans la zone d'étude est l'arboriculture, d'après [146], l'irrigation des arbres fruitiers n'exige pas pour le traitement biologique à boue activée un traitement de désinfection. De plus, la norme Algérienne NA [91] classe les arbres fruitiers dans le groupe C dont la désinfection n'est pas nécessaire dans le traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique.

Donc, en cas de réutilisation des eaux épurées de la STEP de Médéa en irrigation, le traitement de désinfection n'est pas nécessaire et le coût d'investissement en traitement tertiaire est alors nul.

IV.3.1.1.5. Coût d'exploitation et prix de revient

Au dernier stade du cycle d'exploitation, c'est-à-dire celui de la vente, le coût du produit ou du service vendu est appelé : coût de revient. Il s'agit de la somme des charges consommées par le produit ou le service vendu depuis le premier stade d'approvisionnement jusqu'au dernier stade de la vente [147].

Dans le tableau suivant nous présentons toutes les charges d'exploitation de la STEP de Médéa afin de déterminer et calculer le coût ou prix de revient du m³ d'eau épurée produite et qui reflète les coûts liés aux diverses opérations d'exploitation de la station.

Pour son calcul, il est donné selon [148] par la formule suivante:

$$\text{Prix de revient} = \text{Coût d'exploitation} / \text{Quantité produite}$$

Tableau IV.13. Prix de revient de l'eau épurée de la STEP de Médéa

Année	Vol épuré m ³ /mois	E.électr kwh/mois	Montant Facture DA/mois	Frais de personnel (DA/mois)	Frais de maintenance (DA/mois)		Charge totale (DA/ mois)	Prix de revient (DA/m ³)
					Pièces de rechanges	Consommable		
2013	332948	107458	337724.92	1497824.01	93261.53	4296.47	1933106.93	5.81
2014	290266	89938	304174.05	1534362.60	159885.55	17401.70	2015823.91	6.94
2015	208283	87738	303678.62	1572516.00	12200.00	124814.40	2013208.99	9.67
Moy	277165	95044	315192.53	1534900.87	88449.03	48837.52	1987379.94	7.47

D'après le tableau précédent, il nous apparait clair que malgré que le volume moyen mensuel de l'eau épurée a diminué de 2013 à 2015, de 332948 m³/mois à 208283m³/mois, le prix de revient a évolué (tableau IV.13). Cette augmentation est justifiée par la hausse des frais de personnel et des consommables durant cette période, donnant ainsi une valeur moyenne au prix de revient de 7.47 DA/m³ (figure IV.25), une valeur proche du coût moyen national trouvé par l'ONA pendant le mois de juillet 2016 qui était de 8.56 DA/m³, associé aux frais d'exploitation des STEP en Algérie [149].

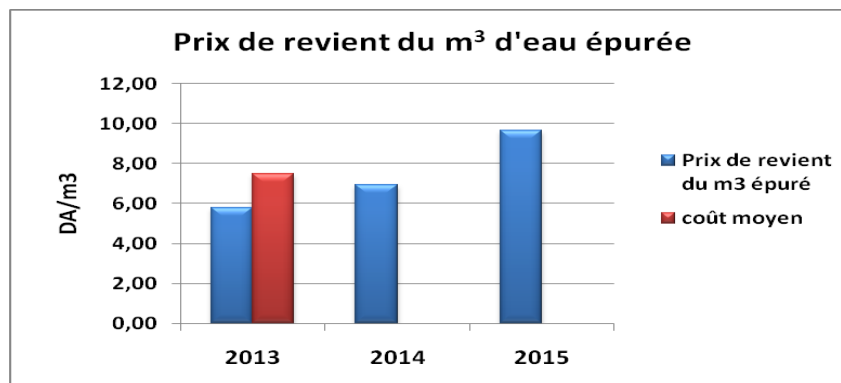


Figure. IV.25. Prix de revient du m³ d'eau épurée de la STEP de Médéa

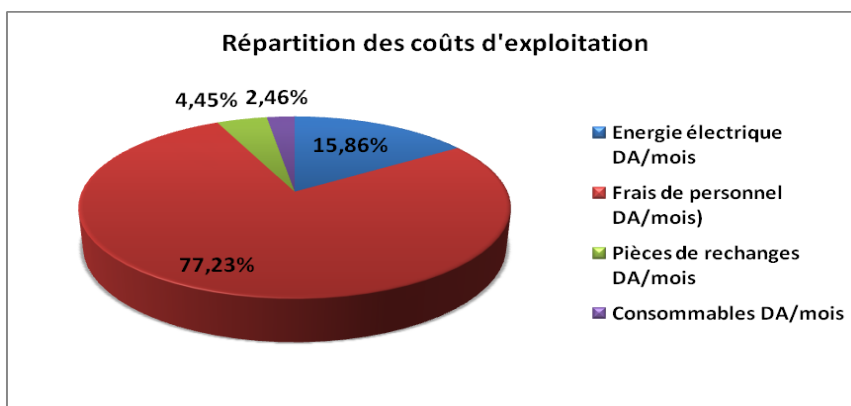


Figure. IV.26. Répartition des coûts d’exploitation de la STEP de Médéa

D’après le graphique de la répartition des couts d’exploitation (figure IV.26), nous constatons que la grande part de ces coûts est prise par les frais de personnel qui représentent 77.23% du coût global, ensuite vient la consommation de l’énergie électrique par 15.86% et 4.45% liés aux pièces de rechanges et enfin 2.46% pour les frais des consommables.

IV.3.1.2. Production de la Boue d’épuration

Le deuxième sous produit de l’épuration est la boue, son volume et sa quantité produite en matière sèche (MS) durant la période d’étude, sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV.14. Quantité de boue d’épuration produite à la STEP de Médéa

Année	m ³ /mois	Tonnes MS/mois
2013	1258	28.52
2014	982	30.75
2015	1055	38.40
Moyenne	1098.33	32.56

On remarque que la quantité de boue produite a augmenté au cours de la période d’étude malgré que son volume moyen a diminué, elle est passée de 28.52 Tonnes en MS /mois en 2013 à 38.4 tonnes MS/mois en 2015 (figure IV.28), ça revient à la siccité qui a crû de 31.9 % en 2013 à 37.48 % en 2015.

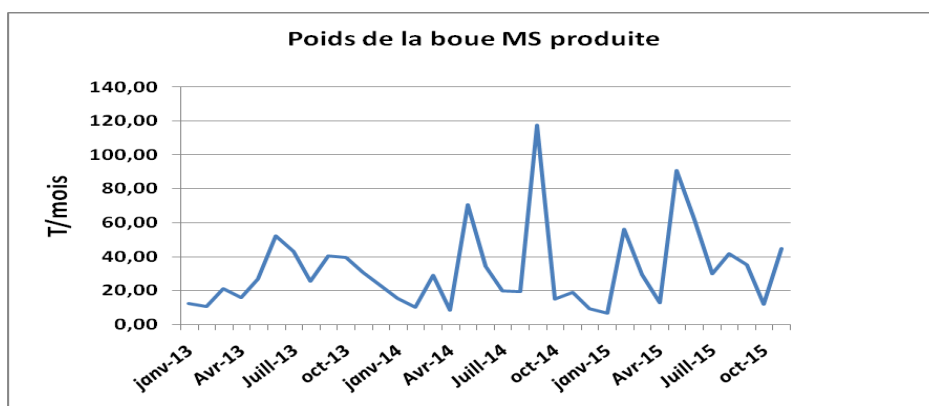


Figure. IV.27. Evolution du poids de la boue en MS produite 2013-2015

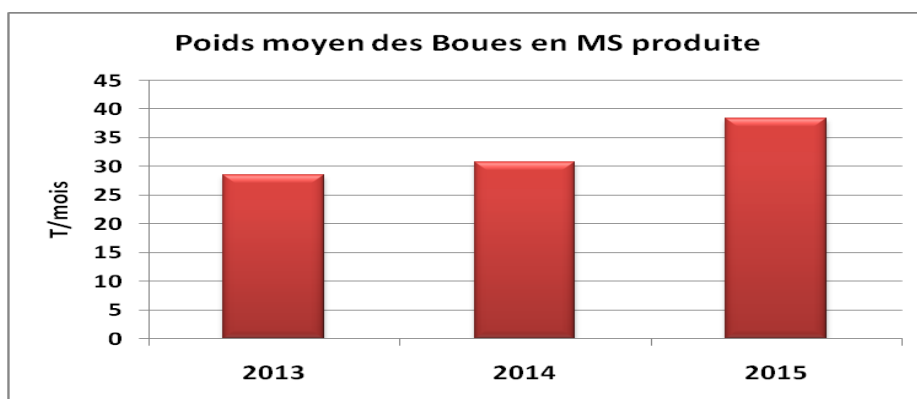


Figure. IV.28. Poids moyen de la boue en MS produite 2013-2015 de la STEP de Médéa

IV.3.1.2.1. Frais de personnel

Les frais de personnel chargé de l’exploitation de la STEP de Médéa pour produire de l’eau épurée demeurent les mêmes pour produire de la boue d’épuration, ce qui change est la nature et la quantité du produit. Pour la boue, le coût associé au frais de personnel est donné durant la période d’étude dans le tableau suivant :

Tableau IV.15. Coût de la production de la boue associé au frais de personnel

Année	Poids de la Boue MS (T/mois)	Frais du personnel (DA/mois)	Frais Personnel/Poids de la boue (DA/T)
2013	28.52	1497824.01	52518.37
2014	30.75	1534362.60	49897.97
2015	38.40	1572516	40950.94
Moyenne	32.56	1534900.87	47140.69

A la lecture du tableau ci-dessus nous observons que le coût de production de la boue, associé au frais de personnel pour la période d’étude oscille entre 40950.94 DA/T en 2015 et 52518.37 DA/T enregistrée en 2013 pour avoir une valeur moyenne de 47140.69 DA/T de boue (figure IV.29).

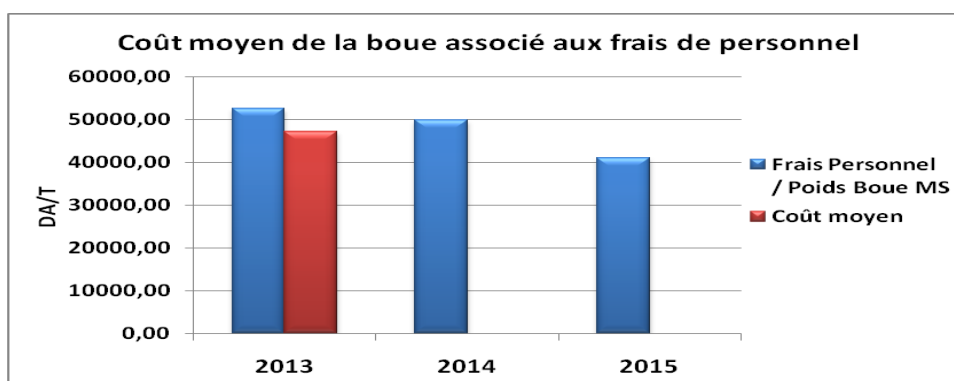


Figure. IV.29. Coût moyen de la boue associé aux frais de personnel

IV.3.1.2.2. Frais de l'énergie électrique

La consommation de l'énergie électrique est la même pour les deux sous produits de l'épuration. Pour la boue les frais de production relatifs à l'énergie électrique sont donnés dans le tableau suivant:

Tableau IV.16. Coût de la production de la boue relatif à l'énergie électrique

Année	Poids de la Boue MS (T/mois)	Montant facture DA/mois	Montant facture/ Poids de la boue (DA/T)
2013	28.52	337724.92	11841.69
2014	30.75	304174.05	9891.84
2015	38.40	303678.62	7908.30
Moyenne	32.56	315192.53	9680.36

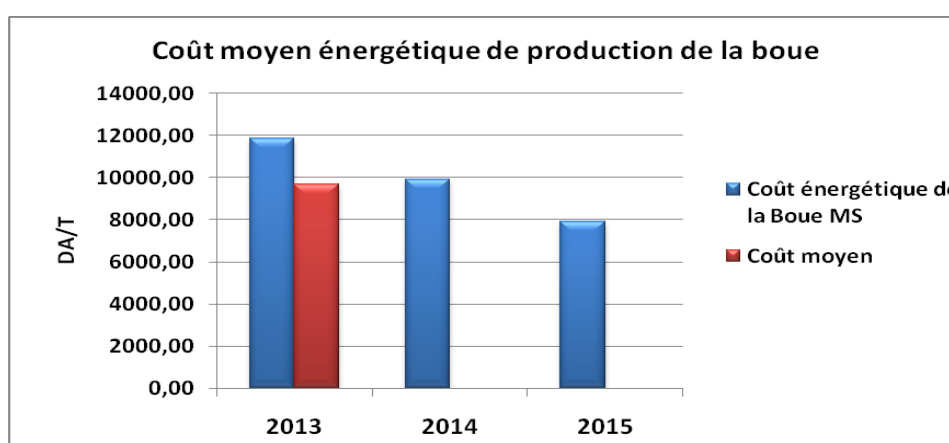


Figure. IV.30. Coût moyen énergétique de production de la boue

Le coût moyen de la production de la boue associé aux frais de l'énergie électrique consommée durant les trois années 2013,2014 et 2015, est égale à 9680.36 DA/T de boue. La faible valeur du coût de 7908.30 DA/T est enregistrée pendant 2015 contre 11841.69 DA/T durant 2013 (figure IV.30).

IV.3.1.2.3. Frais de la maintenance de la STEP

Pour la maintenance de la station d'épuration de Médéa, les frais associés pour la production de la boue sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau IV.17. Frais de maintenance pour la production de la boue

Année	Poids de la Boue MS (T/mois)	Frais de maintenance (DA/mois)	Frais Maint/poids de la boue (DA/T)
2013	28.52	97558	3420.69
2014	30.75	177287.25	5765.44
2015	38.40	137014.40	3568.08
Moyenne	32.56	137286.55	4216.42

Nous remarquons que les frais de maintenance pour la production de la boue sont les mêmes que pour la production de l'eau épurée. Le coût moyen de la boue associé au frais de la maintenance durant la période d'étude est de 4216.42 DA/T, il oscille entre 3420.69 DA/T en 2013 et 5765.44 DA/T en 2014 (figure IV.31).

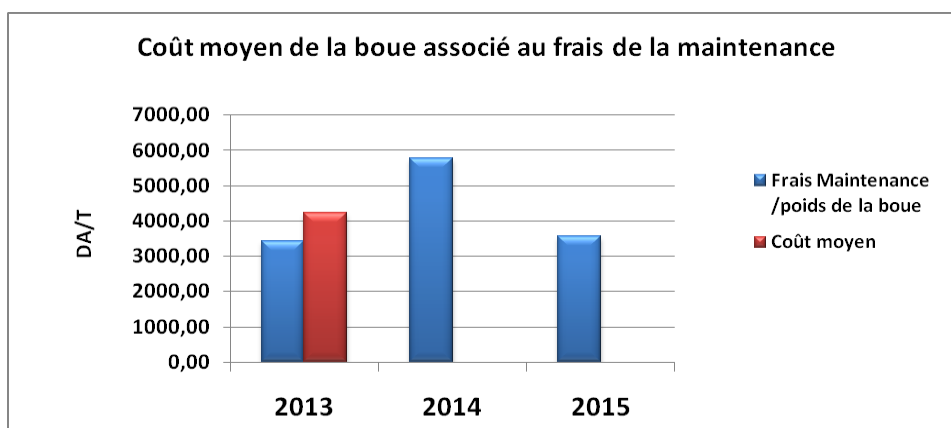


Figure. IV.31. Coût moyen de la boue associé au frais de la maintenance

IV.3.1.2.4. Coût d'exploitation et prix de revient

Arrivant au coût global de la production de la boue en matière sèche MS qui résume tous les frais engagés pour l'exploitation de la STEP de Médéa. Il est calculé pour donner une valeur et un prix de revient à la boue produite, qui sera mis à la disposition des agriculteurs aux fins d'épandage sur leurs terres agricoles. Le coût global ainsi que le prix de revient sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau IV.18. Prix de revient de la boue produite de la STEP de Médéa

Année	Poids de la Boue MS (T/mois)	Montant Facture Ené.Electri DA/mois	Frais de personnel (DA/mois)	Frais de maintenance (DA/mois)	Charge totale (DA/ mois)	Prix de revient (DA/T)
2013	28.52	337724.92	1497824.01	97558.00	1933106.93	67780.75
2014	30.75	304174.05	1534362.60	177287.25	2015823.91	65555.25
2015	38.40	303678.62	1572516	137014.40	2013208.99	52427.32
Moyenne	32.56	315192.53	1534900.87	137286.55	1987379.94	61037.47

A partir de ce tableau, on note que le prix de revient de la boue générée de la STEP de Médéa durant les années 2013, 2014 et 2015 enregistre une valeur moyenne de 61037.47 DA/T de matière sèche (figure IV.32). Nous remarquons que le prix de revient a baissé de 67780.75 DA/T en 2013 à 52427.32 DA/T en 2015, cela est dû à l'augmentation de la quantité de boue produite de 28.52 T/mois en 2013 à 38.4 T/mois en 2015.

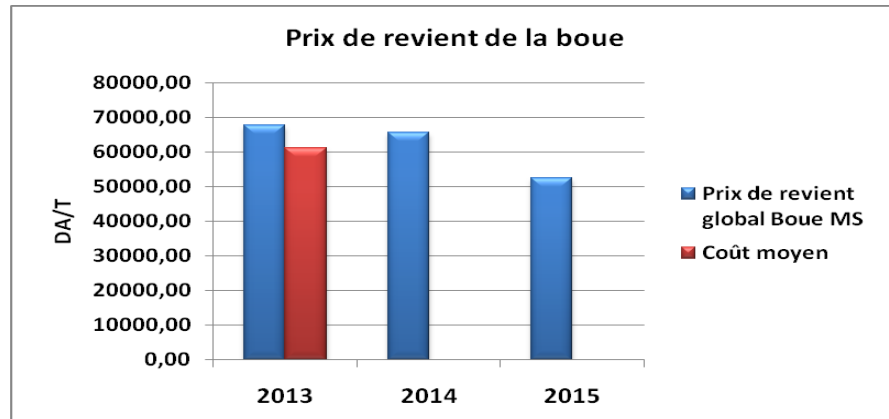


Figure. IV.32. Prix de revient de la boue générée par la STEP de Médéa

IV.3.2. Calcul des prix de vente

Les sous produits générés par l'épuration de la STEP de Médéa actuellement connaissent deux destinations; le milieu récepteur qui est Oued Lahreche pour l'eau épurée et la décharge publique pour la boue.

Le prix de vente est le prix pour lequel le sous produit est mis par l'exploitant à la vente aux agriculteurs pour leurs besoins en agriculture.

Le prix de vente est de moins en moins lié au coût de revient [150]. Le coût de revient permet de déterminer le niveau minimal de fixation du prix de vente du produit ou de la prestation de service de sorte que l'entreprise puisse rentrer dans ses frais.

Il est donné selon [148] par la formule suivante :

$$\text{Prix de vente} = (\text{coût de revient unitaire} + \text{marge brute unitaire}) \times (1 + \text{taux de TVA})$$

Pour fixer le prix de vente, le calcul du prix de revient demeure toutefois insuffisant. Il faut en effet déterminer en plus le montant de la marge qui permettra de dégager des bénéfices de la vente des produits ou des services [148].

Selon [147], une marge est la différence entre un prix de vente et un coût. Quelque soit le coût calculé, il est donc possible de lui associer une marge à condition que ce coût corresponde à un produit identifiable. D'après [151], ce taux de marge en Algérie est situé entre 10% et 30%. Dans notre cas d'étude et comme scénario, on propose un taux de marge bénéficiaire de 15%.

[152] cite que pour la vente de l'eau, la valeur de la TVA (taxe de la valeur ajoutée) pour les consommations effectuées le dernier trimestre de l'année 2016, et dont les factures seront établies au-delà du 1er janvier 2017, on applique une TVA de 7 %.

IV.3.2.1. Prix de vente de l'eau épurée

IV.3.2.1.1. Le prix de l'eau d'irrigation

L'agriculture algérienne occupe 17.4 % de l'espace du territoire et emploie 20 % de la population active. Les besoins en eau du secteur mobilisent 65 % des ressources en eau du

pays. En Algérie, le prix payé par l'exploitant est inférieur au coût de revient, ce qui n'a pas pour effet de réduire la consommation [153].

D'après [154], le prix de l'eau d'irrigation est très inférieur aux prix pratiqués pour l'eau potable ou pour l'industrie. En outre, il est très en dessous des coûts d'exploitation des périmètres; dans certains cas, on estime qu'il ne couvre que 20% du coût total, ou qu'il couvre à peine la seule charge d'électricité. Le complément est en principe assuré par l'Etat sous forme de subventions d'équilibre, prévues pour compenser la différence entre les charges réelles d'exploitation et le produit des ventes d'eau. Le prix de l'eau d'irrigation en Algérie d'après [153] est de 2.60 DA/m³.

IV.3.2.1.2. Calcul du prix de vente de l'eau épurée

Le prix de vente de l'eau épurée est donné par la formule suivante :

$$\text{Prix de vente} = (\text{coût de revient unitaire} + \text{marge brute unitaire}) \times (1 + \text{taux de TVA})$$

Le calcul du prix de vente est donné dans le tableau IV.19.

Tableau IV.19. Calcul du Prix de vente de l'eau épurée de la STEP de Médéa

	Prix de revient PR (DA/m ³)	Marge brute (15% PR)	Prix de vente PV HT (DA/m ³)	TVA (7%)	Prix de vente PV TTC (DA/m ³)
2013	5.81	0.87	6.68	0.47	7.14
2014	6.94	1.04	7.99	0.56	8.55
2015	9.67	1.45	11.12	0.78	11.89
Moyenne	7.47	1.12	8.59	0.60	9.19

Sur un prix de revient moyen trouvé de 7.47 DA/m³ durant la période d'étude, on applique une marge brute de 15% soit 1.12 DA/m³ et on ajoute le taux de la TVA de 7% pour aboutir à un prix de vente moyen en TTC de 9.19 DA/m³ (figure IV.33).

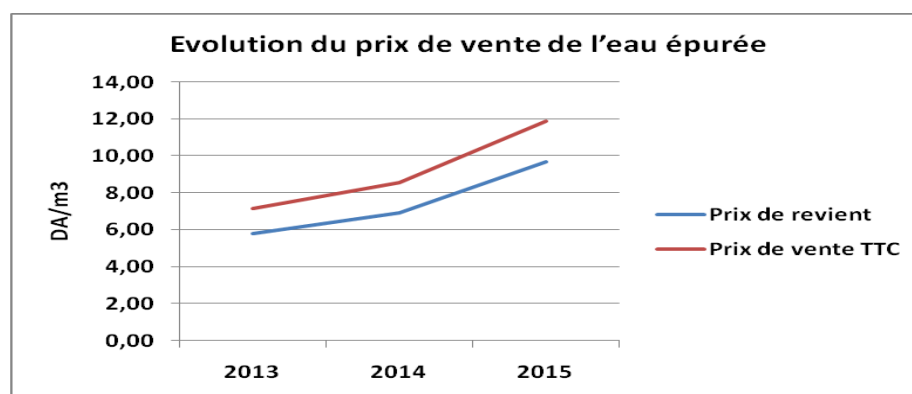


Figure. IV.33. Evolution du prix de vente de l'eau épurée de la STEP de Médéa

IV.3.2.2. Prix de vente de la boue d'épuration

Le calcul du prix de vente de la boue d'épuration est donné par la même formule utilisée pour l'eau épurée. Les valeurs du prix de vente sont présentées alors dans le tableau suivant:

Tableau IV.20. Calcul du Prix de vente de la boue générée par la STEP de Médéa

	Prix de revient (DA/T)	Marge brute (15% PR)	Prix de vente PV HT	TVA (7%)	Prix de vente PV TTC (DA/T)
2013	67780.75	10167.11	77947.86	5456.35	83404.21
2014	65555.25	9833.29	75388.54	5277.20	80665.74
2015	52427.32	7864.10	60291.42	4220.40	64511.82
Moyenne	61037.47	9155.62	70193.09	4913.52	75106.61

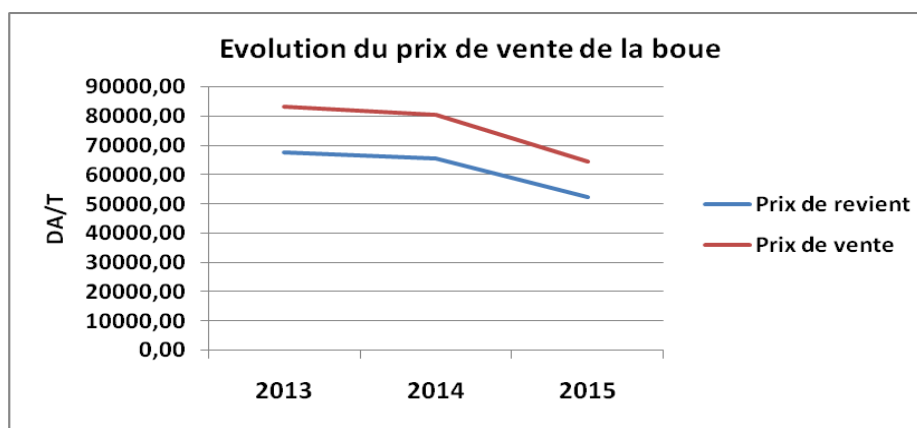


Figure. IV.34. Evolution du prix de vente de la boue générée par la STEP de Médéa

Appliquant la même marge brute et le même taux de TVA que pour l'eau, le prix de vente moyen de la boue, calculé est de 75106.61DA/T pendant la même période (figure IV.34).

IV.3.3. Résultat analytique

Le résultat analytique se calcule par type de produit vendu. Ce résultat est obtenu en faisant la différence entre les produits d'exploitation relatifs au produit vendu, c'est-à-dire son chiffre d'affaires et le coût de revient de ce même produit [155].

$$RA = \text{Chiffre d'affaires} - \text{Coût de revient des produits vendus}$$

IV.3.3.1. Calcul du chiffre d'affaires CA Eau

Le chiffre d'affaire (CA) de l'eau épurée est donné par la formule suivante :

$$CA = \text{Prix de Vente} \times \text{Quantité Produite} [148]$$

Les résultats du calcul du chiffre d'affaire sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.21. Calcul du chiffre d'affaires de l'eau épurée de la STEP de Médéa

	Quantité produite (m ³ /an)	Prix de vente (DA/m ³)	Chiffre d'affaire (DA/an)
2013	3995376	7.14	28544299.81
2014	3483192	8.55	29765672.87
2015	2499396	11.89	29727115.32
Moyenne	3325980	9.19	30580800.08

IV.3.3.2. Calcul du chiffre d'affaires CA Boue

Le chiffre d'affaire de la boue est donné par la même formule utilisée pour l'eau épurée. Les valeurs calculées sont portées dans le tableau IV.22.

$$CA = \text{Prix de Vente} \times \text{Quantité Produite}$$

Tableau IV.22. Calcul du chiffre d'affaires de la boue d'épuration

	Quantité produite (T/an)	Prix de vente (DA/T)	Chiffre d'affaire (DA/an)
2013	342.24	83404.21	28544258
2014	369.00	80665.74	29765656
2015	460.80	64511.82	29727045
Moyenne	390.72	75106.61	29345653

IV.3.3.3. Calcul du résultat analytique global

Après le calcul des chiffres d'affaires, le résultat analytique global est présenté dans le tableau suivant :

Tableau IV.23. Calcul du résultat analytique global des sous produits de la STEP de Médéa

	Eau épurée	Boue d'épuration
Quantité Produite par An	3325980 m ³	390.72 T
Chiffre d'affaire annuel	30580800.08 DA	29345653.00 DA
Couts de revient annuel	24845070.60 DA	23848560.28 DA
Résultat	+ 5735729.48 DA	+ 5497092.72 DA

D'après le tableau précédent nous remarquons que notre résultat est positif et qu'on est bénéficiaire en faisant un résultat de +5735729.48 DA pour l'eau épurée vendue à 9.19 DA/m³ et un résultat de + 5497092.72 DA pour la boue qui sera vendue à 75106.61 DA/T. Tous les deux sous produits feront un bénéfice total de 11232822.20 DA/an.

IV.3.4. Gains et bénéfices économiques non monétaires

La valeur économique des projets de réutilisation des eaux usées municipales ne correspond pas seulement à son coût monétaire, mais aussi à ses coûts et bénéfices économiques non monétaires [105].

IV.3.4.1. Economie d'eau

La réutilisation offre aussi de nombreux avantages non monétaires comme la prolongation de l'existence des ressources naturelles, l'augmentation de la fiabilité des ressources en eau, surtout en saison sèche, et la réduction de la dépendance à l'importation d'eau [105]. Le gain annuel en eau conventionnelle est équivalent à la production d'eau épurée d'un volume de 3325980 m³ qui sera économisé et permettra de diminuer les prélèvements d'eau et limiter la surexploitation des nappes d'eau souterraines.

- En terme d'AEP (Alimentation en eau potable) un volume de 3325980 m³/an est équivalent à une production d'eau potable de 105.5 l/s, un débit qui permet d'alimenter en eau une ville d'une population de 91130 habitants avec une dotation moyenne de 100l/h/j.
- Un volume d'eau épurée de 3325980 m³/an destiné aux arboricultures (la culture la plus pratiquée dans la zone d'étude), autorise, à raison de 5000 m³/ha/an selon [156] l'irrigation de 665 ha.

IV.3.4.2. Gain en fertilisants

IV.3.4.2.1. Calcul des quantités de fertilisant apportées par les eaux épurées par an

Les quantités de fertilisants sont calculées à partir des concentrations trouvées dans l'eau épurée. Elles sont données dans le tableau suivant :

Tableau IV.24. Quantité de fertilisants apportée par l'eau épurée

	Concentration (mg/l)	Volume d'eau Annuel (m ³ /an)	Quantité de fertilisant (Kg/an)
N-NO ₃ ⁻	10.61	3325980	35288.65
P-PO ₄ ³⁻	0.63		2095.37
K ⁺	14		46563.72

Il apparaît clair que notre eau épurée avec son volume annuel de 3325980 m³ apporte 35288.65 Kg de nitrates et 2095.37 Kg de phosphates et 46563.72 Kg de potassium, des quantités qui peuvent remplacer une fertilisation minérale de (N, P, K). C'est un gain significatif en matière de rendements des cultures.

Les quantités potentielles de fertilisants apportés annuellement par les eaux épurées, calculées sur la base des besoins de l'arboriculture de 5000 m³/ha/an, sont :

- Une quantité de N-NO₃⁻ de 35288.65 kg sur 665 ha donne 53 kg/ha,
- Une quantité de P-PO₄³⁻ de 2095.37 kg sur 665 ha donne 3.15 kg/ha,
- Une quantité de K⁺ de 46563.72 kg sur 665 ha donne 70 kg/ha.

Ces eaux épurées fertilisent le sol par des apports moyens annuels d'environ 53 kg/ha/an d'azote minéral, 3.15 kg/ha/an de phosphates et 70 kg/ha/an de potassium, soient respectivement 33%, 2% et 51% des besoins de l'arboriculture [156].

IV.3.4.2.2. Calcul des quantités de fertilisants apportées par la boue d'épuration

Idem pour la boue, les quantités de fertilisants sont calculées à partir des concentrations trouvées dans la boue d'épuration et elles sont données dans le tableau suivant :

Tableau IV.25. Quantité de fertilisants apportée par la boue d'épuration

	Concentration % de MS	Quantité de Boue MS (T/an)	Quantité de fertilisant (Kg/an)
NTK	2.05%	390.72	8000
P ₂ O ₅	0.33%		1290
K ₂ O	0.19 %		742

A la lecture du tableau, il s'avère que la boue générée par la STEP de Médéa apporte annuellement en épandage sur le sol 8000 kg de NTK, 1290 Kg de P₂O₅ et 742 Kg de K₂O

Certaines expérimentations ont montré qu'une amélioration de la perméabilité et de la stabilité structurale serait obtenue après un apport de 10 T/ha de matière sèche de boue et ceci pendant plusieurs années [157]. Donc une quantité de boue de 390.72 T/an va être épandue annuellement sur une surface de 39.07 ha et par conséquent nous aurons en fertilisation :

- Une quantité d'azote de 8000 kg/an sur 39.07 ha donne 205 kg/ha,
- Une quantité de P₂O₅ de 1290 kg sur 39.07 ha donne 33 kg/ha,
- Une quantité de K₂O de 742 kg sur 39.07 ha donne 19 kg/ha.

Ce qui représente respectivement pour les besoins des arboricultures, 128% des besoins en azote, 21% en phosphore et 14 % en potassium.

IV.4. RESULTATS DE L'ENQUETE SOCIALE

IV.4.1. Mesure de la fiabilité et de la validité du questionnaire

Pour confirmer la validation du questionnaire en tant qu'instrument de collecte d'informations, il a été soumis à un certain nombre de spécialistes académiques, universitaires et administrateurs pour vérifier l'élaboration et la rédaction des expressions du questionnaire

et la conformité et la clarté de la terminologie utilisée. Le questionnaire a été épuré de quelques items. D'autres ont été modifiés afin d'en améliorer la compréhension.

Pour la mesure de la fiabilité et la validité du questionnaire, le traitement des données à l'aide du logiciel SPSS20 a donné les résultats du Coefficient alpha de Cronbach comme suit :

Tableau IV.26. Coefficient alpha de Cronbach

N Of Items	Cronbach's Alpha
19	0.879

Source : Logiciel SPSS 20

Nous constatons que le degré de fiabilité et de validité du questionnaire de l'ordre de 88% est grand, donc le questionnaire est valable pour l'application sur l'échantillon d'étude.

IV.4.2. La répartition géographique de l'échantillon

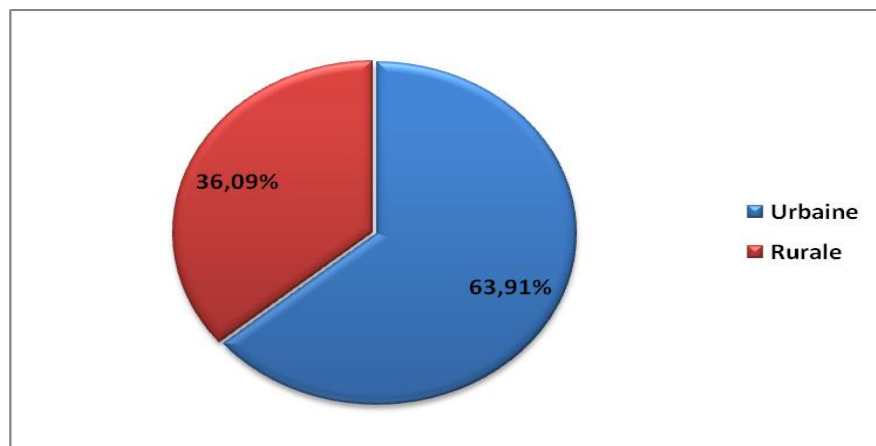
A travers les résultats de l'étude, nous pouvons dresser le tableau suivant:

Tableau IV.27. Répartition géographique de l'échantillon par région (rurale-urbaine)

Région	Fréquence	Pourcentage
Rurale	109	36.09 %
Urbaine	193	63.91 %
Total	302	100 %

Source: Résultats des questionnaires valides récupérés.

Sur la base des données ci-dessus, le graphique suivant a été tracé:



Source: Logiciel SPSS 20.

Figure. IV.35. Répartition de l'échantillon selon la zone d'habitation

A partir du graphe et tableau ci-dessus, nous notons que l'échantillon est prédominé par le caractère urbain, tel que les répondants vivant dans la ville représentent 63.91%, alors que les répondants qui vivent dans les zones rurales sont de 36.09%. Cette différence est due au

niveau de réponse et de l'interaction des répondants dans les zones rurales et urbaine avec le questionnaire.

IV.4.3. Caractéristiques démographiques de l'échantillon

IV.4.3.1. Selon le sexe

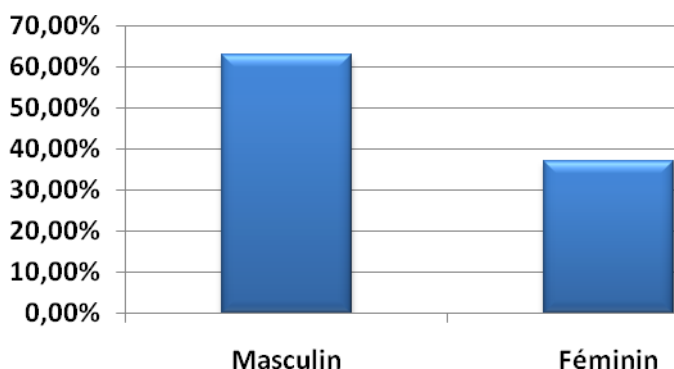
Les résultats de l'enquête ont donné la répartition de l'échantillon, dans le tableau suivant :

Tableau IV.28. La répartition de l'échantillon selon le sexe

Sexe	Fréquence	Pourcentage
Masculin	190	62.91%
Féminin	112	37.08%
Total	302	100%

Source : Résultats des questionnaires valides récupérés

Suite au tableau ci-dessus, nous avons pu tracer le graphique suivant:



Source: Logiciel SPSS 20.

Figure. IV.36. Représentation graphique de l'échantillon selon le sexe

Il est à noter que le sexe masculin est majoritaire de 62.91 %, tandis que le sexe féminin est de 37.08%. Cela est dû à la nature de la société Algérienne où la majorité des femmes refusent de communiquer avec des étrangers.

IV.4.3.2. Répartition de l'échantillon selon l'âge

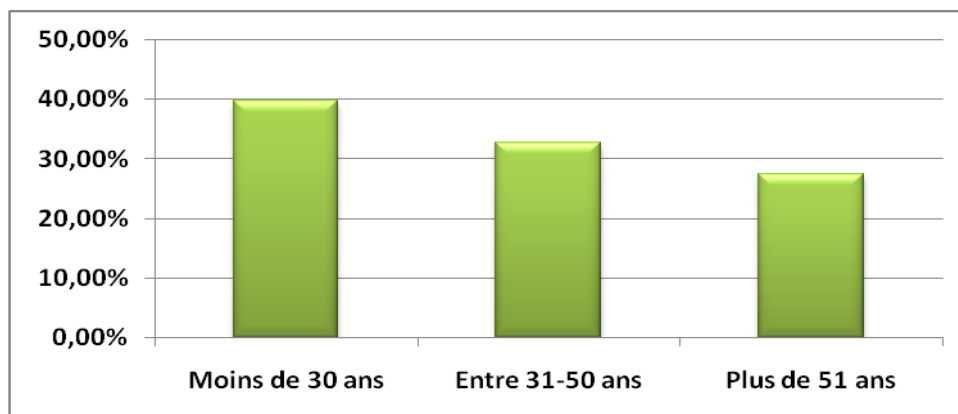
D'après les résultats de l'étude, nous avons pu dresser le tableau suivant:

Tableau IV.29. Répartition de l'échantillon par catégorie d'âge

Catégorie d'âge	Fréquence	Pourcentage
Moins de 30 ans	120	39.73%
Entre 31-50 ans	99	32.78%
Plus de 51 ans	83	27.48%
Total	302	100%

Source : Résultats des questionnaires valides récupérés

A partir du tableau ci-dessus, nous avons tracé le graphique suivant:



Source: Logiciel SPSS 20.

Figure. IV.37. Répartition de l'échantillon par catégorie d'âge

Nous constatons que la majorité des répondants sont de moins de 30 ans avec un pourcentage de 39.73%, puis vient la catégorie d'âge 31-50 ans par un pourcentage de 32.78% et en fin la catégorie de plus de 51 ans représentant 27.48%. Ça est dû à la composition de la société Algérienne dont les jeunes occupent le pourcentage élevé de la pyramide des âges. En outre, les différents pourcentages sont proches dans une certaine mesure, ce qui reflète l'image de la société dans toutes ses catégories d'âge sans privilégier certaines catégories, ce qui permet d'avoir une idée claire sur l'opinion de la société à l'égard de l'utilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture.

IV.4.3.3. Par niveau de scolarité

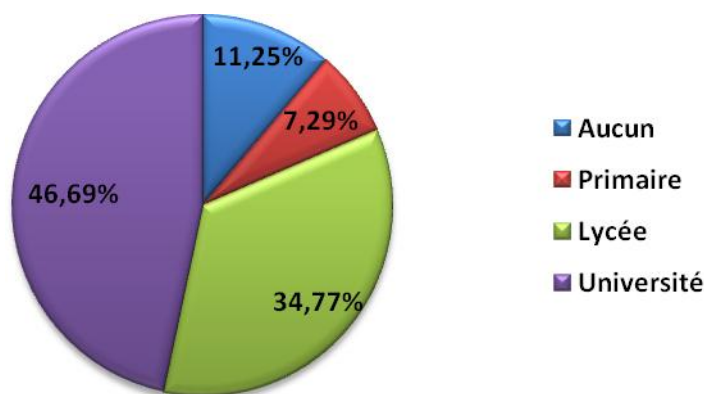
La répartition de l'échantillon selon le niveau de scolarité est donnée dans le tableau suivant :

Tableau IV.30. Répartition de l'échantillon selon le niveau de scolarité

Niveau de scolarité	Fréquence	Pourcentage
Aucun	34	11.25%
Primaire	22	7.29%
Lycée	105	34.77%
Université	141	46.69%
Total	302	100%

Source : Résultats des questionnaires valides récupérés

A partir du tableau ci-dessus, nous avons tracé le graphique suivant:



Source: Logiciel SPSS 20

Figure. IV.38. Représentation graphique de l'échantillon selon le niveau de scolarité

D'après le graphe nous observons que les universitaires occupent le pourcentage le plus élevé soit 47%, viennent après les lycéens par 35%, ensuite les analphabètes par 11% et enfin le niveau primaire par un pourcentage de 7%. Le taux élevé des universitaires et des lycéens revient à l'expansion et les efforts diligents de l'Etat dans le secteur de l'éducation et l'enseignement.

Les taux élevés d'analphabétisme et du niveau primaire se réfèrent au fait que l'enquête a ciblé les zones rurales éloignées, caractérisées par une pyramide d'âge qui dépasse souvent 51 ans, et qui n'ont pas auparavant accédé à l'école et actuellement n'ont pas rejoint l'école d'alphabétisation, puisque la plupart de ces écoles sont concentrées dans les villes, ou bien leurs enseignements n'a pas dépassé la phase primaire.

IV.4.3.4. Par profession

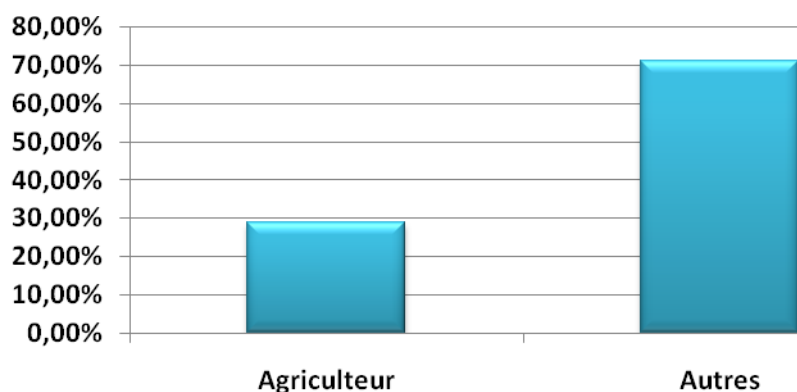
Sur la base des données extraites de l'étude, nous avons pu dresser le tableau suivant:

Tableau IV.31. Répartition de l'échantillon selon la profession

	Fréquence	Pourcentage
Agriculteur	87	28.81%
Autre	215	71.19%
Total	302	100%

Source : Résultats des questionnaires valides récupérés

Partant du tableau ci-dessus nous avons tracé le graphe suivant



Source: Logiciel SPSS 20

Figure. IV.39. Répartition de l'échantillon selon la profession:

Les résultats indiquent que le grand pourcentage revient à la catégorie autre qu'agriculteur avec un taux de 71%, tandis que les répondants agriculteurs sont de 29%. La faiblesse de la réponse paysanne au questionnaire revient au refus catégorique sans même le voir ni dialoguer avec nous pour présenter des explications sur le sujet.

IV.4.4. L'analyse des résultats et mise à l'épreuve des hypothèses de l'étude

L'analyse des résultats a été faite à l'aide du Mode qui d'après [158] est la donnée qui revient le plus souvent dans une série. C.-à-d. la réponse la plus répétée dans chaque expression (variable). Nous avons utilisé l'écart-type pour déterminer l'homogénéité des réponses, ainsi que le test de Likert, qui dépend de la valeur de la moyenne pondérée pour déterminer la tendance.

Sur la base des résultats du questionnaire nous avons tracé les graphiques qui vont suivre et par conséquent, l'analyse sera comme suit :

IV.4.4.1. Analyse des résultats de la Partie I

Les résultats de la première partie du questionnaire sont éclatés dans le tableau suivant :

Tableau IV.32. Résultats du questionnaire de la première partie.

		Pas d'accord (non)	Neutre (un peu)	D'accord (oui)	Moyenne pondérée	Mode	L'écart type	Tendance
Variable 1	Effectifs	16	49	237	2.73	3	0.125	Accepté
	%	5.31	16.22	78.74				
Variable 2	Effectifs	123	57	122	1.99	1	0.123	Neutre
	%	40.73	18.82	40.39				
Variable	Effectifs	130	82	90	1.86	1	0.215	Neutre

3	%	43.05	27.15	29.80				
Variable 4	Effectifs	131	138	33	1.67	2	0.111	Neutre
	%	43.38	45.69	10.93				
Variable 5	Effectifs	49	32	221	2.56	3	0.112	Accepté
	%	16.22	10.60	73.18				
Moyenne pondérée de la première partie					2.16		Neutre	

Source : Résultats des questionnaires valides récupérés

IV.4.4.1.1. Analyse des résultats selon l'échelle Likert à 3, le Mode et l'écart type

Le test de Likert 3 dépend de la valeur de la moyenne pondérée pour déterminer la tendance : d'accord (oui), pas d'accord (non) ou neutre (un peu). Nous émettons alors, des dispositions sur la base suivante:

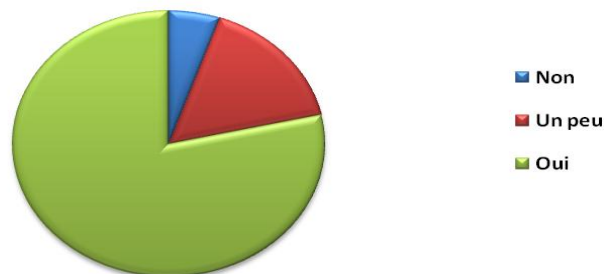
Tableau IV.33. Classement de la tendance selon la moyenne pondérée

	Réponse	Moyenne pondérée	Tendance
1	Non (Pas d'accord)	1 → 1.66	Inacceptation
2	Un peu (Neutre)	1.67 → 2.34	Neutre
3	Oui (D'accord)	2.34 → 3	acceptation

Source : [110]

- Nous analysons les résultats de cette partie en commençant par la première expression que nous avons représentée graphiquement par un cercle comme suit:

Êtes-vous intéressés pour la préservation de l'eau pour les générations futures?



Source: Logiciel SPSS 20

Figure. IV.40. Représentation graphique de la première expression de la partie I

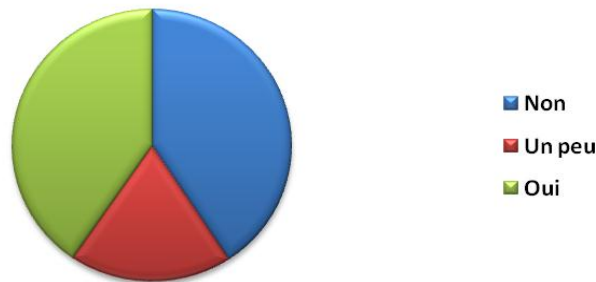
Nous constatons que la première expression concerne l'intérêt de l'échantillon ciblé pour la préservation de l'eau pour les générations futures. Les résultats de l'enquête ont montré que les répondants par (oui) sont de 78.47%, tandis que les opposants sont de 5,31%. Les personnes

peu intéressés sont de 16.22%. Nous notons que le mode est égal à 3 (Tableau IV.32), ce qui reflète le consentement de la majorité des personnes interrogées sur l'importance de la préservation de l'eau pour les générations futures. La faible valeur de l'écart type de 0.125 indique l'homogénéité des réponses.

Afin de vérifier nos résultats, on compare la moyenne pondérée suivant l'échelle de Likert à 3 où elle est égale à 2.73 (Tableau IV.32) et est comprise entre 2.34 et 3 (Tableau IV.33), ce qui reflète l'importance et l'acceptation des personnes interrogées pour la préservation de l'eau pour les générations futures.

- Pour la deuxième expression de la 1^{ère} partie, on a pu la représenter graphiquement par le cercle suivant:

Avez-vous une idée sur les eaux usées traitées?



Source: Logiciel SPSS 20

Figure. IV.41. Représentation graphique de la 2^{ème} expression de la 1^{ère} partie.

Pour la 2^{ème} expression relative au niveau de connaissance des répondants des eaux usées traitées, nous constatons que les répondants par (non) sont de 40.73% et par (oui) ont atteint 40.39%, tandis que ceux qui ont une petite connaissance sont 18.82%.

Le mode 1 (Tableau IV.32) indique que les réponses les plus répétées sont (non) et l'écart-type confirme l'homogénéité dans les réponses en raison de sa faible valeur de 0.123, tandis que les résultats montrent selon l'échelle de Likert 3, que la tendance générale est neutre du fait que la moyenne pondérée vaille 1.99 (Tableau IV.32) et comprise entre 1.67 et 2.34 (Tableau IV.33), un intervalle de tendance neutre, cela revient au niveau limité de la connaissance du domaine.

- Pour la troisième expression, elle est représentée graphiquement par le cercle suivant:

Avez-vous des informations sur les stations de traitement de l'eau en Algérie ?



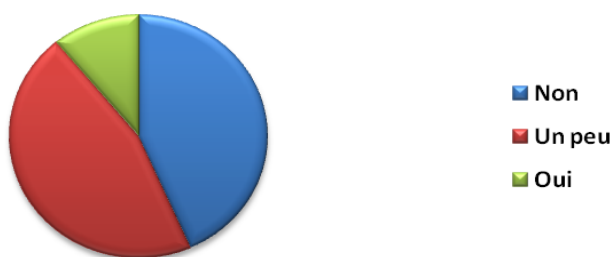
Source: Logiciel SPSS 20

Figure. IV.42. Représentation graphique de la 3^{ème} expression de la 1^{ère} partie

La troisième expression recherche la connaissance de l'échantillon sur les stations d'épuration qui existent en Algérie. Ceux qui ignorent leur existence sont de 43.05% et 29.80% savent qu'elles existent et pour ceux qui ont une petite idée sur l'existence des stations représentent 27.15%. D'après le mode nous constatons que la réponse la plus répétée revient à ceux qui ignorent leur existence, ce qui explique le mode égal à 1 (Tableau IV.32), tandis que l'écart type de 0.215 est faible et prouve l'homogénéité. En ce qui concerne l'échelle de Likert à 3, les résultats montrent que la valeur de la moyenne pondérée égale à 1.86 (Tableau IV.32) comprise entre 1.67 et 2.34 (Tableau IV.33), un intervalle de tendance neutre.

- La quatrième expression a été représentée graphiquement par le cercle suivant:

Avez-vous confiance à ce que ces stations traitent les eaux usées convenablement ?



Source: Logiciel SPSS 20

Figure. IV.43. Représentation graphique de la 4^{ème} expression de la 1^{ère} partie

La quatrième expression qui renseigne sur la confiance des répondants vis à vis le traitement procuré par ces stations d'épuration, a eu les résultats suivants: Les personnes qui montrent peu de confiance sont de 45.69%, ce qui est expliqué par le mode trouvé de 2 (Tableau IV.32), ensuite les personnes qui ne font pas confiance 43.38% et les personnes qui font confiance ont le moindre pourcentage, soit 10.93%. Tandis que pour l'échelle Likert 3 les résultats ont montré la tendance neutre pour cette expression par la moyenne pondérée de 1.67 (Tableau IV.32) comprise entre 1.67 et 2.34 (Tableau IV.33).

- La cinquième expression a été représentée graphiquement par le cercle suivant:



Source: Logiciel SPSS 20

Figure. IV.44. Représentation graphique de la 5^{ème} expression de la 1^{ère} partie

Pour la cinquième expression qui renseigne sur la volonté des gens d'assister à des campagnes de sensibilisation à l'égard des eaux usées et leurs traitements, les résultats de l'enquête ont montré que 73.18% des répondants sont prêts à participer à ces campagnes, tandis que 16.22% ont exprimé leur indifférence à ce sujet et ne sont pas prêts à participer, les 10.60% restants ont exprimé un petit intérêt. Ces résultats sont confirmés par le mode d'une valeur de 3 (Tableau IV.32) et qui montre que la plus répétée des réponses correspond à (oui) et l'écart-type confirme aussi par sa valeur 0.122 l'homogénéité. Le test de Likert 3 montre que la tendance générale de cette expression est l'acceptation, où la moyenne pondérée de 2,56 (Tableau IV.32) est comprise entre 2.34 et 3 (Tableau IV.33), un intervalle de tendance d'acceptation.

IV.4.4.1.2. Test d'adéquation de khi-deux χ^2

Les résultats de la première partie du questionnaire ont montré que la première, la quatrième et la cinquième expression, ont une indication significative. Nous notons que la valeur de probabilité (p) est égale respectivement à 0.00, 0.014 et 0.00 et sont inférieurs à 0.05, d'où on accepte l'hypothèse alternative et on rejette l'hypothèse nulle. Ce qui signifie que les répondants sont intéressés pour la préservation de l'eau pour les générations futures, ont confiance aux stations de traitement des eaux usées et sont intéressés par la participation aux campagnes de sensibilisation relatives aux eaux usées traitées.

La valeur de probabilité (p) dans la deuxième et troisième expression est égal respectivement à 0.177 et 0.443 et à la fois supérieur à 0.05, ce qui nous oblige à rejeter l'hypothèse alternative et accepter l'hypothèse nulle, c'est à dire que les réponses n'ont pas d'indication significative et que les différences entre les fréquences observées et celles attendues ne sont pas significatives. Cela revient à dire que les répondants n'ont aucune idée sur l'eau usée et les stations de traitement existantes en Algérie.

L'échelle de Likert 3 reflète la tendance générale neutre pour la première partie du questionnaire, telle que la valeur de la moyenne pondérée de cette partie a atteint 2.16,

comprise entre 2.34 et 3 (Tableau IV.33), ce qui a été confirmée par les résultats du test khi-deux χ^2 et expliqué dans notre étude par le peu de connaissance chez les répondants au sujet des eaux usées traitées.

IV.4.4.2. Analyse des résultats de la Partie II

Les résultats de la deuxième partie du questionnaire sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV.34. Résultats du questionnaire de la deuxième partie

		Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Neutre	D'accord	Tout à fait d'accord	Moyenne pondérée	Mode	L'écart type	Tendance
Variable 1	Effectif	24	49	33	156	40	3.46	4	0.123	d'accord
	%	7.95	16.22	10.93	51.66	13.24				
Variable 2	Effectif	48	131	16	81	26	2.69	2	0.154	Neutre
	%	15.89	43.38	5.30	26.82	8.61				
Variable 3	Effectif	32	155	66	49	0	2.44	2	0.111	Pas d'accord
	%	10.60	51.32	21.85	16.23	0.00				
Variable 4	Effectif	16	89	50	140	7	3.11	4	0.230	Neutre
	%	5.30	29.47	16.56	46.36	2.32				
Variable 5	Effectif	24	155	81	32	10	2.5	2	0.155	Pas d'accord
	%	7.95	51.32	26.82	10.59	3.32				
Variable 6	Effectif	0	44	90	154	14	3.46	4	0.320	d'accord
	%	0.00	14.57	29.80	50.99	4.64				
Moyenne pondérée de la première partie							2.94			Neutre

Source : Résultats des questionnaires valides récupérés

Pour l'analyse des résultats, le mode a été utilisé afin de déterminer les réponses les plus répétées dans chaque expression, et nous avons utilisé l'écart-type pour déterminer l'homogénéité des réponses, ainsi que le test de Likert 5 qui dépend de la valeur moyenne arithmétique pondérée pour déterminer le sens et la tendance : Pas du tout d'accord , Pas d'accord , Neutre, D'accord et Tout à fait d'accord, tels que nous dégageons des dispositions sur la base suivante:

Tableau IV.35. Classement de la tendance selon la moyenne pondérée.

	Réponse	Moyenne pondérée	Tendance
1	Pas du tout d'accord	1→1.80	Forte inacceptation
2	Pas d'accord	1.80→2.60	Inacceptation
3	Peu d'accord	2.61→3.40	Neutre
4	D'accord	3.41→ 4.20	Acceptation
5	Tout à fait d'accord	> 4.20	Forte acceptation

Source : [110]

IV.4.4.2.1. Analyse des résultats selon l'échelle Likert à 5, le Mode et l'écart type

- La première expression examine la réceptivité des répondants de l'utilisation des eaux usées traitées en nettoyage. Les résultats ont montré que la réponse la plus répétée est « d'accord » soit 156 personnes représentant 51.66%, ce qui explique le mode 4. Suivi par 16.22 %, soit 49 personnes qui ne sont pas d'accord et 24 répondants par « Pas du tout d'accord », contre 40 qui sont Tout à fait d'accord avec cette utilisation. Tandis que les personnes neutres leur nombre est de 33 soit 10.93 %. L'écart-type montre l'homogénéité dans les réponses et malgré que l'échelle de Likert montre que la tendance générale de cette expression est l'acceptation, du fait que la moyenne pondérée est égale à 3.46 , comprise entre 3.41→4.20 (Tableau IV.35), sauf que nous notons un pourcentage considérable de méfiants représentés par les « neutres », les « Pas du tout d'accord » et les « Pas d'accord » au nombre de 106 personnes sur 302.

- Dans la deuxième expression, il a été demandé aux répondants s'ils étaient pour l'irrigation des légumes avec des eaux usées traitées, 43.38% n'étaient pas d'accord, suivie par 15.89% avec « Pas du tout d'accord », alors que les personnes neutres au nombre de 16 ont eu le taux le plus bas soit 5.30%. Les personnes qui sont d'accord pour cette utilisation sont de 26.82% et les répondants par « Tout à fait d'accord » sont de 8.61%. Nous soutenons ces résultats avec l'observation du mode qui est égal à 2, correspondant à la réponse "pas d'accord», ainsi que le test de Likert 5 qui montre que la tendance générale de cette expression est l'inacceptation tel que la valeur de la moyenne pondérée de 2.60 est comprise dans le domaine de l'inacceptation 1.80→2.60. Le pourcentage des personnes qui ne sont pas du tout d'accord, pas d'accord et les neutres est autour de 65 %, un grand pourcentage qui dépasse la moitié.

- Les réponses de la troisième expression sont logiques par rapport aux résultats de la deuxième expression, tel que plus de la moitié de l'échantillon (51.32%) ne sont pas d'accord avec la consommation des légumes et fruits irrigués par des eaux usées traitées et 10.66 % par « pas du tout d'accord » soit au total 62% qui s'opposent à cette consommation, suivis par des neutres au nombre de 66 représentant 21.85 % . Tandis que les personnes qui sont d'accord pour la consommation des légumes et fruits irrigués par les eaux usées traitées sont

49 individus, soit 16.23% et aucun répondant n'était Tout à fait d'accord pour cette consommation. Le test de Likert à 5 confirme la tendance générale « pas d'accord » de cette expression en constatant la moyenne pondérée de 2.44 située dans l'intervalle de 1.80→2.60, ça veut dire que les répondants de l'échantillon refusent de consommer des fruits et légumes irrigués par les eaux usées traitées.

- La quatrième expression cherche la possibilité que l'échantillon accepte d'irriguer les cultures fourragères avec des eaux usées traitées et nous constatons à travers le Mode que la réponse la plus fréquente correspond au 4 c.-à-d. « d'accord », ce qui signifie que près de la moitié de l'échantillon a accepté cette proposition avec une fréquence de 144 personnes et 7 répondants par « Tout à fait d'accord », tandis que les répondants par « pas d'accord » étaient 89, soit environ 29.5%, en plus des 16 répondants par « pas du tout d'accord ». Alors que le nombre des neutres est de 50 soit 16.56%. Pour l'échelle de Likert à 5, les résultats ont montré que la moyenne pondérée est égale à 3.45 située dans l'intervalle d'acceptation, c.-à-d. les répondants acceptent l'irrigation des cultures fourragères par les eaux usées traitées.

- Les résultats de la cinquième expression montrent l'ambiguïté, le manque d'information et la non-compréhension du sujet et la contradiction chez les répondants, en dépit de l'acceptation de près de la moitié de l'échantillon pour irriguer les cultures fourragères avec les eaux usées traitées, cependant plus de la moitié de cet échantillon n'est pas d'accord avec la consommation de la viande et des produits d'animaux qui ont consommés ces fourrages, d'un pourcentage de 51.32% en plus de 7.95% qui ne sont pas du tout d'accord, ce qui signifie que 179 membres de l'échantillon n'acceptent pas cette proposition. Les individus qui sont prêts à consommer ces produits, leur pourcentage ne dépasse pas au total 14% dont 10.59% sont d'accord et 3.32% sont Tout à fait d'accord, alors que le nombre des individus neutres est de 81, ce qui représente 26.82%. Le mode de valeur 2 approuve ces résultats, telle que la valeur 2 correspond à "pas d'accord", ainsi que la valeur de la moyenne pondérée de 2.5 est située dans le domaine de l'inacceptation.

- Pour la sixième expression destinée à l'avis de l'échantillon sur l'irrigation par des eaux usées traitées des arbres non fruitiers, les résultats sont venus logiques par rapport aux réponses de la cinquième expression. La plupart de l'échantillon a opté pour cette proposition avec une fréquence de 154 personnes « d'accord » ce qui va avec le mode qui vaut 4 c.-à-d. que la plus répétée des réponses est « d'accord », en plus de 14 sont Tout à fait d'accord, représentant ainsi au total 56% de l'échantillon, Alors que 90 répondants sont neutres, tandis que ceux qui ne sont pas d'accord représentent 14.57% soit 44 personnes et aucune personne n'était pas du tout d'accord. La valeur de la moyenne pondérée de 3.46 relevant du domaine 3.41 - 4.20, approuve que la tendance générale de cette expression soit l'acceptation. Cela revient à dire que l'échantillon accepte l'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des arbres non fruitiers.

IV.4.4.2.2. Test d'adéquation de khi-deux χ^2

Les résultats de la deuxième partie du questionnaire montrent que la valeur de probabilité (p) dans toutes les expressions est moins de 0.05, ce qui nous permet d'accepter l'hypothèse alternative et de rejeter l'hypothèse nulle, et est la preuve que toutes les réponses à cette partie du questionnaire ont une Indication significative. La première expression déclare l'acceptation de la majorité de l'échantillon de l'utilisation des eaux usées traitées dans le nettoyage, tandis que la deuxième expression donne l'opposition des répondants à l'idée d'irriguer les légumes par des eaux usées traitées et de les consommer. En dépit de leur acceptation d'irriguer les cultures fourragères avec les eaux usées traitées, ils rejettent la consommation de la viande et des produits d'animaux qui ont consommé ces cultures fourragères. La majorité des répondants sont pour la tendance d'irriguer les arbres non fruitiers par des eaux usées traitées.

A travers l'échelle de Likert à 5, nous pouvons dire que la tendance générale de cette partie est neutre telle que la valeur de la moyenne pondérée de 2,94 est située dans le domaine (2.61-3.40) correspondant à la tendance neutre, cela signifie que les répondants aiment se localiser dans la zone grise. C'est dû à la crainte, au manque de connaissances et à l'hésitation qu'on a touché au cours de l'enquête de terrain chez les répondants, ceci se reflète clairement dans les quatrième et cinquième variables (expressions) qui en dépit de l'acceptation de près de la moitié de l'échantillon d'irriguer avec ces eaux les cultures fourragères, cependant plus de la moitié refuse dans la question suivante de consommer la viande et les produits d'animaux qui ont consommé ces fourrages, ensuite accepte dans la sixième question d'irriguer avec ces eaux les arbres non fruitiers, dire que leurs réponses pour la plupart étaient émotives dépourvues de toute base scientifique autour du sujet. Ce qui reflète le retard de la société Algérienne en matière de connaissance sur les eaux usées traitées, malgré que l'Algérie dispose d'un nombre considérable de stations d'épuration, en plus de la pénurie d'eau que connaît nombreuses régions, en particulier de l'intérieur. Ceci est due à la baisse du rôle de l'université dans la vie sociale, l'absence d'activité médiatique objective, et le caractère dépendant de l'individu algérien qui a toujours voulu des solutions prêtes à l'emploi et ne cherche pas à développer ses connaissances dans le but de trouver des solutions et des alternatives.

IV.4.4.3. Analyse des résultats de la Partie III

A travers les données extraites des résultats obtenus à partir du questionnaire et sur la base des tests khi-deux, le mode et l'écart-type, nous sommes arrivés aux conclusions suivantes:

IV.4.4.3.1. Résultats du test khi-deux χ^2

Les résultats de cette partie du questionnaire montrent que la valeur de probabilité dans chaque expression est inférieure à 0.05, c.-à-d. qu'on accepte l'hypothèse alternative et on rejette l'hypothèse nulle, cela signifie que les différences sont significatives entre les fréquences observées et attendues. C'est la preuve que toutes les réponses de cette partie ont une indication significative, donnant ainsi une crédibilité aux résultats du questionnaire et

permet d'émettre des jugements valables sur la population et de proposer des recommandations efficaces.

IV.4.4.3.2. Les résultats par comparaison du Mode et l'écart-type

A travers les pourcentages obtenus par le biais du SPSS nous observons :

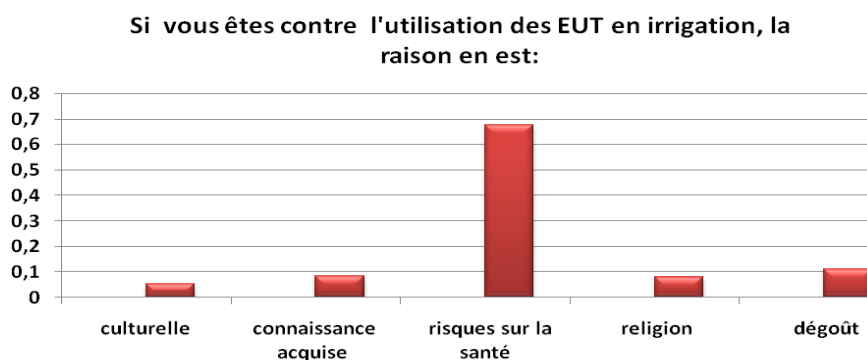
- ✓ La première expression relative à la cause du rejet de l'utilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture, la réponse la plus répétée est « le risque pour la santé », ce qui est expliqué par le Mode 3. Le faible écart type confirme l'homogénéité des réponses.
- ✓ La deuxième expression qui renseigne sur les types de cultures qui peuvent être irriguées par des eaux usées traitées, la réponse la plus répétée était « celle qui ne se consomme pas » équivalent à 3 lors de la saisie de données, c'est le mode 3. L'écart type est également faible et indique que les réponses sont homogènes.
- ✓ Le mode dans la troisième expression est égal à 2, correspondant au choix de « la consommation des produits agricoles dont le sol a été épandu par des boues d'épuration » dans le cas où on devrait choisir entre eux et les produits irrigués par des eaux usées traitées.
- ✓ Dans la quatrième expression le Mode est égal à 3 et correspond à la réponse « des cultures non consommées » si les boues sont épandues sur le sol. L'écart-type ici est faible et reflète l'homogénéité des réponses.
- ✓ Pour la cinquième expression qui examine la disposition des répondants à s'orienter vers l'agriculture en utilisant des eaux usées traitées, nous concluons à travers le Mode qui est égal à 2 que la réponse la plus répétée est "peut-être", en disant qu'avec le développement des connaissances autour des eaux usées traitées, on sera alors convaincu.
- ✓ Dans la suivante, l'échantillon ciblé voit que l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture préserve les ressources en eau, ce que nous avons déduit du Mode qui est égal à 1. Le faible écart type montre l'homogénéité des réponses.
- ✓ La préférence de l'échantillon du domaine d'utilisation des eaux usées traitées, était « l'industrie » et c'est la réponse la plus répétée, ce qui explique le Mode 2.
- ✓ La plus grande difficulté qui confronte l'idée de l'utilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture est une difficulté « culturelle » selon l'échantillon qui a choisi la première réponse correspondant à cet avis, ce qui explique le Mode 1.

IV.4.4.3.3. Analyse des résultats de chaque expression

Nous allons essayer d'éclaircir les résultats précédents en analysant les expressions de cette partie, chacune séparément, afin d'atteindre une image plus précise des avis de l'échantillon ciblé en ce qui concerne l'utilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture.

- ✓ Première expression : Cause du refus d'utilisation des eaux usées traitées.

Sur la base des résultats de l'étude sur le terrain, nous avons pu obtenir le graphique suivant:



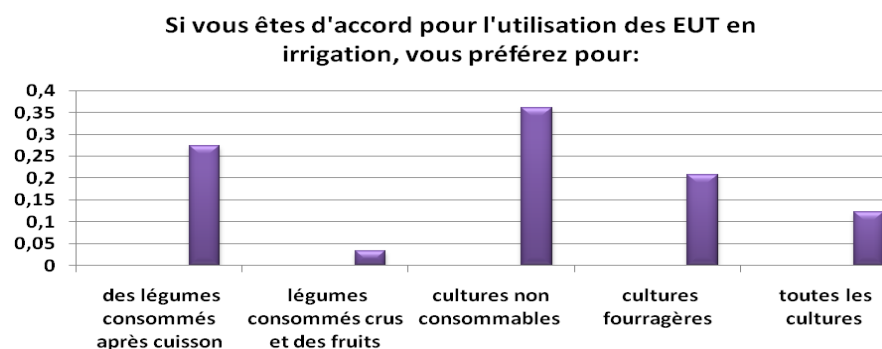
Source: Logiciel SPSS 20

Figure. IV.45. Représentation graphique de la tendance d'utilisation des eaux usées dans l'agriculture.

Les résultats de l'étude ont montré que 67.55% des personnes interrogées refusent l'utilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture pour la raison d'existence d'un risque sur la santé. Ceux qui accolent le refus au dégoût sont de 10.93%, tandis que ceux qui ont un savoir préalable représentent 8.28%. Les personnes qui refusent en raison de leurs croyances religieuses ne dépassent pas 7.94% et ceux pour des raisons culturelles viennent en dernier avec 5.3%.

✓ Deuxième expression: Champ d'utilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture

D'après les résultats de l'étude nous avons tracé le graphe suivant:



Source: Logiciel SPSS 20

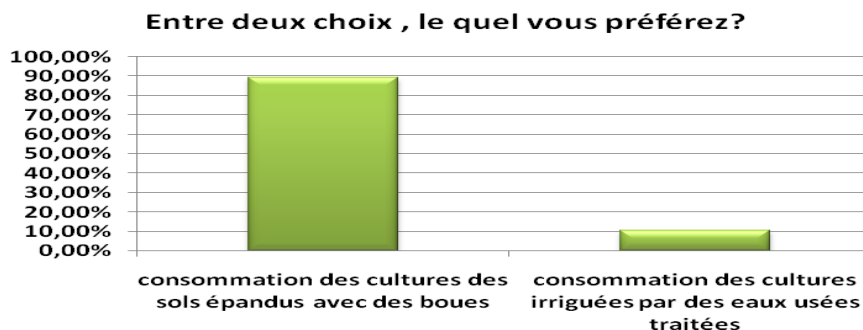
Figure. IV.46. Représentation graphique du champ d'utilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture.

Nous constatons à travers le graphique ci-dessus que la majorité des répondants a préféré pour l'utilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture, d'irriguer des cultures non consommables comme les fleurs et les arbres non fruitiers avec un pourcentage de 36.09%. Les gens qui sont réceptifs à l'idée d'irriguer des légumes consommés après la cuisson sont de 27.48%, et les personnes qui acceptent l'irrigation des cultures fourragères sont de 20.86 %.

12.25% des répondants ont soutenu l'irrigation de toutes les cultures par des eaux usées traitées et ceux qui acceptent d'irriguer des légumes consommés crus et des fruits sont d'un pourcentage minime de 3.31%.

- ✓ Troisième expression: Le choix entre les boues et les eaux traitées.

Suite aux résultats de l'enquête le graphique suivant est tracé.



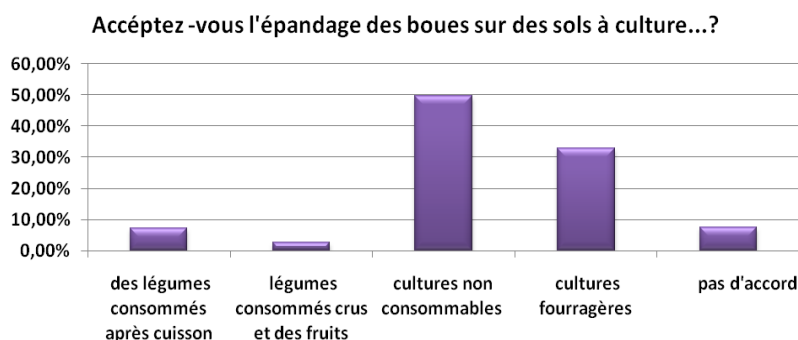
Source: Logiciel SPSS 20

Figure. IV.47. Représentation graphique du choix d'usage des sous produits de l'épuration.

Les résultats de l'étude montrent que 89.4% des répondants préfèrent la consommation des cultures des sols épandus avec des boues que celles irriguées par des eaux usées traitées. Ce qui reflète la grande crainte des interrogés des eaux usées traitées, malgré que la boue et l'eau traitée sont toutes générées par l'eau usée, sauf qu'ils préfèrent la boue au lieu de l'eau traitée.

- ✓ Quatrième expression: Préférences d'utilisation des boues d'épuration

Le graphique suivant est tracé selon les résultats de l'étude de terrain :



Source: Logiciel SPSS 20

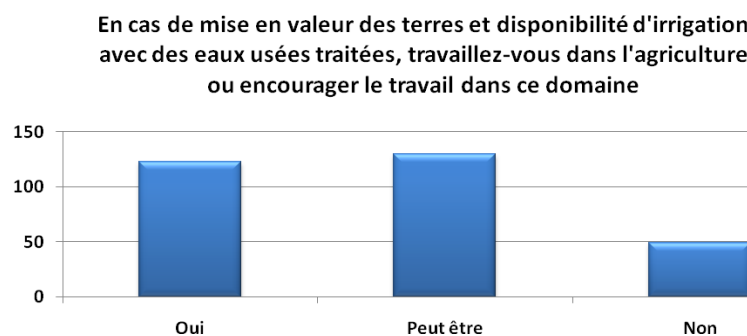
Figure. IV.48. Représentation graphique des préférences d'utilisation des boues d'épuration

D'après le graphique ci-dessus, nous constatons que 49.67% des répondants sont pour l'épandage sur du sol à cultures non consommables, suivis par 32.78% pour les sols à cultures fourragères. 7.28 % des répondants acceptent ces boues sur des sols à cultures consommables après cuisson, tandis que 7.62% refusent cette utilisation et enfin 2.65% qui acceptent l'épandage pour la culture des fruits et légumes consommés crus.

En comparant la troisième expression à la quatrième, nous constatons une contradiction en dépit du pourcentage élevé des répondants qui ont accepté de consommer des cultures des sols épandus avec des boues au lieu des cultures irrigués par des eaux usées traitées, sauf qu'ils refusent en réalité ces deux choix. En comparant les résultats de la deuxième et quatrième expression nous observons un rapprochement des pourcentages dans les deux cas ; irriguer par des eaux usées traitées et épandre des boues sur le sol à cultiver, les répondants ont préféré leurs utilisations pour les arbres non fruitiers et des cultures non consommables.

✓ Cinquième expression: Possibilité d'orientation vers l'agriculture en présence d'eaux usées traitées.

Sur la base des résultats de l'étude, le graphique suivant a été donné:



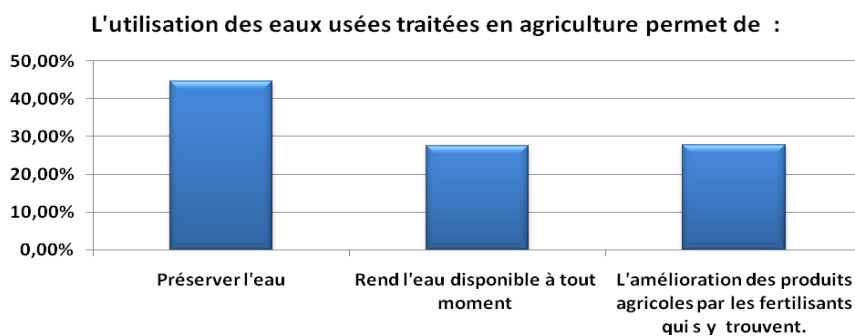
Source: Logiciel SPSS 20

Figure. IV.49. Représentation graphique de la pratique de l'agriculture.

Après avoir analysé les résultats de l'enquête, la cinquième expression de la troisième partie a montré que 40.73 % des répondants sont prêts à pratiquer l'agriculture s'ils étaient propriétaires des terrains non exploités ou encourager les gens proches à s'orienter vers le domaine de l'agriculture en cas de disponibilité des eaux usées traitées à des prix raisonnables. 43.05 % ont exigé le développement de leurs connaissances et leurs convictions à l'égard de ces eaux pour pratiquer l'agriculture ou l'encourager. Le reste de 16.22% refuse cette proposition et ne montre aucun désir pour le domaine de l'agriculture, même si des facilités sont fournies.

✓ Sixième expression: Les points de vue des répondants sur l'utilité des eaux usées traitées utilisées en l'agriculture.

D'après les résultats de l'enquête, le graphique suivant est donné :



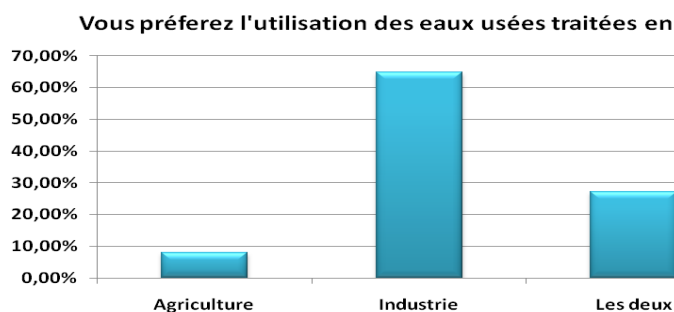
Source: Logiciel SPSS 20

Figure. IV.50. Représentation graphique de la contribution des eaux usées traitées.

Il apparaît à travers cette expression que 44.7% des répondants estiment que l'utilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture permet de préserver l'eau. Tandis que les pourcentages se rapprochent entre ceux qui voient que l'eau sera disponible à tout moment et ceux qui disent que ceci va améliorer les produits agricoles par les fertilisants qui se trouvent dans ces eaux, respectivement de 27.48% et 27.82%. Ces réponses mettent en évidence l'incohérence et le manque de connaissances chez les répondants, à travers l'analyse des réponses aux questions précédentes nous constatons l'opposition des répondants à la consommation des produits agricoles ou d'animaux qui ont consommé des fourrages irriguées par des eaux usées traitées ou épandus avec des boues d'épuration, cependant un pourcentage considérable de 27,82% supposent que l'utilisation de cette eau dans l'agriculture permet l'amélioration des produits agricoles à cause des fertilisants qui s y trouvent.

✓ Septième expression : L'avis de l'échantillon sur le domaine préféré de l'utilisation des eaux usées traitées.

Les résultats de l'enquête nous ont permis de tracer le graphe suivant :



Source: Logiciel SPSS 20

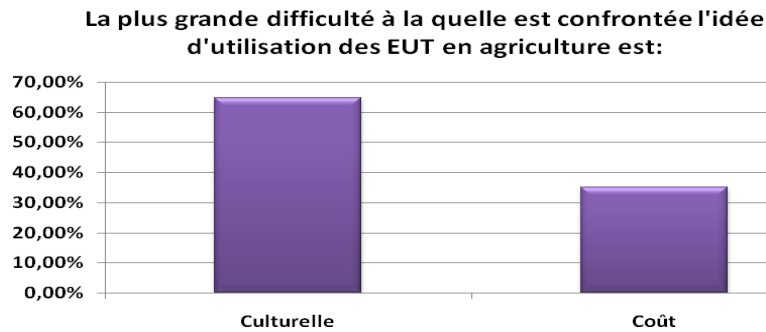
Figure. IV.51. Représentation graphique du domaine favorisé de l'utilisation des EUT.

Les résultats de cette expression confirment que la tendance de l'utilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture est une tendance négative, du moment que plus de la moitié des répondants préfère utiliser les eaux usées traitées dans l'industrie, soit 64.9%, tandis que

7.94% des répondants préfèrent l'utiliser dans l'agriculture. Le reste des répondants de 27.15% préfèrent son utilisation dans les deux domaines.

✓ Huitième expression: La difficulté à la quelle est confrontée l'idée d'utilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture.

Le graphe suivant a été tracé selon les résultats de l'enquête :



Source: Logiciel SPSS 20

Figure. IV.52. Représentation graphique des difficultés aux quelles est confrontée l'idée d'utilisation des EUT en agriculture.

D'après la figure ci-dessus, nous constatons que l'aspect culturel est de 64.91% et en comparant à la première expression qui cherche les raisons de leur refus de consommer des produits irrigués par des eaux usées traitées, nous concluons que la plupart de ces handicaps culturels est une crainte des risques sur la santé sans négliger d'autres raisons culturelles. En dépit de la hausse de ce pourcentage, il est positif d'autre part si on intensifie les campagnes de sensibilisation et les publicités pour lever l'ambiguïté sur le sujet et par conséquent l'acceptation de la société de l'idée d'utiliser des eaux usées traitées dans l'agriculture. Alors que 35.09% des répondants pensent que les difficultés rencontrées par l'exploitation des eaux usées traitées dans l'agriculture est le coût, malgré qu'actuellement en Algérie ces eaux se jettent dans les oueds et les milieux récepteurs sans qu'elles soient exploitées. Ces répondants pensent que le coût sera élevé une fois exploiter cette eau.

Conclusion

CONCLUSION

La mise en œuvre du projet de réutilisation des sous produits de l'épuration est conditionnée par la couverture des contraintes, aspects et études techniques, économiques et sociales, représentant en finalité un outil d'aide à la décision quant à leur réutilisation en agriculture.

L'objectif principal de notre travail était d'une part, d'évaluer les qualités des boues et des eaux épurées de la STEP de Médéa et leurs niveaux de réponse aux exigences et directives établies dans le cadre de l'irrigation et l'épandage agricole ainsi que l'identification des indicateurs de performance qui nous permettent d'apporter des solutions techniques pour une meilleure gestion du système d'assainissement via le suivi des paramètres hydrauliques et de pollution de la STEP de Médéa. D'autre part, d'effectuer une étude de faisabilité du projet par une analyse économique et une enquête sociale qui détermine la tendance générale de la population quant à une éventuelle réutilisation des sous produits de l'épuration en agriculture.

Alors, il en découle que :

Caractérisation des sous produits de l'épuration

Les résultats ont révélé que les eaux épurées de la STEP de Médéa sont fortement minéralisées (SAR=2.06, CE =2165 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et peuvent convenir l'irrigation de certaines espèces tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés. Et elles n'ont aucune influence sur le taux d'infiltration au niveau du sol irrigué. Leur teneur en nitrates (10.61 mg/l) est admissible et ne présente aucun effet nocif. En cas de fortes doses, les cultures à coupes multiples et à enracinement profond sont très efficaces pour consommer l'azote et empêcher son accumulation dans le sol et sa migration.

Pour les ETM, les teneurs trouvées sont très négligeables, n'auront aucun effet de toxicité ni sur le sol ni sur la plante. La concentration élevée des coliformes fécaux due à la suspension du système de désinfection de la STEP, fait que ces eaux ne peuvent être réutilisées sans chloration.

La boue d'épuration avec un C/N de 8.31 constitue une importante disponibilité et une minéralisation rapide de l'azote, dont le lessivage peut être évité par épandage de cette dernière pendant la période de croissance des plantes. Un pourcentage de 61.70% de matière organique permet à cette boue d'être utilisé comme fertilisant ainsi qu'un amendement organique pour le sol.

Identification des indicateurs de performance

Les résultats des analyses nous ont permis d'identifier les insuffisances afin d'améliorer le rendement des installations d'évacuation et de traitement des eaux usées de Médéa.

Au niveau hydraulique, malgré que des dépassements de débit ont été enregistrés durant quelques jours en 2013, le débit moyen des eaux usées de 51% de la capacité nominale a été absorbé sans aucun problème par l'installation. Le taux de dilution des eaux usées trouvé de 14%, causée par les eaux claires parasites qui peuvent occasionner un dysfonctionnement des

ouvrages, nécessite une prise en charge conséquente et un diagnostic permanent au niveau du réseau d'assainissement de la ville de Médéa. La réinjection de ces eaux claires parasites au milieu naturel doit être privilégiée partout où elle est possible, en amont de la STEP et au niveau des déversoirs d'orage. Ce qui permet d'améliorer les performances du système d'assainissement et réduire les frais d'exploitation. Une bonne gestion de la STEP doit donc passer à l'avenir par une meilleure connaissance et maîtrise du réseau d'évacuation des eaux.

Le traitement de l'azote révèle que les concentrations moyennes de l'ammoniaque $N-NH_4$ diminuent de 29.36 à 3.46 mg/l de l'entrée à la sortie. Par contre les nitrates $N-NO_3$ augmentent de 0.59 à 10.61 mg/l de l'entrée à la sortie de la STEP, c'est due à la nitrification. Pour un meilleur contrôle et d'atténuation des nitrates à la sortie de la STEP de Médéa, il y a lieu de diminuer la durée journalière d'aération, en augmentant la durée de dénitrification en anoxie.

Pour le métabolisme bactérien, les valeurs moyennes enregistrées de DBO_5 , $N-NH_4^+$ et $P-PO_4^{3-}$ indiquent un déficit de 35% pour $P-PO_4$ et une hausse de 67% pour $N-NH_4$. Ce déséquilibre en nutriments peut constituer un handicap au niveau du traitement biologique.

En ce qui concerne les ratios, on observe des valeurs moyennes similaires et parfois comparables à celles de la littérature. La particularité vient des valeurs élevées des ratios MES/DCO et MES/ DBO_5 trouvées respectivement 0.77 et 1.36, traduisant ainsi une pollution à caractère particulière. Une étude quantitative serait souhaitable pour compléter ces résultats, notamment pour évaluer l'influence des réseaux de collecte sur la qualité des eaux usées domestiques brutes.

Les valeurs élevées de l'énergie électrique nécessaire pour l'élimination de la pollution, enregistrées durant les mois de Novembre 2014, Juillet et Septembre 2015, provoquant des dépassements en consommation spécifique énergétique, nécessitent d'effectuer une analyse de diagnostic sur l'installation.

L'analyse économique

Les résultats de l'analyse économique ont révélé que les frais de personnel représentent 77.23%, alors que les frais énergétiques sont de 15.86% de la charge d'exploitation de la STEP de Médéa pour la production des boues et des eaux épurées. Les prix de revient de ces sous produits ont été calculés sans prise en compte des frais de l'investissement étant donné que la STEP de Médéa a été réalisée dans le cadre de protection de l'environnement et aucune réutilisation des sous produits n'a été envisagée. Ces prix de revient nous permettent d'atteindre un chiffre d'affaire total de 59926453.08 DA/an qui peut couvrir toutes les charges d'exploitation. Le résultat analytique est donc positif avec un bénéfice global de 11232822.20 DA/an.

Pour les gains et bénéfices économiques non monétaires, nous enregistrons une économie d'eau de l'ordre de 3325980 m³/an qui est équivalent à une production d'eau potable de 105.5 l/s, un débit qui permet d'alimenter en eau une ville d'une population de 91130 habitants avec

une dotation moyenne de 100l/h/j. Ce volume destiné aux arboricultures, autorise, à raison de 5000 m³/ha/an, l'irrigation de 665 ha.

Ces eaux épurées fertilisent le sol par des apports moyens annuels d'environ 53 kg/ha/an d'azote minéral, 3.15 kg/ha/an de phosphates et 70 kg/ha/an de potassium, soient respectivement 33%, 2% et 51% des besoins de l'arboriculture.

Quant à la boue, une quantité de 390.72 T/an va être épandue sur une surface de 39.07 ha et avec les fertilisants qu'elle contient, représente pour les arboricultures, 128% des besoins en azote, 21% en phosphore et 14 % en potassium.

L'enquête sociale

Les résultats de l'enquête sociale confirment que notre échantillon d'étude est conscient de l'importance de la préservation de l'eau pour les générations futures. Les répondants n'ont pas accepté la consommation des produits agricoles crus ou après cuisson, irrigués par des eaux usées traitées ou leur sol de culture soit épandue par des boues d'épuration.

En dépit de l'incohérence de certaines réponses, les répondants ont accepté l'irrigation des cultures fourragères avec les eaux usées traitées, mais ils ont refusé de consommer des produits d'animaux qui ont consommé ces cultures. D'autre part la majeure partie a exigé le développement de leurs connaissances et convictions au sujet du traitement des eaux usées avant de s'orienter vers le domaine de l'agriculture en cas de fourniture de facilités et disponibilité des eaux traitées, preuve de conscience et d'attention.

Pour le refus de l'utilisation et l'empêchement d'admettre cette eau épurée comme un système d'irrigation à adopter par les répondants, les raisons sont culturelles dont la plupart est la crainte des risques sur la santé et ils estiment que le meilleur usage de celles-ci est principalement l'industrie et si elles sont utilisées en agriculture, il est préférable pour des cultures non consommables, les arbres non fruitiers et les fleurs.

Entre-temps la majorité est pour la préservation de l'eau pour les générations futures et est prête à assister et participer aux différentes campagnes de sensibilisations et d'informations qui seront organisées dans le contexte de la levée de l'ambiguïté autour de cette technologie.

De là, sort notre recommandation pour intensifier la sensibilisation de la population par:

- L'organisation des séminaires, portes ouvertes, journées techniques...
- L'information à travers les mass-médias : la Télévision ; Radio, presse écrite....
- L'information de proximité ...

Cette étude tridimensionnelle une fois réalisée, constitue une plate forme pour une éventuelle mise en place d'un projet de réutilisation agricole des eaux usées traitées et des boues d'épuration générées par la STEP de Médéa dans ses trois aspects ; technique, économique et social.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Zella, L., (2007). « L'eau : pénurie ou incurie ». Université Saad Dahleb de Blida, Office des Publication Universitaires, édition : 2.02.4894.ISBN : 978.9961.0.1059.4, 144 pages.
- [2] Karef, S., Kettab, A. & Nakib, M., (2014). « Characterization of byproducts from wastewater treatment of Medea (Algeria) with a view to agricultural reuse ». *Desalination and Water Treatment*, DOI: 10.1080/19443994.848332, vol.52 pp 2201-2207.
- [3] Ecosse, D., (2001). « Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde ». *Mém. D.E.S.S. Qualité et Gestion de l'Eau*, Fac. Sciences,Amiens, 62 pages.
- [4] Tamrabet, L., (2011). « Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage ». Thèse de Doctorat, Université Hadj Lakhdar, Batna, Algérie, 146 pages.
- [5] Kettab, A., Metiche, R., Bennacar, N., (2008). « De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies ». *Revue Science de l'Eau*, vol. 21, n° 2 pp 247-256.
- [6] Karef, S., Kettab, A., Loudyi, D., Bruzzoniti, M.C., Del Bubba, M., Ait Nouh, F., Boujelben, N., Mandi, L., (2017). « Pollution parameters and identification of performance indicators for wastewater treatment plant of Medea (Algeria) ». *Desalination and Water Treatment*, DOI: 10.5004/dwt.20290, vol.65 pp 192-198.
- [7] Cheick, T., (2007). « Protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques ». Centre régional pour l'eau potable et l'assainissement à faible cout - centre collaborant de l'OMS, 43 pages.
- [8] Baumont, S., Camard, J-P., Lefranc, A., Franconi, A., (2004). « Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France ». *Rapport ORS*, 220 pages.
- [9] Gaïd, A., (1984). « Epuration biologique des eaux usées urbaines ». OPU Algérie ,Edition N° 012472 05-84, tome 1, 261 pages.
- [10] OIE., (2007). « Définition de la pollution et des normes de rejet ». Office international de l'eau, 61 pages.
- [11] Gaïd, A., (1993). « Traitement des eaux usées urbaines ». *Techniques de l'Ingénieur, traité Construction*, Doc. C 5 220 ,28 pages.
- [12] Pascale,H., (2002). « L'azote dans les effluents industriels : son origine, ses inconvénients, ses traitements » . *L'eau, l'industrie, les nuisances* , Revue mensuelle N°253, pp15-19.
- [13] Laurent, JL., (1993). « Réduction de l'azote et du phosphore contenus dans les eaux usées urbaines ». Document, Agence de l'eau Rhin-Meuse, ISSN:1161.0425, 28 pages.
- [14] Di Benedetto, M., (2007). « Méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation, Les métaux lourds ». *Ecole des Mines de Saint-Etienne*, 49 pages.

- [15] RECORD., (2005). « Typologie des enjeux environnementaux et usage des différentes méthodes d'évaluation environnementale, notamment dans le domaine des déchets et des installations industrielles ». Rapport final, n°03-1011/1A, 100 pages.
- [16] Degremont., (1989). « Mémento technique de l'eau ». Technique et Documentation Lavoisier ,9^{ème} édition, tome I, 589 pages.
- [17] Catherine, B., Alain, H., Jean-M, H., (2009). « Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT) ». Rapport final, Convention de partenariat ONEMA- Cemagref, 100 pages.
- [18] OMS., (1989). « L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à visées sanitaire ». Rapport d'un groupe scientifique de l'OMS -Série de rapport technique, 778- Geneve ,82 pages.
- [19] Coutellier, A., (2004). « Les progrès de la collecte des eaux usées et pluviale ». IFEN, Les données de l'environnement N°93 ,pp 1-4.
- [20] El maleh , S., (2011). « Eaux usées et épuration ». Formation traitement et épuration des eaux par les énergies renouvelables, Chaire UNESCO SIMEV, UDES Bousmail, 49 pages.
- [21] Mohand,S.O., (2001) « Cours de Procèdes unitaires biologiques et Traitement des eaux ». OPU, édition 2.10.4334, 156 pages
- [22] Adler, E., (2005). « Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous produits de l'assainissement ». ENTPE, 86 pages.
- [23] Laurent, JL., (1994). « L'assainissement des agglomérations : techniques d'épuration actuelles et évolutions ». Document, Agence de l'eau Artois -Picardie ISSN:1161-0425, 170 pages.
- [24] Faby, J.A., Brissaud, F., (1997). « L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation ». Office International de l'Eau, 76 pages.
- [25] Dhaoudi, H., (2008). « Traitement des Eaux Usées Urbaines: Les procédés biologiques d'épuration ». Université V de Tunis, 30 pages.
- [26] Audic,JM., (2002). « Traitement des eaux usées urbaines». CIRSEE, Lyonnaise des eaux, ENGEES, 523pages.
- [27] OIE, (2001). « Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités ». Office International de l'Eau, ISBN 92-894-1690-4, 42 pages.
- [28] AERM., (2007). « Les Procédés d'épuration des petites collectivités du bassin Rhin-Meuse, Éléments de comparaison techniques et économiques ». Document, Agence de l'eau Rhin-Meuse, 173 pages.
- [29] Boeglin, JC., (1997). «Traitements biologiques des eaux résiduaires ». Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés, Doc. J 3 942, 28 pages.

- [30] Petra, P., (2008). « Paramètres de l'azote : nitrification, dénitrification ». HACH LANGE FRANCE S.A.S. DOC040.77.10015.Dec08, pp 1-4.
- [31] Cabanes, F., (2006). « Déphosphatation des effluents : Précipitation et valorisation du phosphore ». Thèse de Doctorat de l'INPT, 219 pages.
- [32] Ozonia., (2009). « Désinfection par UV ». Ozonia International UV, 10 pages.
- [33] Delphine, R., (2008). « Comparaison des populations microbiennes de digesteurs anaérobies traitant des boues de station d'épuration : analyse moléculaire de la diversité et de l'activité ». Thèse de Doctorat, Université d'Evry Val d'Esonne, 213 pages.
- [34] ADEME., (2001). « Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture ». Dossier documentaire ADEME, Direction de l'agriculture et des bioénergies, réf. ADEME éditions n° 3832, 58 pages.
- [35] Pernin,C., (2003). « Épandage de boues d'épuration en milieu sylvo-pastoral. Étude des effets in situ et en mésocosmes sur la mésofaune du sol et la décomposition d'une litière de chêne liège (*Quercus suber* L.) ». Thèse de Doctorat, Université de Droit d'Economie et des sciences d'Aix Marseille, 218 pages.
- [36] Duchene, P., (1990). « Les systèmes de traitement des boues des station des petites collectivités ». Edition : ANTONY : CEMAGREF, 11 pages.
- [37] Brame, V., Lefevre, G., (1977). « Aspects qualitatifs de l'utilisation agronomique des boues résiduaire des stations d'épurations » Bull.d'AFES n°3, pp 125-140.
- [38] Bourgeois, S., Michelin, J., Fumery, H., Wiart, J., (1996). « La valeur azotée des boues résiduaire de station d'épuration urbaines ». Éditeur Angers : ADEME, ISBN 2-86817-150-8. 336 pages.
- [39] Blais, J.F., Sasseville, J.L., (1996). « État de l'art du traitement et de la disposition ou valorisation des boues d'usines d'épuration municipales ». INRS-Eau, Rapport de recherche no 429, Université du Québec, 151 p.
- [40] ANRED., (1988). « La valorisation agricole des boues de la station d'épuration » .Cahier technique.23.117 pages.
- [41] Grulois, P., (2002). « Les boues résiduaire urbaines ,évolution de la production et avenir des différentes filières d'évacuation ».Traitement des eaux usées urbaines, Lyonnaise des eaux. 334 pages.
- [42] Degrémont., (1972). « Mémento technique de l'eau ». Technique et Documentation, ASIN: B0000DMIRS,1097 pages.
- [43] Thoman, NC., (1983). « Les possibilités d'utilisation des eaux usées en agriculture ». Technique et documentation, pp 10-16.

- [44] Nakib, M., (1986). « Contribution à l'étude des possibilités d'utilisation des eaux usées et des boues d'épuration dans l'agriculture ». Mémoire de Magistère. INA, Alger, 81pages.
- [45] Cerra, I., Desagnat, M., Dubart, R., Juven, L., Zhou, N., Ziani, H., (2014). « Traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités ». Rapport bibliographique, Université Montpellier2- Polytech Montpellier, 34 pages.
- [46] Blondeau, F., (1985). « Le traitement centralisé des boues ». T.S.M. l'eau, n°6, pp 231-242.
- [47] Koller, E., (2004). « Traitement des pollutions industrielles : eau, air, sols, boues ». Ed. Dunod, 424 pages.
- [48] Alexandre, D., (1979). « Valorisation des boues, utilisation en agriculture ». La Tribune du Cebedeau. N° 424, pp 99-107.
- [49] Miquel, G., (2001) « Les effet des métaux lourds sur l'environnement et la santé ». O.P.E.C.S.T., Rapport n°261, 366 pages.
- [50] AFEE., (1979). « Utilisation agricole des boues d'origines urbaines ». Association Française pour l'Etude des Eaux, Synthèse bibliographique, Paris, 128 pages.
- [51] Webb, L.J.,(1984). « A study of conditioning sewage sludge with lime». Water pollution control n°2 vol 73, pp 192-206.
- [52] SPDE., (2006). « La gestion intégrée des boues urbaines, Les solutions des délégataires de services d'eau et d'assainissement ». Rapport N°1, 11 pages.
- [53] Armel, G., (2001). « Valeur fertilisante à court terme du phosphore des boues de stations d'épuration urbaines ». Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 205 pages.
- [54] Atlan, M.G., (2003). « Les boues d'épuration et leurs perspectives de gestion en Île-de-France ». Rapport Conseil économique et social, Région Ile de France ; 128 pages.
- [55] Grondin, P.M.,(1998). « Eau et développement durable, Témoignages de la société civile ». Conférence internationale Eau et développement durable, GRET, ISBN : 2 - 86844 - 090 - 8 Paris 19-21mars, 112 pages.
- [56] Alain, R., (2011). « Réutilisation des eaux usées traitées, Perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action ». Rapport final, Agence Française de Développement, 85 pages.
- [57] Landreau, A., Margat, J., (1981). « La réutilisation des eaux usées ». Ministère de l'industrie, Rapport du B.R.G.M, 81 SGN835 Eau, 41 pages.
- [58] Masséna, P.A., (2001). « Valorisation des eaux usées en irrigation localisée ». Office International de l'Eau, 14 pages.

- [59] Xanthoulis , D., (2011). « Réutilisation des eaux usées en agriculture ». journée thématique , Gestion Intégrée des Ressources en eau dans le bassin hydrographique Côtier Algérois O2A, Colloques et Journées thématiques, Coopération Technique Belge, Algérie, Hôtel El-Marsa de Sidi-Fredj, Alger, pp1-4.
- [60] Dadi, E., (2010). « L'évaluation de la possibilité de réutiliser en agriculture l'effluent traité de la commune de Drarga ». Thèse Maitre en environnement, Centre universitaire de formation en environnement, Université de Sherbrooke, 89 pages.
- [61] Crook, J., Mosher, J.J., Casteline, J.M., (2005). « Status and Role of Water Reuse ». Global Water Research Coalition (GWRC), London (UK). 137 pages.
- [62] Devaux, I., (1999). « Intérêts et limites de la mise en place d'un suivi sanitaire dans le cadre de la réutilisation agricole des eaux usées traitées de l'agglomération clermontoise ». Thèse en Sci. de la vie et de la santé, Univ. J. Fourier, Grenoble (France). 257 pages.
- [63] Asano, T., (1998). « Irrigation with reclaimed municipal wastewater : California experiences». CIHEAM Options Méditerranéennes, Bari (Italy), pp 119-132
- [64] Cauchi, Hyvrard, Nakache, Schwartzbrod, Zagury, Baron, Carre, Courtois, Denis, Dernas, Seguret, (1996). « La réutilisation des eaux usées après épuration ». Techniques, Sciences et méthodes, TSM n°2, pp 81-118.
- [65] FAO, (2003). « Irrigation avec les eaux usées traitées : Manuel d'utilisation », Bureau Régional pour le Proche Orient et l'Afrique du Nord. Caire, Egypte, 65pages.
- [66] Ayers R.S., Westcot D.W., (1989). « Water quality for agriculture ». FAO Irrigation and drainage paper, No. 29, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Rév. 1, 174 pages.
- [67] Kandiah, A., (1990). « Environmental impacts of irrigation development with special reference to saline water use ». In: Water, Soil and Crop Management Relating to the Use of Saline Water. AGL/MISC/16, FAO, Rome, pp 152-165.
- [68] Couture, I., (2006). « Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation ». Colloque sur l'irrigation, L'eau, source de qualité et de rendement, Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec, 10 février , Boucherville,13 pages.
- [69] IPTS., (2009). « Salinisation et sodification ». L'agriculture durable et la conservation des sols, Fiche technique n°4, European Commission, Joint Research Centre, 4 pages.
- [70] Couture, I., (2003). « Analyse d'eau pour fin d'irrigation ». MAPAQ Montérégie-Est-AGRI-VISION 2003-2004, pp 1-8.
- [71] Tiercelin, J-R., Vidal, A., (2006). « Traité d'Irrigation ». 2^{ème} Edition TEC et DOC. Lavoisier, 1251pages.

- [72] Skiredj, A., (2005). « Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs ». Département d'Horticulture, IAV Hassan II, Rabat, Maroc ,10 pages.
- [73] Pescod, M.B., (1992). « Wastewater treatment and use in agriculture». FAO ,Bulletin d'irrigation et de drainage, n° 47, ISBN 92-5-103135-5, Rome, 169 pages.
- [74] Elhaite, H., (2010). « Traitement des eaux usées par les réservoirs opérationnels et réutilisation pour l'irrigation ». Thèse de Doctorat, l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, N° d'ordre : 2010 EMSE 0569, 214 pages.
- [75] Trad, M., Alouini, Z., (1988). « Etude des variations du Niveau de Contamination fécale des Eaux Usées Traitées de la Station d'Epuration de la Charguia. Archs. Inst. Pasteur, Tunis, vol 65 Numéro 3-4, pp 293-305.
- [76] Zekri, S., Ghezal, L., Aloui, T., Djebbi, K., (1997). « Les externalités négatives de l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture ». Ecole Supérieure d'Agriculture de Mograne , Zaghouan, Tunisie- CIHEAM, Options Méditerranéennes, Sér. A / n 31,1997 Séminaires Méditerranéens, pp 194-216.
- [77] Ouanouki, B., Abdellaoui, N., Ait Abdallah, N., (2009). « Application in Agriculture of Treated Wastewater and Sludge from a Treatment Station ». European Journal of Scientific Research. ISSN 1450-216X Vol.27 N° 4, pp 602-619.
- [78] Benzaria,M., (2008). « Approche méthodologique, pour les projets de réutilisation des eaux usées en irrigation ». Thèse de maîtrise en science de l'environnement, Université de Québec à Montréal, 92 pages.
- [79] Soudi, B., Benosmane, F., Dimitri, X., Mahi, M., (2009). « Présentation du Guide Technique de la Réutilisation des Eaux Usées Epurées ». Etude ONEP-FAO, Atelier sur l'assainissement, l'épuration et la réutilisation des eaux usées, Agadir, Maroc ,47 pages.
- [80] AHT group AG., (2009). « Identification et élimination des goulets d'étranglement pour l'utilisation des eaux usées dans le cadre de l'irrigation ou autres usages ». Rapport sommaire RG/2008-01/FTF, Pays MEDA, 34 pages.
- [81] Blumenthal, UJ., Mara, D.D., Peasey, A., Guillermo R.P., Stott , R., (2000). « Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: Recommendations for revising WHO guidelines». Bulletin de l'Organisation Mondiale de la Santé, N° 78 (9), pp 1104-1116.
- [82] Baumont, S., Camard, J-P., Lefranc, A., Gremy, I., Franconi, A., (2004). « Réutilisation des eaux usées épurées : considérations sanitaires et intérêts pour l'Île-de-France ». ORS d'Ile-de France, Article Environnement et Santé, Décembre 2004, pp 1-4.
- [83] CSHPF., (1991). « Utilisation, après épuration, des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation des cultures et des espaces verts ». Avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, 40 pages.

- [84] Belaid, N., (2010). « Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques ». Thèse de Doctorat de l'Université de Sfax, 188 pages.
- [85] Puil, C., (1998). « La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration ». Mém. D.U.E.S.S. Eau et Environnement, DEP, Univ. Picardie, Amiens, 62 pages.
- [86] Antipolis, S., (2011). « L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche économique ». Plan Bleu, Centre d'Activités Régionales, Etude nationale, Algérie, Version finale, PNUE/PAM, 24 pages.
- [87] Baghdali, L., (2007). « La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation en Algérie » Exposé à Rabat, 09- 2 juillet, 13 pages.
- [88] Hannachi, A., Gharzouli, R., Djellouli, TY., (2014). « Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie » Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°19, pp 51-62.
- [89] Joradp., (2005). « Loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau ». Journal officiel de la République Algérienne N°60, pp 3-18.
- [90] Joradp., (2007) « Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent ». Journal officiel de la République Algérienne N°35, pp 8-12.
- [91] IANOR. , (2014). « Protection de l'environnement : Réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles, municipales et industrielles, Spécifications physico-chimiques et biologiques » Norme Algérienne NA 1768, Edition : 01, ICS : 13.060.30, 40 pages.
- [92] AFEE., (1973). « Pollution des eaux par l'agriculture et la sylviculture ». Actes du séminaire organisé par le comité des problèmes de l'eau de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, Vienne, octobre 1973. pp 13-18.
- [93] Stadelmann, F.X., Kulling, D., Herter, U., (2002). « Les boues d'épuration : engrais ou déchets ? ». EAWAG news N°53, pp 9-11.
- [94] Culot, M., (2005). « Filières de valorisation agricole des matières organiques » Document Faculté universitaire des sciences agronomique de Gembloux ,73 pages.
- [95] Scheiner, J.D., (2005). « Spéciation du Carbone, de l'Azote et du Phosphore de différentes boues de stations d'épuration au cours de leurs incubations contrôlées dans deux types de sol ». Thèse de Doctorat, INPT, Toulouse, 218 pages
- [96] Ben Salah, M., (2014). « Le recyclage des sous-produits des oasis : acquis et perspectives ». OSS, projet MENA-DELP: Partage des connaissances et de coordination sur les écosystèmes désertiques et les moyens de subsistance au profit de l'Algérie, l'Egypte, la Jordanie, le Maroc et la Tunisie. 86 pages.

- [97] MCEA., (2003). « Les organismes pathogènes dans les boues d'épuration de collectivités ». Chambre d'Agriculture de l'Yonne, Bulletin N° 7, pp 1-5.
- [98] Mur, S., (2002). « Les boues des stations d'épuration urbaines ». Cours, Assainissement de l'eau et de l'air, Université de la Réunion ,14 pages.
- [99] WABAG., (2006). « Descriptif de fonctionnement et d'exploitation de la station d'épuration de MEDEA » .MRE, ONA ,80 pages.
- [100] Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., et coll ,(2009). « L'analyse de l'eau ». Ed. Dunod, Paris. 9^{ème} édition, 1489 pages.
- [101] Martin, G., (1979). « Le problème de l'azote dans les eaux ». Ed. Technique et Documentation, Paris, 279 pages.
- [102] Ollier, C., Poirie, M., (1983). « Irrigation: les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages ». Ed. Eyrolles, 503 pages.
- [103] Aulong, S., Bouzit, M., Dörfliger, N., (2008). « Cost-Effectiveness Analysis of Water Management, Measures in Two River Basins of Jordan and Lebanon ». Water Resources Management. DOI 10.1007/s11269-008-9297-x.
- [104] Condom, N., Lefebvre, M., Vendôme, L., (2012). « La réutilisation des eaux usées traitées en méditerranée : retour d'expériences et aide à l'élaboration de projets ». Plan Bleu, Centre d'activités régionales du PNUE/PAM, ISBN 978-2-912081-30-8, France, 63pages.
- [105] Charland, K., (2014). « Analyse des perspectives de réutilisation des eaux usées municipales au Québec ». Essai pour le grade de Maître de l'environnement (M. Env), Université Sherbrooke ,70 pages.
- [106] Firlas, M., (2012). « Impact des politiques d'aide à l'entrepreneuriat sur l'émergence d'esprit d'entreprise chez les jeunes, cas : ANSEJ de Tizi-Ouzou ». Mémoire de Magister, Université Tizi-Ouzou, 195pages.
- [107] Marien, B., Beaud,JP.,(2003). « Guide pratique pour l'utilisation de la statistique en recherche : le cas des petits échantillons ». réseau sociolinguistique et dynamique des langues , AUF, Québec.44 pages.
- [108] Chesneau, C., (2017). « Sur l'Estimateur du Maximum de Vraisemblance (EMV) ». Cours Université de Caen Normandie, 67 pages
- [109] Beaud, S., Weber, F., (1997). « Guide de l'enquête de terrain ». Edition La découverte, Guide, Repères, 288 pages.
- [110] Abdelfattah, E., (2017). « Introduction aux statistiques descriptives et inférentielles en utilisant SPSS ». Edition Khawarizm scientifique, 656 pages.
- [111] Rolland, S., (2003). « Impact de l'utilisation d'internat sur la qualité perçue et la satisfaction du consommateur ». Thèse de Doctorat, Université ParisIX-Dauphine, 350 pages.

- [112] Touzani, M., Salaani, T., (2000). « Le processus de validation des échelles de mesure : fiabilité et validité ». Séminaire de Méthodologie de Recherche du LIGUE, Tunis, Janvier 2000, pp 290-307.
- [113] Fortin. F., (1994). « Propriétés métrologiques des instruments de mesure (fidélité - validité) ». Faculté des Sciences infirmières, Université de Montréal, Recherche en soins infirmiers N° 39, pp 58-62.
- [114] Cronbach, L.J., (1951): "Coefficients alpha and the internal structure of tests", Psychometrika, vol. 16, pp. 297- 334
- [115] Lalanne, C., (2011). « Cours de Statistiques descriptives et inférentielles ». Publication Soug, 133 pages.
- [116] Renaud, O., Pini,G., Iglesias, K., (2006). « Introduction à l'analyse exploratoire des données avec SPSS ». Methodologie , Analyse de Données , Université de Genève, 97 pages.
- [117] Kettab, A., Karef, S., Boujelben, N., Ait Nouh, F., Malik, N., Oualkacha, L., (2015). « Evaluation de l'apport fertilisant des sous produits de l'épuration de la STEP de Médéa (Algérie) ». International conference on integrated land and water resources management in the dry areas under climate change, Djerba Island, Tunisia, May 11-14th, 2015
- [118] Landreau, A., (1987). « La réutilisation des eaux usées épurées par le sol et le sous sol : Adéquation entre la qualité de l'eau, l'usage et la protection du milieu naturel ». Séminaire sur les eaux usées et milieu récepteur, Casablanca (Maroc), 9-11 Avril. Chap. 5, pp. 1-13.
- [119] Kettab, A., Karef, S., Oualkacha, L., Boujelben, N., Mandi, L., (2015). «Study of the possibility for agricultural reuse of by-products from the treatment plant of Médéa (Algeria) ». 16th European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC16) ,Torino (ITALY) 30/11 - 03/12/2015
- [120] Hillel, D., (1998). « Environmental soil physics: fundamentals, applications and environmental considerations». Academic Press, 801 pages.
- [121] Sparks, L.D., (2003). « Environmental soil chemistry». Academic Press, 2nd Edition, 367pages.
- [122] Guivarch, A., (2001). « Valeur fertilisante à court terme du phosphore des boues de stations d'épuration urbaines ». Thèse de Doctorat de l'INP Lorraine, 306 pages.
- [123] Picot, B., El Halouani, H., Caselles, C., Moersidik, S., Bontoux, J., (1991). « Nutrient removal by high rate pond system in a mediterranean climate (France) ». Wat. Sci. Tech. 23, pp 1535-1541.
- [124] Kettab, A., Karef, S., (2016). « La réutilisation des eaux non conventionnelles en Algérie, source de lutte contre le changement climatique ». Water, Energy & Climate Change Int. Conference WECC-2016, Marrakech, Morocco, June 1-4, 2016.

- [125] Tanawa, E., Djeuda, HB., Ngnikam, E., Tchakountio, H., Wouatsa, G., Botta, H., Deleuil, JM., Berdier, C., Bintou, A., (2003). « Gestion et valorisation des eaux usées dans les zones d'habitat planifié et leurs périphéries ». Assainissement A08, Rapport final, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, Université de Yaoundé-INSA de Lyon ; 167 pages.
- [126] Kettab, A., Karef, S., Bruzzoniti, M.C., Boujelben, N., Ait Nouh, F., Malik, N., Del bubba, M., Mandi, L., (2016). « Etude du potentiel fertilisant des boues et des eaux épurées en Algérie ». *Cinquième Forum de l'Eau, Mahdia (Tunisie) 21-23 Mars 2016*
- [127] Cherrared, M., Zekiouk, T., Chocat, B., (2010). « Algerian urban sewer systems durability: Study of the functional aspect of Jijel town's system ». 7th International Conference on sustainable techniques and strategies for urban water management in rainy weather, NOVATECH, 27 June - 1 July , Lyon, France, 2010.
- [128] Bernard, M., Mange, P., Obrist, D., Bagnoud, R., Mathier, M., (2012). « Balance sheet of WWTP Functioning of Valais ». Rapport STEP, Department of Transportation, equipment and the environment, water protection section, Kanton Wallis, 87 pages.
- [129] Mercoiret, L., (2010). « Qualité des eaux usées domestiques produites par les petites collectivités ». Rapport final, Partenariat ONEMA- Cemagref, Action 28bis-1, 55 pages.
- [130] Bettahar, N., Benamara, A., Kettab, A., Douaoui, A., (2009). « Risque de pollution nitraté des zones semi-arides -Cas de la vallée du moyen Cheliff occidental (Nord Algérien) ». *Revue Science de l'Eau*, vol. 22 pp 69-78.
- [131] Deronzier, G., Schétrite, S., Racault, Y., Canler, J.P., Liénard, A., Héduit, A., Duchène, P.,(2001). « Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités ». FNDAE N° 25, Document technique, Cemagref, ISBN 2-85362-555-9, 79 pages.
- [132] Choubert, J.M., (2002). « Analyse et optimisation du traitement de l'azote par boues activées à basse température ». Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, France, 265 pages.
- [133] Joradp, (1996). « Normes de rejets dans le milieu récepteur », *Journal officiel de la République Algérienne*, N°46 pp 7-12
- [134] Canler, J.P., Perret, J.M., (2007). « Les Clari-floculateurs plus particulièrement utilisés en traitement tertiaire ». FNDAE N° 35, Document technique, Cemagref, ISBN 978 2 85362 671 7, 80 pages.
- [135] Achak, M., Ouazzani, N., Mandi, L., (2011). « Élimination des polluants organiques des effluents de l'industrie oléicole par combinaison d'un filtre à sable et un lit planté ». *Revue Science de l'Eau*, vol. 24 pp 35-51.
- [136] Tchobanoglous, G., Burton, FL., Stensel, HD., (2002). « Wastewater engineering: Treatment and Reuse ». 4th Edition, Metcalf & Eddy Inc, 1408 pages.

- [137] Hajji, C., Bendou, A., Hassou, M., (2013). « Caractérisation des rejets liquides d'une unité de réparation navale à Agadir ». Revue internationale d'héliotechnique, ISSN 0378-1305, vol.45 pp 29-36.
- [138] Belghyti, D., El guamri, Y., Ztit, G., Ouahidi, ML., Joti, MB., Harchrass, A., Amghar, H., Bouchouata, O., El kharrim, K., Bounouira, H., (2009). « Physico-chemical characterization of wastewater slaughterhouse with a view to the implementation of adequate treatment: case of Kenitra in Morocco». Afrique SCIENCE, vol 05, pp 199-216.
- [139] Sadowski, A.G., (2002). « Calculation method of a treatment spinneret », laboratory SHU ENGEES "Urban Hydraulic Systems". Ecole Nationale de Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg. France, 103 pages.
- [140] Bernet, N., Delgenès, N., Delgenès, JP., Moletta,R., (2001). « SBR as a relevant technology to combine anaerobic digestion and denitrification in a single reactor». Water Science and Technology, vol 43, pp 209-214.
- [141] Gromaire, M.C., (1998). « La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire, Caractéristiques et origines ». Thèse de Doctorat, Ecole des Ponts ParisTech, France, 506 pages.
- [142] Pons, M.N., Spanjers,H., Baetens,D., Nowak,O., Gillot,S., Nouwen,J., Schuttinga,N., (2004). « Wastewater Characteristics in Europe, A Survey, European Water Management Online ». Official Publication of the European Water Association (EWA), 4: 1-10.
- [143] Canler, J.P., (2005). « Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : Origines et solutions ». FNDAE N° 33, Document Technique, Cemagref, ISBN 2-85362-657-1, 123 pages.
- [144] Boutin, C., Caquel, O., Dimastromatteo, N., Dumaine, J., Fernandes, G., Gervasi, C., Parotin, S., Prost-boucle, S., Tscherter, C., (2016). « Ouvrages de traitement par boues activées ». Guide d'exploitation, Rapport Final, ONEMA, EPNAC, 84 pages.
- [145] FCM., CNRC., (2003). « Optimisation d'une station d'épuration des eaux usées ». Guide national pour des infrastructures municipales durables, Fédération canadienne des municipalités et le Conseil national de recherches du Canada, Publication no 1.0, ISBN 1-897094-33-7,60 pages.
- [146] Lazarova, V., (1999). « Rôle de réutilisation des eaux usées pour la gestion des ressources: coûts, bénéfices et défis technologiques ». L'eau, l'industrie, les nuisances, n°227, pp 47-57.
- [147] Ben amara , M., 2016 « Cours de comptabilité analytique de gestion », ISET Djerba ,83 pages

- [148] Winiger, A., Prochinig, U., (2011). « Comptabilité analytique d'exploitation : calcul des coûts et prix de revient : compte d'exploitation analytique, analyse, méthodes de calculs ». Edition LEP, ISBN/EAN 978-2-606-01404-9 – 9782606014049, 302 pages.
- [149] ONA, (2016). « Tableau de bord mensuel-juillet 2016 ». Direction de l'Exploitation et de la Maintenance, Office National de l'Assainissement, 29 pages.
- [150] Constant, M., (2010). « Maîtriser vos coûts pour mieux calculer vos prix ». Séminaire du 22 juin 2010 Centre de Gestion Agréé de la Martinique, 53 pages.
- [151] DGI., (2017). « Guide pratique du contribuable ». Direction générale des impôts, Ministère des finances, Algérie, 88 pages.
- [152] DGI., (2017). « La loi de finances pour 2017, Un programme pluriannuel », La lettre de la DGI, Bulletin d'information de la direction générale des impôts, Ministère des finances, Algérie, pp 1-10.
- [153] OSS., (2015). « Pour une meilleure valorisation de l'eau d'irrigation dans le bassin du SASS, Diagnostic et recommandations ». Observatoire du Sahara et du Sahel, ISBN : 978-9973-856-84-5, 32 pages.
- [154] Valensuela, D., (2009). « Les modes de tarification et de distribution de l'eau pour l'agriculture dans le bassin méditerranéen ». Synthèse technique, Office international de l'eau, 20 pages.
- [155] Alazard, C., Sépari, S., (2015). « DCG 11 - Contrôle de gestion ». Tout-en-Un, 3e édition, Dunod, 368 pages.
- [156] Nakib, M., (2015). « Etude des possibilités d'utilisation des eaux épurées et des boues d'épuration dans l'agriculture ». Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 116 pages.
- [157] Kofoed, A.D., (1984). « Optimun use of sludge in agriculture ». in: Berglund, S., Davis, R.D., L'hermite, P., eds. «Utilisation of sewage sludge on land: rates of application and long-term effects of metals». D. Reidel publishing Co, 229 pages.
- [158] Plaisent, M., Bernard, P., Zuccaro, C., Daghfous, N., Favreau, S., (2009). « Introduction à l'analyse des données de sondage avec SPSS ». Presses de l'Université du Québec, 109 pages.

Annexes

**Tableau A1: Norme Algérienne: Spécifications physico-chimiques
des eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricoles**

Paramètre	Symbole	Unité	Concentration maximale ^a	
pH	-		6,5 < pH < 8,5	
Conductivité électrique	CE	dS/m	3	
Demande chimique en oxygène	DCO	mg O ₂ /l	90	
Matière en suspension	MES	mg/l	30	
Chlorures	Cl	meq/l	10	
Sodium	Na	mg/l	1000	
Pourcentage de Sodium Adsorbé (Infiltration) SAR = 0-3 SAR = 3-6 SAR = 6-12 SAR = 12-20 SAR = 20-40			0.2	
	SAR	ds/m	0.3	
			0.5	
			1.3	
			3	
Eléments toxiques ^b	Phénols		mg/l	0,002
	Aluminium	Al	mg/l	5
	Arsenic	As	mg/l	0,1
	Béryllium	Be	mg/l	0,1
	Bore	B	mg/l	2,0
	Cadmium	Cd	mg/l	0,01
	Cobalt	Co	mg/l	0,05
	Chrome	Cr	mg/l	0,1
	Cuivre	Cu	mg/l	0,2
	Cyanures		mg/l	0,05
	Fer	Fe	mg/l	5,0
	Fluor	F	mg/l	1,0
	Lithium	Li	mg/l	2,5
	Manganèse	Mn	mg/l	0,2
	Mercure	Hg	mg/l	0,001
	Molybdène	Mo	mg/l	0,01
	Nickel	Ni	mg/l	0,2
	Plomb	Pb	mg/l	5,0
	Sélénium	Se	mg/l	0,02
Vanadium	V	mg/l	0,1	
Zinc	Zn	mg/l	2,0	
(a) Une tolérance de 10 % maximum est acceptable pour une mesure à condition que ce dépassement ne se représente pas plus de trois fois pour des campagnes d'analyses consécutives ;				
(b) Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin				

Du point de vue qualité physico-chimique, les mêmes spécifications sont applicables pour tous les types de système d'épuration

**Tableau A-2: Norme Algérienne: Concentration maximale tolérée en DBO₅ dans les eaux usées
épurées destinées à l'irrigation agricoles**

Paramètre	Symbole	Unité	Concentration maximale tolérée (Moyenne/24h)
Demande biologique en oxygène à 5 jours	DBO ₅	mg O ₂ /l	30

Tableau A-3: Norme Algérienne: Spécifications microbiologiques des eaux usées épurées destinée à l'irrigation agricole

Groupes de cultures à irriguer avec les eaux usées épurées	Culture à irriguer	Groupe exposé	Paramètres microbiologiques		Traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique exigée
			Coliformes fécaux ^a (CFU/100ml)	Nématodes intestinaux ^b (œufs/l)	
A	Irrigation non restrictive Culture de produits pouvant être consommés crus	Population alentour Ouvriers agricoles Consommateurs	<100	Absence	Catégorie III
B	Légumes qui ne sont consommés que cuits Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire	Population alentour Ouvriers agricoles	<250	< 0,1	Catégorie III
C	Arbres fruitiers ^c Cultures et arbustes fourragers ^d Cultures céréalières Cultures industrielles Arbres forestiers Plantes florales et ornementales	Population alentour Ouvriers agricoles	Seuil recommandé <1000	<1	Catégorie II
D	Les cultures du groupe C utilisant l'irrigation localisée ^e	Aucun	Pas de norme recommandée	Pas de norme recommandée	Catégorie I
a La valeur limite pour les coliformes fécaux représente une moyenne géométrique.					
b La valeur limite pour les œufs de nématodes représente une moyenne arithmétique.					
c L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombé ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est interdite.					
d Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.					
e a condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrise la gestion de l'irrigation localisée et respecte les règles d'hygiène.					

Tableau A-4: Facteur de correction de température f_{25}

Facteur de correction de température f_{25}										
θ	f_{25}									
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,918	1,912	1,906	1,899	1,893	1,887	1,881	1,875	1,869	1,863
1	1,857	1,851	1,845	1,840	1,834	1,829	1,822	1,817	1,811	1,805
2	1,800	1,794	1,788	1,783	1,777	1,772	1,766	1,761	1,756	1,750
3	1,745	1,740	1,734	1,729	1,724	1,719	1,713	1,708	1,703	1,698
4	1,693	1,688	1,683	1,678	1,673	1,668	1,663	1,658	1,653	1,648
5	1,643	1,638	1,634	1,629	1,624	1,619	1,615	1,610	1,605	1,601
6	1,596	1,591	1,587	1,582	1,578	1,573	1,569	1,564	1,560	1,555
7	1,551	1,547	1,542	1,538	1,534	1,529	1,525	1,521	1,516	1,512
8	1,508	1,504	1,500	1,496	1,491	1,487	1,483	1,479	1,475	1,471
9	1,467	1,463	1,459	1,455	1,451	1,447	1,443	1,439	1,436	1,432
10	1,428	1,424	1,420	1,416	1,413	1,409	1,405	1,401	1,398	1,394
11	1,390	1,387	1,383	1,379	1,376	1,372	1,369	1,365	1,362	1,358
12	1,354	1,351	1,347	1,344	1,341	1,337	1,334	1,330	1,327	1,323
13	1,320	1,317	1,313	1,310	1,307	1,303	1,300	1,297	1,294	1,290
14	1,287	1,284	1,281	1,278	1,274	1,271	1,268	1,265	1,262	1,259
15	1,256	1,253	1,249	1,246	1,243	1,240	1,237	1,234	1,231	1,228
16	1,225	1,222	1,219	1,216	1,214	1,211	1,208	1,205	1,202	1,199
17	1,196	1,193	1,191	1,188	1,185	1,182	1,179	1,177	1,174	1,171

Facteur de correction de température f_{25}										
θ	f_{25}									
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	1,168	1,166	1,163	1,160	1,157	1,155	1,152	1,149	1,147	1,144
19	1,141	1,139	1,136	1,134	1,131	1,128	1,126	1,123	1,121	1,118
20	1,116	1,113	1,111	1,108	1,105	1,103	1,101	1,098	1,096	1,093
21	1,091	1,088	1,086	1,083	1,081	1,079	1,076	1,074	1,071	1,069
22	1,067	1,064	1,062	1,060	1,057	1,055	1,053	1,051	1,048	1,046
23	1,044	1,041	1,039	1,037	1,035	1,032	1,030	1,028	1,026	1,024
24	1,021	1,019	1,017	1,015	1,013	1,011	1,008	1,006	1,004	1,002
25	1,000	0,998	0,996	0,994	0,992	0,990	0,987	0,985	0,983	0,981
26	0,979	0,977	0,975	0,973	0,971	0,969	0,967	0,965	0,963	0,961
27	0,959	0,957	0,955	0,953	0,952	0,950	0,948	0,946	0,944	0,942
28	0,940	0,938	0,936	0,934	0,933	0,931	0,929	0,927	0,925	0,923
29	0,921	0,920	0,918	0,916	0,914	0,912	0,911	0,909	0,907	0,905
30	0,903	0,902	0,900	0,898	0,896	0,895	0,893	0,891	0,889	0,888
31	0,886	0,884	0,883	0,881	0,879	0,877	0,876	0,874	0,872	0,871
32	0,869	0,867	0,866	0,864	0,863	0,861	0,859	0,858	0,856	0,854
33	0,853	0,851	0,850	0,848	0,846	0,845	0,843	0,842	0,840	0,839
34	0,837	0,835	0,834	0,832	0,831	0,829	0,828	0,826	0,825	0,823
35	0,822	0,820	0,819	0,817	0,816	0,814	0,813	0,811	0,810	0,808

Tableau A-5 : Résultats de mesure et analyses de l'eau brute à l'entrée de la STEP (Jan. 2013- Nov. 2015)

Mois	Débit m ³ /j	T(°C)	pH	CE (µS/cm)	MES (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Salinité(mg/l)
janv-13	14343	6,02	7,14	2923	609,28	738,87	412,76	26,08	2,03	1,68	2217
fev-13	11423	5,98	7,29	2188	582,04	706,40	400,83	22,60	1,94	1,50	1660
mars-13	10027	6,94	7,34	2793	500,82	596,95	338,18	25,43	0,87	1,88	2119
avr-13	12577	8,47	7,69	2001	569,55	693,85	457,59	25,43	1,09	1,58	1517
mai-13	12893	9,54	7,75	2335	560,56	635,33	372,00	28,58	1,48	1,58	1772
juin-13	11741	13,66	8,03	3035	524,16	615,26	325,00	26,20	0,97	2,20	2302
juil-13	10990	21,99	7,83	2861	576,87	695,95	434,61	22,04	0,80	2,33	2170
aou-13	7269	24,86	7,95	3388	733,71	746,25	401,61	22,19	2,25	2,53	2570
sept-13	11465	23,24	7,60	2837	686,13	846,16	548,67	25,35	0,49	3,10	2152
oct-13	13125	21,09	7,42	3148	724,94	821,77	443,55	24,05	0,95	3,90	2388
nov-13	13080	11,17	7,78	2709	608,65	531,54	273,60	26,42	1,08	2,38	2055
dec-13	13032	9,85	7,73	3058	518,07	685,16	356,00	30,80	0,26	1,48	2319
janv-14	14155	11,23	7,68	2886	538,81	490,88	275,00	40,90	0,02	2,58	2189
fev-14	14082	12,23	7,75	2574	559,08	650,05	345,15	30,33	0,13	2,08	1953
mars-14	14502	11,86	7,74	1723	456,29	650,05	306,67	33,30	0,34	1,45	1307
avr-14	12124	17,49	7,67	1939	467,63	650,05	360,00	38,40	0,38	0,73	1471
mai-14	11182	20,20	7,83	2032	528,48	734,40	360,00	40,40	0,03	0,90	1542
juin-14	10768	24,19	7,86	2242	416,52	681,60	355,00	24,90	0,03	1,08	1701
juill-14	11363	26,13	7,95	2400	428,06	734,35	440,00	47,00	0,02	2,20	1821
aou-14	10805	27,72	7,99	2423	482,06	753,60	360,00	30,40	0,25	2,60	1838
sept-14	8578	26,41	7,68	2534	424,75	702,27	420,00	24,10	0,50	2,30	1922
oct-14	8654	23,14	7,76	2561	429,80	590,33	306,67	18,20	0,33	3,23	1943
nov-14	4705	12,88	7,79	2526	334,89	495,00	220,00	6,90	0,50	2,00	1916
dec-14	9710	12,37	7,50	1915	495,31	668,00	393,33	23,23	0,37	2,57	1452
janv-15	12939	10,14	7,58	1774	585,52	538,15	320,00	28,56	0,18	1,45	1345

fev-15	10691	8,83	7,70	1499	430,94	437,50	233,33	17,93	0,67	3,10	1137
mars-15	8333	14,85	7,71	1586	457,00	532,80	332,50	30,00	0,81	3,75	1203
avr-15	8180	18,70	7,87	1977	381,92	574,43	306,67	42,40	1,06	2,22	1500
mai-15	10837	21,46	7,90	2148	484,30	661,33	430,00	36,53	0,00	2,07	1629
juin-15	9845	22,95	7,94	2305	278,57	534,40	346,67	34,80	0,01	1,45	1749
juill-15	6448	25,99	7,96	2485	230,20	351,09	216,43	24,10	0,23	2,15	1885
Aou-15	6968	25,67	8,03	2494	365,82	523,62	311,41	33,11	0,32	2,77	1892
sept-15	6779	25,17	8,01	2538	211,00	405,60	206,25	33,00	0,16	2,00	1925
oct-15	10817	22,73	8,01	2356	306,00	594,13	367,78	36,60	0,13	1,65	1787
nov-15	10869	19,49	8,06	2224	292,75	606,72	354,44	47,20	0,01	7,85	1687

Tableau A-6 : Résultats de mesure et analyses de l'eau épurée à la sortie de la STEP (Jan. 2013- Nov. 2015)

Mois	Débit m ³ /j	T(°C)	pH	CE (µS/cm)	MES (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	Salinité(mg/l)
janv-13	12405	6,61	7,11	2 626	26,76	50,31	4,21	0,05	22,83	0,70	1992
fev-13	9460	6,31	7,19	1 587	26,76	42,40	5,74	0,44	21,47	0,64	1204
mars-13	9304	7,49	7,41	2 291	24,62	96,00	17,86	0,26	18,20	0,88	1738
avr-13	11342	9,24	7,75	2 051	15,57	43,70	4,48	0,26	16,87	0,44	1556
mai-13	11958	9,16	7,73	2 179	16,77	54,54	5,30	0,09	19,10	0,41	1653
juin-13	13698	11,81	8,16	2 616	38,53	66,19	12,30	0,25	17,15	0,59	1984
juil-13	9237	20,88	7,82	2 505	26,44	60,70	8,93	0,52	21,25	0,35	1900
aou-13	6763	25,46	8,13	2 843	64,40	89,52	11,52	0,26	27,11	0,08	2156
sept-13	11277	23,62	7,95	2 558	27,50	68,48	6,31	0,17	19,88	0,05	1940
oct-13	12703	22,31	7,27	2 787	16,02	34,92	4,61	0,03	12,67	0,08	2114
nov-13	11788	12,22	7,63	2 223	18,86	45,30	5,81	0,04	16,07	0,42	1686
dec-13	10806	9,77	7,63	2 643	18,87	39,84	4,20	0,74	15,76	0,71	2005
janv-14	11 310	11,60	7,64	2 684	11,52	40,70	3,25	0,11	16,18	0,58	2036
fev-14	12 165	12,16	7,75	1 987	11,13	35,00	10,00	2,52	12,45	1,03	1507

mars-14	13 186	12,25	7,76	1 532	14,02	39,00	6,67	0,84	11,63	0,54	1162
avr-14	10 604	17,54	7,53	1 689	13,18	40,00	6,00	0,28	7,00	0,30	1281
mai-14	10 134	20,13	7,79	1 860	12,21	52,80	3,67	1,11	2,75	0,21	1411
juin-14	10 181	23,80	8,07	1 998	12,55	31,20	3,00	1,35	1,63	0,24	1516
juill-14	10 229	26,20	8,14	2 225	14,89	54,45	11,50	5,54	1,09	0,25	1688
aou-14	9 644	27,35	8,24	2 332	16,85	36,00	8,25	8,72	2,14	0,18	1769
sept-14	6 832	26,16	7,93	2 293	18,70	35,07	14,67	4,93	3,53	0,13	1739
oct-14	7 777	23,18	7,81	2 161	17,55	35,23	2,67	3,83	2,27	0,13	1639
nov-14	2 957	12,53	7,73	2 028	175,11	290,00	150,00	4,30	2,50	1,50	1538
dec-14	3 174	12,59	7,75	1 856	16,81	51,00	13,00	3,97	4,97	0,33	1408
janv-15	10 530	10,81	7,90	1 667	19,89	38,75	6,25	4,59	1,94	0,48	1265
fev-15	8 893	9,62	7,91	1 584	17,14	35,07	2,67	3,67	2,43	0,18	1201
mars-15	7 496	14,61	7,75	1 566	10,76	43,20	5,50	2,01	4,11	0,41	1188
avr-15	7 910	18,81	7,77	1 928	9,06	52,00	6,92	4,37	10,03	0,95	1462
mai-15	10 343	21,41	7,91	2 137	16,18	42,13	25,78	26,96	0,85	1,63	1621
juin-15	8 819	23,18	7,82	2 155	8,34	59,22	28,67	4,80	0,02	1,15	1635
juill-15	4 964	25,75	7,86	2 315	6,57	44,57	6,86	0,38	5,84	1,23	1756
Aou-15	5 078	25,05	8,10	2 309	11,38	45,09	11,90	7,30	6,80	1,04	1751
sept-15	5 484	24,43	7,84	2 306	10,42	57,56	13,38	4,75	22,40	1,40	1749
oct-15	9 204	21,52	7,76	2 173	6,57	40,00	15,89	3,21	19,33	1,65	1649
nov-15	10 022	18,68	7,84	2 097	8,88	38,40	7,11	18,29	1,03	1,30	1591

Tableau A-7 : Rendements d'abattement de la charge polluante (Jan. 2013- Nov. 2015)

Mois	MES	DCO	DBO ₅	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻
janv-13	95,61%	93,19%	98,98%	99,81%	-1022,37%	58,43%
fev-13	95,40%	94,00%	98,57%	98,05%	-1007,84%	57,17%
mars-13	95,08%	83,92%	94,72%	98,98%	-2001,84%	53,45%
avr-13	97,27%	93,70%	99,02%	98,98%	-1448,42%	72,22%
mai-13	97,01%	91,42%	98,58%	99,70%	-1193,32%	74,29%
juin-13	92,65%	89,24%	96,22%	99,04%	-1674,14%	73,30%
juil-13	95,42%	91,28%	97,94%	97,64%	-2547,19%	84,95%
aou-13	91,22%	88,00%	97,13%	98,81%	-1105,88%	97,03%
sept-13	95,99%	91,91%	98,85%	99,33%	-3924,29%	98,39%
oct-13	97,79%	95,75%	98,96%	99,90%	-1236,39%	97,95%
nov-13	96,90%	91,48%	97,87%	99,84%	-1393,87%	82,53%
dec-13	96,36%	94,19%	98,82%	97,58%	-5961,54%	51,89%
janv-14	97,86%	91,71%	98,82%	99,73%	-80775,00%	77,67%
fev-14	98,01%	94,62%	97,10%	91,71%	-9860,00%	50,60%
mars-14	96,93%	94,00%	97,83%	97,49%	-3344,44%	62,93%
avr-14	97,18%	93,85%	98,33%	99,27%	-1742,11%	58,62%
mai-14	97,69%	92,81%	98,98%	97,25%	-9066,67%	76,39%
juin-14	96,99%	95,42%	99,15%	94,57%	-4900,00%	77,44%
juill-14	96,52%	92,59%	97,39%	88,21%	-6142,86%	88,64%
aou-14	96,50%	95,22%	97,71%	71,32%	-754,00%	93,27%
sept-14	95,60%	95,01%	96,51%	79,53%	-606,67%	94,20%
oct-14	95,92%	94,03%	99,13%	78,94%	-580,00%	95,88%
nov-14	47,71%	41,41%	31,82%	37,68%	-400,00%	25,00%
dec-14	96,61%	92,37%	96,69%	82,93%	-1254,55%	87,03%
janv-15	96,60%	92,80%	98,05%	83,95%	-1007,14%	66,72%
fev-15	96,02%	91,98%	98,86%	79,55%	-265,00%	94,09%
mars-15	97,64%	91,89%	98,35%	93,30%	-406,15%	88,96%
avr-15	97,63%	90,95%	97,74%	89,68%	-843,53%	57,02%
mai-15	96,66%	93,63%	94,01%	26,20%		20,97%
juin-15	97,01%	88,92%	91,73%	86,21%	-100,00%	20,69%
juill-15	97,15%	87,30%	96,83%	98,44%	-2410,75%	43,02%
aou-15	96,89%	91,39%	96,18%	77,95%	-2025,00%	62,45%
sept-15	95,06%	85,81%	93,52%	85,61%	-13900,00%	30,00%
oct-15	97,85%	93,27%	95,68%	91,22%	-15360,00%	0,00%
nov-15	96,97%	93,67%	97,99%	61,25%	-10150,00%	83,44%

Tableau A-8 : Résultats de mesure et analyses de la boue (Jan. 2013- Nov. 2015)

Mois	IB ml/g	Boue Produite m ³ /mois	MS mg/l	MVS mg/l	% MVS	Poids MS T/mois	Siccité %
janv-13	70	329	38470	25108	65,27%	12,66	26,25
fev-13	63	450	24046	13256	55,13%	10,82	28,31
mars-13	37	856	25006	14521	58,07%	21,41	32,45
avr-13	46	546	28815	17750	61,60%	15,73	27,36
mai-13	59	1348	19892	10254	51,55%	26,81	30,25
juin-13	64	2316	22644	16003	70,67%	52,44	39,86
juil-13	91	2538	17018	10025	58,91%	43,19	34,48
aou-13	80	1066	23878	15286	64,02%	25,45	25,26
sept-13	67	1556	25925	15786	60,89%	40,34	39,21
oct-13	87	1770	22404	14521	64,81%	39,66	34,25
nov-13	109	1325	23108	15214	65,84%	30,62	35,82
dec-13	109	991	23369	16901	72,32%	23,16	29,35
janv-14	114	650	23806	20037	84,17%	15,47	31,18
fev-14	71	350	29561	20145	68,15%	10,35	27,36
mars-14	76	1102	26256	18795	71,58%	28,93	35,51
avr-14	131	339	24651	19048	77,27%	8,36	43,58
mai-14	86	2840	24880	16475	66,22%	70,66	35,88
juin-14	85	1347	25396	17548	69,10%	34,21	41,25
juill-14	103	682	29168	19586	67,15%	19,89	42,76
aou-14	90	712	27595	20305	73,58%	19,65	47,16
sept-14	138	2077	56585	22615	39,97%	117,53	55,14
oct-14	100	538	28316	21821	77,06%	15,23	47,37
nov-14	53	609	31540	20256	64,22%	19,21	33,25
dec-14	57	534	26985	16125	59,76%	9,55	31,58
janv-15	84	261	25879	20625	79,70%	6,75	32,95
fev-15	57	2052	27401	19287	70,39%	56,23	28,28
mars-15	53	810	28913	20743	71,74%	29,57	36,5
avr-15	45	300	43580	31850	73,08%	13,07	45,58
mai-15	50	2337	38880	25641	65,95%	90,86	38,88
juin-15	69	1500	41263	21584	52,31%	61,89	40,94
juill-15	78	677	43960	13815	31,43%	29,76	43,96
Aou-15	95	1035	40490	19562	48,31%	41,91	40,49
sept-15	87	893	39270	23651	60,23%	35,07	39,27
oct-15	85	376	32479	11520	35,47%	12,21	32,48
nov-15	86	1366	32990	18754	56,85%	45,06	32,99

Tableau A-9 : Variations du débit et des % de dépassement de la charge polluante par rapport aux capacités nominales (Jan. 2013- Nov. 2015)

Mois	Débit	MES	DCO	DBO ₅
janv-13	0,55163772	1,39104078	1,09462069	1,22117935
fev-13	0,43933333	1,32886225	1,04651852	1,18589744
mars-13	0,38565757	1,14342051	0,88436364	1,00053792
avr-13	0,48371795	1,3003464	1,02792337	1,35380535
mai-13	0,49588089	1,27980974	0,94123457	1,10059172
juin-13	0,4515641	1,19671994	0,91150222	0,96153846
juil-13	0,42269231	1,317057	1,03104421	1,28583826
aou-13	0,27959057	1,67512888	1,10556272	1,18820386
sept-13	0,44094872	1,56651446	1,25357531	1,62327416
oct-13	0,5048139	1,65511857	1,21743369	1,31227333
nov-13	0,50308974	1,38961644	0,78746667	0,80946746
dec-13	0,50124069	1,18280061	1,01505185	1,05325444
janv-14	0,54442928	1,23017081	0,72722222	0,81360947
fev-14	0,54162821	1,27643133	0,96303704	1,02115385
mars-14	0,55777916	1,04175873	0,96303704	0,90729783
avr-14	0,46632051	1,06765601	0,96303704	1,06508876
mai-14	0,43006203	1,20658418	1,088	1,06508876
juin-14	0,41414103	0,95095129	1,00977778	1,05029586
juill-14	0,43702233	0,97731625	1,08792593	1,30177515
aou-14	0,41555831	1,10060392	1,11644444	1,06508876
sept-14	0,3299359	0,96974886	1,04039506	1,24260355
oct-14	0,33284615	0,98127854	0,8745679	0,90729783
nov-14	0,18097436	0,7645865	0,73333333	0,65088757
dec-14	0,37346154	1,1308346	0,98962963	1,16370809
janv-15	0,49764268	1,33680027	0,79725926	0,94674556
fev-15	0,41120513	0,98387557	0,64814815	0,69033531
mars-15	0,32050868	1,043379	0,78933333	0,98372781
avr-15	0,31462821	0,87195586	0,85101235	0,90729783
mai-15	0,41682382	1,10570776	0,97975309	1,27218935
juin-15	0,37865385	0,63600783	0,7917037	1,02564103
juill-15	0,24799007	0,52557078	0,52012698	0,64032122
Aou-15	0,26801489	0,83520548	0,77573333	0,92133136
sept-15	0,26073077	0,48173516	0,60088889	0,6102071
oct-15	0,41602978	0,69863014	0,88019753	1,08809993
nov-15	0,41803846	0,668379	0,89884444	1,0486522

Tableau A-10 : Frais d'exploitation de la STEP de Médéa (Jan. 2013- Nov. 2015)

	Débit Eau épurée m³/mois	Energie Electrique Kwh/mois	Montant Facture DA/mois	Frais personnel DA/mois			Frais de maintenance DA/mois	
				Cadre	Maîtrise	Exécution	Pièces de rechanges	Consommables
janv-13	384540	96488	361171,11					
Fev-13	283790	100230	310101,58					
mars-13	288420	99332	317821,71					
Avr-13	340250	84973	282108,88					
Mai-13	370700	115129	348657,28					
Juin-13	410940	132390	388188,89					
Juill-13	286350	116338	362233,93					
Aou-13	209640	112523	348423,37					
sept-13	338320	104058	311758,51					
oct-13	393790	113157	337264,26					
nov-13	353640	105772	331055,99					
déc-13	334990	109105	353913,54					
Moy 2013	332948	107458	337724,92	342622,55	343325,28	811876,18	93261,53	4296,47
janv-14	350610	112213	363767,44					
Fev-14	364940	99740	333633,89					
mars-14	408770	110322	357332,08					
Avr-14	318120	96837	309376,75					
Mai-14	314150	98905	312811,15					
Juin-14	305430	94916	316958,58					

Juill-14	317090	97509	326138,98					
Aou-14	298950	92760	317098,84					
sept-14	204950	90892	308971,25					
oct-14	225520	68622	251014,17					
nov-14	88700	37256	172705,95					
déc-14	285960	79281	280279,5					
Moy 2014	290266	89938	304174,05	387300,87	313311,63	833750,11	159885,6	17401,70
janv-15	326420	87851	298014,69					
Fev-15	266795	78923	274538,02					
mars-15	232370	91230	309047,58					
Avr-15	237310	87672	307003,10					
Mai-15	320640	94375	316790,52					
Juin-15	264570	94836	323792,73					
Juill-15	153880	86860	305542,61					
Aou-15	157430	82847	296462,20					
sept-15	164520	82465	293497,93					
oct-15	285310	90319	312096,77					
Moy 2015	208283	87738	303678,62	280 456,59	505 855,51	786 203,88	12200,00	124814,40

Sur la réutilisation agricole des sous produits de l'épuration

La rareté des ressources en eaux conventionnelles ainsi que la détérioration de leur qualité, constituent un défi majeur pour le XXI^e siècle et représentent pour l'Algérie en particulier, en vertu de son climat méditerranéen aride à semi aride, un souci majeur et une importante préoccupation limitant la mise en œuvre des programmes hydrauliques, visant le développement et l'amélioration du service, ce qui affecte négativement le bien-être des citoyens et menace l'avenir des générations futures. Cette rareté est aggravée par la forte pression sur le potentiel en eau en raison de la progression démographique, la pollution industrielle et domestique et la surexploitation des nappes souterraines.

D'une part et afin de préserver ces ressources et limiter leur usage, il faut examiner sérieusement d'autres potentialités hydriques non conventionnelles. D'autre part, le secteur agricole est un grand consommateur d'eau qu'il faut développer sans porter préjudice aux ressources conventionnelles. En ce, la réutilisation des sous produits de l'épuration à savoir l'eau épurée et la boue d'épuration, représente l'alternative attendue pour la préservation de la ressource de bonne qualité et la promotion du secteur agricole.

M: **Sexe :** Masculin Féminin

Age: Moins de 30 Entre 30 et 50 Plus de 50

Résidence : Rurale Urbaine

Niveau de scolarité: Aucun Primaire Moyen Secondaire Universitaire

Profession: Agriculteur Autre

Partie I

	Question	Oui	Non	Un peu
1	Êtes-vous intéressés par la préservation de l'eau pour les générations futures?			
2	Avez-vous une idée sur les eaux usées traitées?			
3	Avez-vous des informations sur les stations de traitement de l'eau en Algérie ?			
4	Avez-vous confiance à ce que ces stations traitent les eaux usées convenablement ?			
5	Êtes-vous prêt à assister à des campagnes de sensibilisation à cet égard?			

Partie II:

	Question	Tout à fait d'accord	D'accord	Je ne sais pas	Pas d'accord	Pas du tout d'accord
1	Que pensez-vous de l'utilisation des eaux usées traitées dans le nettoyage?					
2	Soutenez-vous l'idée d'irriguer des légumes avec l'eau usée traitée?					
3	Que pensez-vous de consommer des fruits et légumes irrigués avec EUT?					
4	Soutenez-vous l'idée de d'irriguer les cultures fourragères avec EUT?					
5	Êtes-vous prêt à consommer de la viande et des produits d'animaux qui ont consommé des cultures fourragères irriguées par EUT?					
6	Soutenez-vous l'idée d'irriguer les arbres non fruitiers par EUT?					

Partie III:

1) Si vous êtes contre l'utilisation des EUT en irrigation, la raison en est:

- Culturelle
- connaissance acquise
- risques sur la santé
- religion
- dégoût

2) Si vous êtes d'accord pour l'utilisation des EUT en irrigation, vous préférez pour:

- des légumes consommés après cuisson
- légumes consommés crus et des fruits
- cultures non consommables
- cultures fourragères
- toutes les cultures

3) Entre deux choix, le quel vous préférez?

- consommation des cultures irriguées par des eaux usées traitées
- consommation des cultures des sols épandus avec des boues

4) Acceptez-vous l'épandage des boues sur des sols à culture...?

- des légumes consommés après cuisson
- légumes consommés crus et des fruits
- cultures non consommables
- cultures fourragères
- pas d'accord

5) En cas de mise en valeur des terres et disponibilité d'irrigation avec des eaux usées traitées, travaillez-vous dans l'agriculture ou encouragez le travail dans ce domaine

- Oui
- Peut être (en cas de développement des connaissances EUT, je serai convaincu)
- Non

6) L'utilisation des eaux usées traitées en agriculture permet de

- Préserver l'eau
- Rend l'eau disponible à tout moment
- L'amélioration des produits agricoles par les fertilisants qui s'y trouvent.

7) Vous préférez l'utilisation des eaux usées traitées en

- Agriculture
- Industrie
- Les deux

8) La plus grande difficulté à la quelle est confrontée l'idée d'utilisation des EUT en agriculture est:

- Culturelle
- Coût

Annexe -12

Statistiques

	Êtes-vous intéressés par la préservation de l'eau pour les générations futures?	Avez-vous une idée sur les eaux usées traitées?	Avez-vous des informations sur les stations de traitement de l'eau en Algérie ?	Avez-vous confiance à ce que ces stations traitent les eaux usées convenablement ?	Êtes-vous prêt à assister à des campagnes de sensibilisation à cet égard?
N	Valide	302	302	302	302
	Manquant	1	1	1	1
Moyenne		2.73	1.99	1.86	1.67
Erreur standard de la moyenne		.125	.123	.125	.111
Médiane		3.00	2.00	1.00	2.00
Mode		3	1	2	2
Minimum		1	1	1	1
Maximum		3	3	3	3

Annexe -13

Tests statistiques

	Êtes-vous intéressés par la préservation de l'eau pour les générations futures?	Avez-vous une idée sur les eaux usées traitées?	Avez-vous des informations sur les stations de traitement de l'eau en Algérie ?	Avez-vous confiance à ce que ces stations traitent les eaux usées convenablement ?	Êtes-vous prêt à assister à des campagnes de sensibilisation à cet égard?
Khi-deux	34.432 ^a	3.459 ^a	1.676 ^a	8.486 ^a	26.324 ^a
ddl	2	2	2	2	2
Sig.asymptotique	.000	.177	.433	.014	.000

Annexe -14

Statistiques

		Que pensez-vous de l'utilisation des eaux usées traitées dans le nettoyage?	Soutenez-vous l'idée d'irriguer des légumes avec l'eau usée traitée?	Que pensez-vous de consommer des fruits et légumes irrigués avec EUT?	Soutenez-vous l'idée de d'irriguer les cultures fourragères avec EUT?	Êtes-vous prêt à consommer de la viande et des produits d'animaux qui ont consommé des cultures fourragères irriguées par EUT?	Soutenez-vous l'idée d'irriguer les arbres non fruitiers par EUT?
N	Valide	302	302	302	302	302	302
	Manquant	1	1	1	1	1	
Moyenne		3.46	2.60	2.44	3.45	2.5	3.46
Erreur standard de la moyenne		.123	.154	.111	.230	.155	.320
Médiane		4.00	3.00	2.00	2.00	2.00	4.00
Mode		4	2	2	4	2	4
Minimum		1	1	1	1	1	
Maximum		5	5	5	5	5	5

Annexe -15

Tests statistiques

		Que pensez-vous de l'utilisation des eaux usées traitées dans le nettoyage?	Soutenez-vous l'idée d'irriguer des légumes avec l'eau usée traitée?	Que pensez-vous de consommer des fruits et légumes irrigués avec EUT?	Soutenez-vous l'idée de d'irriguer les cultures fourragères avec EUT?	Êtes-vous prêt à consommer de la viande et des produits d'animaux qui ont consommé des cultures fourragères irriguées par EUT?	Soutenez-vous l'idée d'irriguer les arbres non fruitiers par EUT?
	Khi-deux	23.405 ^a	17.730 ^a	15.216 ^b	16.108 ^a	20.973 ^a	3.757 ^b
	ddl	4	4	3	4	4	3
	Sig.asymptotique	.000	.001	.002	.003	.000	.028

Annexe -16

		Statistiques							
		Si vous êtes contre l'utilisation des EUT en irrigation, la raison en est:	Si vous êtes d'accord pour l'utilisation des EUT en irrigation, vous préférez pour	Entre deux choix, le quel vous préférez?	Acceptez-vous l'épandage des boues sur des sols à culture...?	En cas de mise en valeur des terres et disponibilité d'irrigation avec des eaux usées traitées, travaillez-vous dans l'agriculture ou encourager le travail dans ce domaine	L'utilisation des eaux usées traitées en agriculture permet de	Vous préférez l'utilisation des eaux usées traitées en	La plus grande difficulté à la quelle est confrontée l'idée d'utilisation des EUT en agriculture est
N	Valide	302	302	302	302	302	302	302	302
	Moyenne	1.68	1.24	1.76	3.11	2.14	2.86	1.83	1.35
	Mode	3	3	2	3	2	1	2	1
	Erreur standard de la moyenne	.113	.175	.165	.111	.118	.123	.115	.101

Annexe -17

		Tests statistiques							
		Si vous êtes contre l'utilisation des EUT en irrigation, la raison en est:	Si vous êtes d'accord pour l'utilisation des EUT en irrigation, vous préférez pour	Entre deux choix, le quel vous préférez?	Acceptez-vous l'épandage des boues sur des sols à culture...?	En cas de mise en valeur des terres et disponibilité d'irrigation avec des eaux usées traitées, travaillez-vous dans l'agriculture ou encourager le travail dans ce domaine	L'utilisation des eaux usées traitées en agriculture permet de	Vous préférez l'utilisation des eaux usées traitées en	La plus grande difficulté à la quelle est confrontée l'idée d'utilisation des EUT en agriculture est
	Khi-deux	4.568	9.757	4.919	52.595	23.730	19.069	2.723	3.270
	ddl	4	4	1	4	2	2	2	1
	Sig.asymptotique	.033	.002	.001	.000	.000	.001	.025	.049