

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE- ARBAOUI Abdellah -

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option : Conception des Systèmes d'Irrigation et de Drainage

THEME :

**GESTION DES BOUES RESIDUAIRES : VALORISATION AGRECOLE ET
IMPACT SUR LES RESEAUX D'IRRIGATION (STEP DE TIPAZA)**

Présenté par :

M^r : DJEDDOU Yacine

DEVANT LES MEMBRES DU JURY

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M^r M.MESSAHEL	M.C	Président
M^{me} L.S BAHBOUH	M.A.A	Examinatrice
M^{me} H .BOUCHAMA	M .A.A	Examinatrice
M^{me} S.HARKAT	M.A.B	Examinatrice
M^r Y.BOUNAH	M.A.B	Examineur
M^r M.N.CHABACA	M.C.A	Promoteur

Septembre 2013

❧ REMERCIEMENTS ❧

Au terme de ce travail, je tien à remercier sincèrement DIEU de m'avoir octroyé les moyens, et mes vifs remerciements à mon promoteur Mr CHABACA.M.N de m'avoir orienté et pour ses conseils judicieux ses riche enseignement et sa constante disponibilité dans le but de mener à bien ce projet de fin d'étude.

Mes remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation, surtout M^{me} BAHBOUH, qui m'a aidé beaucoup, sans oublier tout le personnel de l'ENSH.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou loin à l'élaboration de ce travail.

Mon respect aux membres de jury qui me feront l'honneur d'évaluer mon travail.

.....Yacine DJEDDOU.....

Dédicace

*Je dédie ce travail à ma mère et à mon père, envers lesquels
je ne saurai exprimer ma reconnaissance et ma gratitude,*

Que dieu tout puissant les garde pour moi.

*A mes frères : Nacer, Lamine, Nourdine, et Ahmed ainsi que mes
tantes et cousins pour leur amour et leur soutien inconditionnel,*

*A tous mes amis, surtout Nacer, Omar, M'hend, Mumus, Abdelatif,
Mohammed, Abderrazak, Radouane, Massi, Ahmed, Kaci, Rachid,
Rabah et Fodhil.*

.....Yacine DJEDDOU.....

Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre I : Etude bibliographique sur les boues résiduaire.....	
I.1.1. Définitions	2
I.1.1.1. Boues d'épuration	2
I.1.1.2. Epandage agricole	2
I.1.2. Historique de l'épandage	2
I.1.3. Pourquoi l'épandage agricole des boues d'épuration urbaines	3
I.1.4. Le recyclage des boues d'épuration	4
I.1.4.1. La valorisation agricole (60%)	4
I.1.5. Causes des difficultés rencontrées par la filière d'épandage	4
I.1.5.1. Les textes réglementaires	4
I.1.5.2. Les contraintes administratives	4
I.1.5.3. Les peurs alimentaires	5
I.1.5.4. Les nuisances olfactives	5
I.1.5.5. Les freins de la part des agriculteurs	5
I.2. Qui utilise les boues	5
I.2.1. Sols adaptés à l'épandage	6
I.2.2. Type de culture	7
I.3. Réglementation	8
I.3.1. Réglementation des boues d'épuration urbaines	8
I.3.2.1. La Directive 86/278/CEE	8
I.3.2.2. Principales mesures de la Directive	9
I.3.2.3. Les modifications prévues de la Directive 86/278/CEE	9
I.4. Risques.....	10
I.4.1. Risques actuels	10
I.4.2. Risques sanitaires	13
I.4.2.1. Risques microbiologiques	13
I.4.2.2. Risques chimiques	14
I.4.2.3. Risques professionnels	14

I.4.3. Risques environnementaux.....	15
I.5. Recommandations du CSHPF	15
I.5.1. Recommandations vis -à -vis des contaminants biologiques.....	15
I.5.1.1. Boues traitées et hygiénisées	15
I.5.1.2. Boues traitées non hygiénisées	16
I.5.2. Recommandations vis -à -vis des éléments traces métalliques	16
I.5.3. Recommandations vis -à -vis des composés traces organiques	16
I.6. Les grands chiffres de la productions des boues	17
I.6.1 Estimation de la production des boues en Europe	17
I.6.2 Estimation de la production des boues au Maroc.....	18
I.6.3 Estimation de la production des boues en Tunisie	18
I.6.4 Estimation de la production des boues en Algérie	19
I.7. Conclusions	19
Chapitre II : présentation de la step de Tipaza.....	
INTRODUCTION.....	20
II.1. Présentation de la station d'épuration de CHENOUA.....	20
II.1.1.Situation géographique.....	20
II.1.2.Qualité des eaux.....	22
II.1.2.1.Eaux usées brutes (Entrée de la STEP).....	22
II.1.2.2.Eaux usées épurées (Sortie de la STEP).....	23
II.1.2.3.Mesure des débits (Sortie de la STEP).....	23
II.1.3 Qualité des boues	25
II.1.3.1 Les seuils en éléments traces métalliques dans les boues.....	25
II.3.2 : Cas de la step de Tipaza.....	26
II.2. Description de défèrent procédés d'épuration de STEP CHENOUA.....	27
II.2.1. Prétraitement.....	29
II.2.1.1. Poste de relevage et dégrillage grossier.....	29
II.2.1.2. Dégrillage fin.....	30
II.2.1.3.Dessableur/Déshuileur.....	32

II.2.2. Traitement biologique.....	35
II.2.2.1. Bassins d'aération.....	35
II.2.2.2. Décanteurs secondaires.....	37
II.2.3. Traitement des boues.....	39
II.2.3.1. Recirculation des boues.....	39
II.2.3.2. Epaissement des boues.....	40
II.2.3.3. déshydratation des boues par filtre à bande.....	41
Conclusion.....	43
Chapitre III : utilisation potentielle et présentation des parcelles.....	
Introduction.....	44
III.1 : Utilisation potentielle.....	44
III.1.1- La Valorisation Agricole.....	44
III.1.2- L'épandage en forêt	44
III.2. présentation des parcelles	46
III.2.1. Localisation de la zone d'étude.....	46
III.2.2-Données naturelles du site.....	48
III.2.2.1-Situation topographique.....	48
III.2.2-Données naturelles du site.....	48
III.2.2.1-Situation topographique.....	48
III.2.2.4-Sismicité	49
III.2.2.5-Situation climatique	49
III.2.2.5.1-Pluviométrie	49
III.2.2.5.2-Température.....	49
III.2.2.5.3-Humidité	50
III.2.2.5.4-Les vents	50
III.2.2.5.5-Evaporation	50
III.2.2.5.6-Gel.....	50

III.2.2.5.7-Insolation	51
III.2.2.6-Classification de climat	51
III.2.2.6.1-Classification du climat selon l'indice de MARTON.....	51
III.2.2.6.2-Classification de climat selon le diagramme d'EMBERGER.....	52
III.2. 3- Climogramme pluvio-thermique de BAGNOULS ET GAUSSEN.....	52
III.2.4- Hydrologie	53
III.2.4.1- Réseau pluviométrique.....	53
III.2.4.2- Homogénéité De La Série Pluviométrique.....	55
III.2.4.3- ETUDE DE L'ECHANTILLON ET LE CHOIX DU TYPE DE LOI	57
III.2.4.3.1- Traitement des données	57
III.2.4.3.2- AJUSTEMENT DE LA SERIE PLUVIOMETRIQUE.....	57
III.2.4.3.2.1-Ajustement de la série pluviométrique à la loi log-Normale.....	57
III.2.4.3.2.2-Ajustement de la série pluviométrique à la loi Normale.....	59
III.2.4.3.3- Test de validité d'un ajustement	61
III.2.4.3.3.1- Test de validité de l'ajustement à la loi log-Normale	61
III.2.4.3.3.2-Test de validité de l'ajustement à la loi Normale.....	61
Conclusion.....	62
III.2.4.4- détermination de l'année de calcul.....	62
Chapitre IV : Dispositif de diagnostic de l'impact des boues sur les sols et les réseaux d'irrigation.....	
Introduction	63
IV.1. Impact sur les sols	63
IV.1.1. la structure	63
IV.1.2. la texture	63

IV.1.3. La densité et la porosité	63
IV.1.4. Caractéristique hydrique	63
IV.1.5. Matière organique	63
IV.1.6. Salure du sol en mmhos/cm	63
IV.1.7. Ph du sol.....	63
IV.2.Impact sur les réseaux d'irrigation	64
I.V.2.1.Besoins en eau d'irrigation	64
IV.2.1.1.Définition d'un régime d'irrigation	64
IV.2.1.2.Besoins en eau des cultures	64
IV.2.1.2.1. Définition	64
IV.2.1.2.2. L'évapotranspiration	64
IV.2.1.2.3. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration	65
IV.2.1.2.3.1. Méthodes directes.....	65
IV.2.1.2.3.2. Méthodes indirectes.....	66
IV.2.1.2.4. Calcul de l'évapotranspiration.....	68
IV.2.1.2.5. La pluie efficace.....	68
IV.2.1.2.6.Détermination des Besoins en eau des cultures.....	69
IV.2.1.3.Débit fictif continu ou le débit spécifique.....	71
IV.2.1.4.rojection d'un système d'irrigation goutte à goutte.....	72
IV.2.1.4.1.Besoins d'irrigation de notre parcelle	73
IV.2.1.4.2. Calcul de la pression en tête de la parcelle.....	78
Conclusion.....	79
Conclusion générale.....	80

Liste des tableaux

Chapitre I : Etude bibliographique sur les boues résiduaires

Tableau I.1 : Valeurs limites en ETM ; Nouvelles propositions.....	9
Tableau I.2: Estimation des contributions relatives des différentes sources d'éléments traces métalliques contaminant le sol français	10
Tableau I.3: Estimations des apports comparés par différentes sources en HAP et PCB totaux aux sols cultivés en Suisse.....	11
Tableau I.4: Domaine d'application de l'hygiénisation vis - à -vis des usages de la boue et produits dérivés.....	15
Tableau I.5: Production de boues des pays de l'Union Européenne (plus la Suisse) et voies d'élimination en 1990 (Madoui, 1997, OTV, 1997 in Guivarch, 2001).....	17
Tableau I.6: Teneur en métaux lourds dans différents types de fertilisants en ppm	18

Chapitre II : présentation de la step de Tipaza

Tableau II.1 : Les normes appliqués dans la STEP.....	20
Tableau II.2 : Les caractéristiques de la pollution à traiter.....	22
Tableau II.3 : les paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes.....	22
Tableau II.4.A : Paramètres physicochimiques des eaux usées épurées.....	23
Tableau II.4.B : Rendement d'élimination des Paramètres physicochimiques.....	23
Tableau II.5 : les débits et les volumes épurés durant l'année 2010(STEP de Tipaza).....	24
Tableau II.6 : Teneurs maximales en ETM dans les boues valorisables en agriculture pour différents pays de l'UE et les Etats-Unis (mg/kg de MS).....	26
Tbleau II.7. Teneur en Hg et Pb des boues des différentes step de Tipaza.....	27
Tbleau II.8. Teneur en ETM des boues de la step de Tipaza.....	27
Tableau II.9: Les caractéristiques de poste de relevage.....	29
Tableau II.10: Les dimensions de le dégrilleur fin.....	31

Chapitre III : utilisation potentielle et présentation des parcelles

Tableau III.11 : Les dimensions du convoyeur à bande.....	32
Tableau II.12: Les dimensions du dessableur/déshuileur.....	33
Tableau II.13 : Les caractéristiques des bassins biologiques.....	36
Tableau II.14 : Caractéristiques des aérateurs du compartiment aérobie.....	37
Tableau II.15: Les caractéristiques des décanteurs.....	38
Tableau II.16 : Les caractéristiques des racleurs.....	39
Tableau II.17 : Les caractéristiques d'épaississeur des boues.....	41
Tableau II.18 : Les caractéristiques de filtre à bande.....	42
Tableau III.1.Répartition de la superficie équipée du périmètre d'irrigation Sahel Algérois Ouest.....	47
Tableau III.2 : Pluviométrie moyenne mensuelle.....	50
Tableau III.3 : températures moyenne mensuelles et annuelles (1988à2011).....	50
Tableau III.04 : Humidités moyennes mensuelles (station de Tipaza).....	51
Tableau III.05 : Vitesses moyennes mensuelles des vents	51
Tableau III.06 : Moyenne mensuelle de l'évaporation.....	51
Tableau III.07 : Nombre moyen de jours de gelée.....	52
Tableau III.08 : Moyenne mensuelle de l'insolation	52
TABLEAU III.09 : classification de climat selon MARTON.....	52
Tableau III.10 : Caractéristiques de la station pluviométrique.....	55
Tableau III.11. Pluies mensuelles de la station pluviométrique Hadjout.....	55
Tableau III.12 : teste de wilcoxon.....	57
Tableau III.13 : Ajustement à une loi Log-normal.....	59
Tableau III.14 : Ajustement à la loi normale.....	61
Tableau III.15 : Pluviométrie moyenne pour chaque mois en mm.....	63

Tableau III.16 : les valeurs de Pmoy 80 %.....	63
--	----

Chapitre IV : Dispositif de diagnostic de l'impact des boues sur les sols et les réseaux d'irrigation

Tableau IV.1: Evapotranspiration de référence selon la méthode Penman&Monteith.....	69
---	----

Tableau IV.2: Les précipitations efficaces dans la zone d'étude.....	70
--	----

Tableau IV.3. Besoins en eau des agrumes.....	72
---	----

Liste des figures

Chapitre I : Etude bibliographique sur les boues résiduaires

Figure I.1 : Évolution de la teneur en éléments- traces métalliques au Royaume-Uni entre 1982/83 et 1996/97.....	4
--	---

Chapitre II : présentation de la step de Tipaza

Figure II.1 : La station d'épuration de CHANOUA.....	22
Figure II.2 : la variation du débit et le volume durant l'année 2012(STEP de Tipaza).....	25
Figure II.3: schéma générale de la STEP CHENOUA.....	29
Figure II.4 : Le dégrilleur grossie.....	30
Figure II.5 : Station de relevage.....	31
Figure II.6: Dessableur /déshuileur.....	34
Figure II.7: Bassins biologiques.....	37
Figure II.8: Aérateurs du compartiment aérobie.....	38
Figure II.9 : Décanteur secondaire.....	39
Figure II.10 : Schéma de recirculations des boues.....	41
Figure II.11: L'épaississeur.....	42
Figure II.12 : Unité de déshydratation.....	43
Figure II.13: Unité de préparation de polymère.....	44

Chapitre III : utilisation potentielle et présentation des parcelles

Figure III.1 : délimitation de la zone d'étude (extraï de carte topographique de Tipaza à l'échelle 1/250 000).....	48
Fig. III.2 : Climogramme pluviothermique.....	54
fig III.3 : Ajustement à une loi log-normale.....	60
fig III.4 : Ajustement à la loi normale.....	62

Chapitre IV : Dispositif de diagnostic de l'impact des boues sur les sols et les réseaux d'irrigation

Figure IV.1 : Décomposition de l'îlot.....	80
Figure IV.2 : La pression en tête de l'installation (schéma).....	80

Liste des planches

1. Présentation de la Step de Tipaza
2. Profil en long de la conduite principale.
3. Schémas du processus de production des boues.
4. Pédologie du sol.
5. Plan de situation de la parcelle du secteur 4(w.Tipaza).
6. Réseau d'irrigation (goutte à goutte).

Liste des abréviations

abréviations	signification
MES	Matières en suspension
MVS	Matières volatiles en suspension
DBO5	Demande biochimique en Oxygène
DCO	Demande chimique en Oxygène
NTK	L'azote total de KJEDAHL
T	Température
PH	Potentiel d'hydrogène
J	Jour
Ha	Hectare
μ s/cm	Microsiemens par centimètre
SA	Subdivision agricole
AEP	Alimentation en eau potable
PPM	Partie Pour Mille
STEP	Station d'épuration
OMS	Organisation mondiale de la santé
UE	Union Européen
ETM	Elément Trace Métallique
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
CTO	Composé Trace Organique Organisme
OGM	génétiquement modifié
ESB	Encéphalopathie Spongiforme Bovine
SAU	Surface Agricole Utile

CEE	Communauté Economique Européenne
SIAAP	Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération parisienne
PEHD	PolyEthylène Haute Densité
Pdc	Perte De Charge

Introduction générale

Introduction générale :

L'épuration des eaux usées urbaines s'inscrit dans une démarche de protection de notre environnement et de préservation de nos ressources en eau. Le processus de dépollution des eaux usées urbaines produit d'un côté de l'eau épurée, de l'autre des sous-produits en grande quantité qui sont les boues. Représentant chaque jour un volume considérable, ces boues doivent trouver une destination en continu.

L'accumulation des boues et leurs restrictions réglementaires quant à leur élimination et à leur évacuation compliquent les modalités de leur gestion. Si ce problème est assez prononcé dans les pays européens (15 millions de tonnes de matières sèches à l'échéance 2005). Il commence à prendre une ampleur considérable et croissante dans nos pays d'Afrique du nord et du pourtour méditerranéen. En effet, le potentiel de production peut significativement dépasser 3,5 millions de tonnes d'ici 2015. Actuellement le taux d'épuration des eaux usées est relativement faible : environ 25% en Tunisie, 12% au Maroc et 10 % en Algérie, mais la production de boues est appelée à augmenter de manière exponentielle suite aux programmes de grande envergures entamés et programmés.

Du fait de leurs caractéristiques, plusieurs voies d'élimination ou de valorisation de ces boues sont possibles : le largage en mer, la mise en décharge, l'incinération et l'épandage agricole.

Le largage en mer, représente à la fois un déplacement des problèmes de pollution et une perte de matériel potentiellement réutilisable ; la mise en décharge représente aussi une technique peu valorisante et est légalement interdite dans de nombreux pays ; l'incinération des boues a un coût prohibitif et présente un risque lié à l'impact de gaz toxiques sur l'environnement tel que celui de la dioxine ; La valorisation agricole des boues résiduelles peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimique (C, N, P ..), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique.

Cette dernière filière, vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges et à remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux.

Cependant, la controverse qui s'est développée au cours des dernières années autour de l'épandage agricole des boues et la qualité des produits alimentaires fait surgir une nouvelle demande sociale pour mettre en œuvre des épandages de boues de station d'épuration sur des cultures non agroalimentaires.

En effet, l'utilisation de terrains boisés pour recycler une partie des boues peut alors constituer une alternative aux épandages agricoles tout en préservant les ressources et en augmentant la production de bois. Donc, ces boues peuvent être utilisées dans l'entretien des espaces verts et la mise en valeur des sols.

Surtout lorsqu'on sait que les sols méditerranéens, et plus particulièrement les sols d'Algérie sont généralement caractérisés par leur faible taux de matière organique qui conduit facilement à leur compactage et leur manque en éléments nutritifs, qui constituent des facteurs majeurs qui influencent la survie des végétaux en milieu urbain et leur dépérissement.

Donc ces boues ont une influence sur le sol, car elles changent sa composition et ses caractéristiques (taux de matières organiques, métaux lourds...), et le sol a une influence sur les réseaux d'irrigation, alors nous on s'intéresse à l'impact sur ces derniers.

Chapitre I :

Etude bibliographique sur les boues résiduaires

Introduction :

Dans ce chapitre on va traiter tous ce qui concerne les boues : définition, épandage, difficultés rencontrées lors de l'épandage, les sols qui doivent être épandus, les réglementations sur les boues et les risques de l'épandage.

I.1.1. Définitions**I.1.1.1. Boues d'épuration**

On appelle «boues d'épuration» les sédiments résiduaux issus du traitement des eaux usées; les boues d'épuration urbaines résultantes du traitement des eaux usées domestiques qui proviennent de l'activité des particuliers et éventuellement des rejets industriels dans les réseaux des collectivités après avoir suivi un prétraitement obligatoire.

Les eaux usées sont collectées puis acheminées vers les stations d'épuration où elles sont traitées. En fin de traitement, à la sortie de la station, l'eau épurée est rejetée vers le milieu naturel et il reste les boues résiduaux qui sont composées d'eau et de matières sèches contenant des substances minérales et organiques.

I.1.1.2. Épandage agricole

L'épandage implique la dispersion et la diffusion d'un élément sur une surface relativement étendue dans un but de fertilisation du sol. L'épandage des boues d'épuration consiste donc à répandre, de manière contrôlée, différents fertilisants, sur des terrains agricoles.

I.1.2. Historique de l'épandage

En 1864, les premiers épandages des **eaux usées brutes** ont commencé sur des sols réservés aux cultures maraîchères (sols sableux peu fertiles) dans la région parisienne créant ainsi une alternative au déversement de ces eaux dans la Seine. Cette pratique, qui a perduré jusqu'en 1999 dans certaines zones, a été rendue illégale par la réglementation établie dans les années 70-80.

C'est L. Pasteur qui a dénoncé la présence de micro-organismes indésirables dans les poireaux d'Achères crus vendus aux halles et provenant de sols épandus par des eaux usées brutes. Si au début du siècle, les eaux usées étaient peu chargées en polluants chimiques, le développement de l'industrie et de la consommation des ménages dans les années 60 a contribué à l'enrichissement des eaux usées en polluants organiques et inorganiques.

Ainsi, dans les années 1970, en raison de l'absence de réglementation, certaines parcelles avaient reçu des épandages de boues gadoues très chargées en éléments traces métalliques avec des doses cumulées excessives (cadmium, plomb, cuivre, zinc, mercure).

I.1.3. Pourquoi l'épandage agricole des boues d'épuration urbaines :

Bien que les boues d'épuration soient aujourd'hui considérées comme des déchets par la nouvelle réglementation, elles présentent un intérêt agronomique réel du fait de la présence de

matière organique, d'azote et de phosphore et d'un rapport carbone/azote favorable. Mais pour valoriser des boues, il faut à la fois respecter l'environnement, rechercher le coût le plus faible possible et la solution technique la plus satisfaisante.

Les boues représentent un apport de matière fertilisante très bon marché en comparaison avec les engrais chimiques. En France les boues sont généralement cédées gratuitement. Ce faible coût constitue un atout majeur de cette pratique.

Par leur composition, les boues une fois épandues contribuent au rendement des cultures. Elles contiennent des nutriments pour les cultures et servent d'amendement organique et calcique pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol, surtout si elles sont chaulées ou compostées. Des micro-organismes présents dans le sol dégradent 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. Les quantités épandues doivent restées compatibles avec les besoins des cultures en éléments minéraux. Dans ce cadre, on appliquera une gestion raisonnée de la fertilisation en se référant en particulier à la méthode du bilan. La qualité des boues urbaines en éléments traces métalliques s'est largement améliorée pendant les 20 dernières années et est généralement en dessous des seuils réglementaires. Les niveaux de contamination sont généralement en dessous des seuils réglementaires (figure 1).

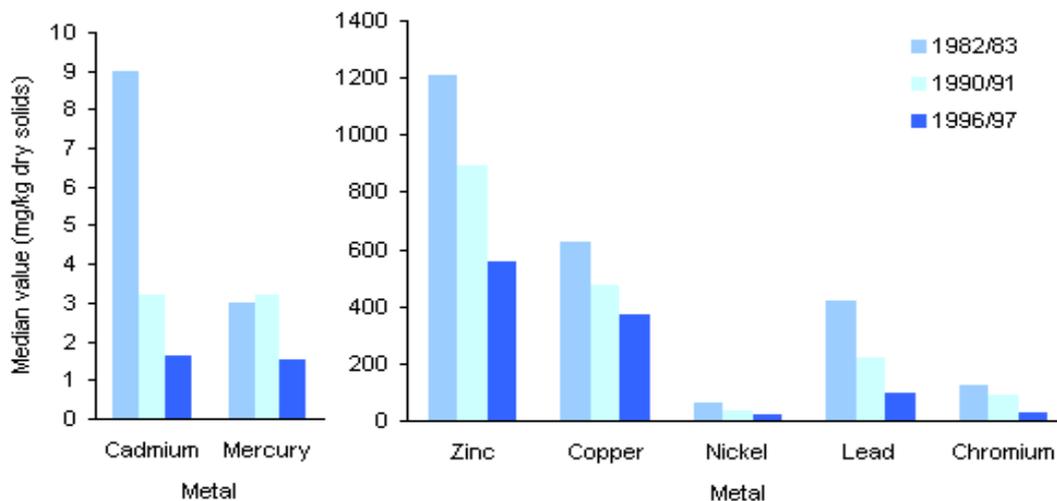


Figure I.1: Évolution de la teneur en éléments-traces métalliques au Royaume-Uni entre 1982/83 et 1996/97

I.1.4. Le recyclage des boues d'épuration

Il existe trois voies de recyclage:

- La valorisation agricole (60%).
- L'oxydation thermique (15%).
- La mise en décharge (25%).

Dans notre cas on s'intéresse à la valorisation agricole.

I.1.4.1. La valorisation agricole (60%)

Elle est confrontée à la concurrence des sous-produits de l'agriculture: les déjections animales (280 millions de tonnes) et les sous-produits des industries agroalimentaires provenant des filières de transformation animale et végétale avec au premier plan les sucreries. Aucune donnée scientifique ou écologique ne permet de privilégier la biomasse d'origine agricole par rapport aux matières organiques urbaines. Cependant, les boues urbaines qui représentent moins de 2% de l'ensemble des déchets épandus en agriculture, contre 94% pour les déjections animales, posent de gros problèmes quant à leur utilisation en agriculture et leurs débouchés. L'INRA a mis en place avec l'ADEME en 1998 un programme sur 4 ans pour coordonner des recherches sur la pérennisation de cet épandage.

I.1.5. Causes des difficultés rencontrées par la filière d'épandage

1.5.1. Les textes réglementaires :

Ces dernières années, la réglementation relative aux boues d'épuration s'est singulièrement renforcée: En droit Européen, la Directive 86/278/CEE du Conseil du 12 juin 1986 soumet l'épandage de boues à des obligations diverses afin que leur utilisation soit correcte.

En droit Français, une nouvelle réglementation est entrée en vigueur dès le début de l'année 1998 à travers deux textes (le décret du 8 décembre 1997, et l'arrêté du 8 janvier 1998). L'objectif de ces textes est d'apporter des garanties nécessaires d'innocuité lors des épandages. Cette réglementation a pris le relais d'un ensemble de textes ambigus qui classaient les boues à la fois comme des matières fertilisantes et comme des déchets.

1.5.2. Les contraintes administratives

Il existe une prise de position politique apparemment paradoxale du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche qui d'une part encourage l'épandage des boues en général, et le déconseille d'autre part dans le cadre de l'agriculture biologique, des AOC et des labels de qualité de produits alimentaires.

De grandes organisations agricoles telles que la FNSEA, les syndicats de betteraviers et de céréaliers ont émis des interdictions d'épandage des boues qui sont de nature politique. Une solution d'indemnisation des risques liés à l'épandage a été envisagée à travers un système d'assurance souscrit par les collectivités, pour le compte des exploitants agricoles qui épandent

les boues. Ce système est actuellement en cours d'expérimentation. Il couvrirait le risque de développement limité à 10 ans sur les récoltes.

Paradoxalement, si à l'échelle nationale des organismes tels que la FNSEA affichent une position défavorable à l'épandage des boues urbaines, à l'échelle locale, ils participent aux plans d'épandage.

Cette prise en charge traduit le fait que l'épandage est progressivement considéré comme un service que les agriculteurs rendent à la collectivité.

I.1.5.3. Les peurs alimentaires

Au durcissement de la réglementation, s'ajoute la montée des préoccupations environnementales et sanitaires de l'opinion publique, inquiétude légitime sur les risques encourus dans un contexte alarmiste: ESB, OGM, pollutions environnementales (eau, atmosphère, sol), même si le grand public n'a pas pris part au débat sur l'épandage agricole des boues d'épuration.

I.1.5.4. Les nuisances olfactives

Les boues résiduaires, produits ultimes de l'assainissement de l'eau, sont sources de mauvaises odeurs. C'est l'épandage de boues liquides qui est le plus malodorant, un enfouissement de quelques centimètres lors de l'épandage permet de pallier ce désagrément. Le compostage est un moyen de maîtrise des odeurs et de changer les gadoues en de conventionnels terreaux. Il est à noter que comparativement à l'épandage des déjections animales, les effluves malodorants dus aux boues sont minimales.

I.1.5.5. Les freins de la part des agriculteurs

La pression de l'opinion pourrait retentir sur la motivation des agriculteurs, déjà largement atteinte par la crise de « la vache folle » et par les pertes financières subies par les éleveurs. S'ajoute encore la crainte d'une dévalorisation économique des terres ayant été épandues.

De plus, certaines industries agroalimentaires ainsi que certains groupes de la grande distribution n'acceptent aucun produit agricole issu de terres où des boues ont été épandues. S'il est nécessaire de sensibiliser les agriculteurs au bienfondé de l'épandage, il convient de les informer également sur les risques liés à cette pratique. La pérennité des filières d'élimination des boues passe obligatoirement par une participation renforcée du monde agricole à ce processus.

I.2. Qui utilise les boues :

En France les surfaces concernées par l'épandage représentent une infime partie de la Surface Agricole Utile (SAU). La surface agricole utile désigne le territoire cultivé et comprend les

pérennes (à l'exception des bois et forêts) et les surfaces toujours en herbe telles que prairies, alpages ...

Sur l'ensemble des matières organiques épandues sur terrain agricole, l'épandage des boues urbaines ne représente que 1,75%, contre 94,5% de déjections animales et 3,3% de déchets des industries agroalimentaires. L'épandage des boues urbaines représente environ 6% de la SAU en Europe.

I.2.1. Sols adaptés à l'épandage

A l'état naturel, les roches renferment des éléments traces métalliques à des concentrations variables en fonction de leur nature, de leur âge, de leur localisation et de la nature de l'élément. Des gisements exploitables peuvent aussi en constituer une source où l'élément considéré est fortement concentré, seul ou en association avec d'autres minéraux.

A partir de ces sources, et en l'absence de toute intervention humaine, ils peuvent être redistribués dans les eaux, les sols, ou l'atmosphère après mobilisation par dissolution, éruptions volcaniques, ou encore transport aérien. A l'état naturel, les métaux sont souvent immobilisés sous des formes relativement inertes sur le plan chimique.

La contribution humaine à la mise en circulation et la dissémination de ces éléments peut être conséquente après exploitation de gisements miniers et dissémination des résidus d'extraction et de raffinage dans l'environnement. C'est pourquoi, pour assurer une qualité certaine aux produits agroalimentaires notamment en production légumière, il est nécessaire de pouvoir reconnaître si un sol est indemne de contamination et de bien distinguer la part de ce qui est naturel et de ce qui relève de la contamination d'origine humaine.

Ceci peut être obtenu par une étude du fond pédogéochimique, c'est à dire par une détermination des concentrations en éléments traces métalliques (ETM) naturellement présents dans un sol en l'absence de toute activité agricole ou industrielle. Ce fond pédogéochimique peut varier en fonction de la roche mère, du type de sol et de la couche de sol testée (horizon). Les concentrations mesurées aujourd'hui dans les horizons de surface des sols cultivés ne correspondent plus aux concentrations naturelles mais ont été augmentées par divers apports agricoles usuels.

Ainsi la valeur médiane de la teneur en cadmium de 460 horizons de surface labourés est de 0,22 mg/kg avec 25 % des échantillons en deçà de 0,14 mg/kg et 2,5 % des échantillons au-delà de la valeur seuil de 2 mg/kg.

Les experts en sciences du sol pensent que les valeurs seuils normatives actuelles de certains ETM sont trop élevées. Elles doivent de ce fait être considérées comme des valeurs d'alerte nécessitant une investigation sur leur origine géogène ou anthropique. De leur point de vue, une valeur seuil unique pour un ETM toxique couvrant tous les types de sols, tous les usages des sols et convenant à toutes les espèces végétales cultivées est dépourvue de 7

signification. Quatre stratégies de détection des niveaux anormaux de contaminants métalliques dans les sols peuvent être utilisées.

La teneur totale en un élément trace métallique donné permet de connaître le stock de cet élément à un moment donné mais ne donne pas de renseignement sur sa forme chimique, sa mobilité dans le sol ni sur sa capacité de transfert dans les plantes (phytodisponibilité).

Un inventaire des sites et sols pollués est actuellement en cours. En fait, il s'agit de "sols" au sens de "terrains" pollués par des activités industrielles, ou des décharges plus ou moins sauvages, ou des anciennes usines mais jamais de sols au sens agro-pédologique du terme. Des inventaires des sites pollués par les activités industrielles appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif, ont été réalisés annuellement de 1994 à 1997. Ils ont été renouvelés durant l'année 2000 et recensent plus de 3000 sites.

Actuellement, un programme ADEME/INRA est en cours pour déterminer la qualité des sols cultivés de 86 départements en France et leur aptitude à recevoir des boues.

I.2.2. Type de culture :

l'épandage des boues urbaines en France est plus ou moins pratiqué selon les régions. Les interdictions d'épandage possèdent, dans tous les cas, une justification commerciale et d'image.

Les Etats de l'Union Européenne interdisent l'utilisation de boues sur les herbages 30 jours avant le pâturage. Pour les cultures maraîchères, il est interdit d'épandre pendant toute la période de culture. Sur les sols destinés à la culture maraîchère ainsi que pour la production de fruits et légumes consommés à l'état cru, il est interdit d'épandre 18 mois avant la mise en culture (norme française).

Pour identifier les éventuels utilisateurs de boues dans les cultures légumières et fruitières, des français ont réalisé un questionnaire aux différentes chambres d'agriculture.

Ce questionnaire uniquement téléphonique est informel et non exhaustif. Il en ressort qu'en pratique l'utilisation de l'épandage de boues pour ces deux types de cultures ne constitue pas une pratique actuellement courante. L'épandage de boues des stations urbaines est surtout pratiqué en grande culture. Les réponses obtenues ont été vagues et laconiques et ne nous ont pas permis de déterminer de façon fiable le pourcentage des terres agricoles, destinées aux cultures légumières ou fruitières, faisant l'objet d'épandage des boues d'épuration. De même, il ne leur a pas été possible de définir les types de cultures fruitières ou légumières pour lesquels on pratique l'épandage des boues des stations d'épuration urbaines.

Plus largement, les organisations de producteurs ont conseillé aux producteurs de

ne pas épandre des boues sur les parcelles destinées aux productions légumières.

Dans un autre domaine, des essais ont été pratiqués en 1992, en forêt de Chantilly 13 pour évaluer l'influence des boues sur la composition du sol, sur une parcelle plantée de Chênes. Actuellement, des expérimentations sont en cours pour tester l'épandage de boues d'épuration en sylviculture.

I.3. Réglementation :

Nous traiterons ici la réglementation des boues d'épuration urbaines. Les boues industrielles font l'objet d'une réglementation particulière et ne seront pas traitées dans ce paragraphe.

Il existe des règlements particuliers dans les départements spécifiant le tri des déchets.

I.3.1. Réglementation des boues d'épuration urbaines :

En Europe, le rejet des boues en mer est interdit depuis 1998. Les Directives européennes sur l'eau et les déchets et leurs transpositions en droit français, ont fixé des objectifs de qualité qui induisent à la fois une augmentation des quantités de boues produites (traitements plus élaborés) et un renforcement de la réglementation concernant leur élimination.

I.3.2.1. La Directive 86/278/CEE :

La Directive 86/278/CEE relative à la protection de l'environnement (et notamment à celle des sols) lors de l'utilisation des boues d'épuration comme engrais distingue trois catégories de boues :

- Les boues résiduaire issues de stations d'épuration traitant des eaux usées domestiques ou urbaines qui ne peuvent être utilisées en agriculture que si elles respectent les prescriptions de la directive.
- Les boues résiduaire des fosses septiques et autres installations similaires qui peuvent être utilisées en agriculture si les conditions jugées nécessaires par l'Etat membre afin d'assurer la protection de la santé de l'homme et de l'environnement sont remplies.
- Les boues résiduaire issues de stations d'épuration autres que celles déjà décrites qui peuvent être utilisées en agriculture à condition de respecter la réglementation de l'état membre concerné.

Au niveau de l'Union Européenne, l'épandage est la solution apparaissant comme privilégiée. Ainsi, l'Europe a soutenu de nombreux travaux scientifiques et encouragé des rencontres, échanges et discussions pour une meilleure harmonisation européenne, dans le cadre du programme de recherche COST 68/681 de 1972 à 1990 14 (Coopération Scientifique et Technique de la CEE).

I.3.2.2. Principales mesures de la Directive :

- Interdiction de l'utilisation de boues lorsque la concentration en un ou plusieurs métaux dans les sols dépasse les valeurs limites fixées dans l'annexe IA de la Directive 86/278/CEE.

- Des mesures sont prises afin que ces valeurs limites ne soient pas dépassées du fait de l'utilisation de boues, en fixant des valeurs limites de concentration en ETM (cadmium, cuivre, nickel, plomb, zinc, mercure) pouvant être contenues dans les boues, et en fixant des quantités maximales de boues exprimées en tonnes de matière sèche pouvant être apportées aux sols par unité de surface et par an.
- Obligation d'utilisation de boues traitées pour l'épandage agricole ; certaines conditions permettent l'utilisation de boues non traitées à condition qu'elles soient enfouies dans le sol.
- Interdiction de l'utilisation des boues sur les herbages moins de trois semaines avant le pâturage ou la récolte des cultures fourragères ainsi que l'utilisation des boues pendant la période des cultures maraîchères et fruitières, en contact du sol, et ce pendant les dix mois précédant la récolte et pendant la récolte elle-même.
- Les méthodes de contrôle et d'analyse sont décrites par la Directive, ainsi que les règles concernant les informations qui doivent être conservées par les producteurs et les utilisateurs.

I.3.2.3. Les modifications prévues de la Directive 86/278/CEE :

- 1) l'abaissement des valeurs limites de divers ETM dans les sols (cadmium, cuivre, mercure, plomb, Ni, zinc), la possibilité étant réservée, pour les États Membres, d'autoriser en fonction de raisons géogéniques, une fluctuation maximale de 50 % au-dessus des seuils (Tableau 4).
- 2) l'abaissement des teneurs limites de ces éléments dans les boues.
- 3) la fixation de limites de concentration pour des composés traces organiques persistants et préoccupants pour l'homme et son environnement comme les organo-halogénés, les alkyl benzène sulfonâtes, le Di(2-éthylhexyl) phtalate, le nonylphénol et ses mono et di-éthoxylates, hydrocarbures polycycliques aromatiques, les PCB (congénères 28, 52, 101, 118, 153 et 180) ainsi que les polychlorodibenzodioxines et les polychlorodibenzofurannes.

Tableau I.1 : Valeurs limites en ETM ; Nouvelles propositions

ÉLÉMENT	Valeurs Limites BOUES		Valeurs Limites SOLS(6<pH<7)	
	Dir.86/278/CEE	Projet	Dir.86/278/CEE	Projet
Cadmium	20- 40	10	1 – 3	1
Cuivre	1000–1750	1000	50 – 140	50
Mercure	16 – 25	10	1 - 1,5	0,5
Ni	300 – 400	300	30 – 75	50
Plomb	750 – 1200	750	50 - 300	70
Zinc	2500 – 4000	2500	150 - 300	150

I.4. Risques :

I.4.1. Risques actuels :

Différents pays ont procédé à une analyse nationale de la question sanitaire afin d'asseoir le débat concernant l'épandage sur des bases objectives et orienter les décisions publiques. Ces analyses ont toutes conclues à une maîtrise satisfaisante des risques de l'épandage des boues urbaines sous réserve de respecter un certain nombre de précautions. C'est le cas en particulier du Danemark, de la Finlande, de la Suède ou encore le National Research Council aux Etats unis en 1996 (Institut national de recherches américain). Les travaux de recherche menés dans les différents pays cités ont permis de dresser un état des lieux des connaissances sur les dangers sanitaires liés à l'épandage des boues et de mettre en évidence des risques maîtrisés sous conditions. En revanche de nombreuses interrogations scientifiques persistent à l'heure actuelle sur les filières d'incinération et de mise en décharge qui nécessitent encore des travaux de recherche visant à combler les lacunes tout en continuant à améliorer l'évaluation des risques de l'épandage.

Une veille sanitaire sur les conséquences, en pathologie animale, de l'épandage des boues d'épuration, a été réalisée au cours des années 1986-1990, par les cinq écoles nationales vétérinaires et l'ANRED (actuellement ADEME). Seuls deux cas de mortalité animale, dus à de mauvaises pratiques ont été relevés. Les informations recueillies sur ce plan permettent d'affirmer qu'aucun accident important lié à l'épandage des boues urbaines n'a été recensé.

Aucune étude épidémiologique spécifique humaine en France n'a été réalisée, cependant la bibliographie ne relate pas d'accident de grande ampleur à ce jour.

Différentes études épidémiologiques américaines ont concerné les populations riveraines de terres agricoles épandues par les boues ou irriguées par des eaux usées. Aucune relation significative entre les manifestations mineures gastro-intestinales ou cutanées observées et l'exposition n'a été clairement démontrée.

Le SIAAP (Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération parisienne) a lancé en 2000 un appel d'offres pour la réalisation d'une enquête socio-économique autour du site d'épuration « Seine aval » dite d'Achères. Huit communes sont concernées : Achères, Conflans Saint Honorine, Maisons Laffitte, Sartrouville, Cormeilles en Parisis, La Frette, Herblay, Montigny, les Cormeilles. La société SEPIA a été chargée de ce travail afin d'étudier l'acceptation de l'usine par les riverains et évaluer l'impact des nuisances olfactives et sonores de proximité.

De nombreuses activités contribuent à l'enrichissement des sols en éléments traces métalliques ;

L'épandage des boues a une contribution mineure par rapport à d'autres sources d'apports

d'ETM L'estimation des apports aux sols en éléments traces métalliques par différentes sources montre, par exemple, que 89% du cadmium est apporté aux sols par les engrais contre seulement 4% apportés par les boues (Tableau 9). Le risque lié au devenir des ETM dans les sols par le vecteur boues doit s'évaluer en regard de la présence d'autres sources d'apport.

Tableau I.2: Estimation des contributions relatives des différentes sources d'éléments traces métalliques contaminant le sol français

Sources identifiées	Cadmium	Plomb	Zinc	Cuivre
Retombées atmosphériques (industries et voitures)	3%	97%	2%	-
Engrais	89%	-	-	-
Boues	4%	1	14%	1%
Composts urbains	4%	2	15%	1%
Lisiers de porc	-	-	69%	6%
Produits phytosanitaires	-	-	-	92%
Total	100%	100%	100%	100%
Total des flux identifiés	68t/an	8	3 242t/an	15

(d'après Robert et Juste – 1997)

Les CTO ont été beaucoup moins étudiés, pour deux raisons : d'une part, ils n'ont pas été mentionnés initialement dans la réglementation; d'autre part leur étude est plus complexe. En effet leur mesure dans une matrice organique comme la boue est largement plus délicate que celle dans une matrice minérale telle que le sol. Les principales familles (HAP, PCB) sont hydrophobes et se fixent fortement sur la matière organique des boues. Cette propriété diminue la biodisponibilité de ces composés traces organiques pour les plantes et pour les êtres vivants présents dans le sol.

Les boues résiduaires épandues sur un sol ne sont pas la seule source de micropolluants organiques. En effet, les précipitations atmosphériques et les engrais de ferme sont d'autres sources potentielles. Une comparaison de ces sources pour un épandage de 2,5 tonnes / an de boues moyennement contaminées a été effectuée en Suisse (Tableau 10).

Tableau I.3: Estimations des apports comparés par différentes sources en HAP et PCB totaux aux sols cultivés en Suisse

Sols cultivés situés en zone agricole				
Composés	Pluies (Précipitations atmosphériques)	Boues (destations d'épuration d'eaux usées urbaines)	Fumures (engrais de ferme à base de déjections animales)	Engrais (engrais minéraux et agents de traitement; pesticides)
P	44%	38%	17%	1%
H	44%	38%	17%	1%
Sols cultivés situés en zone urbaine				
Composés	Pluies	Boues	Fumures	Engrais
P	44%	38%	17%	1
H	80%	14%	6%	0

Aux Etats-Unis, l'EPA (Agence de Protection de l'Environnement) conclut que lorsque les concentrations en polluants n'excèdent pas les valeurs « plafonds », l'impact à court terme de l'épandage sur l'environnement est considérablement réduit.

Cette position est contestée par divers États, comme l'état de New -York, qui considèrent d'une part que le modèle d'évaluation du risque comporte de nombreux défauts et qu'il conduit à tolérer un apport de contaminants au sol trop élevé.

L'évaluation des risques sanitaires spécifiques aux boues d'épuration urbaines a fait l'objet de recherches d'importance variable suivant la filière de traitement. De nombreuses études concernant l'épandage des boues ont été faites, mais très peu traitent spécifiquement de leur incinération ou de leur mise en décharge.

L'utilisation des boues en agriculture peut induire des risques :

- sanitaires directs pour l'utilisateur, ou indirects pour le consommateur de produits animaux ou végétaux ayant été en contact ou cultivés avec les boues.
- de contamination du milieu hydrique superficiel par lessivage ou du milieu hydrique souterrain, car le pouvoir de rétention du sol a ses limites et nécessite une gestion très rigoureuse.
- A travers la réglementation, la valorisation des boues en agriculture prend en compte ces risques pour assurer l'innocuité de l'épandage.

Les facteurs de risques sanitaires de l'épandage sont classés en trois catégories liées aux agents biologiques pathogènes, aux éléments traces métalliques et/ou composés traces organiques.

Des modèles d'évaluation des risques liés à certains éléments traces métalliques et composés organiques en traces n'existent pas encore en France. L'AFSSA a constitué un groupe de travail chargé de mettre au point un protocole d'évaluation des risques sanitaires liés à certains composés toxiques présents dans les boues utilisées en agriculture.

Modes d'exposition spécifiques à l'épandage :

- Ingestion de produits animaux et végétaux dans lesquels des polluants se sont bio-accumulés
- Inhalation, c'est une voie d'exposition professionnelle, dont les risques sanitaires sont placés sous le contrôle de la médecine du travail
- Contact cutané avec les boues. Le taux de pénétration cutanée du produit toxique dépend du niveau de pollution du sol, de la quantité déposée sur la peau, du temps de contact et surtout de la liposolubilité du polluant. Ce dernier facteur, extrêmement important dans la diffusion transcutanée fait que pour les métaux, cette voie semble négligeable comparativement à la diffusion des polluants organiques dont certains sont très liposolubles
- Ingestion d'eau souterraine et de surface contaminées par percolation.

I.4.2.Risques sanitaires :

I.4.2.1.Risques microbiologiques :

Les micro-organismes jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration, aussi bien en station que dans le sol. Il en existe une très grande variété mais seule une infime partie peut être pathogène. On les classe parmi les virus, les bactéries, les protozoaires, les champignons et les helminthes.

Les procédés de traitement primaires des eaux usées résiduelles concentrent les différents microorganismes avec les boues.

Ainsi, les eaux usées sont moins concentrées en agents pathogènes que les boues brutes primaires.

Cependant les traitements appliqués aux boues des stations d'épuration permettent une élimination importante des microorganismes.

A noter que l'hygiénisation (traitement thermique et chaulage pratiqués uniquement par les grosses stations) des boues permet de réduire les concentrations d'agents pathogènes présents dans les boues.

Les boues sont considérées hygiénisées quant à la suite de traitements les trois types d'agents pathogènes (Salmonella, Entérovirus, et œufs d'Helminthes) sont non détectables (critère de conformité).

En France, à l'heure actuelle, la majorité des boues utilisées n'est pas hygiénisée. Pour des raisons techniques (échantillonnage difficile car les microorganismes n'ont pas une répartition régulière ou uniforme) et économiques, l'autorisation d'épandage ne

s'accompagne pas d'une vérification systématique du critère de conformité. Ces analyses sont réalisées au cours de la phase d'étude d'un procédé en vue de l'agrément du système de traitement proposé ou lors d'une installation nouvelle dans une station d'épuration.

Au moment de l'usage, seuls les coliformes thermotolérants sont recherchés à titre de contrôle simple, permettant ainsi d'évaluer les phénomènes de croissance et/ou de recontamination induite par le mélange de boues de diverses provenances. Il faut cependant être conscient que ces coliformes thermotolérants sont des indicateurs intéressants pour les pathogènes d'origine fécale, les pathogènes qui peuvent avoir une autre origine, comme les *Listeria monocytogenes*, ne sont pas révélés par ces indicateurs.

Il n'existe pas de données dans la littérature qui impliquent directement et de manière certaine les boues d'épuration, sources de pathogènes, dans la contamination humaine. Cependant les risques sanitaires microbiologiques liés à l'environnement sont peu étudiés, les données de la littérature sur le plan épidémiologique sont très succinctes et concernent rarement les boues.

I.4.2.2. Risques chimiques

Ces risques, contrairement aux risques microbiologiques, ne sont pas des risques immédiats mais des risques potentiels liés à l'accumulation à long terme, la vie durant, de petites quantités de contaminants dont certains sont présents dans les sols à l'état naturel, comme les métaux. Parmi les composés réglementés, on distingue les éléments traces métalliques (arsenic, cadmium, chrome, nickel, plomb, zinc, mercure, sélénium) et les contaminants organiques (benzo (a) pyrène, phtalates, PCB, dioxines...).

I.4.2.3. Risques professionnels :

Les activités de collecte et d'épuration des eaux usées concernent environ 50 000 personnes en France. Le travail au contact des eaux usées expose le personnel à des microorganismes d'origine essentiellement fécale.

La réalité du risque est fonction de l'existence d'un risque potentiel (risque théorique qui résulte du contenu des eaux usées, des caractères biologiques des microorganismes et des données épidémiologiques des maladies infectieuses), des caractéristiques de l'exposition aux eaux usées et de facteurs propres à l'individu qui déterminent le risque de transmission et la réponse de l'organisme à la contamination par le germe.

Différentes études épidémiologiques suggèrent un risque professionnel d'infections intestinales parasitaires chez le professionnel en contact des eaux usées en France (essentiellement des égoutiers), ainsi qu'un risque d'hépatite virale A.

I.4.3. Risques environnementaux :

Jusqu'à tout récemment, la plupart des études sur la dynamique des éléments

traces métalliques apportés par épandage de boues dans les sols, avait pour objectif les transferts sol / plante et pour finalité les risques de contamination de la chaîne alimentaire. C'est pourquoi on dispose de peu de données publiées.

Pour évaluer les conséquences sanitaires chez l'homme de l'accumulation des polluants dans les sols à moyen et long terme, il est important d'identifier les différentes voies de dispersion de ces contaminants et de pouvoir quantifier leur transfert d'un compartiment à l'autre (boue, sol, micro-organismes du sol, végétal, animal domestique, etc.). L'agence américaine de protection de l'environnement (EPA) prend en compte 14 voies d'exposition (réf EPA) :

- Transfert sol /animal : L'accumulation à la surface du sol d'éléments résultant de l'application de boues peut représenter un risque de contamination directe de la chaîne alimentaire lors du pâturage. Les animaux absorbent souvent un mélange de terre et d'herbe.
- Transferts sol / atmosphère : Certains microorganismes anaérobies présents dans le sol et les boues sont capables de réduire certains éléments traces métalliques (sélénium, mercure) en des formes volatiles qui peuvent être directement fixés par la partie aérienne des végétaux couvrant le sol.

La pratique de l'épandage des boues urbaines en agriculture est la seule pratique soumise à des analyses de sol avant épandage. Il est intéressant de noter que d'autres pratiques agricoles (épandage d'effluents d'élevage), ne sont pas soumises aux mêmes mesures.

I.5. Recommandations du CSHPF :

L'épandage des boues d'épuration fait l'objet de recommandations vis-à-vis des trois principaux types de contaminants: biologiques, éléments traces, composés traces organiques.

I.5.1. Recommandations vis -à -vis des contaminants biologiques :

I.5.1.1. Boues traitées et hygiénisées :

Les boues traitées et hygiénisées peuvent être épandues sans aucune restriction d'usage. Néanmoins, la vérification du critère de conformité (recherches de Salmonella, entérovirus, œufs d'helminthes) est réalisée uniquement au cours de la phase d'étude d'un procédé en vue de l'agrément du système ou lors de la phase de réception d'une installation nouvelle. Seul un contrôle simple (recherche des coliformes thermotolérants) est effectué au moment de l'usage afin d'évaluer les phénomènes de recroissance ou de recontamination. Le producteur de fruits et légumes exigera avant tout épandage les résultats des analyses et les méthodes d'hygiénisation utilisées.

I.5.1.2. Boues traitées non hygiénisées :

Ces boues sont utilisées avec restriction d'usage et font l'objet de recommandations ou bonnes pratiques. (Tableau 19).

Tableau I.4: Domaine d'application de l'hygiénisation vis - à -vis des usages de la boue et produits dérivés :

Types d'usage	Boues traitées non hygiénisées	Boues traitées et hygiénisées
Cultures maraîchères, produits végétaux consommés crus et /ou en contact avec le sol		+
<u>Vergers, viticulture :</u>		
fruits ne se développant pas sur arbres ou arbustes (fraises, framboises...)		+
arbres fruitiers (pomme, pêche...)	+	±
vignes	+	±
Terrains de sport ou de loisirs		+
<u>Forêts :</u>		
Forêt –loisir		+
Sylviculture	+	±
Taillis courte rotation	+	±
Terres labourées (grandes cultures)	+	±
<u>Productions fourragères :</u>		
Pâturage	+	±
Ensilage	+	±
zéro pâturage	+	±
foin	+	±
<u>Végétalisation :</u>		
espaces verts		+
pistes de ski, talus routiers, sol après incendie	+	±

Source : Furet G. Synthèse bibliographique sur l'effet hygiénisant du chaulage des boues d'épuration.

I.5.2. Recommandations vis -à -vis des éléments traces métalliques :

Dans la mesure où les ETM apportés au sol s'accumulent ou sont à nouveau recyclés dans le milieu, à long terme, seule leur élimination à la source permet de les soustraire de ce cycle. Le producteur de fruits et légumes exigera les résultats d'analyse avant toute décision d'épandage. Pour les espèces ayant tendance à accumuler des ETM dans les organes destinés à la consommation humaine (Tableau 16), il est conseillé de ne pas épandre de boues si les garanties ne sont pas disponibles.

I.5.3. Recommandations vis -à -vis des composés traces organiques :

La présence des CTO dans les boues d'épuration urbaines est liée à la capacité du tri sélectif de

nos déchets domestiques. Le producteur de fruits et légumes exigera les résultats d'analyse avant toute décision d'épandage En outre le CSHPF a émis des réserves concernant l'ensemble des contaminants pouvant être amenés par l'épandage de boues ou de produits dérivés sur des terrains à usage agricole ou de loisir, en forêt, sur les sols reconstitués ou revégétalisés.

I.6. Les grands chiffres de la productions des boues :

I.6.1 Estimation de la production des boues en Europe : le tableau n°3 récapitule les résultats les plus importants :

Tableau I.5: Production de boues des pays de l'Union Européenne (plus la Suisse) et voies d'élimination en 1990 (Madoui, 1997, OTV, 1997 in Guivarch, 2001)

Pays	Production (en milliers de tonnes)	Destinations (%)			
		Épandage agricole	Valorisation	Incinération	Élimination
Allemagne	2 400 000	50	28	14	-
Autriche	1 400 000	5	26	7	22
Belgique	1 200 000	28	25	38	-
Danemark	600 000	33	24	11	-
France	2 700 000	24	28	30	18
Grèce	200 000	23	10	8	-
Irlande	200 000	1	24	23	-
Italie	2 200 000	20	28	-	-
Malte	200 000	40	20	-	-
Pays-Bas	1 100 000	25	20	24	-
Portugal	1 700 000	21	27	21	-
Royaume-Uni	1 500 000	23	22	-	-
Espagne	600 000	44	27	-	-
Suède	600 000	28	20	15	-
Suisse	200 000	24	25	-	25
Total UE + Suisse	7 700 000	24	24	22	20

Source: International Association on Water Quality/UK Water Research Center, mémoire pour l'obtention du diplôme magistère de Melle BENTERROUCHE Ilhem.

I.6.2 Estimation de la production des boues au Maroc :

Au Maroc, le traitement des eaux usées génère sous forme de boues l'équivalent de 30 à

40 grammes de matière sèche (MS) par habitant et par jour. Soit pour une population de 30 millions d'habitants, une production potentielle de 435 600 tonnes/ans. La population raccordée aux réseaux d'assainissements urbains est estimée à environ 16 millions d'habitants correspondant à une production potentielle annuelle de boues de : 232 320 tonnes/ an.

I.6.3 Estimation de la production des boues en Tunisie :

D'après les estimations, les stations d'épurations (en comptons celles qui sont en projet) ont une capacité de 1.300.000 Equivalents-Habitants ce qui vaut une production de 20 000 tonnes/ans, dont 50% proviennent des stations d'épuration du Grand Tunis. L'opération de séchage des boues s'effectue à l'intérieur des stations de manière naturelle ou mécanique.

I.6.4 Estimation de la production des boues en Algérie :

En Algérie et selon une enquête faite par le bureau d'étude EEC edil portant sur l'état des stations d'épuration urbaines et industrielles en exploitation et en projet, la capacité totale des stations d'épuration s'élève à 14 332 110 Equivalents-Habitants et rapporte que ce chiffre peut atteindre le nombre de 15 000 000 Equivalents-Habitants, vue que la capacité de plusieurs stations n'est pas encore arrêtée (en phase d'étude préliminaire), ce qui vaut une production de 273 750 tonne de MS/an (EDIL Inf-EAU, 1996).

Les boues urbaines représentent moins de 2 %des déchets épandus pour enrichir le sol à des fins agronomiques en remplacement de la fertilisation chimique et organique des sols ; alors que les déjections animales en représentent 94 % (Echenfelder, 1982 ; Dudkowski 2000). Toutefois, le recours à d'autre fertilisants induit aussi des polluants dans les sols sans que cela ne suscite, outre mesure, de polémiques (tableau 4).

Tableau I.6: Teneur en métaux lourds dans différents types de fertilisants en ppm

	Ca	Fe	Cu	Zn	Pb	Mn
Exemple de données	4000	1000	200	200	100	10000
Fertilisants	4000	1000	20	10	10	100
Minéraux-organiques						
Fertilisants organiques	1000	10	10	10	10	10
Fertilisants chimiques	10	10	1000	10	1000	1000
Fertilisants naturels	100	10	100	10	10	1000
Fertilisants organiques	100	10	100	10	10	1000
Fertilisants chimiques	100	10	1000	10	1000	1000
Fertilisants naturels	100	10	100	10	10	1000
Fertilisants organiques	100	10	1000	10	1000	1000
Fertilisants chimiques	100	10	1000	10	1000	1000

Source: DRI, 1999

Remarque :

la plus part des chiffres et réglementations sont français ou européens. Et en Algérie, généralement on applique les réglementations françaises. Et en ce qui concerne l'épandage en Algérie il est presque nul, c'est pour cela qu'on a pas trouvé des enquêtes et nous on a pas les moyens pour faire une enquête sur l'échelle nationale, donc on s'est contenté de résumer des enquêtes réalisées en France.

I.7.Conclusions :

L'utilisation des boues d'épuration dans le domaine agricole est une nécessité; il n'existe pas en effet aujourd'hui, et probablement pour la décennie prochaine, d'alternative crédible si on prend en compte d'une part les nuisances pour l'homme et son environnement et d'autre part le coût pour la société de la destruction des quelques milliers de tonnes de matière sèche produites en Algérie, d'autant que la production de boues d'épuration pourrait augmenter. Et pour l'agriculteur elles constituent une matière fertilisante particulièrement bon marché.

Chapitre II :

Présentation de la Step de Tipaza

INTRODUCTION

L'objectif principal de ce chapitre c'est l'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux épurées et des boues résiduaires de la station de TIPAZA, en effectuant des analyses physico-chimiques, et en comparant les résultats avec les normes de rejet et déchets établies par l'OMS pour avoir la conformité à ces normes.

II.1. Présentation de la station d'épuration de CHENOUA :

II.1.1. Situation géographique :

La station d'épuration des eaux usées urbaine de CHENOUA de type boue activée à faible charge, est située à l'ouest de la ville de TIPAZA à proximité de la méditerranée (chemin de wilaya N° 109 TIPAZA), elle a été mise en service en 2008, sa capacité de traitement des eaux usées est de $3965 \text{ m}^3/\text{j}$ pour 70000 eq/hab. , qui sont évacuées dans l'oued el Nador puis dans la méditerranée (Figure II.1).

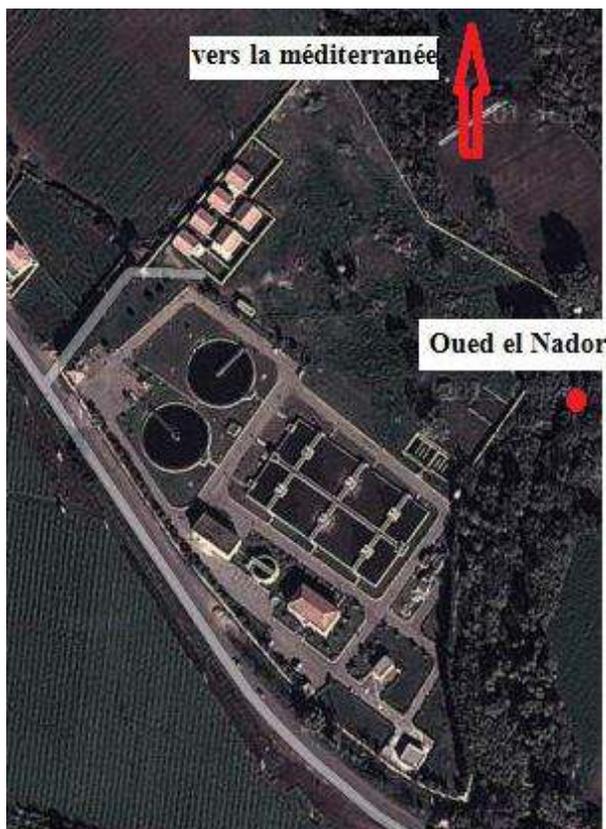


Figure II.1 : Présentation de la step de TIPAZA (CHENOUA)

La STEP de CHENOUA a été certifiée selon la norme internationale ISO140001 version 2004. Elle demeure le premier genre à l'échelle nationale et africaine dans le domaine de la gestion et de l'exploitation.

L'objectif cible et requis en sortie de station doit être conforme aux caractéristiques de l'effluent final après les traitements, qui sont représentées dans le (tableau II.1) :

Tableau II.1 : Les normes appliqués dans la STEP :

Paramètres	Normes
DBO5	< 30mg/l sur 24h
MES	< 30mg/l sur 24h
DCO	< 90mg/l sur 24h
NTK	< 40mg/l sur 24h
Ph	entre 6.5 et 8.5
Coliformes totaux	< 20000 /100ml

Les caractéristiques de l'eau à traiter sont représentées dans le tableau II.2 :

Tableau II.2 : Les caractéristiques de la pollution à traiter.

Paramètres	Caractéristiques
Volume journalier	11200m ³ /j
Débit moyen 24h	467m ³ /h
Débit de point temps sec	803m ³ /h
DBO5 journalières	4200kg/j soit 375mg/l
MES journalières	4900kg/j soit 438mg/l
SDBO (DBO soluble)	187mg/l
Ph	entre 6.5 et 8.5
DCO totale	825 mg/l
DCO biodégradable	600 mg/l
DCO soluble	305 mg/l
DCO biodégradable immédiatement	140 mg/l
NTK	40mg/l
P totale	10mg/l
Température	20°C

II.1.2. Qualité des eaux :

Dans un premier lieu on se référera aux résultats d'analyses physico-chimiques des eaux usées urbaines de la ville de *Tipaza* qui sont faites au niveau du laboratoire de la *STEP* elle-même enregistrées durant l'année 2010, à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration (STEP)

II.1.2.1. Eaux usées brutes (Entrée de la STEP) :

A l'entrée de la *STEP*, les concentrations moyennes obtenues des eaux usées brutes concernant les différents paramètres physicochimiques s'élèvent à :

Tableau II.3 : les paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes.

paramètres chimiques	MES kg/j	DBO-5 kg/j	DCO kg/j	NO ₂ -N mg/l	NO ₃ -N mg/l	NTK mg/l	NH ₃ -N mg/l	PO ₄ -3 mg/l
les concentrations	1772,33	1174,94	2721,00	1,91	3,02	28,86	37,25	4,90

Source : STEP de Tipaza.2012

Interprétation des résultats : Nous pouvons conclure à la qualité d'une eau usée urbaine à prédominance domestique fortement chargée.

Dans les effluents urbains à prédominance domestique, et selon la norme (NFU 44-04 de juillet 1985), le rapport (DCO/DBO5) permettant d'apprécier la biodégradabilité de la matière organique serait entre 2 et 3, donc l'effluent biodégradable à condition de mettre en place un traitement adéquat (on ajoute des bactéries) «la boue active»

II.1.2.2.Eaux usées épurées (Sortie de la STEP) :

A la sortie de la STEP, les teneurs moyennes enregistrées des eaux usées épurées concernant les deux paramètres chimiques précédemment cités, sont :

Tableau II.4.A : Paramètres physicochimiques des eaux usées épurées

<i>paramètres chimiques</i>	<i>MES kg/j</i>	<i>DBO-5 kg/j</i>	<i>DCO kg/j</i>	<i>NO2-N mg/l</i>	<i>NO3-N mg/l</i>	<i>NTK mg/l</i>	<i>NH3-N mg/l</i>	<i>PO4-3 mg/l</i>
<i>les concentrations</i>	58,17	23,03	379,83	0,45	1,88	12,05	5,10	3,20

♦Le rendement épuratoire de la station d'épuration des Paramètres physicochimiques cités précédemment est présent dans le tableau suivant :

Tableau II.4.B : Rendement d'élimination des paramètres physicochimiques

<i>paramètres chimiques</i>	<i>MES kg/j</i>	<i>DBO-5 kg/j</i>	<i>DCO kg/j</i>	<i>NO2-N mg/l</i>	<i>NO3-N mg/l</i>	<i>NTK mg/l</i>	<i>NH3-N mg/l</i>	<i>PO4-3 mg/l</i>
<i>Rendement %</i>	96,72	98	86	76,53	37,85	58,25	86,31	34,70

Source : STEP de TIPAZA.2010

D'Après les résultats obtenus on constate que le rendement d'élimination des : **MES**, **DBO-5** et **DCO** est plus élevé, ce qui signifie un bon traitement de ces paramètres dans cette station. Par contre on remarque que le rendement d'élimination des : **NO3-N** et **PO4-3** est moyennement faible, ce qui signifie que ces paramètres provoquent des réactions inversibles à cause de l'augmentation de la concentration de ces paramètres à la sortie de la **STEP**.

♦Le *PH* moyen de l'eau brute avoisine à l'entrée de la *STEP* de *Tipaza* les 7,90, alors qu'à la sortie, il atteint les 7,85. Ce dernier semble satisfaire les exigences recommandées pour notre *STEP*, à savoir : 6,5 – 8,5.

III.1.2.3. Mesure des débits (Sortie de la STEP) :

Durant l'année 2010, les débits d'eaux usées épurées et les volumes épurés sont représentés dans le tableau II.5 et la figure II.2 :

Tableau II.5 : les débits et les volumes épurés durant l'année 2010 (STEP de Tipaza).

Mois	Débit (m ³ /j)	Volume épuré (m ³)
<i>Janvier</i>	3676	113963
<i>Février</i>	3550	99410
<i>Mars</i>	2259	70046
<i>Avril</i>	2363	70871
<i>Mai</i>	2002	62068
<i>Juin</i>	2677	80310
<i>Juillet</i>	4355	134385
<i>Aout</i>	5525	171042
<i>Septembre</i>	4515	135462
<i>Octobre</i>	4760	147600
<i>Novembre</i>	6015	180461
<i>Décembre</i>	5885	182428

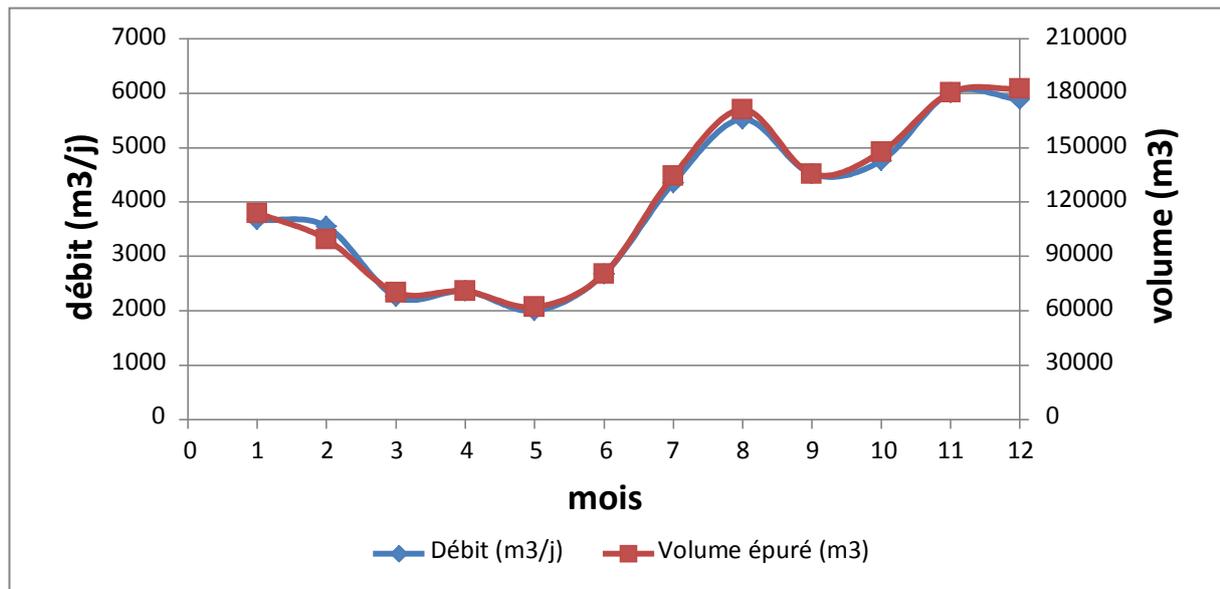


Figure II.2 : la variation du débit et le volume durant l'année 2012 (STEP de Tipaza).

II.1.3 Qualité des boues :

II.1.3.1 Les seuils en éléments traces métalliques dans les boues :

Les boues d'épuration sont constituées d'un « cocktail » extrêmement complexe de molécules pouvant avoir un effet néfaste sur la qualité des sols. Parmi ces molécules, on dénote les éléments traces métalliques (ETM) qui peuvent s'accumuler dans les sols et être assimilés, sous certaines conditions, par les plantes qui y sont cultivées. La littérature témoigne notamment d'un accroissement de la mobilité de certains ETM (métaux lourds) dans des sols présentant des pH plutôt acides. A l'inverse, d'autres micropolluants comme le molybdène...serait plus mobile dans des sols aux pH basiques (Girard et al., 2008).

Ces polluants peuvent présenter un effet néfaste, non seulement sur la qualité des sols, mais aussi sur la santé des hommes ingérant ces polluants par l'intermédiaire de produits issus de l'exploitation agricole de sols contaminés (Aprifel, 1993). Pour un gouvernement, il est donc important de statuer sur des seuils afin d'éviter de potentiel problème de santé publique. Cependant une trop grande application du principe de précaution, en instaurant des seuils très restrictifs, peut également causer des désagréments. Ces seuils d'acceptabilité pour les boues à épandre engendreront des coûts supplémentaires pour les industries et collectivités soumise à ces restrictions réglementaires. La conséquence aboutira à des problèmes de compétitivité pour les industries ou d'attractivité pour les collectivités. Les seuils n'ont donc pas été fixés au hasard mais répondent à une stratégie nationale dans chaque pays.

Le tableau suivant détaille les seuils maximum en ETM fixés pour les boues dans différents pays au sein de l'Union. Si une boue présente une teneur supérieur à la valeur

indiquée pour l'un des métaux, elle est non conforme et ne pourra pas être utilisée en agriculture.

Ce tableau a été obtenu en compilant les réponses de chaque état par rapport à l'enquête de l'Europe, ou grâce aux textes réglementaires quand cela était possible. Néanmoins certains pays n'ont pas pu être présentés dans le tableau II.6 :

Tableau II.6 : Teneurs maximales en ETM dans les boues valorisables en agriculture pour différents pays de l'UE et les Etats-Unis (mg/kg de MS)

Pays	Cadmium	Chrome	Cuivre	Mercure	Nickel	Plomb	Zinc	
Allemagne	10	900	800	8	200	900	2500	
Belgique	Flandres	6	250	375	5	50	300	900
	Wallonie	10	500	600	10	100	500	2000
Bulgarie	30	500	1600	16	350	800	3000	
Chypre	Identique aux intervalles de la Directive 86/278/CE							
Danemark	0,8	100	1000	0,8	30	120	4000	
Espagne	sol pH<7	20	1000	1000	16	300	750	2500
	sol pH>7	40	1500	1750	25	400	1200	4000
Estonie	20	1200	1200	20	400	900	3500	
Finlande	3	300	600	2	100	150	1500	
France	20	1000	1000	10	200	800	3000	
Grèce	40	500	1750	25	400	1200	4000	
Hongrie	10	1000	1000	10	200	750	2500	
Italie	20	-	1000	10	300	750	2500	
Irlande	-	-	-	-	-	-	-	
Lettonie	10	600	800	10	200	500	2500	
Lituanie	Aucune valeur limite fixée							
Pays Bas	-	-	-	-	-	-	-	
Pologne	10	-	800	5	100	500	2500	
Portugal	20	1000	1000	16	300	750	2500	
Roumanie	10	500	500	5	100	300	2000	
Royaume Uni	Aucune valeur limite fixée sauf pour épandage en prairie							
Slovaquie	10	1000	1000	10	300	750	2500	
Slovénie	2	150	300	2	70	100	1200	
Suède	2	100	600	2,5	50	100	800	
Tchéquie	5	200	500	4	100	200	2500	
Etats-Unis	85	3000	4300	57	420	840	7500	
Seuil UE	20-40	-	1000-	16-25	300-	750-	2500-	
Directive 86/278		1750		400	1200	4000		

Source : Mfe Mathieu Buffet (September 2010)

II.3.2 : Cas de la STEP de TIPAZA :

Dans notre cas on choisit la norme française (NFU 44-041). Suite au bulletin d'analyse qui a été remis du laboratoire Régional Centre (ONEDD) concernant les analyses des trois échantillons de boue (STEP : Tipaza, Hadjout et Kolea) et leurs mesures en teneur en éléments traces du (Plomb et Mercure), les résultats obtenus sont conformes à la norme française (NFU 44-041), sachant que les normes de :

Plomb (Pb)= 800mg/kg.

Mercure (Hg)=10mg/kg.

Le tableau II.7 représente le teneur en Hg et Pb des boues produites par les différentes step de Tipaza :

Tableau II.7. Teneur en Hg et Pb des boues des différentes step de Tipaza

Paramètres	Unités	Résultats			Normes
		Step Hadjout	Step Kolea	Step Tipaza	
Hg	Mg/kg	0.92	0.96	0.17	ISO:5666:1999
Pb	Mg/kg	140	177	58.5	ISO:8288:1986

Source: STEP de TIPAZA 2013

Pour les autres teneurs en éléments traces pour la step Tipaza, les résultats sont dans le tableau II.8 :

Tbleau II.8. Teneur en ETM des boues de la step de Tipaza

Paramètres mesures au laboratoire	Résultats	Norme NFU 44-041
Cadmium mg/kg	0.47	20
Chrome mg/kg	6.73	1000
Cuivre mg/kg	30.53	1000
Nickel mg/kg	11.06	200
Zinc mg/kg	133.66	3000
Chrome+Cuivre+Nickel+Zinc mg/kg	181.98	4000
Plomb(Pb) mg/kg	58.5	800
Mercure (Hg) mg/kg	0.17	10

Source: STEP de TIPAZA 2013

II.2.Description des différent procédés d'épuration de la STEP CHENOUA :

Le traitement à la filière de l'eau comporte les étapes suivantes :

-arrivée des eaux, by-pass en cas d'orage vers l'Oued, à partir du regard amont au poste de relevage de la station.

-dégrillage grossier, relevage, dégrillage fin.

-dessablage et dégraissage déshuilage.

-traitement biologique.

.-décantation clarification

Ces étapes sont représentées dans la figure II.3.

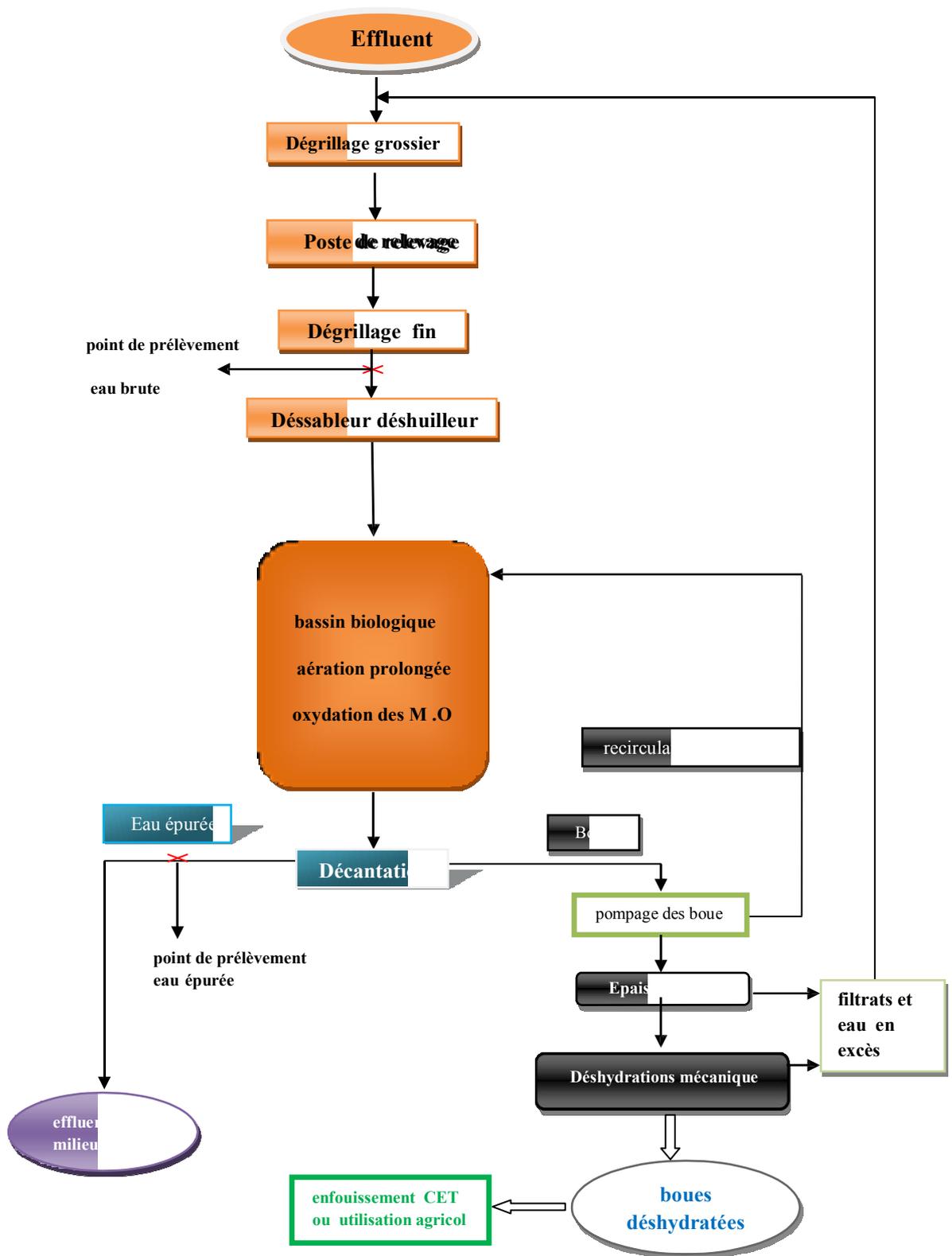


Figure II.3: schéma générale de la STEP CHENOUA

II.2.1. Prétraitement :**II.2.1.1. Poste de relevage et dégrillage grossier :**

Les eaux brutes à traiter arrivent en tête de station dans un poste de relevage (figure II.5) constitué d'un puisard de 45 m² avec :

-un équipement d'entrée équipé d'un piège à cailloux et grille grossière (figure II.4) du type barreaux plats et nettoyage manuel, d'une largeur de 150cm, inclinés à 70 °et une distance entre barres de 5 cm (maille5.5).

-un compartiment d'aspiration de 30 m³ équipé de 4 pompes : 3 de service et 1 de réserve, ces pompes de marque ABS sont submersibles et ayant les caractéristiques représentées dans le tableau II.9 :

Tableau II.9: Les caractéristiques de poste de relevage.

Caractéristiques	
Type	AFP 2045
Débit de refoulement	392 m3/h
Hauteur HM	9m
Puissance nominal	16Kw
Vitesse de rotation	1500Tr/mn
Aspiration/refoulement	en DN 200



Figure II.4 : Le dégrilleur grossier.



Figure II.5 : Station de relevage.

-les pompes fonctionnent à vitesse variable en cascade, en fonction de débit entrant un détecteur de niveau relié à un automate contrôlera la vitesse de rotation des pompes pour maintenir le niveau d'eau dans le puisard constant. Au fur et à mesure que le débit entrant augmente l'automate, mettra en marche la seconde pompe, puis la troisième et inversement quand le débit diminue.

-pour assurer une usure égale aux quatre pompes, une permutation cyclique de l'ordre de démarrage est commandée par un interrupteur horaire.

-si les variateurs de vitesse sont hors service, le système peut fonctionner en mode manuel et les pompes seront commandées par des détecteurs de niveaux. Le nombre de démarrage par heure des pompes est fonction du volume d'eau dans le puisard et des réglages des seuils des poires de niveau.

II.2.1.2. Dégrillage fin :

En amont du dessableur-déshuileur est installée une grille fine, à nettoyage mécanisé sur le canal amenée.

Parallèlement, un chenal by-pass est équipé d'une grille fine à nettoyage manuel. Pour assurer la continuité du fonctionnement de la station en cas d'arrêt de la grille mécanique, deux vannes murales permettent d'isoler cette grille mécanique et l'eau sera dirigée vers le canal by-pass par sur service.

Les dimensions : les dimensions du dégrilleur fin sont représentées dans le tableau II.10 :

Tableau II.10: Les dimensions du dégrilleur fin.

Dimensions	
Marque	SERECO(Italie)
Type	CPSA 10/35
Dimensionnement	100.200cm
Inclination	15°
Epaisseur des barreaux	20mm
Ecartement	20mm
Hauteur de rejet	350 cm
Puissance nominale	2.2Kw
Vitesse	1410/120/mn

Source: STEP de TIPAZA 2012

Les déchets retenus au niveau des barres sont soulevés par la benne de grilleur qui est entraînée en mouvement alterné par deux chaînes.

Le dégrilleur est nettoyé lors de la remontée de la benne par les dents du râteau, monté sur la benne qui passe entre les barreaux.

Avant d'arriver en butée haute, une lame en plastique permet de vider la benne et dégager les déchets accumulés.

Après un arrêt au point mort « haut » la benne reprend la course en sens inverse vers le bas, tout en éloignant le râteau du champ du dégrillage par contre au point « bas » la benne reprend sa course ascendante en approchant le râteau du champ du dégrilleur.

Un interrupteur horaire programmable permet de régler le nombre de démarrages par jour et la durée de chaque nettoyage. Aussi, un détecteur de niveau permet, par la mesure de l'écart entre les niveaux amont et aval du dégrilleur, de lancer le cycle de nettoyage de la grille, et ce jusqu'à ce que cet écart soit à une valeur minimale préétablie.

- Incidents d'exploitation : La panne la plus courante est l'introduction d'un corps dur entre la grille et le râteau, chercher et enlever le corps dur et réenclencher le relais thermique. Si le dispositif de commande ne fonctionne pas, vérifier le flotteur et la mise en service du transporteur à bande.

- **Convoyeur à bande** : Les refus ou rejets du dégrilleur sont convoyés par un transporteur à bande vers un conteneur de stockage de 8m³.

- **Dimensions du convoyeur à bande** : les dimensions du convoyeur à bande sont représentés dans le tableau II.11 :

Tableau II.11 : Les dimensions du convoyeur à bande.

Dimensions	
Largeur de la bande	500mm
Longueur	5m
Charge minimale	16m³ /h
Matériaux transporté	déchets retenus par les grilles
Vitesse	0,3m/s

Source: STEP de TIPAZA 2012

La bande transporteuse à rouleaux couplés se compose de :

Un rouleau mécanisé de démarrage de la bande, avec arbre en acier à couverture anti-usure supports réglables.

Un cadre en tôle pressée et pliée, de forme appropriée au glissement de la bande Transporteuse.

Une bande à anneau en caoutchouc anti-usure, à deux bâches résistantes aux agents chimiques et atmosphériques.

Des rouleaux de support côté retour de la bande, avec roulement à billes en matière résistante à l'abrasion.

Un rouleau de centrage en caoutchouc.

Un racleur externe avec garniture en caoutchouc.

Un carter de décharge.

Un groupe de transmission directe avec motoréducteur à vis sans fin.

II.2.1.3. Dessableur/Déshuileur :

Pour éviter la décantation des sables dans le bassin biologique, et pour éliminer les huiles et graisses contenues dans l'eau brute, un dessableur-déshuileur (figure II.6) est installé en aval du dégrilleur fin. Il est dimensionné pour un débit de 1167 m³ /h.

Un jeu de vannes murales permet d'isoler l'ouvrage pour la maintenance et de diriger le flux vers le canal by-pass.

Le mélange sable eau obtenu est déchargé dans un classificateur de sables qui sépare le sable de l'eau et décharge le sable drainé vers un conteneur de stockage.



Figure II.6: Dessableur /déshuileur.

-Description de l'ouvrage :

Le dessableur/déshuileur est un ouvrage en béton armé de forme tronc-conique avec une passerelle centrale, également en béton. Il comprend essentiellement les éléments suivant :

- un motoréducteur pour entraîner le system tournant.
- une ensemble tournant constitué d'un arbre creux et de pales courbées.
- une conduite d'alimentation pour le lavage aspiration de sable de type air lift.
- un système d'extraction des flottants constitué d'un déflecteur, d'un système de diffuseur pour la distribution de l'air et du jeu de vannes adéquat.

- Deux surpresseurs d'air (dont un de réserve) pour l'aspiration des sables.

-deux surpresseurs d'air (dont un réserve) pour l'entrainement des flottants.

-Les dimensions de l'ouvrage : les dimensions du dessableur/déshuileur sont représentées dans le tableau II.12 :

Tableau II.12: Les dimensions du dessableur/déshuileur.

Diamètre du bassin :	5m
Débit maximal :	1850m³/h

Débit eau de lavage minimum :	43M3 /min
Vitesse de rotation :	16tr /min
Diamètre des pales :	2550mm
Diamètre conduite d'aspiration :	150mm

-Principe de fonctionnement :

Le fluide à traiter entre par une ouverture tangentielle ce qui lui impose une vitesse de rotation centrifuge.

Le jeu de pales tournant autour du pivot central, amplifie l'effet centrifuge et favorise la sédimentation des sables qui se déposent dans la partie centrale au fond du bassin et seront traités par un cycle contre lavage-aspiration durant lesquels le sable est soumis à un jet d'air et d'eau sous pression, pour provoquer le décollement des boues organiques, qui, plus légères, elles remontent pour rejoindre les autres matières en suspension.

Les pales sont conçues de façon à imprimer au fluide une vitesse constante indépendante du débit. Ainsi la vitesse optimale de sédimentation est obtenue grâce à une vitesse de rotation des pales inversement proportionnelle au débit entrant.

Les sable déposé est traité par un cycle contre lavage /aspiration :

-Dans un premier temps : le sable est soumis à un jet d'air et d'eau sous pression. Ceci provoque le décollement des boues organiques qui se détachent des grains de sable. Plus légères, elles vont remonter et rejoindre les autres matières en suspension.

-Dans un second temps : Le lavage est interrompu et le sable sédimenté est aspiré par un jet d'air et déchargé dans le classificateur de sables.

Par ailleurs, un jet de fines bulles d'air est envoyé dans la masse fluide, pour entrainer les matières flottantes vers la surface. Elles seront raclées vers un puisard de stockage des huiles et graisses qui sont vidés périodiquement, manuellement.

La protection contre la surcharge est assurée par un système électronique limiteur d'effort

-Collecte des graisses et des écumes :

Les graisses et les écumes sont collectées à la surface du bassin.

Elles seront évacuées dans un réservoir de stockage de graisse équipé d'une cloison siphonide qui piège la graisse dans le réservoir et fait circuler l'eau vers l'entrée de la station.

Les graisses et les écumes seront déchargées périodiquement et manuellement.

-Chambre de distribution :

La chambre de distribution en aval du déssableur -déshuileur permet une répartition équitable des débits.

Cette chambre est dimensionnée pour un débit de 1176 m³/h et répartit le débit en trois parties égales dont trois compartiments par trois déversoirs identiques. Le troisième compartiment est prévu pour l'extension future.

Un jeu de batardeaux permet d'isoler chaque bassin d'aération.

II.2.2. Traitement biologique :

II.2.2.1. Bassins d'aération :

La STEP CHENOUA dotée de deux bassins d'aération de type boue activée à faible charge, chaque bassin contient 3 aérateurs.

Le traitement biologique est effectué dans le compartiment aérobie à l'aide du processus aérobie par lequel les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.

La Liqueur mixte est maintenue dans un régime turbulent par les six aérateurs de surface.

Après un séjour suffisant long, cette liqueur mixte est envoyée vers les deux clarificateurs pour assurer la séparation solide liquide par gravité, améliorée par les mécanismes racleurs de fond et de surface.

Les boues accumulées au fond du décanteur sont dirigées vers le poste de reprise des boues dont une partie est recyclée par pompage dans le bassin d'aération de façon à y maintenir la concentration nécessaire en bactéries épuratrices.

Les boues en excès sont pompées vers l'épaississeur, et de là, vers la déshydrations mécanique.

Les deux bassins d'aération et les deux décanteurs sont reliés par un ouvrage de répartition qui permet d'assurer une flexibilité d'exploitation et faciliter la maintenance.

-Automatismes et instrumentation :

Chaque bassin d'aération est équipé d'une sonde à oxygène et d'un déversoir à seuil variable.

La concentration en oxygène sera contrôlée par les déversoirs réglables à la sortie des bassins d'aération et par la mise en service d'un ou plusieurs aérateurs de surface.

Le système d'asservissement maintiendra la teneur en oxygène voulue, automatiquement sans intervention de l'opérateur en manuel.

-Caractéristiques des bassins biologiques : les caractéristiques des bassins biologiques sont représentées dans le tableau II.13 et la figure II.7 :

Tableau II.13 : Les caractéristiques des bassins biologiques.

Caractéristiques des bassins biologiques	
Nombre	2 en parallèle
Volume	6000m³ pour chaque bassin
Volume compartiment aérobie	6000m³
Production de boue	4500kg/jour
Age des boues anaérobie	9 jours
Age des boues totales	11 jours

Source: STEP de TIPAZA 2012



Figure II.7: Bassins biologiques.

-**Caractéristiques des aérateurs du compartiment aérobie** : les caractéristiques des aérateurs sont représentées dans le tableau II.14 et la figure II.8 :

Tableau II.14 : Caractéristiques des aérateurs du compartiment aérobie.

Caractéristiques	
Marque	SERECO
Type-modèle	TASCO 70
Diamètre turbine	2750mm
Apport oxygène par aérateur	197 kg/h
Puissance nominal	75 Kw

Source: STEP de TIPAZA 2012



Figure II.8: Aérateurs du compartiment aérobie.

II.2.2.2. Décanteurs secondaires :

La station est dotée de deux décanteurs pour un débit moyen de l'effluent entrant de 234m³/h pour chaque décanteur, la décantation a pour but de séparer et traiter les matières dont la densité est supérieure à un et qui se déposent sur les radiers sous forme de boue.

Chaque décanteur est équipé d'un pont racleur tournant constitué d'une passerelle équipée de racleurs de fond et de racleurs de surface.

Les racleurs de fond, ramènent les boues déposées au fond de l'ouvrage vers la poche centrale qui seront récupérées par gravité vers le poste de pompage des boues.

Les racleurs de surface récupèrent et dirigent les écumes flottantes vers la bêche de reprise d'où elles sont récupérées manuellement.

La vanne télescopique motorisée permet de contrôler le niveau de l'eau dans l'ouvrage et une vanne manuelle permet de vidanger le décanteur dans le poste de pompage des boues.



Figure II.9 : Décanteur secondaire.

Le tableau II.15 représente les caractéristiques du décanteur secondaire.

Tableau II.15: Les caractéristiques des décanteurs.

Caractéristiques	
Débit moyen	234m³/h (chacun)
Débit de pointe	402 m³/h (chacun)
MES	3.5kg/m³
Indice de mohlman	150ml/g
Diamètre intérieur net	30m
Diamètre du tambour central	3m
Surface de la décantation	700 m²
Hauteur d'eau moyenne	3.68m
Volume	2961m³
Inclination de fond	1/12mm

Source: STEP de TIPAZA 2012

-Caractéristiques des racleurs : elles sont représentées dans le tableau II.16:

Tableau II.16 : Les caractéristiques des racleurs.

Caractéristiques	
Largeur	1m
Longueur	18.4m
Vitesse de déplacement des racleurs	2m /mn
Diamètre extérieur des roues de chariot	1.35m
Diamètre de la jupe /déflecteur	30m
Hauteur de la jupe /déflecteur	1.5m
Puissance du moteur d'entraînement	0.37Kw

Source: STEP de TIPAZA 2012

II.2.3.Traitement des boues :

II.2.3.1.Recirculation des boues :

- pompes de recirculation des boues :

Le poste de reprise des boues en aval des décanteurs la filière (boue) permet la recirculation des boues activées et pomper les boues en excès vers l'épaississeur.

La recirculation est assurée par deux pompes de 200m³/h chacune dont une de réserve.

-Pompes d'évacuation des boues en excès :

L'évacuation des boues en excès vers l'épaississeur est assurée par deux pompes immergées de 30 m³/h pour chacune.

La figure II.10 représente le schémas de recirculation.

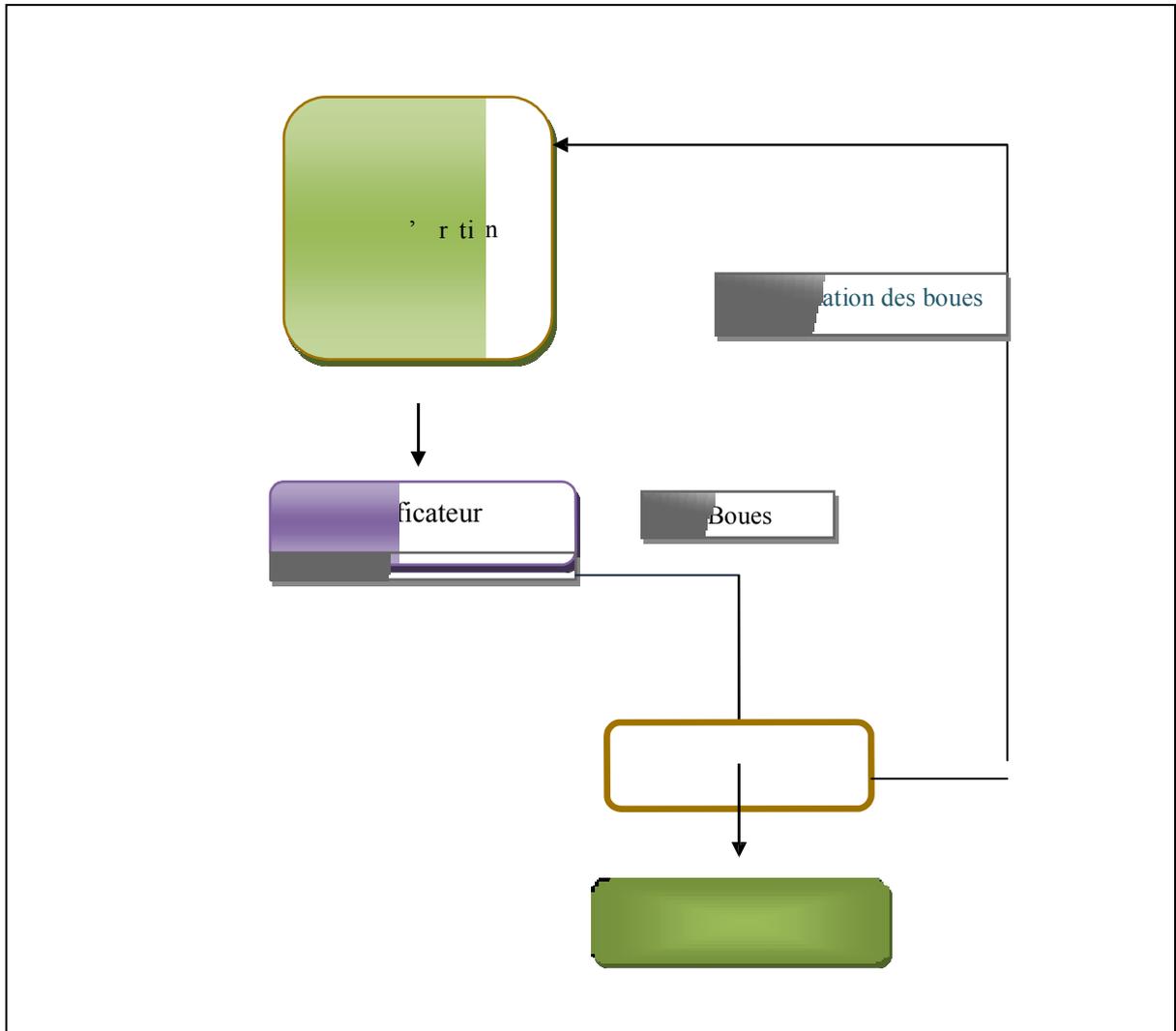


Figure II.10 : Schéma de recirculations des boues

II.2.3.2. Épaississement des boues :

Les boues en excès seront épaissies par gravité dans cet ouvrage un mécanisme de rotation lent augmente l'efficacité du processus d'épaississement et augmente le contenu des matières solides.

L'épaississement est du type cylindrique à hauteur droite :

Les caractéristiques : les caractéristiques de L'épaississement sont représentées dans le tableau II.17 et la figure II.11:

Tableau II.17 : Les caractéristiques d'épaisseur des boues.

Caractéristiques	
Diamètre	11m
Hauteur	4m
Surface	95m ²
Volume	380m ³
Siccité des boues épaissies	3,5%(35KG/m ³)
Production des boues	130m ³ /jour
Temps de séjour de la boue	3jour

Source: STEP de TIPAZA 2012

**Figure II.11**: L'épaisseur.

II.2.3.3. déshydratation des boues par filtre à bande :

Les boues épaissies sont déshydratées par filtres bandes pour garantir une opération continue même pendant les périodes de maintenance, deux filtres complémentaires indépendants sont installés en parallèles.

Chaque filtre est équipé de sa propre pompe à polymère de sa propre pompe d'alimentation en boues :

Les caractéristiques : les caractéristiques de filtre à bande sont représentées dans le tableau II.18 :

Tableau II.18 : Les caractéristiques de filtre à bande.

Caractéristiques	
Dimensions	3406X 1700 mm haut : 1815 mm
La siccité moyenne	20%
Régime d'exploitation	7 jours par semaine et 12h/ jour
Capacité de traitement de boues	378 Kg
Débit horaire à 3.5%	10.8 m3/h
Largeur de bandes	1.20 m

Source: STEP de TIPAZA 2012

L'unité de déshydratation est représentée dans la figure II.12



Figure II.12 : Unité de déshydratation.

-Dosage du polymère : Le polymère est ajouté à la boue pour améliorer ses caractéristiques de déshydratation. Il permet d'obtenir de plus hautes concentrations en matière sèche. Ce polymère se présente sous forme de poudre ; à dissoudre dans une concentration de 0,1 à 0,2%, il est prévu une unité de préparation automatique. Le dosage moyen du polymère est normalement de 4 à 6 kg par tonne de boue sèche.

-Unité de préparation du polymère :

L'unité de préparation de polymère (figure II.13) est formée : d'une bache équipée de deux agitateurs qui assurent le mélange de polymère dans l'eau, une petite quantité de polymère équipée par un mélangeur de polymère, et deux pompes doseuses qui servent à injecter la solution du polymère dans les réacteurs cylindriques.



Figure II.13: Unité de préparation de polymère.

Conclusion :

Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que les boues résiduaires de la STEP de Tipaza répondent pratiquement à toutes les normes de la FAO et OMS, ce qui encourage leurs utilisations pour l'épandage sans craindre rien.

Chapitre III :
utilisation potentielle
et présentation
des parcelles

Introduction :

Dans ce chapitre on va s'intéresser à l'utilisation potentielle des boues (dans notre pays, à Tipaza exactement), et la présentation des parcelles où on utilise ces boues (épandage agricole)

III.1 : Utilisation potentielle :**III.1.1- La Valorisation Agricole**

Les effets bénéfiques de l'utilisation des boues dans l'agriculture ont été prouvés par de nombreux chercheurs. En effet, leur application améliore les propriétés physique, chimique et biologique du sol (Korboulewsky et al., 2001 ; White et al., 1997 in Bozkurt et Yarılgaç ,2003), qui se traduit par une augmentation de la biomasse et du rendement des plantes :

pommiers (Bozkurt et Yarılgaç ,2003 ;) ; blé hivernal (Chang et al., 1982a); sorgho et du millet (Sabey et Hart 1975) ; maïs (N'Dayegamiye et al., 2004). Masoni et al. (2002) ont aussi démontré l'aspect positif des boues issues de l'industrie vinicole dans l'amélioration du rendement du blé d'hiver. Ait Hamou et Hermouche (1997) ont travaillé sur une boue urbaine digérée et ont pu mettre en évidence son action fertilisante et ont montré que l'effet des boues se manifestait et se caractérisait par des résultats avoisinants au fumier de ferme sur le rendement et la qualité des tubercules de pomme de terre. Debba (2005) qui a utilisé des boues résiduelles lagunées et des boues de produits laitiers a montré que les rendements des parcelles ayant subi les traitements de boues peuvent atteindre le double des parcelles témoins. Les deux contraintes majeures qui doivent être gérées, lorsqu'on opte pour une valorisation agricole des boues, sont les ETM et les pathogènes. Des risques sanitaires liés à la présence de germes pathogènes sont également à prendre en considération, même si ceux-ci demeurent faibles, surtout pour les produits qui ont été préalablement compostés ou déshydratés. En outre, le pouvoir épurateur du sol a ses limites. Malgré le danger immédiat qui peut être causé par les pathogènes, ils demeurent plus maîtrisables que les problèmes liés aux ETM (Soudi, 2005)

III.1.2- L'épandage en forêt :

Des possibilités de valorisation agronomique existent potentiellement en sylviculture (production de bois) ou pour la réhabilitation de sites dégradés (végétalisation). En France, certaines parcelles boisées pourraient être utilisées pour recycler les boues, par exemple des plantations forestières destinées à la production de biomasse ligneuse (Timbal, 2004).

L'utilisation de plantations forestières peut offrir de nombreux avantages par rapport à des systèmes de valorisation purement agricoles. En effet, le bois par exemple est un produit qui ne fait pas partie de la chaîne alimentaire (Marx et al., 1995).

La réponse des peuplements forestiers à l'épandage est variable. Elle dépend, comme nous pouvons le supposer, de l'espèce forestière et de la composition chimique des produits épandus. Les réponses les plus favorables sur la croissance ont été obtenues sur les peuplements de feuillus lors d'un épandage de boues urbaines (Bailly et Gautry, 2006)..

Au Québec, Couillard (1986), en utilisant de la boue anaérobie liquide, a constaté que des semis de Mélèze « laricina » se comportent d'une manière satisfaisante sur un substrat aussi pauvre que du sable.

Le Tacon et al. (1978) rapportent que l'élimination de la phase de maturation diminue le taux de survie des plantations. Les plants survivants souffrent de nécroses, chloroses et autres symptômes de toxicité ; le taux de survie variant de 60% avec une boue non stabilisée, à 100% après six mois d'épandage de la boue à l'air libre.

Labrecque et al. (1998) ont utilisé des boues des eaux usées comme fertilisant dans la culture intensive avec de courtes rotations du saule pour accroître la productivité de cette essence (Des boutures de *Salix discolor* Mühl. et de *Salix viminalis* L.), chaque augmentation de la dose de boue s'est traduite par une augmentation de la productivité. Une dose modérée de boue sous forme de granules séchées (100 kg/ha d'azote « disponible ») semble être un fertilisant adéquat pour l'établissement du saule tout en minimisant les risques de lessivage des nitrates.

Timbal (2004) a constaté qu'au bout de 3 ans, les boues liquides augmentent la croissance des arbres de 16%, et que cette croissance est vraisemblablement due à l'amélioration de la nutrition minérale, surtout phosphatée, mise en évidence en analysant les aiguilles de pin. Mais l'effet le plus spectaculaire est visible sur le sous-bois, avec une augmentation de biomasse de 300% avec les boues liquides et 150 % avec le compost. Les débouchés potentiels des boues sont encore nombreux en sylviculture et reconstitution de sols. La capacité d'amendement des boues peut être exploitée pour des travaux d'aménagement de talus routiers (Bruhier et al., 2002), la réhabilitation de friches industrielles, urbaines ou de décharges, l'épandage sur parcelles boisées, la création d'espaces de loisirs...etc., permet un apport de matière organique en grande quantité nécessaire à la réinstallation du couvert végétal et à la cicatrisation du paysage.

III.1.3- Autres valorisations

Il est également envisageable de fabriquer des matières fertilisantes commerciales à partir de la matière sèche des boues d'épuration (Dudkowski, 2000) les boues peuvent servir de matière première pour la fabrication d'engrais et d'amendements organiques ou calcique. C'est une voie développée ou en voie de développement, dans plusieurs pays.

III.2.présentation des parcelles :

Dans cette partie on doit présenter les parcelles où on utilise les boues, mais malheureusement aucun agriculteur ne les utilise. Par ailleurs il y a ceux qui envisagent l'épandage, donc on présenter un de ces parcelles.

III.2.1.Localisation de la zone d'étude :

La zone d'étude est localisée dans la Wilaya de Tipaza, elle est située dans le secteur de la vallée de Nador secteur (IV) du périmètre Sahel Algérois Ouest à environ 65 Km à ***l'Ouest d'Alger*** et il est limité :

- ❖ Au Nord par la commune de Tipaza.
- ❖ Au Sud, par la commune de Nador.
- ❖ À l'Est par la commune Hadjout.
- ❖ À l'Ouest par l'Oued El Nador.

Tableau III.1. Répartition de la superficie équipée du périmètre d'irrigation Sahel Algérois Ouest.

périmètre	Secteur	superficie	ha
Sahel Algérois Ouest	I	656	
	II	818	
	III	782	
	IV	333	
	V	299	
Total		2888	

La figure (III.1) ci-dessous présente la localisation de la zone d'étude.



Figure III.1 : délimitation de la zone d'étude (extrait de carte topographique de Tipaza à l'échelle 1/250 000)

III.2.2-Données naturelles du site

III.2.2.1-Situation topographique

La plaine qui occupe une partie importante de la commune représente une pente de 0 % à 5 % de cette catégorie où la ville est implantée. La pente va du Sud vers le Nord jusqu'aux environs de l'Oued de Bourkika pour progresser ensuite vers les collines. En allant vers le Sud de la ville l'altitude augmente et atteint une cote de 100 mètres

III.2.2.2- géologique :

En général, la structure morphologique ne date pas du quaternaire mais a été modulée au cours du miocène, et la sédimentation fut ici essentiellement continentale.

D'après la carte géologique de Tipaza, le terrain comporte un faciès limoneux à argileux constitué d'alluvion récentes qui occupent de grandes surfaces le long des principaux oueds et de leurs affluents ainsi que flancs collinaires.

Elles sont essentiellement constituées par des limons très fins dont les caractéristiques pétrographiques et pétro physiques sont plutôt celles des argiles.

Donc on peut dire que notre région convienne à toutes les cultures, en particulier aux cultures pérennes (vignes et agrumes).

III.2.2.3-Hydrogéologie :

Au niveau du périmètre du Sahel Algérois Ouest, comme dans les environs de vallée de Nador, nous notons la présence de deux ensembles aquifères, ou plus exactement deux nappes l'une superficielle nommée nappe quaternaire, la deuxième profonde, nommée sous le nom de nappe des grés astiens. Ces deux nappes sont séparées par un niveau argileux, appelé communément marnes jaunes, ou de maisons carrées.

Dans le cadre de la surveillance périodique de la fluctuation des eaux souterraines de la nappe de sahel algérois ouest, un réseau de surveillance représenté par des puits forages et piézomètres, permet de suivre les fluctuations de la nappe dans ses différentes localités.

Notons que deux campagnes de mesure du niveau de la profondeur de la nappe sont effectuées régulièrement, une en période des « hautes eaux » et l'autre en période des « basses eaux ». La comparaison entre les deux campagnes, a mis en évidence l'abaissement du niveau de la profondeur de la nappe de sahel algérois ouest. Due essentiellement au pompage continu au niveau de ce forage

Cette baisse de la surface piézométrique s'expliqua aussi par plusieurs facteurs à savoir :

- 1- Longue période de sécheresse (des 2 dernières décennies) combinée à une importante prolifération des forages.
- 2- Le commencement précoce de l'irrigation dû à cette sécheresse.
- 3- Importance des surfaces irrigables.
- 4- La déperdition des eaux par ruissellement.

III.2.24-Sismicité :

La zone de l'étude se trouve dans la zone territoriale où l'intensité sismique est non négligeable, car elle se situe au-dessus de la faille tectonique qui sépare le continent Africain du continent Européen.

III.2.2.5-Situation climatique

La zone de l'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen :

- humide et pluvieux en hiver.
- Chaud et sec en été.

D'après les stations d'observations mises en place par l'A-N-R-H et par l'O-N-M, les données sont les suivantes :

III.2.2.5.1-Pluviométrie :

Pluviométrie moyenne mensuelle sur une période d'observation de 31 ans à la station de Hadjout

Tableau III.2 : Pluviométrie moyenne mensuelle (1980 à 2011)

Mois	sept	Oct	nov	Dec	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juil	aout	année
p (mm)	20,6	57,2	66,6	72,7	73,7	66,4	63,4	51,0	36,2	8,4	1,3	1,0	518,7

Source : [ANRH] Blida

D'après le tableau précédent ; on remarque que la pluviométrie annuelle moyenne est répartie comme suit :

- Saison pluvieuse Octobre de à Mars.
- Saison sèche de juin à aout.
- Saison moyenne d' septembre, Mai et Avril.

III.2.2.5.2-Température :

Relevés mensuels moyens des températures sur une période de 24 ans

Tableau III.3 : températures moyenne mensuelles et annuelles (1988à2011).

Mois	Janv	Fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec	Moy annuelle
Tmin°C	5,81	6,35	8,55	10,14	12,98	17,48	20,32	19,95	17,50	13,35	9,97	8,21	12,55
Tmax°C	17,31	17,94	20,11	21,61	25,88	30,02	33,16	33,60	29,21	26,88	21,33	17,67	24,56
Tmoy°C	11,21	11,84	13,94	15,64	18,98	22,92	26,38	26,76	22,95	19,63	15,41	12,75	18.20

Source : [ANRH] Blida

D'après les résultats portés au tableau précédent ; on trouve que :

- La moyenne du mois le plus froid est de 11,21°C correspondant au mois de janvier.
- La moyenne du mois le plus chaud est de 26,76 °C correspondant au mois d'Août.
- La température moyenne annuelle est de 18,20°C.

III.2.2.5.3.Humidité :

L'humidité de l'air est donnée par le tableau suivant :

Tableau III.04 : Humidités moyennes mensuelles (station de Tipaza)

Mois	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
Humidité %	64,45	62,15	68,19	65,12	71,26	79,12	80,12	70,36	71 ,30	75,67	79,13	78,25

Source: [ANRH] Blida

III.2.2.5.4.Les vents

Les directions dominantes des vents sont celles de l'Ouest au Nord-Est. Les vents de l'Ouest sont dominants pendant l'automne, l'hiver et le début du printemps. La vitesse des vents est donnée par le tableau III-04 :

Tableau III.05 : Vitesses moyennes mensuelles des vents

Mois	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	Dec
V (m/s)	3,84	4,00	3,62	4,60	5,00	4,61	4,76	4,51	4,42	3,01	4,55	3,98

Source : [ANRH] Blida

III.2.2.5.5.Evaporation

L'évaporation est un problème physique qui croit avec la température et la sécheresse de l'air. La quantité d'eau évaporée pendant un temps donné dépend de plusieurs facteurs liés d'une part à l'état de l'atmosphère, d'autre part à la surface évaporante.

Tableau III.06 : Moyenne mensuelle de l'évaporation :

Mois	janv	Fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nov	dec
Ev (mm)	58,10	73,03	101,85	124,31	159,68	211,25	231,11	207,30	162,38	126,58	76,93	63,84

Source : [ANRH] Blida

III.2.2.5.6.Gel : Les gelées apparaissent à partir du mois de décembre jusqu'au mois d'avril.

Le nombre de jour de gelée enregistré est de 1,8 le maximum se trouve en janvier

Tableau III.07 : Nombre moyen de jours de gelée

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
Nombre de jours	1,8	1,6	0,4	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0,4

Source SELTZER

III.2.2.5.7.Insolation

L'insolation est la période durant laquelle le soleil brille sur le sol.

Tableau III.08 : Moyenne mensuelle de l'insolation

Mois	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
Moy(h/J)	5,6	6,4	7,7	7,9	8,3	10	10,6	9,8	8,3	7,4	5,8	4,5

Source SELTZER

III.2.2.6. Classification de climat :**III.2.2.6.1. Classification du climat selon l'indice de MARTON :**

L'indice d'aridité ou de MARTON est un paramètre qui permet la classification de climat afin de nous renseigner sur l'indisponibilité de l'irrigation par rapport au climat.

L'indice d'aridité est donné par l'expression :

$$I = \frac{1000(T - P)}{P}$$

Avec :

I : indice de MARTON

P : précipitation annuelle moyenne de la région en (mm/an)

T : température moyenne annuelle en °c

TABLEAU III.09 : classification de climat selon MARTON

VALEURS DE I	TYPE DE CLIMAT	IRRIGATION
$I < 5$	Désertique	Indispensable
$5 < I < 10$	Très sec	Indispensable
$10 < I < 20$	Sec	Souvent indispensable
$20 < I < 30$	Relativement humide	Parfois utile
$I > 30$	Humide	Inutile

Pour : P=518,7mm, T=18.20°C

On aura :

Selon l'indice d'aridité calculé, on constate d'après la classification ci-dessus que la région est soumise à un régime de climat SEC, et que l'irrigation est souvent indispensable.

III.2.2.6.2. Classification de climat selon le diagramme d'EMBERGER

La méthode est fondée sur un diagramme dressé par EMBERGER qui nous renseigne sur le type de climat, ainsi que la nature d'hiver dominant d'une région. Le quotient d'EMBERGER que nous avons projeté sur le diagramme bioclimatique est le suivant :

$$\frac{P}{M - m}$$

avec :

P : précipitation moyenne annuelle de la région (mm)

M : température moyenne maximale du mois le plus chaud en (K°)

m : température moyenne minimale du mois le plus froid en (K°)

Pour : P=518.7mm

$$M=33.6+273=306.6K^{\circ}$$

$$m=5.81+273=278.81 K^{\circ}$$

On aura :

$$\frac{518.7}{306.6 - 278.81} = 18.7$$

D'après le diagramme bioclimatique, la zone de Hadjout jouit d'un climat subhumide et caractérisé par des hivers chaud.

III.2. 3. Climogramme pluvio-thermique de BAGNOULS ET GAUSSEN :

Ces deux auteurs considèrent qu'un mois est sec quand le total de la précipitation **P** en millimètre est inférieur au double de la température **T**, c'est-à-dire quand le rapport $P/T < 2$ ou $P < 2 T$ (BAGNOULS G. et GAUSSEN H. 1953).

Le diagramme ombrothermique permet la détermination de la période sèche.

Sur le diagramme sont reportés :

- En abscisses : les mois de l'année.
- En ordonnées : les températures mensuelles d'un côté, et les précipitations moyennes mensuelles à une échelle double de celle des températures de l'autre.

Lorsque la courbe des précipitations passe au-dessous de la courbe des températures, la période qui s'étale entre les points d'interactions des deux courbes correspond à la durée de la période sèche.

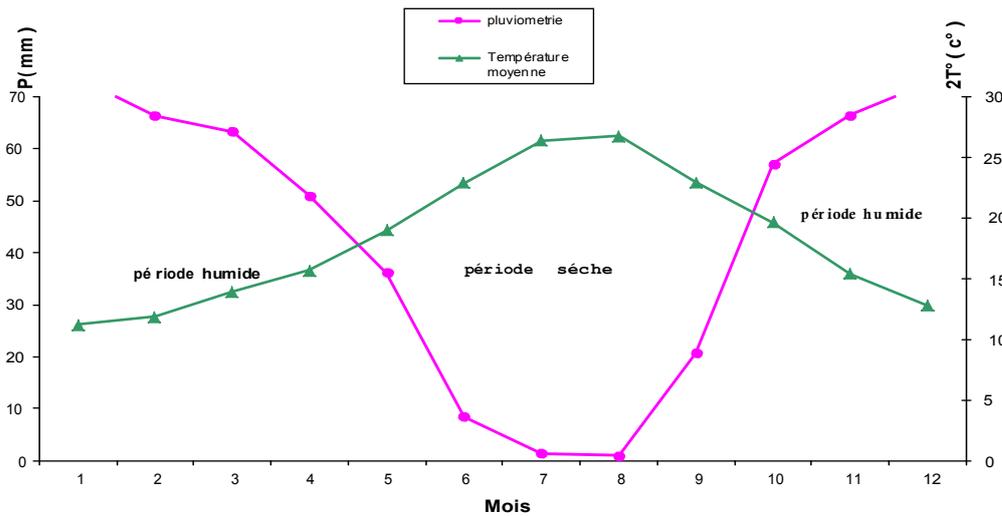


Fig. III.2 : Climogramme pluviothermique

Description du graphe :

Le diagramme Ombrothermique de la région de Hadjout pour la période (1980-2011) révèle la présence d'une période sèche qui dépasse quatre mois, elle s'étale de mai au mois octobre. de ce fait, il est indispensable d'apporter l'eau par l'irrigation à la zone d'étude notamment pendant cette période.

III.2.4. Hydrologie :

Pour déterminer les caractéristiques des pluies de fréquences données, qui conditionnent l'étude de notre projet d'irrigation, tels que : le calcul des besoins des cultures à projeter dans le périmètre, ainsi que le dimensionnement de réseau de distribution.

III.2.4.1. Réseau pluviométrique :

La région d'étude dispose d'une station pluviométrique gérée par l'Agence Nationale des Ressources en Hydrauliques (ANRH) .

Le tableau III.10, décrit la position de cette station.

Tableau III.10 : Caractéristiques de la station pluviométrique

Nom de la station	Code	Coordonnées en Lambert		Altitude (m)	Période d'observation	Nombre d'années observées
		X(Km)	Y(Km)			
HADJOUT	020325	475.85	358.85	59	1980-2011	31

Les pluies mensuelles de la station pluviométrique Hadjout sont dans le tableau III.11.

Tableau III.11. Les pluies mensuelles de la station pluviométrique Hadjout :

Année	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fevr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Total
1980/81	5,3	54	16,1	70,2	132,7	95,2	34,9	27,5	90,5	0	0	1,2	527,6
1981/82	47,9	76,1	227,6	76,3	76,42	54,9	32,5	11,4	70,54	0	1,2	0,5	675,36
1982/83	0	78,34	30,8	96,9	159,6	114,7	53,6	33,7	60,6	19,8	0	1	649,04
1983/84	16,9	266,2	50,5	139,2	105,1	40,6	153,7	18,1	96,9	12	1	0	900,2
1984/85	7,9	30,8	91,7	38,8	38,2	50,6	123,5	15,9	11	26,4	5,8	0	440,6
1985/86	53,4	150,6	106	226,7	87,7	149,4	19,3	30,12	50,23	6,7	13,5	0,3	893,95
1986/87	51,8	60,12	77	57,6	29,2	18,8	39,5	24,8	44,4	34,4	0	0	437,62
1987/88	74,6	46,4	42,4	113,5	23,5	90,34	73,4	71,6	12,6	7,9	0	2,4	558,64
1988/89	17	6,2	24,9	22,6	68,9	17,65	74,2	27,7	45,1	0	0	0	304,25
1989/90	7,6	31,5	47,7	82,6	77,2	48,1	63,3	9,3	20,5	6,4	0	1,6	395,8
1990/91	5,8	123,7	10,8	51	154,1	19,9	64	51,5	47,6	7,9	0,9	0,2	537,4
1991/92	0	78	31,5	95,9	15,1	91,1	13,9	61,9	6,3	0	0	0	393,7
1992/93	3,3	43	54,9	31	107,2	24,6	34,6	73,9	6,4	0	0	1,4	380,3
1993/94	69,3	28,1	44,5	42,2	98,4	55,5	80,4	16,8	12,33	4,1	0	2,1	453,73
1994/95	10,4	69	67,87	80,23	77,45	67,8	58,6	197,1	17,5	12,1	2,3	0	660,35
1995/96	11,6	79,8	10,7	22,3	26,4	18,7	77,77	83,7	9,5	0	0	1,2	341,67
1996/97	26,2	51,2	76,3	41,6	45,23	32,2	62,7	90,3	96,7	5,6	0	0	528,03
1997/98	6,2	20,8	88,4	50,2	68	135,9	92,2	87,34	12,1	0	10,12	1,4	572,66
1998/99	0	13,54	73,9	67,4	12,5	70,4	70,38	11,5	21,4	4,6	0	0	345,62
1999/00	2,3	41,9	59,8	24,5	105,4	23,1	54,73	62,1	10,7	0	2,54	2,3	389,37
2000/01	12,5	10,2	45,9	36,6	21,3	15,7	70,34	50,45	19,4	10,34	0	1,1	293,83
2001/02	3,2	12,7	46,1	22,8	159,3	122,2	100,12	46,5	5,3	0	0	0	518,22
2002/03	19,6	21,1	45,4	50,5	73,8	24,8	28,1	73,7	66,6	50,34	0	0	453,94
2003/04	9,4	12,3	77,4	101,2	87,8	101,9	90,9	10,4	30,6	0	0	0	521,9
2004/05	0	34,1	57,6	97,6	89,9	36,7	40,5	35	24,8	10	2	1,6	429,8
2005/06	11,2	45,2	67,8	153,3	80,23	42,4	73,3	59,5	54,34	10,13	0	0	597,4
2006/07	41,8	77,8	148,2	71,4	17,6	67,65	42,5	34	20	2,5	0	0	523,45
2007/08	29,8	62	96,2	79,7	79,8	11,5	73,7	62,9	31,7	0	0	0	527,3
2008/09	78,2	4,3	77,6	80,9	63,1	71,4	80	20,1	16,1	10,3	0	14,1	516,1
2009/10	1,4	97,6	62,2	57,8	81,4	111,1	31,9	81,2	96,7	19,4	2,2	0	642,9
2010/11	12,9	46,9	108,3	71,3	23,1	233,3	57,3	100,3	13,7	0,5	0	0	667,6

Source : ANRH (Blida)

Au vu du tableau III-11 la répartition des précipitations est irrégulière et variable suivant les mois et les années. Ces pluies sont nettement insuffisantes pour les mois de juin, juillet et août, elles sont moyennes au printemps et maximales en hiver.

L'étude de la série s'effectue par le logiciel de l'hydrologie, ainsi que son diagramme de dispersion et son traitement. Le logiciel fait son ajustement aux lois théoriques (log normale et normale)

III.2.4.2. Homogénéité De La Série Pluviométrique :

Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique on procède au Test de Wilcoxon :

La vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique par cette méthode repose sur le procédé ci-dessous :

- On divise la série complète en deux sous séries : x et y tel que : N_1 et N_2

Représentant respectivement les tailles de ces deux sous séries considérant généralement $N_1 < N_2$

- On constitue par la suite, la série x unions y après avoir classé la série de pluie d'origine par ordre croissant. a ce stade, on attribue a chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang tout en précisant à quelle sous séries appartient elle.

Wilcoxon a montré que la série est homogène avec une probabilité de 95%, si la relation ci-dessous est vérifiée.

Avec : $W_{\min} < W_x < W_{\max}$

$$W_x = \left| \text{Rang} \right|_x$$

W_x : Somme des rangs de sous séries

$$W_{\min} = \left[\left(\frac{(N_1 + N_2 + 1) \times N_1 - 1}{2} \right) - 1,96 \times \left(\frac{N_1 \times N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12} \right) \right]^{1/2}$$

$$W_{\max} = \left[(N_1 + N_2 + 1) \times N_1 - W_{\min} \right]$$

Le tableau I.12 détaille le procédé de Test d'homogénéité pour la station de Hadjout :

Tableau III.12 : teste de wilcoxon

Rang	Série d'origine P (mm)	Série x (mm)	Séries-y (mm)	TRI (mm)	x union y
1	527,6	527,6	341,67	293,83	Y
2	675,36	675,36	528,03	304,25	X
3	649,04	649,04	572,66	341,67	Y
4	900,2	900,2	345,62	345,62	Y
5	440,6	440,6	389,37	380,3	X
6	893,95	893,95	293,83	389,37	Y
7	437,62	437,62	518,22	393,7	X
8	558,64	558,64	453,94	395,8	X
9	304,25	304,25	521,9	429,8	Y
10	395,8	395,8	429,8	437,62	X
11	537,4	537,4	597,4	440,6	X
12	393,7	393,7	523,45	453,73	X
13	380,3	380,3	527,3	453,94	Y
14	453,73	453,73	516,1	516,1	Y
15	660,35	660,35	642,9	518,22	Y
16	341,67		667,6	521,9	Y
17	528,03			523,45	Y
18	572,66			527,3	Y
19	345,62			527,6	X
20	389,37			528,03	Y
21	293,83			537,4	X
22	518,22			558,64	X
23	453,94			572,66	Y
24	521,9			597,4	Y
25	429,8			642,9	Y
26	597,4			649,04	X
27	523,45			660,35	X
28	527,3			667,6	Y
29	516,1			675,36	X
30	642,9			893,95	X
31	667,6			900,2	X

N1	N2	W_{min}	W_x	W_{max}
15	16	189,92	260	290,08

$$189,92 < 260 < 290,08$$

La condition de M^f Wilson est vérifiée, donc la série des précipitations moyennes annuelles de la station de Hadjout est homogène.

Après avoir vérifié l'homogénéité de la série, il faudra choisir une loi de probabilité susceptible de s'ajuster d'une manière à notre échantillon. C'est à partir de cette loi, que l'on pourra estimer analytiquement ou graphiquement la valeur de la pluie moyenne annuelle d'une fréquence 80% avec une période de retour de 5 ans, valeur à partir de laquelle nous pourrions estimer la pluie moyenne mensuelle de fréquence 80% sur la même période de retour.

III.2.4.3. ETUDE DE L'ECHANTILLON ET LE CHOIX DU TYPE DE LOI :

La pluviométrie est souvent ajustable à des lois statistiques très nombreuses, on utilise Pour notre projet celle qui garantit le meilleur ajustement possible. Les lois d'ajustement les Plus communément employées sont les suivantes

- Loi de Gauss ou loi Normale
- Loi de Galton ou loi log –Normale

III.2.4.3.1. Traitement des données :

La simulation des apports annuels avec le logiciel Hyfran nous donne les résultats suivantes :

Station Hadjout

Statistiques de base

Nombre d'observations : 31

Minimum : 293 , Maximum: 900 , Moyenne : 518 , Ecart-type : 147 , Médiane : 521.

Coefficient de variation (Cv) : 0.284

Coefficient d'asymétrie (Cs) : 0.897

Coefficient d'aplatissement (Ck) : 3.49

III .2.4.3.2. AJUSTEMENT DE LA SERIE PLUVIOMETRIQUE

On soumet la série pluviométrique annuelle de la station retenue aux ajustements à la loi

Normale et la loi log -normale

III.2.4.3.2.1. Ajustement de la série pluviométrique à la loi log-Normale

Les résultats de l'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles de la station de Hadjout sont regroupés dans le tableau III-13 et la figure III.3

Tableau III.13 : Ajustement à une loi Log-normal

Taille n=31 x ₀ =0		Moy.log(x-x ₀)=2,6432433 E.T. log(x-x ₀)=0,1478684		I.C. à (en%)= 95			U Gauss= 1,96	
Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
527,6	293,83	1	0,016	-2,142	293,83	276,773	220,568	321,210
675,36	304,25	2	0,048	-1,661	304,25	316,016	261,321	359,698
649,04	341,67	3	0,081	-1,401	341,67	339,525	286,066	382,904
900,2	345,62	4	0,113	-1,211	345,62	357,762	305,337	401,074
440,6	380,3	5	0,145	-1,057	380,3	373,283	321,740	416,703
893,95	389,37	6	0,177	-0,925	389,37	387,159	336,369	430,834
437,62	393,7	7	0,21	-0,807	393,7	399,949	349,801	444,020
558,64	395,8	8	0,242	-0,7	395,8	411,993	362,381	456,596
304,25	429,8	9	0,274	-0,6	429,8	423,517	374,339	468,789
395,8	437,62	10	0,306	-0,506	437,62	434,681	385,835	480,765
537,4	440,6	11	0,339	-0,416	440,6	445,607	396,992	492,653
393,7	453,73	12	0,371	-0,329	453,73	456,394	407,905	504,562
380,3	453,94	13	0,403	-0,245	453,94	467,128	418,652	516,588
453,73	516,1	14	0,435	-0,162	516,1	477,883	429,305	528,823
660,35	518,22	15	0,468	-0,081	518,22	488,73	439,925	541,353
341,67	521,9	16	0,5	0	521,9	499,741	450,575	554,271
528,03	523,45	17	0,532	0,081	523,45	510,999	461,326	567,689
572,66	527,3	18	0,565	0,162	527,3	522,598	472,258	581,733
345,62	527,6	19	0,597	0,245	527,6	534,63	483,442	596,535
389,37	528,03	20	0,629	0,329	528,03	547,204	494,965	612,253
293,83	537,4	21	0,661	0,416	537,4	560,451	506,931	629,082
518,22	558,64	22	0,694	0,506	558,64	574,538	519,466	647,272
453,94	572,66	23	0,726	0,6	572,66	589,683	532,735	667,151
521,9	597,4	24	0,758	0,7	597,4	606,176	546,962	689,166
429,8	642,9	25	0,79	0,807	642,9	624,431	562,453	713,951
597,4	649,04	26	0,823	0,925	649,04	645,06	579,667	742,460
523,45	660,35	27	0,855	1,057	660,35	669,038	599,326	776,219
527,3	667,6	28	0,887	1,211	667,6	698,064	622,680	817,918
516,1	675,36	29	0,919	1,401	675,36	735,56	652,228	873,018
642,9	893,95	30	0,952	1,661	893,95	790,279	694,306	955,686
667,6	900,2	31	0,984	2,142	900,2	902,331	777,500	1132,264

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,2	-0,841	396,20273	345,8734	440,14118	396,203	0,2	1,3
0,5	0	499,74059	450,5746	554,27147	499,741	0,5	2
0,8	0,841	630,33548	567,4103	722,05803	630,335	0,8	5

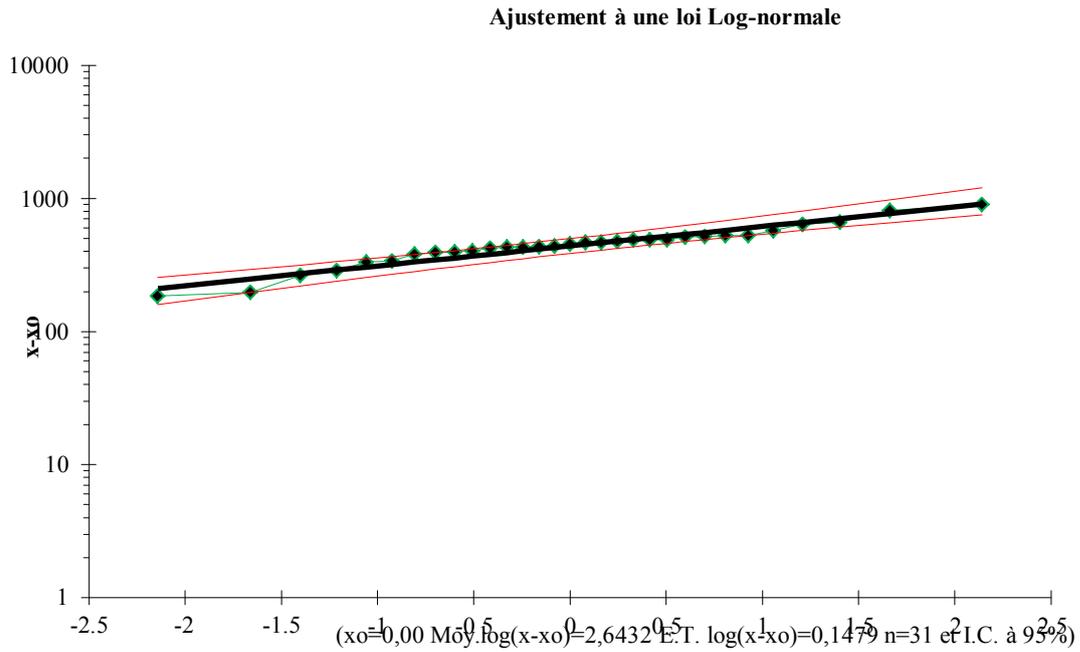


fig III.3 : Ajustement à une loi log-normale

III.2.4.3.2.2. Ajustement de la série pluviométrique à la loi Normale

Les résultats de l'ajustement de la série des pluies moyennes annuelles de la station de Hadjout sont regroupés dans le tableau III-14 et la figure III.4.

Tableau III.14 : Ajustement à la loi normale :

Taille n= 31		Moyenne= 518,655806 Ecart-type= 147,233495		I.C. à (en%)= 95			U Gauss= 1,96	
Valeurs de départ	Valeurs Classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne Supérieure
527,6	293,83	1	0,0161	-2,142	293,83	203,33	82,20	282,79
675,36	304,25	2	0,0484	-1,661	304,25	274,09	172,68	343,18
649,04	341,67	3	0,0806	-1,401	341,67	312,38	220,96	376,55
900,2	345,62	4	0,1129	-1,211	345,62	340,30	255,75	401,29
440,6	380,3	5	0,1452	-1,057	380,3	362,97	283,67	421,69
893,95	389,37	6	0,1774	-0,925	389,37	382,44	307,40	439,48
437,62	393,7	7	0,2097	-0,807	393,7	399,79	328,29	455,57
558,64	395,8	8	0,2419	-0,700	395,8	415,62	347,15	470,47
304,25	429,8	9	0,2742	-0,600	429,8	430,34	364,47	484,54
395,8	437,62	10	0,3065	-0,506	437,62	444,23	380,62	498,00
537,4	440,6	11	0,3387	-0,416	440,6	457,47	395,83	511,03
393,7	453,73	12	0,3710	-0,329	453,73	470,24	410,30	523,78
380,3	453,94	13	0,4032	-0,245	453,94	482,64	424,18	536,35
453,73	516,1	14	0,4355	-0,162	516,1	494,79	437,58	548,84
660,35	518,22	15	0,4677	-0,081	518,22	506,77	450,63	561,34
341,67	521,9	16	0,5000	0,000	521,9	518,66	463,39	573,92
528,03	523,45	17	0,5323	0,081	523,45	530,54	475,97	586,69
572,66	527,3	18	0,5645	0,162	527,3	542,52	488,47	599,73
345,62	527,6	19	0,5968	0,245	527,6	554,67	500,96	613,14
389,37	528,03	20	0,6290	0,329	528,03	567,07	513,53	627,01
293,83	537,4	21	0,6613	0,416	537,4	579,84	526,28	641,48
518,22	558,64	22	0,6935	0,506	558,64	593,09	539,31	656,70
453,94	572,66	23	0,7258	0,600	572,66	606,97	552,77	672,84
521,9	597,4	24	0,7581	0,700	597,4	621,69	566,84	690,16
429,8	642,9	25	0,7903	0,807	642,9	637,52	581,74	709,02
597,4	649,04	26	0,8226	0,925	649,04	654,87	597,83	729,91
523,45	660,35	27	0,8548	1,057	660,35	674,34	615,63	753,64
527,3	667,6	28	0,8871	1,211	667,6	697,01	636,03	781,56
516,1	675,36	29	0,9194	1,401	675,36	724,93	660,77	816,35
642,9	893,95	30	0,9516	1,661	893,95	763,22	694,13	864,63
667,6	900,2	31	0,9839	2,142	900,2	833,98	754,52	955,11

Fréquence	U de Gauss	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0,2	-0,841	394,77	322,268947	450,887444	394,77	0,200	1,3
0,5	0,000	518,66	463,389554	573,922091	518,66	0,500	2,0
0,8	0,841	642,55	586,424168	715,042666	642,55	0,800	5,0

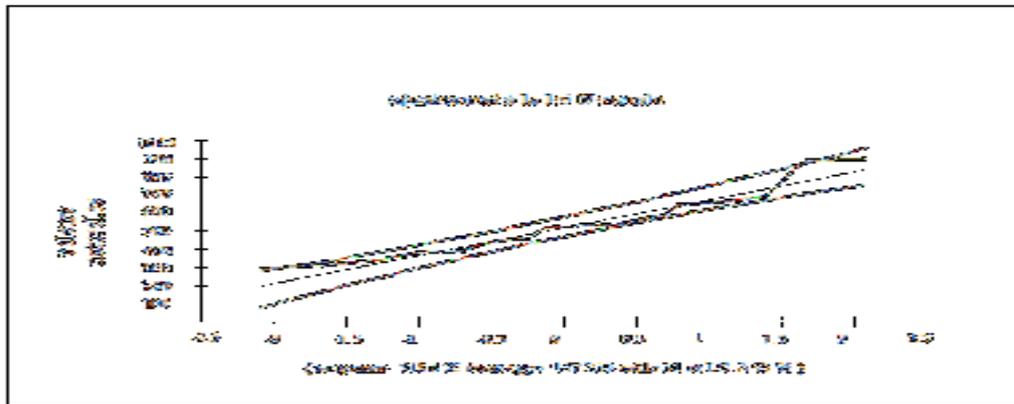


fig III.4 : Ajustement à la loi normale

III.2.4.3.3. Test de validité d'un ajustement :

La loi choisie pour ajuster la distribution statistique de l'échantillon, ne représente qu'approximativement l'échantillon étudié, l'erreur commise en adoptant une loi donnée est une erreur d'adéquation. Il convient par conséquent de comparer l'adéquation de ces lois afin d'adopter le meilleur ajustement. L'un des tests le plus employé, est le test du Khi carré ' χ^2 '

III.2.4.3.3.1. Test de validité de l'ajustement à la loi log-Normale :

Le test de validité de Khi carrée pour l'ajustement à la loi log-Normale est fait par le logiciel HYFRAN

Station Hadjout

Test d'adéquation : Loi log-Normale

Résultats

Khi carré = 1.29

P-value $p = 0.8630$

Degrés de liberté : 4

Nombre des classes 7

III.2.4.3.3.2. Test de validité de l'ajustement à la loi Normale :

Station Hadjout

Test d'adéquation : Loi Normale

Résultats

Khi carré = 4,90

P-value $p = 0.2974$

Degrés de liberté : 4

Nombre des classes 7

Conclusion :

Le test de Khi carré et les Figure N (III.5) ; (III .6) montrent que la loi Log-Normale présente une adéquation meilleure que la loi de Normale.

III.2.4.4. détermination de l'année de calcul :

Détermination de l'année de calcul a pour but de connaître la quantité de pluie qui peut être utilisée par la plante; elle est une fraction de la pluie efficace (pluie de probabilité 80%), (de l'année de calcul de P80%)

Pour trouver la pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80% on utilise la loi suivante :

$$P_{\text{moy } 80 \% \text{ de chaque mois}} = P_{\text{moy de chaque Mois}} \quad \text{III-3}$$

$$P_{\text{théorique } 80\% \text{ annuelle}} = 630,335 \text{ mm}$$

$$P_{\text{théorique } 50\% \text{ annuelle}} = 499,741 \text{ mm}$$

$$P_{\text{théorique } 20\% \text{ annuelle}} = 396,203 \text{ mm}$$

Tableau III.15 : Pluviométrie moyenne pour chaque mois en mm

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Pmoy mm/mois	73,7	66,4	63,4	51,0	36,2	8,4	1,3	1,0	20,6	57,2	66,6	72,7

$$P_{\text{moy } 80 \%} = \text{---} P_{\text{moy .mensuelle}} = 0,79 P_{\text{moy .mensuelle}}$$

Tableau III.16 : les valeurs de $P_{\text{moy } 80 \%}$.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
$P_{\text{moy } 80 \%}$	58,22	52,46	50,09	40,29	28,60	6,64	1,03	0,79	16,27	45,19	52,61	57,43

Chapitre IV :

Dispositif de diagnostic de
l'impact des boues sur les sols
et les réseaux d'irrigation

IV. Introduction :

Le but de ce chapitre est de déterminer les changements qu'apporte l'épandage sur les sols et sur les réseaux d'irrigation. Donc pour les sols on va s'intéresser sur la texture, la structure, le Ph, Ce..., et pour les réseaux d'irrigation on s'intéresse sur la RFU, la dose et les besoins.

IV.1. Impact sur les sols :**IV.1.1. la structure :**

On a un sol prismatique due à la présence d'argile en proportion élevée (47% qui est >40%), et après l'épandage le sol est toujours prismatique avec 42% d'argile.

IV.1.2. la texture :

Notre sol avait une texture fine due à la présence élevée d'argile, et elle est devenue moins fine due au pourcentage élevée en limon dans les boues.

IV.1.3. La densité et la porosité :

Pour la densité on $D_a=1.37$ et $D_r=2.24$, et après l'épandage $D_a=1.52$ et $D_r=2.32$. Pour la porosité $n=0.39$ et après l'épandage $n=0.34$.

IV.1.4. Caractéristique hydrique :

Pour H_{cc} on a le choix de 31 à 39%, après l'épandage c'est 27 à 35%. Pour H_{pf} on a l'intervalle 15 à 19%, et après l'épandage c'est 13 à 17%.

IV.1.5. Matière organique :

On a un taux de 0.7% en MO pour notre sol, et après l'épandage c'est 1.05%. Et le rapport $C/N=8.1$, après l'épandage $C/N=8.6$.

IV.1.6. Salure du sol en mmhos/cm :

La conductivité électrique (CE) est 0.42 mmhos/cm, après l'épandage c'est 0.98 mmhos/cm.

IV.1.7. Ph du sol :

Le Ph mesuré est 7.78, et après l'épandage 7.55.

NB : pour mesurer le Ph et CE on a utilisé des solutions 1/5.

Remarque : d'après les résultats on a un sol calcimagnésique.

IV.2.Impact sur les réseaux d'irrigation :

Pour cette partie on va dimensionner un réseau d'irrigation pour voir l'impact, et pour cela on choisit le goutte à goutte parce que l'épandage est pour l'arboriculture.

I.V.2.1.Besoins en eau d'irrigation :

IV.2.1.1.Définition d'un régime d'irrigation

Le régime d'irrigation est défini comme étant l'ensemble du nombre de doses d'arrosage qu'il faut appliquer aux cultures au cours de toute leur période de végétation dans le but de compenser le déficit hydrique dans la couche active du sol.

IV.2.1.2.Besoins en eau des cultures

IV.2.1.2.1. Définition

En termes généraux, le besoin en eau d'une culture est équivalent au niveau d'évapotranspiration nécessaire à sa croissance optimale.

De façon précise, le besoins en eau est défini comme le niveau d'évapotranspiration d'une culture indemne de maladie et poussant dans une parcelle d'une surface supérieure à un hectare dans des conditions optimales de sol. Ces dernières consistent en une fertilité et une humidité suffisantes pour atteindre le potentiel de production de la culture dans le milieu considéré.

IV.2.1.2.2. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration représente la quantité d'eau perdue sous forme de vapeur à partir d'une surface couverte de végétation. Cette quantité est généralement exprimée par unité de surface et par unité de temps, en $m^3/ha/jour$, en $m^3/ha/mois$ ou en $m^3/ha/an$. Bien entendu, l'évapotranspiration peut également s'écrire en mm/jours par mois ou par an.

On distingue l'évapotranspiration de référence (ET_0), L'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

- **L'évapotranspiration de référence :** est définie comme « le niveau d'évapotranspiration d'une surface importante d'un gazon de hauteur uniforme (entre 8 et

15cm), en croissance active, recouvrant complètement le sol et alimenté en eau de façon non restrictive ».

- **L'évapotranspiration potentielle** : est définie comme l'ensemble des pertes en eau d'un couvert végétal abondant, bien alimenté en eau, lorsque l'énergie (évaporation de l'atmosphère) est le seul facteur qui limite cette évaporation. On peut définir l'ETP comme l'évapotranspiration d'un couvert végétal présentant un développement foliaire maximum (au stade de pleine croissance) couvrant bien le sol, ce dernier étant à la capacité au champ, L'ETP correspond à la « demande d'évaporation » en eau « pouvoir » évaporant de l'air.

- **L'évapotranspiration réelle** : Pendant une période déterminée (jour, mois, cycle végétatif complet), chaque parcelle va perdre, par transpiration et évaporation directe, une certaine quantité d'eau appelée évapotranspiration réelle ETR : celle-ci pourra bien sûr être inférieure ou égale à l'ETP selon que les conditions de celle-ci sont réunies ou non.

IV.2.1.2.3. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration

Il n'est pas question ici de présenter en détail toutes les méthodes utilisées pour le calcul de l'évapotranspiration des cultures.

On distingue généralement deux types :

- Les méthodes directes.
- Les méthodes indirectes.

IV.2.1.2.3.1. Méthodes directes

• L'évapotranspiromètre ou cuve lysimétrique

Comme son nom l'indique, l'appareil sert à mesurer l'évapotranspiration en un lieu donné du sol nu ou plus généralement d'un couvert végétal

. Le bac évaporant :

Cet appareil très simple permet de mesurer directement l'évapotranspiration d'une nappe d'eau libre. Sous réserve qu'il soit correctement installé, il permet d'obtenir une bonne estimation de l'ETP.

- **L'évaporomètre piche**

Il s'agit d'un tube de verre rempli d'eau et fermé à son extrémité inférieure par une rondelle de papier buvard. La tranche d'eau évaporée à partir de celle-ci se lie directement sur les graduations du tube.

IV.2.1.2.3.2. Méthodes indirectes

Ces méthodes permettent de calculer l'ETP à partir de formules ne comportant que des données climatiques.

1) Formule de Blaney et Criddle

A la suite de nombreuses expérimentations, Blaney et Criddle ont estimé que la température et la durée du jour étaient les facteurs déterminants de l'évapotranspiration potentielle. Ils ont proposé la formule suivante :

$$ETP = K(0,46t + 8,13) P.$$

Dans laquelle :

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm/jour.

t : température moyenne (en degré Celsius) durant la période considérée (généralement le mois) .

P : pourcentage de la durée moyenne du jour pendant la même période, par rapport à la durée moyenne du jour pour l'année.

K : Coefficient dépendant du stade végétatif de la culture et de la température moyenne (de la zone climatique).

2) Formule de Turc

- Si l'humidité relative est supérieure à 50%, l'évapotranspiration potentielle est donnée par :

$$ETP = 0,40 (I_g + 50) \times \frac{T}{T+15} \quad \text{en(mm/mois)}$$

Dans laquelle :

ETP : Evapotranspiration mensuelle (mm).

T : Température moyenne mensuelle (°C).

I_g : Radiation globale mensuelle (cal/cm²/jour).

Remarque : Le coefficient 0,40 est réduit à 0,37 pour le mois de février.

- Si l'humidité relative de l'aire est inférieure à 50%. L'évapotranspiration potentielle est donnée par :

$$ETP = 0,40 (I_g + 50) \cdot \left(\frac{T}{T+15} \right) \cdot \left(1 + \frac{50-Hr}{70} \right) \quad -$$

Dans laquelle :

T : Température moyenne mensuelle (°C).

I_g : Radiation globale en (cal/cm²/jour).

Hr : L'humidité de l'air en %.

$$I_g = I_{ga} (0,18 + 0,62) \cdot \frac{h}{H} \quad -$$

Avec :

I_{ga} : Radiation maximale théorique.

H : Durée astronomique de jour en (heure/mois)

h : durée d'insolation de la station considérée en heure/mois .

$\frac{h}{H}$: Insolation relative en heures.

3) Formule de Penman

La formule donne les meilleures estimations de l'ETP, et ceci sous tous les climats. Son seul inconvénient est de nécessiter un nombre assez important d'informations climatiques, rarement toutes disponibles sur une même station.

La formule est la suivante :

$$ETP = p' (t) \frac{R_n}{L} + \sigma \cdot \frac{E_a}{P(t) + \sigma} \quad -$$

Dans laquelle :

R_n : Rayonnement net « climatique ».

E_a : pouvoir évaporant de l'air, fonction du vent et du déficit de saturation de l'air.

L : Chaleur latente de vaporisation (2.5.10⁶ J/kg)

σ : Constante psychrométrique (0,65 h la/°C)

$p'(t)$: Valeur de dérivée de la fonction de pression partielle de vapeur d'eau saturante en fonction de la pression de vapeur d'eau en fonction de la température, pour la température de l'air T.

IV.2.1.2.4. Calcul de l'évapotranspiration

La détermination de l'évapotranspiration se fait par la formule de Penman, en raison de son exactitude pour l'estimation de l'ETP.

Le calcul se fait par le logiciel Cropwat.

Tableau IV.1: Evapotranspiration de référence selon la méthode Penman&Monteith.

Station:							
Boukourdene		Latitude: 02°17'59''N		Longitude: 36°32'18''E		Altitude=100m	
Mois	Temp Min	Temp Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ETo
	°C	°C	%	km/jour	heures	MJ/m ² /jour	mm/jour
Janvier	5.8	17.2	64	332	5.6	17.1	3.56
Février	6.2	17.6	62	346	5.4	17.5	3.79
Mars	8.3	20.1	68	313	7.7	21.6	4.15
Avril	10.4	21.5	65	397	7.9	21.5	4.67
Mai	12.6	25.4	71	432	8.3	21.0	5.05
Juin	17.1	30.2	79	398	10.0	22.7	5.40
Juillet	20.3	33.2	81	411	10.6	22.7	5.94
Août	19.2	33.4	70	390	9.8	23.8	6.74
Septembre	20.2	29.8	71	382	8.3	22.2	5.72
Octobre	13.1	26.4	75	260	7.4	20.7	4.52
Novembre	9.2	21.9	79	393	5.8	17.5	3.73
Décembre	8.1	17.8	78	344	4.8	15.2	2.90
Moyenne	12.5	24.5	72	367	7.6	20.4	4.68

IV.2.1.2.5. La pluie efficace:

Pour tenir compte des pertes, le programme **CROPWAT.8**, nous permettra de calculer la précipitation efficace, définie comme étant la fraction des précipitations contribuant effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, par percolation en profondeur, ...etc.

Les valeurs de précipitations de probabilité de 80% (P80%) et la pluie efficace (Peff) sont regroupées dans le tableau ci-après :

Tableau IV.2: Les précipitations efficaces dans la zone d'étude.

Mois	Pluie mm	Pluie eff.mm
Janvier	73.7	65.0
Février	66.4	59.3
Mars	63.4	57.0
Avril	51.0	46.8
Mai	36.2	34.1
Juin	8.4	8.3
Juillet	1.3	1.3
Août	1.0	1
Septembre	20.6	19.9
Octobre	57.2	52.0
Novembre	66.6	59.5
Décembre	72.7	64.2
Total	424.9	390.9

IV.2.1.2.6. Détermination des Besoins en eau des cultures :

Suivant le calendrier cultural, l'appréciation des besoins en eau des cultures par le logiciel *CROPWAT*, nécessite l'introduction des renseignements suivants :

- Durée en phase de croissance des plantes (en jour) : initiale, mi-saison, développement et récolte.
- Coefficients culturaux (K_C) : pour chaque culture et pour chaque son phase de croissance.
- Profondeur de d'enracinement(P) en (mètre) : pour les deux phases (initial, plein développement)
- Tarrissement admissible(p) du sol, exprime en fraction d'humidités totales disponibles.

- Coefficients de réponse du rendement : pour estimer la production due au stress hydrique, ce coefficient est défini pour chaque phase de croissance.

Les besoins théoriques mensuels sont déterminés par le bilan hydrique

$$B = ETP - (P_{eff} + RFU) \dots\dots\dots (A)$$

B : besoin en eau d'irrigation (mm)

E.T.P : évapotranspiration (mm / jour)

RFU : réserve facilement utilisable

$$RFU = Y (H_{cc} - H_{pf}) \cdot D_a \cdot Z \dots\dots\dots (B)$$

Y : degré de tarissement

D_a : densité apparente

Z : profondeur d'enracinement mm H_{cc}

H_{cc} : humidité à la capacité au champ H_{pf} :

humidité au point de flétrissement P_{eff} :

pluie efficace

Nous opterons pour la formule la plus utilisée qui est $P_{eff} = a \cdot P_{net}$

a : étant un pourcentage de 80.

Pour le calcul des besoins en eau des cultures, nous avons émis l'hypothèse suivante :

- ◆ L'irrigation est faite lorsque $B > 0$ (bilan hydrique) d'après la formule (A)
- ◆ La texture du sol étant moyenne
- ◆ la valeur de la réserve utile étant variable selon la profondeur d'enracinement de la plante. Elle est calculée par le logiciel **CROPWAT**.
- ◆ Taux d'infiltration maximum de l'eau de 40 mm/jour (sol texture moyenne)
- ◆ ETM : évapotranspiration maximale de la culture, elle sera calculée par la formule ci-après :

$ETM = K_c \cdot ETo$;(mm/j.....)(C) *Avec:*

K_c : Représente le coefficient cultural, dépendant du type de la culture et de son stade de développement, et des conditions climatiques qui y règnent.

ETo : Représente l'évapotranspiration de référence, exprimées en mm/jour.

Le résultat de calcul est résumé dans le tableau suivant:

Tableau IV.3. Besoins en eau des agrumes :

Mois	Kc	ETo(mm/mois)	ETM(mm/mois)	Peff(mm)	RFU(mm)	B(mm)	B(mm)
Jan	0.64	110.36	70.63	65	120	114.37	0
Fév	0.66	109.91	72.54	59.3	120	106.76	0
Mars	0.68	128.65	87.48	57	120	89.52	0
Avr	0.7	140.1	98.07	46.8	60	8.73	0
Mai	0.71	156.55	111.15	34.1	30	-47.05	47.05
Juin	0.72	162	116.64	8.3	0	-108.34	108.34
Juillet	0.72	184.14	132.58	1.3	0	-131.28	131.28
Aout	0.7	208.94	146.26	1	0	-145.26	145.26
Sep	0.68	171.6	116.69	19.9	0	-96.79	96.79
Oct	0.67	140.12	93.88	52	0	-41.88	41.88
Nov	0.66	111.9	73.85	59.5	120	105.65	0
Déc	0.65	89.9	58.44	64.2	120	125.77	0

Remarque : la RFU augmente après l'épandage, mais elle reste nulle durant les mois sèches, donc l'influence des boues sur la RFU n'a aucune impact sur le réseau.

IV.2.1.3. Débit fictif continu ou le débit spécifique:

Le débit spécifique est défini d'après les besoins en eau de chaque culture, évalués précédemment à partir de la répartition culturale et des besoins de lessivage. Ce débit spécifique est défini par la formule suivante et permettront de déterminer les débits à la parcelle et à l'entête de l'entité d'étude.

$$qs = \frac{B * 10 * 1000}{T * t * K} \text{ en } (l / s / ha)$$

Tels que :

B_m : Besoins mensuels maximum net en mm

t : Temps d'irrigation par jour en heures=20h

T : Durée d'irrigation en jours =26jours.

K : Coefficient d'efficience globale du système d'irrigation $\approx 0,75$.

Calcul du débit spécifique:

-le mois de pointe est Aout.

-Les besoins de pointe sont de 145.26mm

$$q_s = \frac{145.26 * 10 * 1000}{26 * 20 * 3600 * 0.75} = 1.035 \text{ l/s/ha}$$

Le débit spécifique $q_s=0,26 \text{ l/s/ha}$ est inférieur à 1,5 l/s.

IV.2.1.4.rojection d'un système d'irrigation goutte à goutte :

Les données de base :

-Texture fine.

-Surface totale d'agrume est égale à 2.1ha.

- S_a : espacement entre les arbres sur la ligne est égale à 5m.

- S_r : espacement entre les lignes de rangés d'arbres est égale à 5m.

-Débit de goutteur égal à 4 l/h.

-Débit spécifique $q_s=1.035 \text{ l/s/ha}$.

-Temps de travail maximal Par jour est égal à 20 heures.

-Les besoins du mois de pointe : 145.26 mm (Aout).

IV.2.1.4.1.Besoins d'irrigation de notre parcelle :

1. Besoins journalier

$$B_j = 4.69 \text{ mm/j}$$

2. Besoins journaliers en tenant compte de la réduction :

- Principalement l'irrigation localisée est utilisée pour les cultures en ligne où une partie seulement de la surface est occupée par les plantes ; donc les chiffres des besoins en eau déterminés par les méthodes où toute la surface est considérée à irriguée doivent être multipliés par un coefficient de réduction « K_r » dépendant du taux de couverture « C_s »

Le coefficient K_r est donné par plusieurs formules comme :

- La formule de Keller et Karmeli (1974) :

$$K_r = \frac{C_s}{0,85}$$

- La formule de Freeman et Garzoli :

$$K_r = C_s + 0,5(1 - C_s)$$

- La formule de Decroix (CTGREF) :

$$K_r = 0,1 + C_s$$

Pour notre cas on considère un taux de couverture égale à 60 % (pour les arbres adultes) donc :

$K_r = 0,71$ selon Keller et Karmeli.

$K_r = 0,80$ selon Freeman et Garzoli.

$K_r = 0,70$ selon Decroix (CTGREF).

On prend le ($K_r = 0,71$),

Donc :

$$B_{jl}=4.69*0.71=3.33\text{mm/j}$$

$$B_{jl}=3.33\text{mm/j}$$

3. Dose nette pratique : Dose nette maximale

$$D_p=(H_{cc}-H_{pf})\cdot y\cdot Z\cdot P/100$$

- D_p : dose nette pratique mm/mois.
- H_{cc} : capacité au champ (humidité) en %.
- H_{pf} : humidité au point de flétrissement en %.
- Y : degré de tarissement (1/3 ; 2/3).
- Z : profondeur racinaire (m).
- P : pourcentage de sol humidifié.
-

-
- ✓ n_g : nombre de goutteurs=2.
 - ✓ e_g : espacement entre goutteurs=5m.
 - ✓ L_h : largeur de la bande humidifiée=espacement entre rampes.

D'où :

mm

Après l'épandage : $D_p=(0.27-0.17)\cdot .66\cdot 1400\cdot 0.4=37\text{mm}$.

4. Dose nette pratique réelle :

$D_r=90\%$ ou 80% de la dose max.

$$D_r = 0.9\cdot 38 = 35\text{mm. Après l'épandage } D_r = 34\text{mm.}$$

5. Dose brute :

_____ . après l'épandage $D_b=40\text{mm}$.

- C_u : coefficient d'uniformité.
- Eff : efficacité, rendement du système d'irrigation localisée.

6. Fréquence des arrosages : Espacement entre deux arrosages

Fr _____

Après l'épandage Fr=11 jours.

7. Durée d'arrosage :

Après l'épandage $t=25$ heures.

- Db : la dose brute.
- n : nombre de goutteurs.
- qg : débit d'un goutteur.
- Eg: L'espace entre les distributeurs sur la rampe (m).
- Er: L'écartement entre les rampes (m).

8. Durée d'arrosage journalière :

_____ heures/j. après l'épandage : $dj=2.3$ heures/j.

9. Nombre de postes

Pour le nombre de postes on a pas vraiment le choix car notre parcelle a 80m/260m, donc on choisit 2 ou 3 poste. Nous on prend 2 postes de 80m/130m

10. Surface d'un poste :

$$Sp = \frac{2.08}{2} = 1.04ha$$

11. Surface correspondant à une rampe :

Elle est donnée par :

Al = longueur moyenne de la rampe x espace entre rampes .

$$Al = Lr * Sr = 80 * 5 = 400m^2$$

12. Nombre de rampes dans le poste

Il est calculé par :

$$Nr = \frac{\text{surface du poste}}{Al} = \frac{1.04ha}{400m^2} = 26.$$

Nr=16

13. Nombre de goutteurs par rampe :

$$Ng = 16 * 2 = 32.$$

$$Ng = 32.$$

14. Débit d'une rampe :

$$Q_r = N_g * q_g = 32 * 4 = 128 \text{ l/h.}$$

$$Q_r = 128 \text{ l/h.}$$

15. Débit d'une porte rampe :

$$Q_{pr} = N_r * Q_r = 26 * 128 = 3328 \text{ l/h.}$$

$$Q_{pr} = 3328 \text{ l/h.}$$

16. Calcul hydraulique du réseau**16.1. Conditions hydrauliques**

La variation maximale du débit entre goutteur :

$$\frac{\Delta q}{q} = 10\%$$

La variation maximale de la pression.

$q = K \cdot H^x$; $x = 0,5$ (caractéristique du goutteur).

$$\frac{\Delta q}{q(g)} = n \cdot \frac{\Delta H}{H(n)}$$

Avec :

$q(g)$: débit nominal du goutteur ;

$H(n)$: pression nominale.

$$0,1 = 0,5 \frac{\Delta H(\max)}{10}$$

$$\Delta H(\max) = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ m.c.e.}$$

La répartition de la perte de charge est :

1/3 sur les porte- rampes P.d.c (pr) = 0,6 m c e ;

2/3 sur les rampes P.d.c (r) = 1,2 m c e.

16.2. Calcul de la rampe

- **Le diamètre**

Le diamètre est calculé d'après la formule suivante :

$$D = \left[\frac{P_{dc}^r \times 2,75}{0,478 \times Q_r^{1,75} \times L_r} \right]^{-\frac{1}{4,75}}$$

$$D = \left[\frac{1,2 \times 2,75}{0,478 \times 128^{1,75} \times 80} \right]^{-\frac{1}{4,75}} = 10,007 \text{ mm.}$$

$$D_n = 16 \text{ mm.}$$

Avec :

P_{dc}^r : La perte de charge dans la rampe.

Q_r : Le débit de la rampe en l/h.

L_r : La longueur de la rampe en m.

- **La perte de charge**

La perte de charge est déterminée après le choix du diamètre par la formule :

$$J_{PEHD} = \left[\frac{0.478 \times D^{-4.75} \times Q^{1.75} \times L_r}{2.75} \right]$$

$$J_{PEHD} = \left[\frac{0.478 \times 16^{-4.75} \times 128^{1.75} \times 80}{2.75} \right] = 0.13 \text{ m c e.}$$

0.13 < 1.2 donc la condition est vérifiée.

16.3. Calcul du porte-rampe

- **Le diamètre :**

$$D = \left[\frac{P_{dc}^r \times 2,75}{0,478 \times Q_r^{1,75} \times L_r} \right]^{-\frac{1}{4,75}}$$

$$D = \left[\frac{0.6 \times 2,75}{0,478 \times 3328^{1,75} \times 130} \right]^{-\frac{1}{4,75}} = 42.6 \text{ mm.} \quad D_n = 50 \text{ mm.}$$

- **La perte de charge :**

$$J_{PEHD} = \left[\frac{0.478 \times D^{-4.75} \times Q^{1.75} \times L_r}{2.75} \right]$$

$$J_{PEHD} = \left[\frac{0.478 \times 50^{-4.75} \times 3328^{1.75} \times 130}{2.75} \right] = 0.28 \text{ m c e.}$$

0.28 < 0.6 donc la condition est vérifiée.

16.4. Calcul de la canalisation principale

La vitesse de l'eau devra être inférieure à 1.5m/s

Le cas le plus défavorable $v=1.5\text{m/s}$.

Avec $Q_{\text{poste}}=3328 \text{ l/h} =0.92 \text{ l/s}$

2 postes **Q= 1.85 l/s** Pour 2 postes on a $Q =6656 \text{ l/h}$

Le diamètre :

D'après la formule de « Bonin » le diamètre de la conduite principale est :

$$\varnothing = \sqrt{Q}$$

Q : débit en m^3/s

$$\varnothing = \sqrt{1.85 * 10^{-3}} = 43.01 \text{ mm.}$$

$$\varnothing=50 \text{ mm}$$

La perte de charge :

Elle est donnée toujours par la formule suivante

$$J = \frac{0,478}{2,75} \cdot \cdot \cdot 160 = 0.345 \text{ m.c.e.}$$

Donc la perte de charge de la conduite principale $P.d.c = 0.345 \text{ m.c.e.}$

La vitesse :

La vitesse dans la canalisation principale est donnée par :

$$Q = V.s \longrightarrow (V-21)$$

$$V = \frac{Q}{S} ; S = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \cdot \cdot V = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

$$V = 0.94 \text{ m/s} \quad (0.8 \leq V \leq 1.2) \text{ .acceptable.}$$

IV.2.1.4.2. Calcul de la pression en tête de la parcelle :

Elle est calculée à partir du point le plus défavorable (figureIV.2)

$$P = P_G + J (R) + J_{AB} (PR) + P_{Fi} + J_{\text{tot}}$$

Avec : P_{Fi} : la perte de charge dans le filtre ($P_{Fi}=2 \text{ mce}$)

Avec :

P = Pression en tête de l'installation en m ;

P_G = Pression d'un goutteur = 1 bar ;

$J(R)$ = perte de charge dans la rampe en m ;

$J_{AB} (PR)$ = Perte de charge dans le porte- rampe ;

P_{Fi} : la perte de charge dans le filtre ;

J_{tot} = Perte de charge totale ; $J_{tot} = (1.1 \div 1.15) * J_{lin}$.

J_{lin} = Perte de charge linéaire en m ; tel que : $J_{lin} = J_{BF} (CP) + J_{FE}$

Tel que :

$J_{BF} (CP)$ = Perte de charge dans la conduite principale en m ;

AN:

$$P = 10 + 0.13 + 0,28 + 1,2 (0.345 + 0,015) + 2 = 12.84m$$

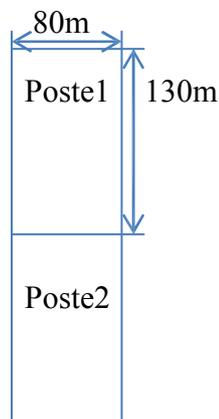


Figure IV.1 : Décomposition de l'îlot

Bassin d'irrigation

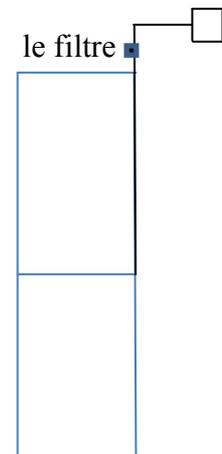


Figure IV.2 : La pression en tête de l'installation (schéma)

VII-3- Capacité du bassin d'irrigation

L'irrigation journalière théorique est de 3 heures, donc l'agriculteur aura besoin d'un volume de :

$$V = 1.85 \cdot 10^{-3} * 2.3 * 3600 = 15.32 \text{ m}^3$$

VII-4-Dimensionnement du bassin d'irrigation

Le bassin devra assurer au minimum un stockage des eaux pour une durée de 2 jours pour les raisons suivantes :

-il n'y a pas de pire catastrophe pour un périmètre irriguée que l'interruption de l'approvisionnement en eau, une réserve de sécurité est indispensable ;

-le stockage dans un réservoir non couvert, participe à l'amélioration de la qualité de l'eau

Sa capacité sera de

$$V = 15.32.2 = 30.64 \text{m}^3$$

Donc les dimensions du bassin

-la hauteur tel que : $H = (2 - 5) \text{ m}$, nous devons fixer une hauteur ;

on prend $H = 2.5 \text{m}$

La largeur (B) :
$$B = \sqrt{\frac{S}{2}} \dots (\text{m}) ;$$

La longueur (L) :
$$L = \frac{S}{B} \dots (\text{m})$$

Avec :

L : longueur du bassin

B: largeur du bassin

H : hauteur du bassin

Donc les dimensions du bassin

L=3.5m

B=3.5m

H=2.5m

Conclusion :

L'objectif de l'utilisation du goutte-à-goutte est l'économie d'eau, pour cela on a été obligé de connaître l'impact des boues sur le sol et le réseau, alors on a vu que malgré l'impact sur le sol les boues n'ont pas d'impact sur le réseau, et on peut les utiliser.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Les résultats obtenus tout au long de ce travail nous permettent d'affirmer que les boues résiduelles de la station d'épuration de Tipaza peuvent être valorisées, leurs caractéristiques physico-chimiques leur acquièrent un potentiel d'utilisation.

L'apport des boues nous a permis d'avoir des substrats riches en éléments fertilisants et en matières organiques, les métaux lourds (ce qui est le plus grand problème des boues) que contiennent ces boues sont largement inférieurs aux normes AFNOR, donc ces dernières ne présentent aucun risque de toxicité.

Grâce à la composition granulométrique des boues résiduelles, l'apport de ces dernières améliore la texture car elles font passer la texture du sol qui était argileuse en un substrat argilo limono sableux ou bien argilo limoneux.

L'utilisation des boues d'épuration comme amendement agricole est à prendre en considération car celles-ci peuvent constituer à des taux relativement élevés une menace pour les végétaux et par la suite l'environnement. C'est pour cela qu'une réglementation d'épandage est indispensable à cet effet (saison, type de culture, quantité apportée, caractéristique du sol receveur: pH, matière organique... etc.).

On a vu que malgré la faiblesse de l'impact des boues sur le sol et les réseaux d'irrigation, on doit la prendre en considération surtout en grandes surfaces, donc elles peuvent être utilisées sans aucune crainte (car l'impact est positif).

En conclusion, les boues de la STEP de Tipaza peuvent être utilisées sans aucune crainte ni sur le sol, ni sur les réseaux d'irrigation à condition de respecter les réglementations, au contraire, elles ont des effets positifs.

Annexes

ANNEXE 01 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées.

Paramètres	Unité	Normes	
		FAO * (1985)	OMS ** (1989)
pH		6,5-8,4 *	
Turbidité	NTU	/	
CE	dS/m	<0,7 * Aucune restriction 0,7 – 3,0 * restriction légère à modérée >3.0 * Forte restriction	
MES	mg/l	< 70**	
DCO	mg O2 /l	< 40 **	
DBO ₅	mg O2/ l	<10 **	
NO ₃ ⁻	mg/l	50 **	
NO ₂ ⁻	mg/l	< 1 **	
NH ₄ ⁺	mg/l	< 2 **	
PO ₄ ⁻³	mg/l	< 0,94 **	
HCO ₃ ⁻	mg/l	500 *	
Cl ⁻	mg/l	1065 *	
Ca ²⁺	mg/l	400*	
Mg ²⁺	mg/l	60,75 *	
K ⁺	mg/l	50 *	
Na ⁺	mg/l	920 *	
SAR	meq/l	<3* Aucune restriction 3-9* restriction légère à modérée >9* Forte restriction	
Coliformes totaux	UFC/100ml	< 1000CF/100ml	
Streptocoque Fécaux	UFC/100ml	1000 **	
Salmonelles	UFC/ 1L	Absence **	

ANNEXE 02 : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation – FAO

Tableau 1:Limites recommandées en éléments traces

<i>Paramètre</i>	<i>Long terme ^a (mg/l)</i>	<i>Court terme ^b</i>
Aluminium	5.0	20.0
Arsenic	0.1	2.0
Béryllium	0.1	0.5
Bore	0.75	2.0
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1.0
Cobalt	0.05	5.0
Cuivre	0.2	5.0
Cyanures	0.05	0.5
Fluor	1.0	15.0
Fer	5.0	20.0
Phénols	0.002	0.002
Plomb	5.0	10.0
Lithium	2.5	2.5
Manganèse	0.2	10.0
Mercure	0.01	0.01
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2.0
Selenium	0.02	0.02
Vanadium	0.1	1.0
Zinc	2.0	10.0

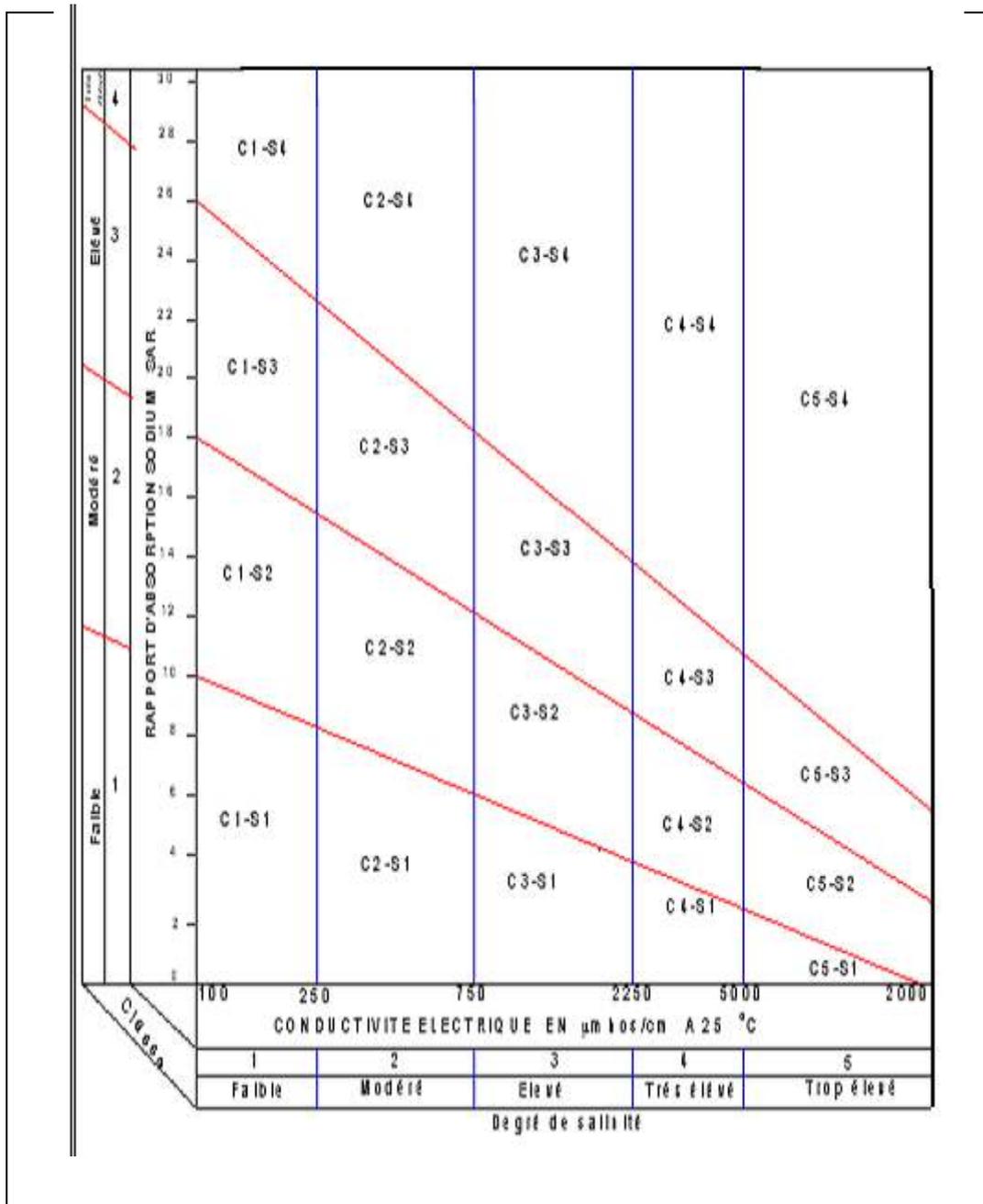
Avec :

^a pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols.

^b pour l'eau utilisée pendant une période d'au plus 20 ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalins

ANNEXE 03 : Teneurs maximales en ETM dans les boues valorisables en agriculture pour différents pays de l'UE et les Etats-Unis (mg/kg de MS)

Pays		Cadmium	Chrome	Cuivre	Mercure	Nickel	Plomb	Zinc
Allemagne		10	900	800	8	200	900	2500
Belgique	Flandres	6	250	375	5	50	300	900
	Wallonie	10	500	600	10	100	500	2000
Bulgarie		30	500	1600	16	350	800	3000
Chypre		Identique aux intervalles de la Directive 86/278/CE						
Danemark		0,8	100	1000	0,8	30	120	4000
Espagne	sol pH<7	20	1000	1000	16	300	750	2500
	sol pH>7	40	1500	1750	25	400	1200	4000
Estonie		20	1200	1200	20	400	900	3500
Finlande		3	300	600	2	100	150	1500
France		20	1000	1000	10	200	800	3000
Grèce		40	500	1750	25	400	1200	4000
Hongrie		10	1000	1000	10	200	750	2500
Italie		20	-	1000	10	300	750	2500
Irlande		-	-	-	-	-	-	-
Lettonie		10	600	800	10	200	500	2500
Lituanie		Aucune valeur limite fixée						
Pays Bas		-	-	-	-	-	-	-
Pologne		10	-	800	5	100	500	2500
Portugal		20	1000	1000	16	300	750	2500
Roumanie		10	500	500	5	100	300	2000
Royaume Uni		Aucune valeur limite fixée sauf pour épandage en prairie						
Slovaquie		10	1000	1000	10	300	750	2500
Slovénie		2	150	300	2	70	100	1200
Suède		2	100	600	2,5	50	100	800
Tchéquie		5	200	500	4	100	200	2500
Etats-Unis		85	3000	4300	57	420	840	7500
Seuil UE Directive 86/278		20-40	-	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000



ANNEXE 04 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation

ANNEXE N° 05 : Guide d'estimation de p

GUIDE D'ESTIMATION DE P

(p = pourcentage de sol humide pour divers débits de distributeurs et divers espacements entre rampes et entre distributeurs dans le cas d'une seule rampe, rectiligne, équipée de distributeurs uniformément espacés délivrant une dose de 40 mm par arrosage sur l'ensemble de la surface)

Ecartement entre rampes S en m	Débit des distributeurs														
	moins de 1,5 l/h			2 l/h			4 l/h			8 l/h			Plus de 12 l/h		
	Espacement recommandé des distributeurs sur la rampe, Sd en m en sol de texture grossière (G), moyenne (M), fine (F)														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
0,2	0,5	0,9	0,3	0,7	1,0	0,6	1,0	1,3	1,0	1,3	1,7	1,3	1,6	2,0	
Pourcentage en sol humide p %															
0,8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,0	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1,2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1,5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2,0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2,5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3,0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3,5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4,0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4,5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5,0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6,0	5	12	18	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

ANNEXE N° 06 : Valeurs minimales et maximales de Z pour diverses cultures

Cultures	z (m)
Tomates	1 - 1,2
Cultures maraichères	0,3 - 0,6
Agrumes	1 - 1,2
Arbres fruitiers à feuilles caduques	1 - 2
Vigne	1 - 3

Bibliographie

Bibliographie

- [1] **BECHAC.J, BOUTIN.P, MERCIER.B, BUER.P(1984)**- Traitement des eaux usées.P1-9.
- [2] **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.P15,17,21,26.
- [3] **KOLIAI.D 2012/20130**, Cours de la reutilisation des eaux usées épurées 5^{ème} Année.
- [4] **LAZAROVA.V(1998)**, (CIRSEE - Lyonnaise des Eaux) et « La réutilisation des eaux usées » ; « L'eau, l'industrie, les nuisances ».P3-17.
- [5] **Mohand-said OUALI**, Cours de procédés unitaire biologique et traitement des eaux, 200, Edition OPU.
- [6] **Furet G**, Synthèse bibliographique sur l'effet hygiénisant du chaulage des boues d'Épuration. Journées techniques des 5 et 6 juin 1997. Aspects sanitaires et environnementaux de l'épandage des boues d'épuration urbaines.
- [7] **International Association on Water Quality/UK Water Research Center.**
- [8] **M^{elle} BENTERROUCHE Ilhem**, mémoire pour l'obtention du diplôme magistère en Ecologie et Environnement « Université Mentouri Constantine » intitulé « Réponses écophysiologicals d'essences forestières urbaines soumises à une fertilisation avec les boues d'épuration » 2007.P30-57,77-96.
- [9] **Mathieu Buffet**, Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du Mastère Spécialisé « Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets ».2010.France.P6,12-24.
- [10] **M^{elle} KAROUNE Samira**, Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magistère intitulé « Effets des boues résiduaire sur le développement des semis du chêne liège (Quercus suber L.) » 2008.Constantine.P4-31,81-90.
- [11] **<http://www.fao.org/docrep/V7160F/v7160f01.htm#TopOfPage>**.