

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

Ecole Nationale Supérieure Polytechnique

Département Hydraulique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de fin d'études

Thème :

**Etude des possibilités d'utilisation des eaux et boues d'épuration
dans l'agriculture : Cas de la station d'épuration de BENI
MESSOUS**

Présenté par :

Mlle. SELHANI Soumia

Dirigé par :

M. NAKIB Maâmar

Remerciements

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements, en premier lieu, à mon promoteur Mr. Maamar NAKIB , d'abord, pour avoir accepté à superviser mon projet de fin d'étude, ensuite pour m'avoir prodigué conseils durant toute la période qu'on a passée ensemble pour concevoir et élaborer ce document. Je le remercie surtout pour son entière disponibilité et sa patience. J'affirme ici que M. NAKIB a été un promoteur exemplaire auquel je voue toute mon admiration et ma gratitude.

J'adresse également mes remerciements particuliers à Mr Kettab, qui m'a apporté aide et réconforts ces dernières années.

Mes remerciements vont également aux membres du jury qui me feront l'honneur d'apprécier ce travail.

Des remerciements s'adressent aux personnes suivantes pour leur contribution et aide pour la confection de cette publication.

- *M^{me} LOUHAB qui m'a offert toutes les conditions de travail au sein de la station d'épuration de Beni Messous;*
- *Mr OUARDI Kamel de la DHW d'Alger et Mr Lamara Nacereddine cadre à la SEEAL qui ont été d'une grande aide tout au long de mon cursus universitaire.*
- *Mr BELLOUCHE Rachid et Mr AHABBOUCHE Salah de l'ANRH pour les informations qu'ils m'ont communiquées.*
- *Melle FARAH Leila du laboratoire central de SEEAL à Kouba*
- *A tout le personnel de la station de Béni-Messous.*

Je n'oublie pas mes proches et amis Neila, Anissa, Imene, Lamia, Hakïma, Amina, Thanina et toute ma promotion hydraulique 2009 pour le soutien moral.

Je dédié ce travail à mon père, ma mère, mon frère Yacine, mes sœurs Farah et Mounia et mon beau frère Toufik.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة إمكانية استعمال المياه القذرة المطهرة والأحوال في سقي الأراضي الزراعية. اقتصرت الدراسة على محطة تطهير المياه لواد بني مسوس" بالجزائر العاصمة. أجرينا عدة تحاليل على المياه المعالجة والأحوال المنبثقة من هذه المحطة. أجريت التحاليل في ذات المحطة و رصدت الأخرى على مستوى المخابر الخاصة ونذكر على سبيل المثال الوكالة الوطنية (ANRH) أو شركة (SEAAL) على ضوء كل النتائج التي تحصلنا عليها و التي تم مقارنتها بالمقاييس الدولية استنتجنا أن هذه المياه و الأحوال يمكن استعمالها في سقي الأراضي الزراعية لكن بشروط

الكلمات المفتاحية : المياه القذرة , المياه المطهرة , الأحوال , محطة تطهير المياه

Résumé:

La problématique de notre étude a été la recherche des possibilités d'utilisation des eaux usées traitées et des boues à partir d'une station d'épuration dans le domaine de l'irrigation des terres.

Notre investigation s'est limitée à la station de traitement des Beni Messous.

Dans le cadre de ce travail, nous avons effectué sur place un certain nombre d'analyses sur les eaux traitées et sur la boue générée par le traitement. Nous avons procédé également au recueil d'autres analyses effectuées déjà par des laboratoires spécialisés notamment ceux de l'ANRH et de la SEAAL.

A la lumière des résultats obtenus, comparés aux normes édictés par les organisations mondiale de la Santé et de l'alimentation, nous avons relevé qu'il est possible de recourir à cette eau traitée et aux boues seulement sous certaines conditions.

Mots clés : Eau usées, Eau traitée ; boues, station d'épuration

Abstract:

The aim of this work is to search the possibilities of use of purified water and mud from a water-treatment plant in the field of the irrigation. Our investigation limited itself to the treatment station of Beni Messous.

Within the framework of this work, we made on the spot certain number of analyses on waters drafts and on the mud generated by the treatment. We also proceeded to the collection of the other analyses made already by laboratories specialized in particular those of the ANRH and the SEAAL. In the light of the results obtained, compared with the standards promulgated by World Health Organization and of the food, we found that it is possible to use to this treated water and mud only under conditions.

Keywords: waste waters, treated water; mud, water-treatment plant

Sommaire

Abréviation

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I: les activités productrices de pollution et les systèmes d'épuration

I.1. Les activités productrices de pollution

I.1.1. Définition de la pollution	03
I.1.2. Les différentes qualités des eaux usées	04
1. Les eaux usées domestiques	04
2. Les eaux pluviales	04
3. Les eaux usées industrielles	04
4. Les matières de vidange	05
I.2. Le processus et les systèmes de traitement des eaux usées	
I.2.1. Traitement primaire	05
1. Le prétraitement	05
2. La décantation primaire	07
I.2.2. Traitement secondaire	06
I.2.2.1. Traitement physico-chimique	07
I.2.2.2. Traitement biologique	
- Epuration biologique par boues activées	7
I.2.3. Le traitement tertiaire	12
I.3. Les systèmes de traitement des boues	12
I.3.1. La stabilisation	13
I.3.2. Réduction de la teneur en eau des boues	15
I.3.3. Les traitements de désinfection	17
I.4. Dimensionnement d'une station d'épuration	18
I.4.1. Critère de choix de site de la STEP	19
I.4.2. Choix de procédés de traitement biologique	19

CHAPITRE II : La réutilisation des eaux usées

II.1. La réutilisation des eaux usées	19
II.1.1 Exemples de réutilisation des eaux épurées en agriculture dans le monde.25.....	20
II.1.2 Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux usées épurées	21
II.1.2.1 Risque microbiologique	21
II.1.2.2 Risque chimique	24
II.2 Stockage des eaux épurées	29
II.3 Situation de la réutilisation des EE en Algérie	29
II.3.1 Situation des stations d'épurations	30
II.3.2 Perspectives de réutilisation des EUE en agriculture	31
II.3.3 Normes actuellement en usage	31

CHAPITRE III : Valorisation des boues en agriculture

III.1. Quelques définitions	34
III.2. L'intérêt d'utilisation des boues en agriculture	38
III.2.1. La composition des boues d'épuration	38
III.2.2. Importance de la matière organique pour le sol	39
III.2.3. L'action de la boue sur les cultures	40
III.2.4. L'application des boues sur le sol	41

III.2.5. Contraintes limitant l'utilisation des boues en agriculture	42
III.2.5. 1.Les pathogènes	43
III.2.5. 2. La toxicité	43
CHAPITRE IV: Présentation de la STEP de Beni Messous	46
IV.1 Présentation de l'environnement de la STEP	46
IV.1 .1 Localisation géographique	46
IV.1 .2. Situation climatologique de la région.....	46
IV.2.Présentation de la station d'épuration de Beni- Messous	47
IV.2.1. Caractéristiques	47
IV.2.2 Ouvrages du traitement des eaux et des boues	47
IV.2.3. Procédé de fonctionnement de la station d'épuration	47
CHAPITRE V : Résultats et interprétations	54
V.1 .Les eaux épurées	54
V.1 .1. Les débits entrants et sortants	54
V.1.2. Paramètres physico-chimiques.....	55
V.1.2.1 La salinité	55
V.1.2.2. Le pH	57
V.1.2.3.La température	57
V.1.2.4.Le chlorure	57
V.1.2.5.Les matières organiques	57
V.1.2.6.Les MES.....	57
V.1.2.7.Matières azotées.....	59
V.1.2.8.Composés phosphorés	60
V.1.2.11.Analyses bactériologiques	61
V.1. 3. Conclusion	61
V.2 .Les boues d'épuration	62
V.2 .1. La richesse des boues en éléments fertilisants	62
V.2 .2. Comparaison des caractéristiques essentielles des boues résiduares urbaines à celle du fumier de ferme et du compost urbain	69
V.2. 3. Conclusion	69
Chapitre VI : conclusions et recommandations	70
Bibliographie	
Les annexes	

Les Abréviations

STEP : Station d'épuration

BA : Boues Actives

MVS : Matières Volatiles Sèches

MES : Matières En Suspension

MS : Matières Sèches

MM : Matières Minérales

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DBO : demande biochimique en oxygène

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

FAO : Food Agriculture Organisation (Organisation Mondiale de l'Alimentation et de l'Agriculture).

MRE : Ministère des Ressources en Eau

Cm : la Charge Massique

SAU : Surface Agricole Utile

EB : Eau Brute

EUE : Eau usée Epurée

EE : Eau Epurée

MO : Matière Organique

CE : Conductivité Electrique

ETM : Les Eléments Traces Métalliques

CTO : Les Composés-traces organiques

HAP : les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

PCB : PolyChloro Biphéniles

OIE : Organisation mondiale de la santé animale

Liste des figures

Figure 1: Schéma de principe de l'épuration par boues activée

Figure 2: Types d'aération

Figure 3: Epaissement des boues par flottation

Figure 4: la technique des lits de séchage

Figure 5: Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines

Figure 6: Le compost

Figure 7 : Le fumier

Figure 8 : Les boues d'épuration

Figure 9 : L'épandage de boues liquides réalisé la tonne à lisier

Figure 10 : carte du réseau hydrographique du BV de l'oued Beni Messous

Figure 11: Schéma synoptique des différents ouvrages de la station de Béni- Messous

Figure 12 : Représentation graphique de la variation des débits entrant et sortant de la station du mois de février et mars 2009.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Avantages et inconvénients du traitement physico–chimique

Tableau 2 : Avantages et inconvénients du procédé à boues activées

Tableau 3 : Formes de réutilisation des eaux usées

Tableau 4 : Les virus dans les eaux usées

Tableau 5 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées

Tableau 6 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées

Tableau 7 : Facteurs environnementaux modifiant la survie des micro-organismes

Tableau 8 : Temps de survie des pathogènes excrétés à 20–30 °C.

Tableau 9 : Concentration maximale d'éléments à l'état de trace recommandée pour les eaux d'irrigations.

Tableau 10 : Normes concernant les nitrates dans l'eau potable

Tableau 11 : Nombre de STEP à l'échelle nationale.

Tableau 12 : Perspectives de traitement et de réutilisation des EE en irrigation

Tableau 13 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées.

Tableau 14 : Les normes microbiologiques révisées de l'OMS (2000 et 2006) pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture.

Tableau 15 : Composition des boues en fonction du type de traitement

Tableau 16 : les valeurs limites d'épandage

Tableau 17 : La table de calcul de la minéralisation

Tableau 18 : Représentation des résultats moyens des analyses bactériologiques des eaux usées et épurées de la station.

Introduction générale

L'eau est l'une des plus importantes ressources naturelles, indispensable à la vie, celle des hommes, des bêtes et des plantes, et à la plupart des activités de la société.

Facteur de la vie économique, l'eau a été apprivoisée par l'homme et sa maîtrise a permis l'irrigation des surfaces agricoles, la fabrication de produits industriels, la production de l'électricité...

Cependant son exploitation effrénée et sa pollution expose l'humanité au danger.

Si l'augmentation des prélèvements en eau se poursuit au taux actuel, entre la moitié et les deux tiers de l'humanité devraient être en situation de stress hydrique en 2025. Ce seuil d'alerte correspondant à moins de 1700 m³ d'eau douce disponible par habitant et par an (< 5 litres/jour).

Le rejet des eaux usées ménagères et industrielles sans traitement dans le milieu naturel aggrave davantage sa pénurie. Il dégrade les écosystèmes aquatiques de façon parfois impressionnante et permanente. Cette pollution pose un grave problème car elle pourrait à terme rendre les réserves progressivement inexploitable et condamner à mort la faune comme la flore qui en vit.

La raréfaction de l'eau et la dégradation alarmante de sa qualité ont commencé à se faire sentir déjà depuis des décennies. La sonnette d'alarme est alors déclenchée pour attirer l'attention des usagers de cette ressource et les appeler à être vigilants et à en faire la bonne utilisation. Les spécialités s'accordent à affirmer que sa gestion constituera un des principaux enjeux internationaux du XXI^e siècle.

Diverses solutions existent pour mettre en place une gestion cohérente de cette ressource, parmi lesquelles figurent en bonne place les actions d'assainissement des zones polluées et le recyclage de l'eau ...

Sur ce plan, les pays développés, notamment en Europe, les Etats unis et même la chine ont opté pour cette voie.

Aussi la réalisation de stations de traitement entre dans le cadre de cette stratégie. Elle a connu depuis 1997 dans ces pays un développement très rapide atteignant une croissance des volumes des eaux traités de l'ordre de 10 à 29 % par an.

En Algérie, le traitement des eaux usées se trouve dans une étape préliminaire. Actuellement la capacité de production des eaux traitées par la vingtaine de stations en fonction est de 130 000 m³ / an. Le volume aurait pu être plus important si on ne dénombre pas quelques 20 stations inutilisées pour des problèmes techniques dus à une mauvaise gestion de ces infrastructures. Le gouvernement s'est penché sur cette situation anachronique mais compte poursuivre son programme de dotation du pays de ces stations mais avec une autre approche de gestion. Il prévoit de réaliser à moyen terme, 52 autres stations. Les perspectives dans ce domaine sont en 2020 à 972 hm³/ et l'horizon 2030, 1.271 hm³/an.

Si le traitement de l'eau est considéré comme un excellent moyen de la protection de l'environnement, la réutilisation des eaux usées traitées peut constituer, d'un autre côté, comme une solution alternative d'approvisionnement ne serait ce que pour un certain nombre de secteurs grands consommateurs d'eau comme par exemple l'agriculture.

Cependant l'exploitation de ces eaux en agriculture doit obéir à des critères définis et arrêtés par les organisations mondiales de Santé ou de l'Alimentation, parce que sa teneur en métaux lourds et en certains agents pathogènes peut conduire à des risques de contamination des sols, des nappes et des problèmes d'infections pour l'homme et les animaux.

Les chercheurs sont arrivés aussi à valoriser la masse de boue que génère le processus de traitement des eaux usées. Elle peut combler un besoin en matière organique des sols agricoles, notamment pour les pays qui en manquent comme l'Algérie en raison de la chaleur du climat car les températures élevées provoquent une minéralisation rapide de la matière organique. Tout comme l'eau, l'exploitation des boues est soumise elle aussi à des normes.

Chapitre I : Les activités productrices de pollution et les systèmes d'épuration

Dans un pays semi- aride comme l'Algérie, où l'eau constitue un élément précieux, il est indispensable de :

- Protéger le peu des eaux souterraines qui existent encore, contre toutes contaminations surtout par les eaux usées.
- Traiter les eaux usées épurées avant leur rejet au milieu récepteur.
- Procéder à la réutilisation des eaux épurées.

De ce fait, il existe plusieurs procédés de traitement des eaux usées.

Tous les types de traitement requièrent un prétraitement de dégrillage, dessablage et éventuellement déshuilage.

En général, il existe de grandes modes de traitement, physico-chimique et biologique.

I.1. Les activités productrices de pollution

I.1.1 Définition de la pollution

La présence d'une ou plusieurs substances modifiant la composition ou l'état d'une eau, constitue une pollution, dans la mesure où :

- la vie aquatique est perturbée, voire impossible,
- les utilisations envisagées de l'eau sont restreintes ou même interdites.

Ces substances ou polluants sont nombreux et d'origine très variée. On peut les différencier en fonction de leur :

a) Aspect physique

- matières en suspension
- matières dissoutes

b) Composition chimique

- matières organiques
- matières minérales

c) Evolution dans la nature

- matières rapidement biodégradables
- matières difficilement biodégradables
- matières non biodégradables

d) Impact sur les espèces vivantes

- matières toxiques
- matières non toxiques

I.1.2. Les différentes qualités des eaux usées

Quatre types de pollution sont généralement définis contre lesquels des moyens de lutte doivent être mis en œuvre :

- la pollution traditionnelle des eaux usées domestiques ;
- la pollution drainée par les eaux pluviales ;
- la pollution des industries implantées dans la commune ;
- la pollution des matières de vidange issues de l'assainissement autonome des habitations non raccordées au réseau d'assainissement collectif.

1. Les eaux usées domestiques

Constituant généralement l'essentiel de la pollution, elles se composent :

- des eaux vannes d'évacuation des toilettes,
- des eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bain.

Les déchets présents dans ces eaux souillées sont constitués par des matières organiques dégradables et des matières minérales. Ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension [2].

2. Les eaux pluviales

Les eaux de ruissellement peuvent être particulièrement polluées surtout en début de pluie :

- lessivage des sols, des surfaces imperméabilisées,
- remise en suspension des dépôts des collecteurs,...

Les eaux pluviales sont de même nature que les eaux domestiques et peuvent contenir en plus, des métaux lourds et des toxiques :

- plomb,
- zinc,
- hydrocarbures, ...

Suivant le contexte local, des dispositions devront être prises pour en limiter l'impact : bassins d'orage, bassins d'étalement, chaussées filtrantes [2], ...

3. Les eaux usées industrielles

Les caractéristiques des eaux usées d'origine industrielle sont bien évidemment directement liées aux types d'industries implantées sur la commune.

La pollution de ces eaux peut être organique, minérale, toxique.

Le branchement des établissements commerciaux, industriels ou artisanaux au réseau public n'est pas obligatoire.

Toutefois ceux-ci pourront être autorisés à déverser leurs eaux industrielles dans le réseau public pour qu'elles soient épurées avec les eaux usées domestiques, à condition qu'elles soient compatibles avec les techniques d'épuration traditionnelle.

4. Les matières de vidange

Dans toutes les communes, il existe des habitants non raccordés ou non raccordables à l'égout public. Or, toute fosse septique (ou appareil équivalent) produit obligatoirement des matières de vidange. L'évacuation et le traitement de ces matières domestiques font partie intégrante de l'assainissement [2].

I.2. Le processus et les systèmes de traitement des eaux usées

I.2.1. Traitement primaire

Les procédés du traitement primaire sont physiques, Ils sont réalisés souvent en deux parties : le prétraitement et une décantation primaire.

1. Le prétraitement :

Les prétraitements ont pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers, qui sont susceptibles de gêner les traitements ultérieurs et endommager les équipements.

Il comporte :

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

a. Le dégrillage

Il consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille, dont les barreaux plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers. L'espacement est déterminé en fonction de la nature de l'effluent.

Le dégrillage est classé en trois catégories selon l'écartement entre les barreaux de la grille:

- un dégrillage : espacement de 30 à 100mm,

- un dégrillage moyen : espacement de 10 à 25mm,
- un dégrillage fin : espacement de 3 à 10mm,

Il existe différents types de grilles selon la conception des fabricants et la nature de l'effluent à traiter .On distingue :

b. Tamisage

Le tamisage est en fait un dégrillage poussé et consiste en une filtration sur toile mettant en œuvre des mailles de différentes dimensions (0,1 à 4mm).

Trois principales fonctions du tamisage peuvent être mentionnées

- la récupération de déchets recyclables ;
- la protection de canalisations et des pompes ;
- la limitation des risques de dépôts et de fermentation ;

c. Dilacération

Pour éviter d'avoir à éliminer la fraction fermentescible des résidus de dégrillage, il est possible de les broyer assez finement pour qu'ils puissent suivre le sort des matières décantables fines.

Enfin, les produits dilacérés risquent d'obstruer les canalisations, d'engorger les pompes de refoulement, surtout si des matériaux fibreux sont associés à des graisses. Pour toutes ces raisons, la pratique de la dilacération est en très net recul [3].

d. Dessablage

L'élimination des sables présents dans l'effluent brut est indispensable si on veut protéger les conduites et les pompes contre l'abrasion et aussi éviter le colmatage des canalisations par une sédimentation au cours du traitement, et éviter de perturber les autres stades de traitement en particulier le réacteur biologique.

Le dessablage porte généralement sur des particules de granulométrie égale ou supérieure à 200 μm .

I.2.2.Traitement secondaire

A ce niveau, le traitement permet de se débarrasser des impuretés présentes sous forme solubles ou lorsque leur taille ne permet pas d'être piégée dans le traitement primaire.

On distingue deux types de traitement :

- Le traitement physico – chimique ;
- Le traitement biologique ;

I.2.2.1.Traitement physico–chimique

Le traitement physico-chimique est le procédé le mieux adapté aux variations saisonnières de la charge polluante ou à l'existence des matières toxiques.

Le traitement physico-chimique passe par trois opérations principales :

- Une coagulation ;
- Une floculation ;
- Une décantation ou une flottation.

Le tableau qui suit donne les principaux avantages et inconvénients de traitement physico-chimique [4].

Tableau 1 : Avantages et inconvénients du traitement physico-chimique [4]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Réponse immédiate aux variations de charge ; - Capacité des installations, meilleure intégration au site ; - Bonne élimination de la pollution toxique ; - Déphosphoration simultanée 	<ul style="list-style-type: none"> - Plus grande quantité de boues produites ; - Le coût élevé occasionné par les réactifs ; - Rendement d'épuration inférieur à l'épuration biologique ; - Risque de coloration (sels de fer sur eaux septiques).

I.2.2.2. Traitement biologique

Les techniques d'épuration biologique utilisent l'activité des bactéries dans l'eau, qui dégradent la matière organique. Ces techniques peuvent être anaérobies, c'est-à-dire se déroulant en absence d'oxygène, ou aérobie c'est à dire nécessitant un apport oxygène. Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés par boues activées.

- Epuration biologique par boues activées

Le procédé de traitement des eaux usées appelé "boues activées" est un procédé biologique aérobie intensif par cultures libres.

i. Historique

A la fin du dix-neuvième siècle, grâce aux travaux de Pasteur, les connaissances en microbiologie se développent. Le rôle des micro-organismes dans la dégradation de la matière organique est mis en évidence.

En 1914, deux anglais Adern et Locket mettent au point le premier procédé "intensif" d'épuration, un système de bassin où les boues issues de la biodégradation

des effluents sont aérées. L'oxygène permet à la fois d'activer le travail des bactéries responsables de la destruction de la pollution et de favoriser leur multiplication. Le principe des boues activées est né. Des brevets sont déposés et mis en œuvre aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne.

ii. Le bassin d'aération

Une zone de contact peut être placée à l'amont immédiat du bassin d'aération. Son principe est de réaliser un mélange des boues (recirculées en général) et de l'effluent à traiter dans une zone de faible volume.

Les bassins d'aération sont les réacteurs biologiques dans lesquels s'effectue la transformation de la matière organique par les microorganismes aérobies. La pollution dissoute est transformée en gaz et biomasse.

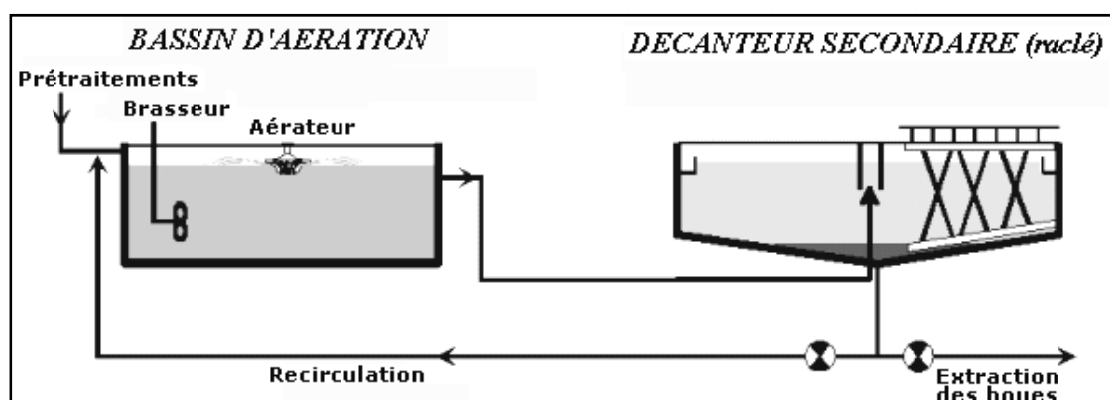


Figure 1: Schéma de principe de l'épuration par boues activées

Ces bassins sont équipés de dispositif d'oxygénation et de brassage permettant :

- ✓ d'introduire une quantité d'oxygène déterminée dans l'eau, nécessaire à la satisfaction des besoins correspondant à l'oxydation de la pollution organique et à l'autodestruction de la masse bactérienne lors de la phase de respiration endogène,
- ✓ de brasser la suspension de boues activées pour en assurer l'homogénéité et éviter les dépôts.

Les principaux dispositifs d'oxygénation utilisés sont les aérateurs de surface : turbines et brosses ainsi que les systèmes d'injection d'air sur pressés en profondeur qui délivrent des grosses, moyennes ou fines bulles[3].

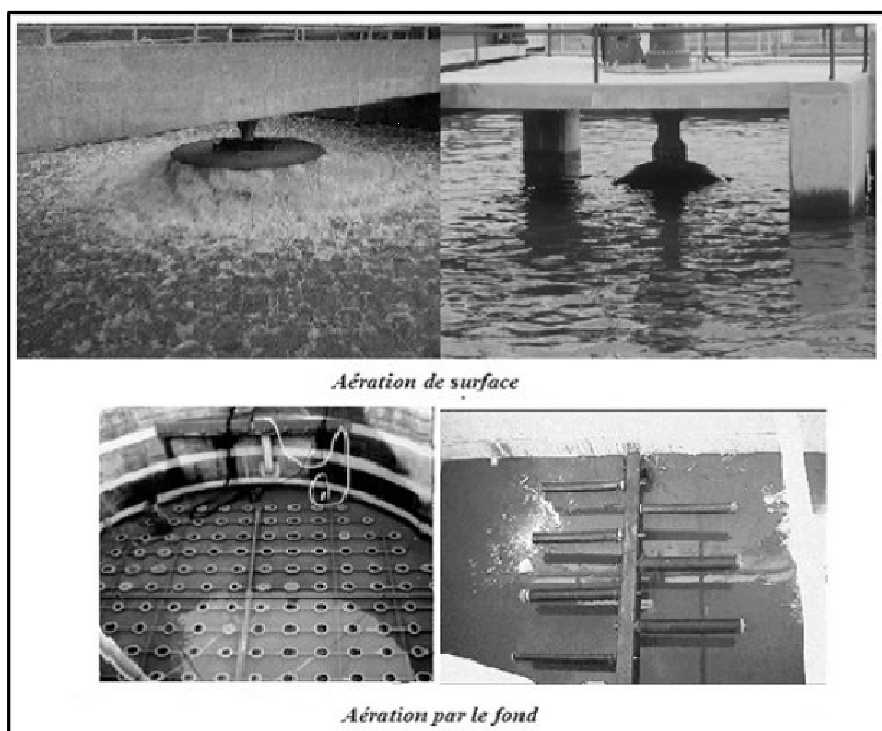


Figure 2: Types d'aération

iii. Le clarificateur

Le clarificateur a une fonction de séparation de phase (boues / eau traitée) et une fonction d'épaississement afin de ramener la boue activée la plus concentrée dans le bassin d'aération.

Il existe deux systèmes de reprises des boues : raclage des zones annulaires centrales et périphériques, succion dynamique de zones annulaires centrales et périphériques. Ces boues sont reprises par des pompes de recirculation et d'extraction.

La recirculation permet :

- de maintenir une concentration en MES constante et correcte dans le bassin d'aération,
- d'éviter l'accumulation des boues dans le clarificateur et le débordement du lit de boues,
- de limiter le temps de séjour dans le clarificateur pour garantir une bonne qualité de boue.
- Ramener des boues aérées en tête de la station.

iv. **Élimination de l'azote**

a. **Problème de l'azote dans les effluents urbains**

L'azote présent dans les eaux résiduaires urbaines provient essentiellement des déjections humaines. Les urines contribuent largement à cet apport, essentiellement sous forme d'urée, d'acide urique et d'ammoniaque. Par ailleurs, les eaux de cuisine véhiculent des protéines comportant des acides aminés et certains agents de surface (des assouplissant) qui incluent dans leurs molécules des radicaux azotés.

Lors du transport des effluents jusqu'à la station d'épuration, des réactions d'ammonification ont lieu, transformant cet azote organique en ammonium, forme particulièrement nuisible pour les ressources d'eau de surface. En effet, la demande en oxygène exercée par l'ammonium est très élevée et peut conduire à l'eutrophisation des lacs et des rivières; Pour cette raison, les stations d'épuration doivent prévoir l'élimination de la pollution azotée.

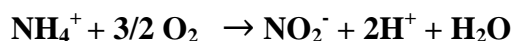
b. **Processus d'élimination de l'azote**

L'élimination de l'azote ammoniacal est, le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques de "nitrification".

Le principe de la nitrification consiste en l'oxydation, par des bactéries aérobies, de l'azote ammoniacal en nitrites puis nitrates. Les espèces dites "nitrifiantes" sont des bactéries autotrophes qui tirent leur énergie de l'oxydation et qui utilisent les sources de carbone minéral (CO_2) pour synthétiser la matière vivante. Les bactéries responsables de la nitrification sont les Nitrosomonas et les Nitrobacter.

La nitrification s'effectue en 2 étapes:

- la nitritation, oxydation des ions ammonium en nitrites, selon la réaction simplifiée suivante :



- la nitratisation, oxydation des nitrites en nitrates, selon la réaction simplifiée suivante :



Le principe de la dénitrification est une réduction des nitrites et nitrates en azote gazeux, qui se dégage dans l'atmosphère, selon la réaction suivante:



v. **Élimination du phosphore**

a. **Problème du phosphore dans les effluents urbains**

L'origine du phosphore dans les eaux usées est multiple. Il provient :

- Du métabolisme humain : un homme excrète entre 1 et 2g de P par jour,
- Des produits lessiviels et de nettoyage : 1 à 2 g de P par jour et par habitation
- Des rejets industriels : effluents industriels agro-alimentaires, d'abattoirs, de laveriers industriels, d'industries de traitement de surface.

La présence de phosphore dans les cours d'eau et les lacs est responsable de leur eutrophisation, provoquant la prolifération anarchique d'algues et une surconsommation de l'oxygène dissous dans l'eau. Celui-ci est alors moins disponible pour les autres espèces vivantes, et notamment pour les poissons. Les stations d'épuration doivent donc traiter le phosphore.

b. Traitement biologique du phosphore

La déphosphatation biologique repose sur l'accumulation du phosphore à l'intérieur des bactéries qui sont évacuées avec les boues en excès.

La biomasse est exposée à une alternance de conditions anaérobies et aérobie.

En condition anaérobie, les bactéries déphosphatantes synthétisent un produit de réserve, les poly- β -alcanoates (PHA), à partir du substrat facilement biodégradable des eaux usées et de l'énergie libérée par l'hydrolyse intracellulaire de polyphosphate. Il en résulte un relargage de phosphate dans le milieu externe.

En condition aérobie, les PHA et la matière organique contenue dans les eaux usées sont oxydés par les bactéries. La respiration produit l'énergie nécessaire aux bactéries qui régénèrent leur stock de polyphosphate et croissent.

vi. Charge d'une installation

On définit la charge massique comme étant le rapport de la pollution entrante par unité de masse de population bactérienne chargée de son élimination, la masse bactérienne étant évaluée par le poids de MVS.

$$C_m = \text{DBO5 (entrée (kg/j))} / \text{kg MVS dans l'aérateur.}$$

On distingue les systèmes :

- Aération prolongée ; $0,05 < C_m < 0,1$
- à faible charge (kgDBO5/kg boues .j) $0,1 < C_m < 0,2$
- à moyenne charge (kgDBO5/kg boues .j) $0,2 < C_m < 0,5$
- à forte charge (kgDBO5/kg boues .j) $0,5 < C_m < 1$
- à très forte charge (kgDBO5/kg boues .j) $1 < C_m < 5$

Ces limites sont évidemment approximatives et variable avec les auteurs [5].

Tableau 2 : Avantages et inconvénients du procédé à boues activées [3]

Avantages	Inconvénients
<p>Le procédé à boues activées permet de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - réduire le temps de séjour de la pollution ainsi que les surfaces du terrain utilisé - Il offre l'avantage d'une recirculation de la culture bactérienne ce qui conduit à un enrichissement du bassin par les micro-organismes épurateurs. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les installations à boues activées sont très coûteuses en raison de l'équipement qu'elles comportent (ouvrages en béton, ouvrages métalliques, appareillages électromécaniques...). - L'exploitation de ce type de station exige un personnel qualifié et une vigilance permanente, le bon rendement repose sur le bon fonctionnement des aérateurs.

I.2.3. Le traitement tertiaire

En général, les techniques d'épuration, même les plus sévères, laissent passer dans l'eau épurée des matières organiques difficilement biodégradables qui échappent à la meilleure décantation. Ainsi même après un traitement secondaire l'eau véhicule presque toujours des micro-organismes et des micropolluants.

La principale méthode utilisée est la désinfection par le chlore, la désinfection peut également s'effectuer avec l'ozone ou le brome. Il y a aussi le lagunage naturel tertiaire qui assure l'exposition des microorganismes pathogènes aux rayonnements solaires ou la désinfection par Ultraviolets.

L'eau à désinfecter transite dans un chenal ouvert dans lequel sont placées des lampes émettant un rayonnement ultraviolet qui a la propriété d'agir directement sur les chaînes moléculaires (ADN-ARN) des cellules des micro-organismes, ce qui interrompt le processus de vie et de reproduction de ces pathogènes. L'eau désinfectée peut ainsi rejoindre le milieu naturel sans risque pour la santé des individus.

Le coût excessif du traitement tertiaire explique pourquoi dans la majorité des stations d'épuration ce type de traitement est inexistant. Ce coût ne représente pas seulement le prix des réactifs ou des équipements mais aussi celui d'un personnel hautement qualifié [6].

I.3. Les systèmes de traitement des boues

Les boues se présentent avant le traitement sous forme liquide avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible. Ces deux caractéristiques sont

gênantes quelle que soit la destination des boues et imposent la mise en place d'une filière de traitement, c'est-à-dire une suite organisée de procédés qui agissent de façon complémentaire.

On distingue trois grands types de traitement :

- des traitements de **stabilisation**, dont l'objectif est de réduire la fermentescibilité des boues pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs,
- des traitements de **réduction de la teneur en eau** des boues, visant à diminuer la quantité de boues à stocker et à épandre, ou à améliorer leurs caractéristiques physiques (tenue en tas notamment),
- des traitements de désinfection qui visent à éradiquer la charge en micro-organismes pathogènes. Ils ne sont mis en œuvre que dans des contextes particuliers. [7]

I.3.1. La stabilisation

La stabilisation biologique réduit la teneur des boues en matières fermentescibles. Elle se fait soit par voie aérobie (en présence d'oxygène) dans les bassins d'aération ou dans des bassins de stabilisation aérobie, soit par voie anaérobie (absence d'oxygène) dans des digesteurs avec production d'un biogaz riche en méthane.

- **La stabilisation aérobie des boues**

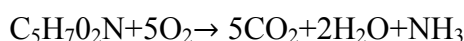
Elle consiste en une oxydation prolongée des boues fraîches sans recyclage de biomasse et à fort temps de séjour (de l'ordre de 10 jours).

Durant ce séjour prolongé, les micro-organismes passent en phase endogène après avoir épuisé toutes leurs réserves.

La proportion d'organismes encore vivants devient très faibles.

Une partie notable des matières organiques est transformée en CO₂. Celles qui subsistent sont en grande partie sous forme de déchets d'enveloppes bactériennes, riches en polysaccharides et difficilement biodégradables donc stabilisées. [16]

Ce mécanisme de la respiration endogène est schématisé par la relation suivante :



- **La digestion anaérobie des boues**

La digestion anaérobie est une fermentation en l'absence d'oxygène qui permet de stabiliser les matières organiques en les transformant le plus complètement possible en gaz méthane et gaz carbonique.

Un premier groupe bactérien, formé par les bactéries productrices d'acides, est responsable de la transformation des composés organiques complexes en composés organiques plus simples (acide acétique, propionique, butyrique) qui deviennent une source de nourriture pour un second groupe : les bactéries méthaniques.

Ces dernières sont strictement anaérobies, se développent lentement et sont sensibles aux variations de températures et de pH du milieu ambiant.

La digestion des matières organiques s'effectue généralement à l'aide de bactéries mésophiles qui maintiennent leur activité jusqu'à 37°C.

Une production importante d'acides volatiles conduit à une baisse du pH qui freine l'activité biologique de la digestion. Une alcalinité bicarbonatée élevée peut avoir un effet tampon bénéfique.

Le gaz produit est composé essentiellement de méthane CH_4 et du gaz carbonique CO_2 dans les proportions suivantes :

CH_4 : 65 à 70%

CO_2 : 25 à 30%

D'autres éléments peuvent être présents en faible proportion oxygène O_2 (0 à 0,3%), oxyde de carbone CO (2 à 4%), Azote N_2 (1%), Hydrocarbures (0 à 1,5%), Dihydrogène sulfuré H_2S [16].

- **La stabilisation chimique**

La stabilisation chimique bloque simplement l'activité biologique, et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50 % de la matière sèche, en général 30 %) élevant le pH au delà de 12. Le chaulage suppose généralement une déshydratation préalable des boues, sauf dans le cas du filtre-pressé où un lait de chaux est mélangé aux boues liquides. Les boues chaulées obtenues sont de structure pâteuse ou solide.

La stabilisation par chaulage connaît un développement soutenu depuis plusieurs années en raison de l'intérêt des boues pour le chaulage des sols acides.

Pour être précis, il est utile de souligner que souvent chaulage et compostage se pratiquent sur des boues déjà stabilisées biologiquement en station d'épuration. Ils constituent en quelque sorte un traitement complémentaire de stabilisation [7].

I.3.2. Réduction de la teneur en eau des boues

A la sortie du traitement des eaux usées, la teneur en eau des boues est très élevée, de l'ordre de 99 % de la matière brute. Pour réduire les volumes à manipuler, différents procédés sont mis en œuvre comprenant, par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation et le séchage.

En amont de ces procédés, des traitements dits de conditionnement sont souvent utilisés pour favoriser la séparation liquide-solide. Ils utilisent des flocculants organiques de synthèse (appelés polyélectrolytes) ou minéraux (chaux, sels de fer ou d'aluminium).

Le conditionnement peut aussi se faire par voie thermique (autoclavage) et consiste en une cuisson des boues à 180 - 220 °C pendant une demi-heure à deux heures pour casser les liaisons colloïdales propres à la rétention d'eau. Ce procédé est toutefois rarement utilisé en raison des difficultés d'emploi et d'un coût prohibitif.

L'épaississement vise à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue (un épaississement permet de réduire de 3 à 6 fois le volume de boue). Cet épaississement peut se faire simplement par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation). La siccité des boues épaissies ne dépasse pas usuellement 7 % en moyenne et se situe plutôt vers 5 à 6 %.

Généralement, les boues épaissies gravitairement ne sont pas conditionnées et leur siccité plafonne à 3 ou 3,5 %. Ce procédé est fréquent en zone rurale et concerne les petites stations d'épuration, de taille inférieure à 2000 équivalent-habitants.

L'épaississement dynamique (ou mécanique) devient plus fréquent pour les stations de taille comprise entre 2000 et 5000 équivalent-habitants. Ces valeurs sont simplement indicatives car les situations observées sur le terrain restent fort diverses.



Figure 3: Épaissement des boues par flottation

La déshydratation, qui correspond en fait à une augmentation forte de siccité, modifie l'état physique des boues, celles-ci passant de l'état liquide à l'état pâteux ou solide.

Les filtres à bandes et les centrifugeuses (à noter que les centrifugeuses donnent selon leur réglage des boues liquides ou pâteuses) donnent des boues plutôt pâteuses en raison de performances de déshydratation qui plafonnent à 18-20 % de siccité pour la première famille de matériels, et 20-25 % de siccité pour la seconde.

Les filtres-presses produisent par contre des boues de structure solide (30 à 35 % de siccité) car conjuguant un conditionnement au lait de chaux et des pressions élevées. Ces matériels sont réservés aux installations les plus importantes, car plus coûteux et contraignants d'emploi que les filtres à bande et les centrifugeuses. Des perfectionnements technologiques sont régulièrement enregistrés.

Le séchage élimine en grande partie ou en totalité l'eau par évaporation, soit par voie naturelle (lits de séchage), soit par voie thermique. La technique des lits de séchage se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combine évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable et de graviers. L'emprise au sol est de 1 m² pour 4 à 5 habitants raccordés. Ce système extensif donne des boues solides à 35 - 40 % de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques.

Le **séchage thermique** permet une élimination quasi-totale de l'eau (siccité d'environ 95%). Les boues obtenues sont pulvérulentes ou en granulés.



Figure 4: la technique des lits de séchage

I.3.3. Les traitements de désinfection

Les traitements désinfection résultent souvent d'une conduite particulière des traitements de stabilisation : des boues correctement chaulées, séchées thermiquement peuvent être considérées comme des boues désinfectées. Cette liste de traitement n'est pas limitative.

Une boue est considérée comme désinfectée quand, à la suite d'un traitement, elle satisfait aux exigences définies dans le tableau ci-dessous Z[7].

Salmonelles	Entérovirus	œufs d'helminthes pathogènes viables
< 8 NPP/10 g MS	< 3 NPPUC/10 g MS	< 3/10 g MS

NPP : Nombre le plus probable

NPPUC : Nombre le plus probable d'unités Cytopathiques

MS : Matière Sèche

I.3.4. Désignation des différents types de boues :

L'appellation des différents types de boues résulte de la combinaison de plusieurs critères :

- nature de l'effluent (urbain, laiterie, abattoir, papeterie,...),
- caractéristique du traitement des eaux (primaire, physico-chimique, biologique),
- procédé de stabilisation (aérobie, anaérobie, chaulage, compostage),
- état physique des boues (liquide, pâteux, solide, pulvérulent, granulé),

- type de matériel de déshydratation (filtre-presse, centrifugeuse, table d'égouttage,...).

L'ensemble des combinaisons possibles montre qu'il existe en théorie un grand nombre de types de boues. Les principaux types de boues proposés au recyclage en agriculture sont les suivants :

- boues liquides issues de traitements aérobies,
- boues pâteuses issues de traitements aérobies ou anaérobies,
- boues chaulées, pâteuses ou solides,
- boues compostées,
- boues physico-chimiques (très souvent il s'agit aussi de boues chaulées),
- boues de lits de séchage,
- boues de lagunage (catégorie particulière de boues liquides ; le traitement de ces boues se fait de façon extensive, selon un mode anaérobie, au fond des bassins) [7].

I.4. Dimensionnement d'une station d'épuration

I.4.1. Critère de choix de site de la STEP

Le choix d'un éventuel site pour l'implantation d'une station d'épuration doit tenir compte de divers critères parmi lesquels les plus importants sont [11] :

1. Réseau de la collecte existant

Pour optimiser économiquement le projet d'épuration, il est important d'éviter le relevage des eaux usées afin de réduire les investissements supplémentaires relatifs à l'installation de pompage et les frais de fonctionnement.

2. Caractéristique du site

- Hauteur de la nappe phréatique.
- Pente.

Ces caractéristiques conditionnent le choix des techniques de construction lors de la réalisation du projet (stabilité des berges latérales des bassins) avoir une pente générale convenable pour assurer un écoulement normale entre différents bassins.

Il est souhaitable que le site d'implantation de la station présente un profil permettant de limiter les travaux du terrassement et de génie civil, il faut tenir en compte aussi de la nature du sol.

3. Protection du site contre les inondations

C'est un critère auquel il faut donner beaucoup d'intérêt, afin d'éviter son envasement au cours d'une éventuelle inondation.

4. Choix d'un milieu récepteur pour les eaux épurées.

Même si une réutilisation des eaux usées traitées est effectivement possible, cette solution ne permet pas une réutilisation totale des eaux traitées pendant toute l'année.

De ce fait, il faut que soit l'exutoire acceptera une dilution conforme aux normes, soit procéder à une épuration complémentaire, si la nature du sol et la profondeur de la nappe l'exige, en vu de garantir la préservation de l'environnement et la qualité du milieu récepteur.

Le niveau d'acceptabilité du milieu conditionnera le choix du procédé d'épuration à retenir.

I.4.2. Choix de procédés de traitement biologique

La liste des critères qui devraient intervenir dans le choix de la filière de traitement (eau et boue) est :

- le niveau de traitement requis (rendement, concentration)
- la capacité d'installation
- la destination des boues
- la surface au sol disponible
- la variation saisonnière de la charge polluante
- les contraintes environnementales
- le coût d'investissement
- le coût d'exploitation
- la qualité du terrain (lagune notamment)
- la fiabilité de la filière (sensibilité du milieu et traitement tertiaire spécifique)

Chapitre II : La réutilisation des eaux usées

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant. Par définition, cette réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques.

En fonction des exigences de qualité des consommateurs, deux grandes classes de réutilisation peuvent être définies :

- Les usages potables qui peuvent être directs, après un traitement poussé, ou indirects, après passage dans le milieu naturel.
- Les usages non potables dans les secteurs agricoles (irrigation), industriel et urbain

Au plan mondial, l'utilisation de cette technique par l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvre respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau[14].

La figure suivante résume les principales voies de réutilisation dans les pays ayant une expérience significative dans ce domaine. Il apparaît que la réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen, le Sud des Etats-Unis. Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud

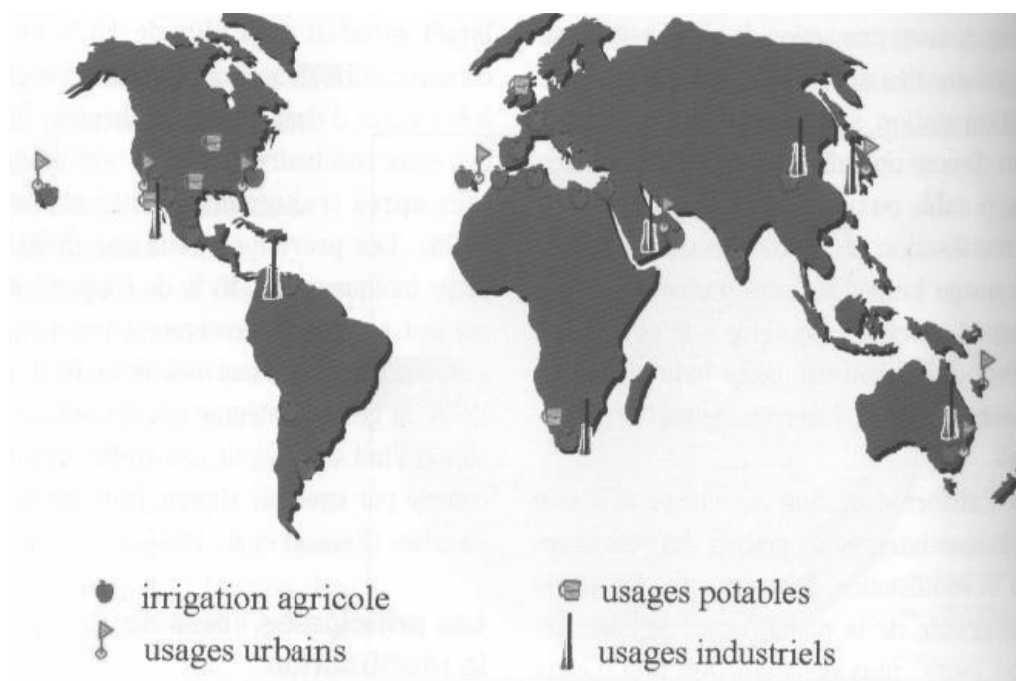


Figure 5 : Répartition par secteur et localisation des expériences mondiales les plus importantes en réutilisation des eaux résiduaires urbaines

Tableau 3 : Formes de réutilisation des eaux usées

Formes de réutilisation	Application
Production de l'eau potable	<ul style="list-style-type: none"> - Production indirecte d'eau potable - Production directe d'eau potable
Irrigation en agriculture	<ul style="list-style-type: none"> - Culture maraîchère - Arbres fruitiers - Cultures industrielles - Aquaculture
Activités récréatives	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation des cours d'eau pour le pêche, natation
Utilisations industrielles	<ul style="list-style-type: none"> - Eau de refroidissement
L'utilisation urbaine	<ul style="list-style-type: none"> - Irrigation de parcs, écoles - Golfs, résidences - Protection incendie - Recyclage en immeuble

Source : [14]

II.1. La réutilisation des eaux usées

II.1.1 Exemples de réutilisation des eaux épurées en agriculture dans le monde

Les projets se concentrent autour du bassin méditerranéen et en Europe, aux États-Unis ou encore en Australie. Certains pays comme la Tunisie ont une véritable politique nationale de réutilisation des eaux usées épurées.

- La **Tunisie** a développé un programme de réutilisation des eaux usées épurées dès les années soixante. La première utilisation d'eaux épurées a eu lieu aux alentours de Tunis, pour irriguer 600 ha de citronniers. La nappe qui alimentait autrefois les circuits d'irrigation avait été surexploitée et commençait à être envahie par l'eau de mer. Il a donc fallu trouver une solution alternative. A partir des années quatre-vingt, une politique de réutilisation a été mise en place. En 1993, 6.400 ha de terres agricoles étaient irrigués avec des eaux épurées, et ce chiffre devait atteindre 20 à 30.000 ha dans les années suivantes.

Le traitement préconisé est le bassin de maturation, le plus adapté aux conditions techniques et économiques locales. Les restrictions d'utilisation ne concernent que les légumes destinés à être consommés crus ou cuits, selon la réglementation tunisienne établie en 1989 [14].

- **États-Unis**, 34 états disposent de réglementations concernant l'usage agricole des eaux usées. La Californie fait office de précurseur. Sa réglementation sur la qualité des eaux et leur utilisation, dénommée «Title 22 », est une référence au niveau international. Respectivement 63 % (570.000 m³/j) et 34 %(340.000 m³/j) des eaux usées épurées des états de Californie et de Floride sont réutilisées pour l'agriculture. 70 % des effluents sont réutilisés pour l'irrigation agricole après un traitement type Titre 22 (filtration tertiaire et désinfection) [14].

II.1.2 Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux usées épurées

III.1.2.1 Risque microbiologique

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes. Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide (évaporation) et à l'abri du soleil. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte [14].

Les trois voies de contamination que l'on retrouve classiquement sont :

❖ la contamination par ingestion

C'est la plus commune. D'une part, il y a l'ingestion directe, lorsqu'il y a consommation d'eau. Celle-ci peut être volontaire lors de la consommation d'eau potable, ou involontaire, par exemple « boire la tasse » en natation. D'autre part, il y a

l'ingestion indirecte, par exemple quand les eaux épurées sont utilisées pour irriguer des cultures dont les produits sont ensuite consommés ;

❖ **La contamination par inhalation**

Elle est moins importante et n'est pas possible pour tous les polluants. Elle se produit lors de la formation d'aérosols, dans le cas de l'irrigation par aspersion ou de l'utilisation d'un karcher ;

❖ **la contamination par voie cutanée**

Un simple contact peut entraîner une contamination, souvent grâce à des microcoupures sur la peau. Seule la bactérie *Leptospira* est vraiment concernée par ce mode de transmission.

Tableau 4 : Les virus dans les eaux usées

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nbre pr 1l d'eau usée	Voies de contamination principales
Virus de l'hépatite A	Hépatite A		Ingestion
Virus de l'hépatite E	Hépatite E		Ingestion
Rotavirus	Vomissement, diarrhée	400 à 85 000	Ingestion
Virus de Norwalk	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Adénovirus	Maladie respiratoire, conjonctivite, vomissement, diarrhée		Ingestion
Astrovirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Calicivirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion
Coronavirus	Vomissement, diarrhée		Ingestion / inhalation
Réovirus	Affection respiratoire bénigne et diarrhée		Ingestion
Entérovirus :			
Poliovirus	Paralyse, méningite, fièvre	182 à 492 000	Ingestion
Coxsackie A	Méningite, fièvre, pharyngite, maladie respiratoire		Ingestion
Coxsackie B	Myocardite, anomalie congénitale du coeur (si contamination pendant la grossesse), éruption cutanée, fièvre, méningite, maladie respiratoire		Ingestion
Echovirus	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, rash, diarrhée, fièvre		Ingestion
Entérovirus 68-71	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, conjonctivite hémorragique aiguë, fièvre		Ingestion

Source : Site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)

Tableau 5 : Les bactéries pathogènes dans les eaux usées

Agent pathogène	Symptômes, maladie	Nbre pr 1l d'eau usée	Voies de contamination principales
<i>Salmonella</i>	Typhoïde, paratyphoïde, salmonellose	23 à 80 000	Ingestion
<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	10 à 10 000	Ingestion
<i>E. coli</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Yersinia</i>	Gastro-entérite		Ingestion
<i>Campylobacter</i>	Gastro-entérite	37 000	Ingestion
<i>Vibrio</i>	Choléra	100 à 100 000	Ingestion
<i>Leptospira</i>	Leptospirose		Cutanée/Inhalation/Ingestion
<i>Legionella</i>	Légionellose		Inhalation
<i>Mycobacterium</i>	Tuberculose		Inhalation

Source : Site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)

Tableau 6 : Les parasites pathogènes dans les eaux usées

Organisme	Symptômes, maladie	Nbre pr 1l d'eau usée	Voies de contamination principales
Protozoaires			
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne	4	Ingestion
<i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée, malabsorption	125 à 100 000	Ingestion
<i>Balantidium coli</i>	Diarrhée bénigne, ulcère du colon	28-52	Ingestion
<i>Cryptosporidium</i>	Diarrhée	3 à 122	Ingestion
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose : ganglions, faible fièvre		Inhalation / Ingestion
<i>Cyclospora</i>	Diarrhée, légère fièvre, perte de poids		Ingestion
<i>Microsporidium</i>	Diarrhée		Ingestion
Helminthes			
<i>Ascaris</i>	Ascariadiase : diarrhée, troubles nerveux	5 à 111	Ingestion
<i>Ancylostoma</i>	Anémie	6 à 188	Ingestion/ Cutanée
<i>Necator</i>	Anémie		Cutanée
<i>Tenia</i>	Diarrhée, douleurs musculaires		Ingestion de viande mal cuite
<i>Trichuris</i>	Diarrhée, douleur abdominale	10 à 41	Ingestion
<i>Toxocora</i>	Fièvre, douleur abdominale		Ingestion
<i>Strongyloides</i>	Diarrhée, douleur abdominale, nausée		Cutanée
<i>Hymenolepis</i>	Nervosité, troubles digestifs, anorexie		Ingestion

Source : Site Internet du ministère de la Santé du Canada (www.hc-sc.gc.ca)

Tableau 7 : Facteurs environnementaux modifiant la survie des microorganismes

Facteur	Diminution de la survie
Température	Quand elle augmente
Eau	Quand l'humidité diminue
pH	Aux pH extrêmes (>12 ou < 3)
Ensoleillement	Quand la luminosité augmente
Oxygène	Effet variable selon le type respiratoire des bactéries ; effet négatif sur les Virus
Matière organique (nutriments)	Quand la quantité de nutriments diminue
Organismes vivants	Quand l'activité biologique augmente. L'activité biologique du milieu (présence d'organisme saprophytes tels que certains champignons) diminue la résistance des organismes par compétition pour les nutriments et sans doute par prédation.

Source : OIE 1997

Tableau 8 : Temps de survie des pathogènes excrétés à 20–30 °C.

	Temps de survie en jours			
	Dans les matières de vidange et les boues	Dans les eaux claires et les eaux usées	Sur le sol	Sur les plantes
Virus Entérovirus	< 100 (< 20)	< 120 (< 50)	< 100 (< 20)	< 60 (< 15)
Bactéries Coliformes fécaux Salmonella	< 90 (< 50)	< 60 (< 30)	< 70 (< 20)	< 30 (< 15)
Protozoaires	< 30 (< 15)	< 30 (< 15)	< 20 (< 10)	< 10 (< 2)
Helminthes	Plusieurs mois	Plusieurs mois	Plusieurs mois	< 60 (< 30)

Source : OIE 1997

Les valeurs entre parenthèses montrent le temps de survie habituel.

II.1.2.2 Risque chimique

II.1.2.2.1 Eléments traces

Les éléments traces sont, en général, immobilisés dans les couches supérieures du sol, par adsorption et échange d'ions. Cette accumulation peut avoir pour conséquence à terme des risques pour le développement des plantes, la santé humaine et animale;

Les métaux qui présentent les risques les plus notables sont:

- Le cadmium et molybdène, peuvent être toxiques pour les animaux et les humains, à des concentrations bien inférieures aux seuils de phytotoxicité;
- Le nickel, zinc et cuivre sont d'abord phytotoxiques[14].

Tableau 9 : Concentration maximale d'éléments à l'état de trace recommandée pour les eaux d'irrigations.

Élément	Concentration maximale recommandée (mg/l)	Observations
Al (aluminium)	5,0	Peut provoquer la stérilité des sols acides (pH <5,5), mais les sols sodiques précipiteront l'ion et élimineront la toxicité à pH > 7,0.
As (arsenic)	0,10	La toxicité à l'égard des plantes varie fortement, à moins de 0,05 mg/l pour le riz.
Be (beryllium)	0,10	La toxicité vis-à-vis des cultures varie fortement de 5mg/l pour le chou à 0,5 mg/l pour les haricots blancs.
Cd (cadmium)	0,01	Toxique pour les haricots, les betteraves et les navets à de faibles concentrations (0,1 mg/l dans la solution nutritive). Des limites prudentes sont recommandées en raison des possibilités de former des concentrations, dans les végétaux et les sols, dangereuses pour l'homme.
Co (cobalt)	0,05	Toxique pour la tomate à 0,1 mg/l dans la solution nutritive. A tendance à être neutralisé par les sols à pH > 7.
Cr (Chrome)	0,10	N'est en général pas considéré comme un élément essentiel de la croissance. En raison d'un manque d'information sur ses effets toxiques, on recommande des limites prudentes.
Cu (cuivre)	0,20	Toxique pour un certain nombre de plantes à partir de concentrations comprises entre 0,1 et 1,0 mg/l, dans la solution nutritive.
F (fluor)	1,0	Neutralisé par les sols à pH > 7.
Fe (Fer)	5,0	Pas toxique pour les plantes dans les sols aérés, mais peut contribuer à l'acidification des sols et à la baisse de la disponibilité du phosphore et du molybdène essentiels. Peut provoquer, en aspersion "haute", des dépôts peu esthétiques sur les plantes, l'équipement et les bâtiments.
Li (Lithium)	2,5	Toléré par la plupart des cultures jusqu'à 5mg/l, mobile dans le sol. Toxique pour les agrumes à des concentrations faibles (<0,075 mg/l). Agit comme le bore.
Mn (manganèse)	0,20	Toxique pour un certain nombre de plantes, à partir de quelques dixièmes de mg/l à quelques mg/l, mais en général seulement dans les sols acides.
Mo (molybdène)	0,01	Non toxique pour les cultures à des concentrations normales dans le sol et l'eau. Peut être toxique pour le bétail lorsque le fourrage pousse sur des sols à forte concentration en molybdène disponible.
Ni (nickel)	0,20	Toxique pour un certain nombre de plantes à partir de concentrations variant de 0,5 mg/l à 1,0 mg/l, toxicité réduite avec un pH neutre ou alcalin.
Pb (plomb)	5,0	Peut inhiber la croissance des cellules végétales à des concentrations très élevées
Se (sélénium)	0,02	Toxique pour les cultures à des concentrations aussi faibles que 0,025 mg/l et toxique pour le bétail si le fourrage est cultivé sur des sols avec un niveau relativement élevé de sélénium apporté. Essentiel aux animaux mais à des concentrations très basses.
Sn (étain)	---	Exclu efficacement par les plantes; tolérance spécifique inconnue.

Tableau 9(suite)

V (vanadium)	0,10	Toxique vis-à-vis de nombreux végétaux à des concentrations relativement faibles.
Zn (zinc)	2,0	Toxique pour de nombreuses plantes à des concentrations très variables, toxicité réduite à pH > 6,0 et dans les sols à texture fine ou organiques.

II.1.2.2.2 Substances nutritives

Ces impacts sont d'importance particulière puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement des terres.

- **L'azote**

En quantité excessive peut [17]:

- ✓ Perturber certaines productions,
- ✓ Retarder la maturation de certaines cultures, abricots, agrumes;
- ✓ Altérer leur qualité, comme par exemple réduire la teneur en sucres des fruits ;
- ✓ Accentuer la sensibilité des cultures aux maladies, la tendance à la verse pour les céréales,
- ✓ Limiter le développement des jeunes racines.

- **Les nitrates**

L'origine des nitrates dans l'eau souterraine est principalement due aux engrais et les eaux d'épuration. L'azote n'est pas absorbé par les plantes, volatilisé, ou emporté par le nettoyage des surfaces dans les eaux souterraines sous forme de nitrate. Ceci rend l'azote non disponible pour les plantes, et peut également augmenter la concentration dans les eaux souterraines au-dessus des niveaux admissibles pour la qualité de l'eau potable. Les systèmes septiques éliminent seulement la moitié de l'azote des eaux usées, laissant l'autre moitié dans les eaux souterraines, ceci conduit à une augmentation des concentrations en nitrate [25].

Tableau 10 : Normes concernant les nitrates dans l'eau potable

Substance	Nature du trouble qui peut se produire	Niveau approximatif au-dessus duquel des troubles peuvent apparaître
Nitrate (entant que NO ₃)	Danger de méthémoglobinémie infantile si l'eau est consommées par des nouveaux-nés.	- Recommandé: moins de 50 mg/l. - Acceptable: 50 à 100 mg/l. - Non recommandé: plus de 100 mg/l

Source [OMS]

Une exposition à court-terme à l'eau potable avec un niveau de nitrate supérieur à la norme est potentiellement dangereux pour la santé, notamment pour les bébés. Les bébés boivent de fortes quantités d'eau comparativement à leur poids, spécialement si l'eau est utilisée pour mélanger les poudres ou les recettes ou les jus concentrés. De plus, leur système digestif est immature, et ainsi plus propice à la réduction des nitrates en nitrites. Les nitrites dans les appareils digestifs des bébés peuvent entraîner une méthémoglobinémie (maladie du sang bleu) [25].

✓ **Méthémoglobinémie: une maladie causée par un excès en nitrate**

La condition clinique se produisant à partir de la conversion de l'hémoglobine en méthémoglobine, qui est incapable de relier ou de transporter l'oxygène. La méthémoglobine est formée lorsque le fer de la molécule d'hémoglobine est oxydé de Fe^{2+} en Fe^{3+} .

• **Le potassium**

La concentration en potassium dans les effluents secondaires varie de 10 à 30 mg/l. Un excès de fertilisation potassique conduit à une fixation éventuelle du potassium et une augmentation des pertes par drainage en sols légers [17].

• **Le phosphore**

Le principal problème causé par le phosphore est l'eutrophisation des milieux aquatiques, notamment des lacs.

L'eutrophisation est "l'asphyxie des eaux d'un lac ou d'une rivière" due à un apport exagéré de substances nutritives - notamment le phosphore - qui augmentent la production d'algues et de plantes aquatiques.

La décomposition et la minéralisation de ces algues, lorsqu'elles meurent, consomment de l'oxygène dissous. Autrement dit, plus il y a d'algues, moins il y a d'oxygène, particulièrement dans les eaux du fond. En dessous d'un certain seuil, on parle généralement de 4 mg d'oxygène par litre, les conditions de vie deviennent difficiles pour la faune et la flore [17].

II.1.2.2.3. la concentration saline des eaux

Au cours des irrigations successives, la plante prélève l'eau qui lui est nécessaire et abandonne dans le sol une large fraction des sels apportés. Ces résidus s'accumuleront et la salinité propre du sol s'élèvera en même temps que les volumes d'eau appliqués. Les eaux d'irrigation doivent, donc renfermer des quantités de sel notable inférieures au niveau de salinité de la solution de sol considéré comme

dangereux. Dans le cas contraire, il faut pratiquer des irrigations supérieures aux besoins de la culture de manière que l'eau en excès entraîne en profondeur hors de portée des racines les éléments solubles.

Les risques de salinisation peuvent être minorés de 10 à 30% si la fraction de lessivage correspond à celle d'une irrigation bien réalisée (10 à 20% de lessivage).

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-) [20].

➤ Le Sodium

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation; le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui conduit à une structure compacte lorsque cette dernière est sec et excessivement imperméable à l'eau.

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'adsorption du sodium (SAR). Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation [20].

Le SAR (le sodium, le calcium, et le magnésium sont exprimé en meq/L) :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}}$$

II.1.2.2.4 Les eaux souterraines (nappes)

- Les nappes libres (nappes qui ne possèdent pas de couche imperméable au-dessus permettant leur protection) sont les plus exposées à la contamination par l'infiltration des eaux usées épurées après irrigation, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection, mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes [17].
- Les nappes captives (nappes qui ont une couche imperméable au-dessus qui empêche l'eau et donc les polluants de s'infiltrer) sont plus protégées mais peuvent être éventuellement contaminées par des forages ou une autre mise en communication avec la surface ou un autre aquifère pollué [17].

II.2 Stockage des eaux épurées

II.2.1 Recharge de nappes aquifères

Il y a deux possibilités de recharger des nappes aquifères :

- Déversement direct des eaux épurées après un haut degré de traitement par un forage.
- l'infiltration-percolation: cette technique utilise les capacités épuratrices des sols en combinant l'épuration complémentaire et recharge de nappes.

II.2.2 Réservoirs de stabilisation

Ce sont des réservoirs de profondeur variable de 5,5 à 15 mètres, le stockage des EE dans ces réservoirs sur de longues durées (de quelques jours à quelques semaines voir des mois) constitue un véritable traitement complémentaire; il permet la diminution des matières en suspension, l'azote (nitrates) et les micro-organismes.

Ces diminutions sont très variables selon la qualité de l'eau d'entrée et la conception du réservoir (en particulier sa profondeur) [17].

II.3 Situation de la réutilisation des EE en Algérie:

Quelques chiffres [20] :

- ✓ Surface Agricole Utile (SAU) : 8,5 millions ha soit 3,3 % de la de la superficie géographique.
- ✓ Potentiel de croissance à moyen terme : 01 million d'hectares.
- ✓ Superficie Irriguée (2006) : 900.000 ha soit 10,5 % de la SAU.
 - **irriguées principalement à partir des eaux souterraines soit 78%.**
 - 674.000 ha irrigués à partir de :
 - 42.400 forages,
 - 132.000 puits,
 - 5.300 sources,
 - **Eaux superficielles (13%):**
 - 109.000 ha irrigués à partir de :
 - 59 barrages totalisant une capacité de 44 hm³,
 - 318 retenues collinaires totalisant une capacité de 33,4 hm³,
 - 9.500 prises au fil d'eau,
 - 77.000 ha irrigués à partir de 1.120 points d'eau (Épandages de crues, foggaras, etc. ...)

- **Irrigation avec les eaux épurées :**

- ✓ Superficie irriguée en 2006: 410 ha.
- ✓ Superficie en projet: 12.000 ha.
- ✓ Superficie à irriguer à terme: 60.000 ha

II.3.1 Situation des stations d'épurations

Au cours de ces dernières années, le Ministère des Ressources en Eau a entrepris la mise en œuvre d'un important programme d'investissement concernant la réalisation et la réhabilitation de STEP.

Les STEP conçues, répondent aux critères imposés par le Ministère des Ressources en Eau et qui consistent à :

- Protéger les eaux des retenues existantes contre la pollution et l'eutrophisation
- Protéger le littoral et les zones de baignades.

- **Eaux usées produites**

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

- **Eaux usées épurées**

- Capacité installée actuelle : 270 hm³.
- Volume actuel épuré : 150 hm³.
- Capacité installée à l'horizon 2020: 972 hm³
- Capacité installée à l'horizon 2030 : 1.271 hm³

- **STEP à boues activées**

Cent une (101) STEP seront en service avant 2010. Les capacités installées pour le traitement des eaux usées varient de 200 m³/j pour l'agglomération de H'Nancha (Souk Ahras) à 750 000 m³/j pour la STEP de Baraki (Alger) [20].

- **Lagunage**

Quatre-vingt treize (93) STEP de type lagunage dont 20 de type aéré seront en service avant 2010. Les capacités installées varient de 320 m³/j pour l'agglomération de l'Émir Abdel Kader (Ain Temouchent) à 42 000 m³/j pour la STEP de Ouargla [20].

Tableau 11 : Nombre de STEP à l'échelle nationale.

Procédé de traitement	Etat	Nombre
Boue activée et lagunage	En exploitation <i>dont six (6) en travaux de réhabilitation et une (1) en étude de réhabilitation</i>	41
	En travaux	51
	En voie de lancement	33
	En travaux de réhabilitation (hors service)	7
	En étude de réhabilitation (hors service)	6
	En cours d'études	56
Total		194

Source: [MRE]

II.3.2 Perspectives de réutilisation des EUE en agriculture

Travaux : Quatre projets totalisant une superficie de 3.000 ha

- Périmètre de Hennaya à partir de la STEP de Tlemcen (wilaya de Tlemcen) sur une superficie de 912 ha.
- Périmètre de Dahmouni (wilaya de Tiaret) sur une superficie 1.214 ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la ville de Bordj Bou Arreridj sur une superficie de 350 ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de Hamma Bouziane à Constantine sur une superficie de 327 ha [20].

Étude : Trois projets totalisant une superficie de 9.000 ha.

- Périmètre d'irrigation de M'leta à partir de la STEP d'Oran sur une superficie de 8.100. ha.
- Aire d'irrigation à l'aval de la STEP de la ville de Médéa a sur une superficie de 255ha.
- Périmètre d'irrigation à partir de la STEP de la vallée d'oued Saida sur une superficie 330 ha [20].

Cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées :

La loi n° 05 - 12 du 04 août 2005, relative à l'eau, a institué, à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation (JO n°60 - année 2005).

Le décret n° 07-149 du 20 mai 2007 fixe que le concessionnaire (personne physique ou morale) qui se propose de distribuer, à des usagers, des eaux usées épurées à des fins d'irrigation) et les différents intervenants (direction de wilaya de l'hydraulique, de la santé, de l'agriculture et du commerce) sont tenus de procéder à un contrôle régulier de la qualité des eaux distribuées afin de s'assurer en

permanence, que la qualité de eaux épurées est conforme aux normes fixées par la réglementation en vigueur (normes Organisation Mondial de la Santé (OMS) et Organisation de l'Alimentation FAO).

Tableau12 : Perspectives de traitement et de réutilisation des EE en irrigation.

	2010	2015	2020	2025	2030
Volume d'eau usée intercepté (hm ³ /an)	501	708	972	1.208	1.271
Volume d'eau usée épurée (hm ³ /an)	257	399	561	705	762
Surface à irriguer par les EUE sans stockage (ha)	21.773	34.485	48.279	59.876	64.431
Surface à irriguer par les EUE avec 100% de stockage (ha)	36.288	57.476	80.466	99.794	107.385

Source: [MRE]

II.3.3 Normes actuellement en usage

➤ Normes et critères OMS et FAO

Les paramètres minimaux de qualité bactériologique des EE à la sortie de la STEP permettant d'assurer la protection sanitaire des agriculteurs et des consommateurs, sont ceux de l'OMS (1989, 2000 et 2006). Les paramètres de qualité physico-chimique des EE admissibles pour un usage agricole adéquat sont ceux de la FAO (1985).

Tableau 13 : 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 O ₂ /l	< 40 **	
DBO ₅	mg O ₂ / 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 *	
Chlore résiduel	mg/l	/	
SAR	meq/l	- <3* Aucune restriction - 3-9* restriction légère à modérée - >9* Forte restriction	
Coliformes totaux	UFC/100ml	/	
Streptocoque fécaux	UFC/100ml	1000 **	
Salmonelles	UFC/ 1L	Absence **	

Source: [MRE]

Tableau 14 : Les normes microbiologiques révisées de l'OMS (2000 et 2006) pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture.

Catégories	Condition de réutilisation	Groupes exposés	Nématodes intestinaux	Coliformes fécaux	Traitement recommandés pour atteindre le niveau de qualité microbiologique
A	Irrigation sans restriction A1 pour les cultures maraichères consommées crues, les terrains de sports, les parcs publics.	Travailleurs, consommateurs, publics.	$\leq 0,1$	≤ 10	Série de bassin de stabilisation bien conçus, réservoir de stockage et de traitement équivalent (ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit d'un lagunage tertiaire. Soit d'une filtration et d'une désinfection)
B	Irrigation restreinte. Céréales, cultures industrielles, Fourragères, pâturage et forêt ^f	B1 : Travailleurs (mais pas les enfants < 15 ans), population alentour	≤ 1	$\leq 10^3$	Série de bassin de rétention dont un bassin de maturation ou un bassin séquentiel ou un traitement équivalent (ex. traitement secondaire conventionnel suivi soit par des lagunages tertiaires, soit une filtration)
		B2 : comme B1	≤ 1	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A
		B3 travailleurs dont les enfants < 15 ans. Population alentour	$\leq 0,1$	$\leq 10^3$	Comme pour la catégorie A
C	Irrigation localisée sur des cultures de la catégorie B s'il n'y a pas d'exposition des travailleurs ou du public	Aucun	Pas de norme.	Pas de norme.	Prés traitement nécessaire pour des raisons techniques liées à l'irrigation, mais pas moins qu'une sédimentation primaire

Source: [MRE]

Chapitre III : Valorisation des boues en agriculture

La concentration d'éléments fertilisants présents dans le sol diminue au fil des années. Les pertes en éléments fertilisants sont dues principalement au lessivage par l'eau de pluie et aux cultures car les éléments fertilisants se retrouvent incorporés dans les récoltes (par exemple, 100 kg de blé contiennent 1,8 kg d'azote, 1 kg de phosphate et 0,5 kg de potasse). Les engrais et la fumure organique apportent les éléments fertilisants. Depuis la fin des années 1940, c'est l'apport régulier d'engrais qui a permis de multiplier par cinq le rendement des cultures.

De la même façon, la qualité physique du sol diminue au cours du temps, notamment à cause de la décomposition spontanée de l'humus. Pour que le sol reste cultivable, il faut l'amender, c'est-à-dire lui apporter des substances visant à améliorer ses propriétés physiques et chimiques.

Les boues de la station d'épuration peuvent constituer un apport non négligeable en matière organique pour le sol.

III.1. Quelques définitions

- **Les éléments fertilisants**

Les éléments fertilisants sont nécessaires à la vie des plantes que celles-ci puisent dans le sol. On en distingue trois groupes en fonction des quantités nécessaires. Le phosphore, le potassium, et l'azote sont les éléments fertilisants primaires. Les éléments fertilisants secondaires sont le calcium, le magnésium, le sodium et le soufre. Il y a enfin les oligo-éléments (fer, zinc, cuivre, etc.) [26].

- **Le complexe argilo-humique**

L'humus s'agrège avec de l'argile pour former un complexe argilo-humique. La liaison entre l'argile et l'humus est réalisée notamment grâce à l'action des vers de terre.

L'humus empêche la dispersion de cette argile due, par exemple, à un excès d'humidité.

Le complexe argilo-humique présente un autre avantage. L'argile protège l'humus contre les attaques des microbes. Dans un sol sans argile l'humus est rapidement transformé en minéraux.

Le complexe argilo-humique peut contenir des éléments sableux.

La structure en feuillet des argiles confère au complexe une puissante charge négative. Une certaine quantité de cations libres de la solution du sol peuvent alors s'y fixer (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ , Na^{2+} etc.). Le complexe argilo-humique est ainsi un véritable réservoir d'éléments nutritifs pour la culture [26].

- **Le compost**

Selon le dictionnaire Petit Larousse, le compost est un mélange fermenté de résidus organiques et minéraux utilisés pour l'amendement des terres agricoles, alors que le compostage est une préparation du compost consistant à laisser fermenter des résidus agricoles ou urbains (ordures ménagères) mélangé ou non avec de la terre végétale.

Le compostage est un procédé biologique de conversion et de valorisation des matières organiques (sous-produits de la biomasse, déchets organiques d'origine biologique...) en un produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau, riche en composés humiques, le compost.

Les organismes responsables du compostage ont besoin de trois éléments pour vivre :

- de nourriture équilibrée, composée d'un mélange de matières carbonées (brunes-dures-sèches) et de matières azotées (vertes-molles-humides) ;
- d'humidité, contenue particulièrement dans les matières azotées ;
- d'air, dont la circulation est favorisée par les matières carbonées structurantes (dures).



Figure 6 : Le compost

❖ Le rapport C/N

Les conditions biologiques favorables à la décomposition dépendent du rapport C/N. Le rapport théorique idéal est voisin de 30 : dans cette zone les microorganismes trouvent exactement la proportion d'azote et de carbone nécessaire à leur croissance.

- Pour des rapports C/N > 30, le peu d'azote disponible freinera la croissance microbienne, le compost n'arrive pas à maturité ; on assistera à un effet dépressif sur les plantes par « faim » d'azote.
- Pour des rapports C/N < 30, l'excédent d'azote sera perdu par volatilisation ou percolation.

Etant donné que les microorganismes utilisent environ 30 parties de carbone pour une partie d'azote, un rapport C/N initial voisin de 30 semble aussi celui qui permet la meilleure fixation de l'azote dans la substance cellulaire qui limite donc le mieux les pertes [15].

❖ Les buts et les avantages du compostage

Le but du compostage est de ramener au sol un produit de qualité à base de matière organique et d'éléments minéraux, et qui lui sont associés.

Sur le plan agronomique, le compost permet :

- Une homogénéisation des matières,
- Un rééquilibrage du rapport C/N des matières organiques,
- Une stabilisation de la matière organique évitant les soucis de stockage (odeurs et pertes d'azote),
- Une réduction voire une élimination des semences de mauvaises herbes qui pourraient s'y retrouver,
- Un apport de matière organique de bonne structure qui améliore les qualités physiques du sol et par-là favorise l'absorption et la rétention de l'eau tout en réduisant l'érosion (éolienne et hydrique),
- Une meilleure activité de la microfaune tellurique qui accroît les échanges nutritionnels entre les plantes et le sol tout en réduisant les risques d'attaques pathologiques des microorganismes.

Le compostage, dans la perspective de recyclage des déchets, permet :

- Une destruction plus ou moins importante des polluants organiques par biodégradation,
- Un apport d'éléments fertilisants complémentaire aux **sols qui seraient perdus** sans ce recyclage,

- Une dilution des matières toxiques peu ou pas dégradables en permettant ainsi de les répartir sur une plus grande surface de sols.

- **Le fumier**

Le fumier est une matière organique (excréments d'animaux additionnés de pailles) utilisée comme produit fertilisant dans l'agriculture. Les fumiers contribuent à enrichir la terre en y ajoutant des matières organiques et des nutriments, comme l'azote.

Le fumier séché d'animaux fut également utilisé comme combustible au cours de l'histoire. Celui de vache, en particulier, fut, et demeure aujourd'hui encore un combustible important dans des pays comme l'Inde et en Afrique [26].



Figure 7 : Le fumier

- **Les boues**

Une boue est un mélange d'eau et de matière solide. On distingue :

- Les boues d'épuration provenant des stations de traitement qui collectent, par le tout-à-l'égout, les eaux usées et les eaux de ruissellement urbaines.
- Les boues des fosses septiques (assainissement individuel). Elles sont acheminées vers les stations d'épuration pour y être traitées avec les autres boues.
- Les boues industrielles résultant du traitement des eaux usées du secteur agroalimentaire, de l'industrie du cuir et de l'industrie du papier et des fibres [26].

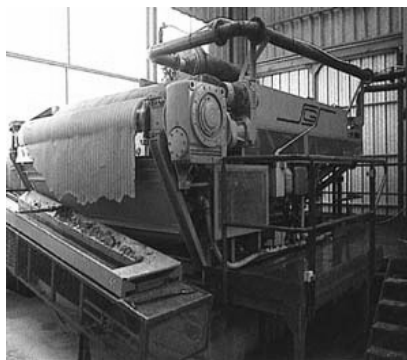


Figure 8 : Les boues d'épuration

III.2.L'intérêt d'utilisation des boues en agriculture

III.2.1.La composition des boues d'épuration

Le constituant majeur d'une boue à la sortie d'une station d'épuration est l'eau (94% à 98%).

Les boues sont très riches en matière organique (50 à 70 % de la matière sèche). Par tonne de matière sèche, elle contient à peu près autant de MO qu'un fumier.

La décomposition des boues d'épuration libère de grandes quantités d'azote (principalement sous forme de nitrate) et de phosphore.

Les métaux lourds représentent, en moyenne, moins de 0,15 % de la matière sèche. La réglementation évolue avec l'efficacité croissante de la gestion des déchets et les avancées techniques de leur traitement. La concentration maximale autorisée tend ainsi à diminuer au fil des années. La boue à la sortie d'une station est pauvre en potasse.

La nature de la matière organique des boues est très différente de celle du fumier, laquelle est constituée principalement de composés cellulosiques et des lignines dérivant de la structure des végétaux.

Dans les boues la partie principale de la MO est constituée par des corps microbiens ou des produits d'excrétions de ces derniers [16].

Il est à noter que les modes de traitement des eaux et des boues influenceront nettement sur l'ensemble de ces paramètres et que les teneurs en éléments fertilisants et en MO sont extrêmement variables.

Tableau 15 : Composition des boues en fonction du type de traitement

Nature des dosages	B1	B2	B3	B4	B5
pH	12.4	6.8	5.85	14	6.5
C/N	11.2	15.3	10.4	12.3	8.7
H ₂ O en %	75	72	95.5	61.5	5.5
EN % de MS					
MO	38.6	63.8	57.2	-	52.1
C	22.7	38.4	38.8	12.6	30.5
Azote	2.0	2.5	3.5	1.0	3.5
P ₂ O ₅	-	3.0	5.8	1.3	2.2
K ₂ O	-	0.17	-	0.09	0.2
CaO	25.5	5.4	9.7	33.7	7.5

Source : [16]

B1 : Boues déshydratées sous vide et floculées à la chaux et chlorure ferrique ;

B2 : Boues centrifugées après traitement au polyélectrolyte cationique ;

B3 : Boues provenant directement des décanteurs primaires et secondaires.

B4 : Boues traitées au chlorure ferrique et à la chaux plus déshydratées par filtre presse ;

B5 : Boues digérées déshydratées ;

III.2.2. Importance de la matière organique pour le sol

Le sol, par sa fertilité, conditionne la production agricole. La fertilité du sol est en fait l'une des conditions minimales et essentielles à laquelle la nature ou l'homme doit pourvoir afin qu'il y ait production

En effet, le sol fournit aux plantes les minéraux nécessaires à leurs croissances et développements. La disponibilité des éléments minéraux est fonction du type de sol, de sa structure et de sa texture, et secondairement, de sa richesse en matières organiques. L'ordre de priorité des principales améliorations à apporter à un sol est le plus souvent le suivant :

- Maintien de l'humidité ;
- Augmentation de sa profondeur ;
- Régulation de son acido-alcalinité ou pH ;
- Amélioration de sa structure ;
- Amélioration ou maintien de sa fertilité proprement dite par apport de matières fertilisantes ou engrais ;
- Freine la pollution des nappes par filtration.

Il est opportun de constater que la matière organique intervient presque à tous les niveaux de l'ordre de priorité des améliorations à apporter au sol. La matière organique augmente la capacité de rétention en eau du sol. On estime que la matière organique peut retenir 20 fois son poids d'eau. Lors d'un apport de matières organiques fraîches, on assiste à une forte augmentation de la vie microbienne qui résulte d'une réactivation des souches de microorganismes et des populations des organismes supérieurs tels que les lombrics et divers, lesquels assurent un brassage importantes, augmentant l'aération et la porosité du sol.

La disponibilité du potassium (K), du calcium (Ca), du magnésium (Mg) et de nombreux autres oligo-éléments dépend de la rétention de ces ions nutritifs sur des sites qui contiennent des particules de sol chargés négativement, comme la matière organique du tapis forestier. Ce phénomène est à l'origine d'une des caractéristiques

essentielles de la matière organique du sol (particulièrement de l'humus) – sa capacité de retenir des ions à charge positive (également appelée capacité d'échange cationique). Lorsque cette capacité est conjuguée à une vaste surface, la matière organique présente d'excellents avantages sur le plan de la rétention d'éléments nutritifs [16].

Ainsi, la matière organique du tapis forestier ou de la portion supérieure du sol minéral peut retenir des éléments nutritifs qui pourraient autrement être lessivés dans le sous-sol et ne plus être à la portée des racines des plantes. Un sol à faible teneur en matière organique où, par exemple, la matière organique a été déplacée lors de la préparation de terrain, risque d'avoir une capacité limitée de rétention des éléments nutritifs, notamment si le sol minéral a une texture grossière.

Grâce à sa grande capacité de rétention des éléments nutritifs, la matière organique peut également servir à neutraliser l'acidité du sol et à immobiliser les métaux lourds par précipitation (comme le mercure, le plomb), réduisant ainsi leur toxicité et limitant leur transfert vers des écosystèmes aquatiques plus sensibles.

Les molécules de la matière organique sont elles-mêmes constituées par les éléments simples associés au carbone. Leur décomposition libère ces nutriments sous forme minérale dans la solution du sol, les rendant alors assimilables pour les plantes ou les organismes

La matière organique, joue un rôle non négligeable contre les maladies racinaires en développant une microflore fongique prédatrice des nématodes. Le jus de compost est utilisé pour traiter les cultures contre certains insectes [22].

III.2.3. L'action de la boue sur les cultures

Les boues contiennent certains éléments tels que l'Azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium, utiles à la croissance des plantes.

Contrairement aux éléments minéraux apportés par les engrais de synthèse, et qui sont directement utilisables, la disponibilité des éléments fertilisants des boues comme celle du fumier ou du compost est retardée et progressive.

Un apport de la MO a pour premier effet de favoriser la croissance des microorganismes et d'augmenter le pouvoir de rétention de l'Azote par le sol.

La minéralisation ou l'immobilisation des éléments nutritifs est un facteur clé de la nutrition des plantes. C'est là qu'entre en jeu le rapport C/N (carbone/azote). Le rapport C/N est le rapport entre la teneur en carbone et la teneur en azote d'une matière donnée. [22].

Lorsque des microorganismes décomposent des matières à teneur élevée en C comme des résidus de coupe (p. ex., des rémanents), ils ont besoin d'un bon approvisionnement en N et en P pour vivre et se développer. À mesure que les éléments nutritifs sont utilisés par les microorganismes, ils deviennent immobilisés dans la biomasse microbienne et ne peuvent être assimilés par les plantes. Dans un sol pauvre en éléments nutritifs, cette immobilisation pourrait provoquer des problèmes temporaires de nutrition chez les arbres tant que le premier stade de la décomposition ne sera pas terminé. D'autre part, en présence d'une abondante matière organique à rapport C/N relativement faible (c.-à-d. qu'il y a plus de N que de C à la disposition des microorganismes), il est possible de fournir des éléments nutritifs aux plantes beaucoup plus facilement et de réduire l'immobilisation par les décomposeurs.

$C/N < 10$: L'Azote se minéralise, il est disponible pour les plantes, mais il risque d'être lessivé.

$C/N \approx 10$: Un milieu stable, la teneur moyenne d'un sol ou d'un amendement évolué.

$C/N > 15$: La minéralisation de l'Azote se produit difficilement et où la concurrence pour l'Azote minéral est très forte entre les microorganismes et les plantes. Un tel milieu présente une carence en Azote [16].

III.2.4. L'application des boues sur le sol

a) Conditions d'utilisation des boues

Selon le traitement appliqué aux boues on distingue : des boues liquides, pelletables, ou en poudre. La dose ou la quantité des MS de boues à apporter par hectare et par an pour une boue normalisée est déterminée presque toujours par la satisfaction des besoins en azote des plantes. Il est donc nécessaire de connaître la composition en azote de la boue qui sera épandue pour fixer cette dose.

Pour déterminer la période d'apport des boues, il faut tenir compte du fait que les éléments fertilisants qu'elles contiennent ne sont pas immédiatement disponibles pour les plantes.

A l'état actuel, on considère que la quantité d'azote utilisable correspond à la quantité d'azote organique susceptible d'être minéralisée pendant la période de végétation de la campagne qui suit l'épandage, à laquelle s'ajoute la quantité d'azote minéral initialement présente dans le produit brut. On estime que la quantité d'azote

utilisable pendant l'année qui suit l'épandage correspond à environ 30 à 50% de l'azote total pour les boues liquides et 20 à 45% pour les boues déshydratées.

Il faut cependant tenir compte de l'éventualité des pertes de nitrates résultant d'apport des boues avant une période de lessivage [16].

b) Modalités d'application des boues

Les boues liquides dont l'humidité est comprise entre 95 % et 99 % peuvent être répandues par aspersion ou par labourage.

Ce mode d'épandage évite les opérations coûteuses de déshydratation et permet de disposer d'un produit riche en azote rapidement utilisable; il présente cependant un inconvénient : celui des transports de masses importantes d'eau. Ces boues fraîches liquides, susceptibles de présenter des problèmes d'odeurs, doivent être mélangées au sol immédiatement après l'application.

La pulvérisation peut être utilisée pour la plupart des sols, même s'ils sont en pente, pourvu que la quantité de boue soit contrôlée de manière à empêcher le ruissellement.

Les boues pâteuses, contenant 75 à 95 % d'humidité sont par contre d'une utilisation agricole très difficile, car elles ont tendance à coller aux instruments utilisés pour les épandre.

Les boues séchées reprennent difficilement l'humidité ce qui représente un inconvénient pour le sol.

Un autre problème, plus complexe à résoudre, est l'irrégularité des besoins; en effet l'épandage des boues liquides ne peut pas être effectué pendant toute l'année, mais seulement pendant la période végétative des cultures, alors que la production des boues est régulière. Ceci suppose une mise en réserve de celle-ci dans des fosses à purin ou des lagunes à boues [16].



Figure 9 : L'épandage de boues liquides réalisé par le biais de la tonne à lisier

III.2.5. Contraintes limitant l'utilisation des boues en agriculture

Afin d'éviter les problèmes pédologiques et agronomiques entraînant une baisse de rendement, le domaine d'emploi d'une boue est déterminé en fonction des risques qu'elles peuvent présenter.

III.2.5. 1. Les pathogènes

La plupart des traitements que subissent les boues provoquent simplement une chute des populations pathogènes mais très rarement leur disparition complète. Il résulte de ceci que les boues, même après digestion, ne doivent pas être remises en contact direct avec les végétaux susceptibles d'être consommés crus.

Les micro-organismes pathogènes qui ont résisté à l'épuration n'ont pas toute la faculté de survivre sur ou dans le sol.

Dans le sol, les germes pathogènes sont dans un milieu qui leur est très défavorable (car froid et sec); de plus, ils y sont exposés aux radiations solaires.

En outre, ils sont en compétition avec les micro-organismes qui s'adaptent bien au milieu et se développent rapidement. Le problème des pathogènes est en effet difficile à résoudre. Certains parasites par exemple restent plusieurs années dans le sol. Ils sont d'autant plus difficiles à éliminer qu'ils prennent une forme enkystée dans les conditions défavorables alors qu'ils se développent lorsqu'ils se retrouvent dans les animaux à sang chaud ou chez l'homme [16].

III.2.5. 2. La toxicité

La toxicité se manifeste dans le végétal lui-même comme résultat de l'absorption et de l'accumulation de certaines substances contenues dans la boue.

La présence de métaux lourds dans la boue peut également constituer un danger qui pourrait provenir de l'accumulation de ces derniers dans les cultures (effet de concentration) et leur transmission aux consommateurs [16].

III.2.5. 2.1. Les micropolluants organiques

Ce sont des substances qui peuvent avoir une action néfaste pour le traitement des boues, ou pour leur utilisation en agriculture. Il s'agit généralement, de produits organiques de synthèse qui sont utilisés dans la vie courante et qui se retrouvent dans les eaux usées domestiques.

Les détergents, largement utilisés dans les ménages, présentent plusieurs inconvénients pour la boue :

- la présence de tensio-actifs perturbe la digestion anaérobie des boues;

- ils influent sur les propriétés d'échange d'ions du sol;
- ils ont enfin une action néfaste sur les micro-organismes et sur les plantes.

Les polyélectrolytes, fréquemment utilisés pour la déshydratation des boues, présentent des propriétés électrochimiques qui pourraient influencer sur la physico-chimie du sol et des plantes [16].

III.2.5. 2.2. Les micropolluants minéraux

Il s'agit essentiellement des métaux lourds et certains métalloïdes qui ont été très largement étudiés en laboratoire et sur le terrain.

Certains de ces éléments, les oligo-éléments, sont nécessaires à la production végétale et leur présence dans les boues est favorable dans la mesure où leur teneur reste inférieure au seuil de toxicité. Il s'agit du zinc, du cuivre, du manganèse, du bore, du molybdène, du cobalt et du fer.

D'autres éléments tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le chrome, l'aluminium, le nickel et l'arsenic ne sont pas utiles dans le sol, et leur concentration ne doit pas dépasser certaines limites, car ils contamineraient les plantes. Le cadmium, le plomb et le mercure sont également tous toxiques pour les organismes animaux qu'ils affectent à travers la chaîne alimentaire [16].

- **Localisation des métaux lourds dans boues**

Les métaux lourds peuvent être présents dans les boues sous différentes formes: soluble, précipitée ou liée aux particules solides.

La mobilité et la toxicité des métaux lourds dépendront essentiellement des formes sous lesquelles ils se trouvent dans les boues.

Dans le cas d'une station biologique, il se produit certains phénomènes intervenant au niveau de l'élimination des métaux. Dans le décanteur primaire, la séparation des métaux lourds et de l'eau s'effectue essentiellement par sédimentation des métaux sous forme insoluble ou adsorbés sur les particules.

Au niveau du traitement biologique, l'intégration des M.L dans les boues activées s'effectue selon trois principaux mécanismes :

- rétention mécanique des métaux insolubles dans les floes de boues;
- **complexation** des métaux initialement solubles avec des polymères extracellulaires;
- accumulation des métaux solubles à l'intérieur des cellules [16].

- **Niveau de concentration des M.L dans le sol et les végétaux**

Les végétaux peuvent présenter des sensibilités différentes par rapport aux métaux lourds. IL faut signaler la difficulté de connaître avec précision les effets des métaux toxiques contenus dans les boues et surtout de relier leurs effets aux doses de métaux apportés [7].

Tableau 16 : les valeurs limites d'épandage

	Boues	Apports au sol maximum		Teneur
	Teneur	totaux		limite du sol
	limite	cumulés sur 10 ans (g/ha)		
	en g/t MS	Terres	Prairies ou	en g/t terre
		labourables	sols	(MS)
		et pH >6	pH<6	
Cadmium	20	300	150	2
Chrome	1 000	15 000	12 000	150
Cuivre	1 000	15 000	12 000	100
Mercurure	10	150	120	1
Nickel	200	3 000	3 000	50
Plomb	800	15 000	9 000	100
Zinc	3 000	45 000	3 000	300
Sélénium	-	-	1 200	-
PCB	0,8	12	12	-
Fluorenthène	5	75	60	-
Benzo(a)pyrène	2	30	20	-
Benzo(b)fluoranthène	2,5	40	40	-

Source : [7]

Si l'un de ces indicateurs dépasse la valeur fixée, l'épandage des boues est interdit.

Chapitre IV: Présentation de la STEP de Beni Messous

IV.1 Présentation de l'environnement de la STEP

IV.1 .1 Localisation géographique

La station d'épuration de Beni Messous est située sur le territoire de la commune d'Aïn Benian à environ 15 km à l'ouest de la ville d'Alger, en bordure de la mer Méditerranée et à l'embouchure de l'oued Béni-Messous. Elle occupe un terrain de superficie d'environ 13 hectares.

L'oued Béni-Messous naît du côté Est à Bouzaréah, traverse les communes de Béni-Messous et Chéraga et débouche à l'ouest dans la baie d'El-Djamila [18].



Figure 10 : carte du réseau hydrographique du BV de l'oued Beni Messous

IV.1 .2. Situation climatologique de la région

a. Température de l'air

La température est un paramètre d'importance capitale pour le bon fonctionnement de la station. Le métabolisme des micro-organismes est ralenti aux basses températures, Par ailleurs, des dysfonctionnements apparaissent lorsque la température de l'air excède les 35°C.

La température minimale moyenne inter annuelle de 11,9°C [18].

b. Le vent

Le vent est un facteur important, car il favorise le brassage, mais il est un vecteur des nuisances olfactives. Son action érosive n'en est pas moindre. Il est donc indispensable de connaître la direction et l'intensité des vents pour prévoir les dispositifs de protection de la station.

Les directions dominantes du vent par rapport à la station sont le Nord, le Nord est, l'ouest et le sud-ouest [18].

c. L'insolation

L'effet du soleil est indispensable à la photosynthèse réalisée par les algues. Il influence fortement la température de l'eau ainsi que l'évaporation et intervient également sur la durée journalière de l'épuration. Néanmoins, l'ensoleillement n'entre pas directement dans les calculs de dimensionnement des bassins. Il est traduit par l'effet de la température.

d. L'évaporation

L'évaporation **est une donnée très important** qui est en relation directe avec la profondeur des bassins de décantation. Si l'évaporation est supérieure à 5 mm par jour, la concentration des matières dissoutes augmente considérablement et peut affecter le processus d'épuration.

L'évaporation moyenne de la région est de 3 mm par jour [18].

IV.1 .3. Le bassin versant

Le bassin versant de la zone de projet est un sous bassin versant de l'oued Béni-Messous. Ce dernier s'étend de Bouzaréah à Chéraga entre des altitudes maximale et minimale variant de 360 à 100 m au niveau de l'exutoire. Son talweg principal, **en l'occurrence l'oued Béni-Messous**, est long de 5.72 km ; sa pente moyenne est de 4.63% et il draine une superficie totale de 18.23 km². Le périmètre de ce bassin est estimé à 17.98 km [18].

La pluie moyenne inter annuelle selon la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord se situe entre les isohyètes 700 et 800 mm.

IV.1 .4. Capacité de traitement

Les communes concernées par le traitement et le taux de contribution de chaque commune au débit rejetées :

- ▶ Béni-Messous =100%
- ▶ Chéraga=80%
- ▶ .Dély- Brahim=80%
- ▶ .Bouzarea=40%

IV.2.Présentation de la station d'épuration de Beni- Messous

IV.2.1. Caractéristiques

Le procédé d'épuration retenu est celui du traitement biologique par boues activées à moyenne charge (C_m (Kg DBO5/Kg MVS/J): 0,2 – 0,5).

La capacité théorique de la STEP est de 50.400 m³/j, correspondant à 250.000 éq./hab, pour la première tranche de traitement. L'emprise de la STEP offre une possibilité d'extension à 100.800 m³/j, correspondant à 500.000 éq. /hab [1].

IV.2.2 Ouvrages du traitement des eaux et des boues

La filière de traitement comprend:

1) Prétraitement mécanique constitué de:

- Une station de dépotage;
- Dégrillage mécanique grossier ;
- Dégrillage mécanique fin ;
- Ouvrage de dessablages et déshuilage ;
- Chenal de comptage et de mesure.

2) Décantation primaire constituée de :

- Ouvrage de répartition;
- Deux décanteurs primaires circulaires ;
- Station de pompage de boues primaires.

3) Traitement biologique constitué de :

- Deux bassins d'aération avec 3 aérateurs de surface chacun ;

4) Décantation secondaire et pompage des boues en excès constitués :

- Ouvrage de répartition ;
- Deux décanteurs secondaires circulaires ;
- Ouvrage de pompage des boues activées et de recirculation des boues ;
- Un canal de comptage et de mesure.

5)Épaississement et stabilisation des boues constitués de :

- Deux épaisseurs de boues ;
- Station de pompage des eaux troubles ;
- Station de pompage des boues épaissies.

6) Stabilisation des boues constituée de

- Deux bassins de stabilisation des boues avec 02 aérateurs de surface chacun ;
- Station de pompage de boues stabilisées.

7) Déshydratation de boues constituée de

- Deux chaînes de déshydratation avec deux filtres à bandes ;
- Station de lavage des filtres à bandes;
- Station de préparation de polymères ;

IV.2.3. Procédé de fonctionnement de la station d'épuration**IV. 2.3.1 Filière eau****IV. 2.3.1.1 Déversoir d'orage**

La protection de la station des débits excessifs est assurée par le déversoir d'orage placé en amont et en aval du dégrilleur grossier. Facilement accessible (faible profondeur), l'entretien du déversoir (curage) est régulièrement effectué [1].

IV.2.3.1.2 Dégrillage grossier

Le procédé comprend, deux canaux de dégrillage de 1 m de large, équipé d'une grille inclinée à nettoyage automatique (espacement entre barreaux aux 60 mm).

Le refus du dégrillage est évacué à l'aide d'un râteau mécanisé dans un bac d'égouttage installé dans la partie supérieure de la grille. Après égouttage, le refus est repris au moyen d'une bande transporteuse pour être déchargé dans un conteneur de volume 5 m³ à l'extérieur du bâtiment [1].

IV. 2.3.1.3 Dégrillage fin

Il comprend, deux canaux de dégrillage de 1 m de large, équipé d'une grille inclinée à nettoyage automatique ayant les caractéristiques suivantes:

- Largeur: 1,00 m;
- Angle d'inclinaison: 75°;
- Espacement entre barreaux: 15 mm.

IV. 2.3.1.4 Dessablage déshuilage

L'ouvrage se compose de deux canaux rectangulaires, de section trapézoïdale, de 2,4 m de large et 30 m de long chacun, avec une hauteur d'eau moyenne de 3,60 m représentant donc un volume total de deux ouvrages de 518,4 m³.

Les sables décantent et se retrouvent au fond de l'ouvrage dans une partie approfondie où le système Air lift va pouvoir les remonter [1].

IV. 2.3.1.5 Décantation primaire et pompage des boues primaires

Les effluents ainsi prétraités seront ensuite dirigés sur un ouvrage de répartition puis sur deux décanteurs primaires cylindro-coniques de caractéristiques unitaires suivantes :

- Diamètre : 29 m
- Volume d'eau : 2.223 m³

Le temps de séjour important (jusqu'à 2,98 heures) dans l'ouvrage permettra un bon abattement de la matière en suspension grossière contenue dans l'effluent prétraité (jusqu'à 64 %). les boues primaires ainsi décantées seront soutirées directement de chaque décanteur, via une tuyauterie d'extraction des boues en acier Ø 200 mm [1].

IV. 2.3.1.6 Bassin d'aération

A fin d'assurer le métabolisme microbien ; une teneur d'oxygène dissous de l'ordre de 1 à 3 mg/l devrait être maintenue dans le système d'aération.

Les deux bassins d'aération ont la forme rectangulaire et sont dimensionnés comme suit :

- Hauteur d'eau: 4,58 m;
- Volume net unitaire: 4.700 m³;
- Volume net total: 9.400 m³.

Les équipements d'épuration biologique sont :

- 3 aérateurs de surface pour chaque bassin;
- 1 turbine à 16 pales d'acier de diamètre 2400 mm pour chaque aérateur;
- 1 déversoir de sortie du bassin.

Chaque turbine possède une capacité d'oxygénation de 130 kg O₂/h, sous conditions standards l'ensemble du système d'aération (6 turbines) permet de fournir 780 kg O₂/h.

IV. 2.3.1.7 Décantation secondaire et pompage des boues activées

La liqueur mixte est introduite au centre du décanteur secondaire ; l'eau clarifiée déborde en périphérie dans une double goulotte de reprise et les boues se déposent sur le radier.

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

- Diamètre: 55 m;
- Volume totale : 9.384 m³.

Les boues en excès produites par le processus biologique sont prélevées par un groupe électropompe immergé. Ce groupe refoule les boues activées en tête de deux épaisseurs [1].

IV. 2.3.1.8 Station d'eau épurée

A la sortie de la décantation secondaire, le débit traité sera mesuré sur un tube de venturi en canal ouvert avant rejet. La lecture du débit instantané ainsi que le totaliseur sera transmise au niveau de la salle de contrôle. A ce niveau s'effectue aussi automatiquement des échantillons moyens journaliers et des mesures des paramètres suivants:

- Matières en suspension,
- Conductivité;
- pH ; et Température.

IV.2.4. Filière boue

IV.2.4.1 Epaissement

Il s'agit d'une étape intermédiaire dans la diminution du volume de boues produites par la station. Les boues excédentaires (primaires et secondaires activées), seront injectées en tête de deux épaisseurs afin d'améliorer la concentration de ces boues en terme de matières solides.

En effet, la concentration des boues en excès avant l'épaissement est de l'ordre 12 g/l, et peut atteindre 40 g/l après épaissement.

Les deux épaisseurs sont équipés de trop-plein d'évacuation du surnageant et d'une conduite d'extraction des boues épaissies; ces boues épaissies seront ainsi

pompées en tête de deux bassins de stabilisation. L'installation de pompage de ces boues épaissies comprend:

- 2 électropompes horizontales, de caractéristiques unitaires:
- Débit: 28 m³/h;
- Pression de refoulement: 2 bars.

Les eaux **surnageantes** seront récupérées dans une bêche dite des eaux troubles. Ces dernières, provenant, en outre du débordement de la fosse des flottants de l'ouvrage de dessablage, du Classificateur de sable, des écumes de la décantation secondaire et des filtrats des boues déshydratées seront pompées au moyen d'une pompe submersible en tête des deux dégrilleurs fins.

IV.2.4.2 Bassin de stabilisation des boues

La boue épaissie en provenance des épaisseurs est introduite en tête de deux bassins de stabilisation de forme rectangulaire ayant les dimensions suivantes:

- Volume net unitaire: 2.461 m³;
- Volume net total: 4.922 m³.

Les conditions de fonctionnement seraient les suivantes :

- Concentration en boues stabilisées: 40 g/l;
- Age des boues : 12,7 jours.

Les équipements de la stabilisation aérobie des boues sont:

- 02 aérateurs de surface pour chaque bassin;
- Turbine à 16 pales d'acier de diamètre 2.400 mm pour chaque aérateur;
- Déversoir mobil à la sortie de chaque bassin.

Chaque turbine ayant une capacité d'oxygénation de 130 kg O₂/h, sous conditions standards, l'ensemble des turbines (4 turbines) permet donc de fournir 520 kg O₂/h [1].

IV.2.4.3 Déshydratation mécanique des boues

Le bâtiment est équipé principalement par deux chaînes de déshydratation pouvant fonctionner en parallèle ou indépendamment selon les besoins et un doseur de polymères. Un filtre à bandes de chaque chaîne a pour rôle la déshydratation par son système de pression à 02 bandes.

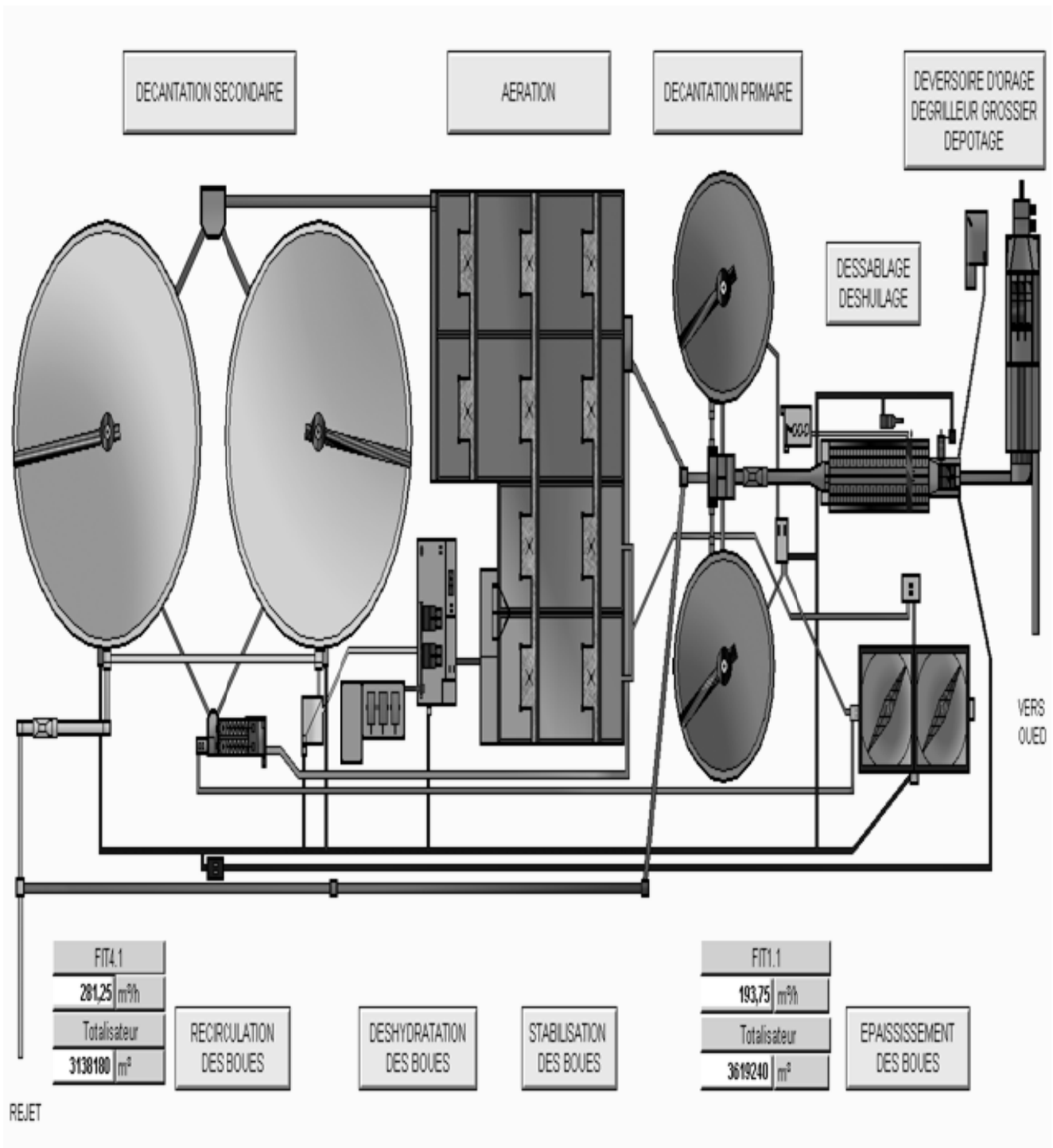


Figure 11 : Schéma synoptique des différents ouvrages de la station de Béni- Messous.

- Ouvrages de prétraitement.
- Filière de traitement d'eau.
- Filière de traitement des boues.
- Conduite d'eaux troubles.

Chapitre V : Résultats et interprétations

V.1 .Les eaux épurées

Concernant la qualité de ces eaux, il convient de remarquer en premier lieu qu'elles ont toutes un caractère organique dominant

V.1 .1. Les débits entrants et sortants

les débits des eaux usées brutes et épurées de la station de Béni Messous durant les mois de février et mars 2009 ont permis d'établir des figures suivantes :

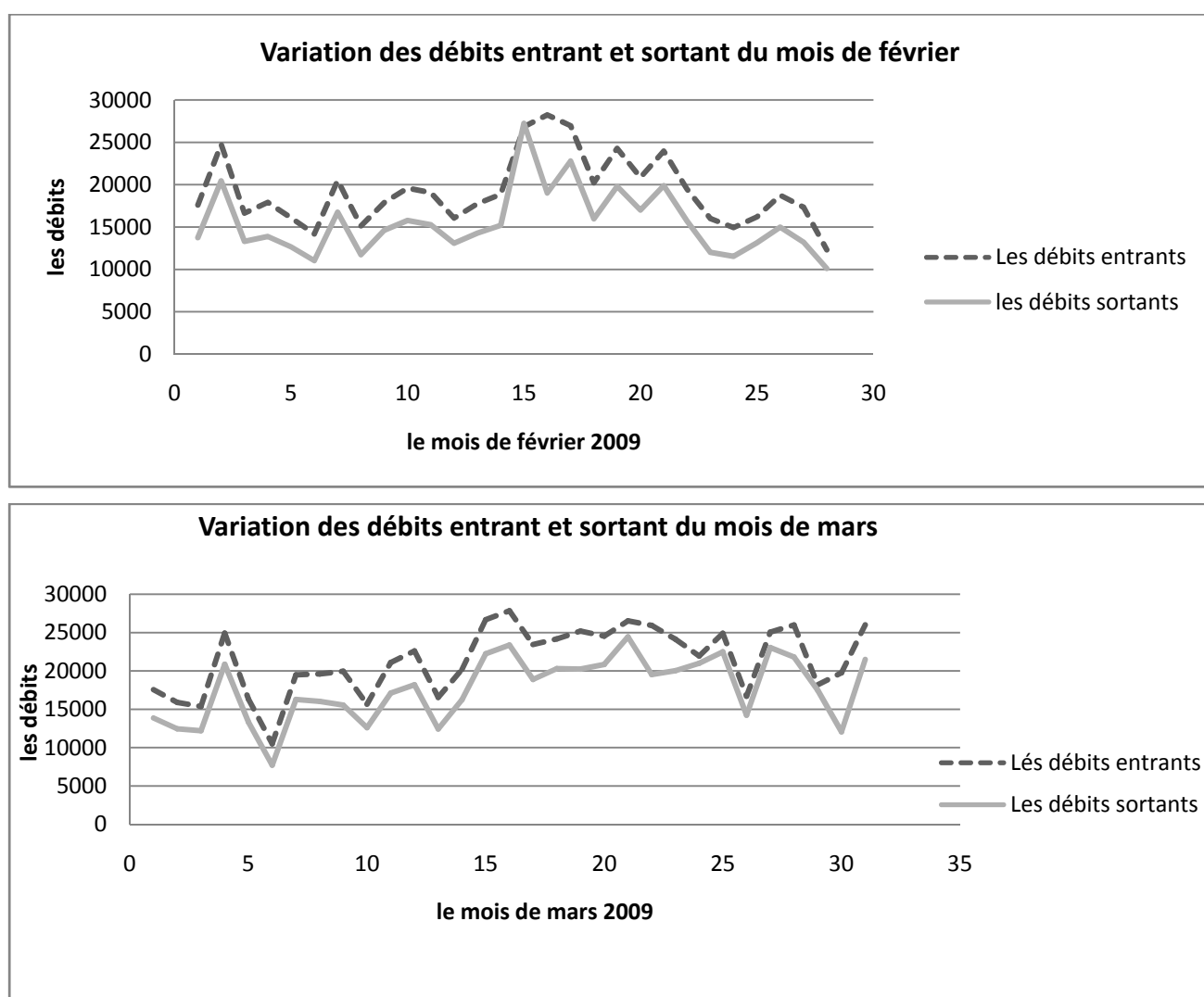


Figure 12: Représentation graphique de la variation des débits entrant et sortant de la station durant mois de février et mars 2009.

Les graphes représentés dans la figure 15 montrent des fluctuations non importantes du débit entrant à la station au cours des mois de février et mars. Ils

présentent une valeur moyenne de 20 308 m³/j comprise entre un minimum de 10 510 m³/j et un pic de 28240 m³/j pour les deux mois.

Le débit des eaux sortant de la station au cours du mois de mars présente une valeur moyenne de 17693 m³/j, comprise entre un minimum de 7720 m³/j et un pic de 24450 m³/j.

On remarque des fluctuations plus ou moins marquées et des espacements entre les deux graphes. Ils s'expliquent par des arrêts de fonctionnement de la station. Les espacements entre les deux graphes sont d'une part dus à des dysfonctionnements techniques temporaires. Devant cette situation, l'opérateur est obligé de mettre en fonctionnement le « by pass ».

V.1.2. Paramètres physico-chimiques:

Sur la base d'un ensemble de valeurs observées, nous avons calculé la moyenne arithmétique.

La dispersion de la moyenne est calculée à partir de l'écart type :

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum(\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}$$

σ : Ecart type

\bar{x} : Moyenne arithmétique

x_i : Valeur prise par la variable

n : Nombre de valeurs observées .

V.1.2.1 La salinité : Annexe A

➤ La conductivité électrique

La conductivité des eaux usées brutes ($CE_b=1249,5 \mu\text{S/cm}$) est généralement inférieure à celle des eaux épurées ($CE_e=1265,13 \mu\text{S/cm}$), cela est dû aux matières organiques et colloïdales qui sont de mauvais conducteurs.

La valeur usuelle de la conductivité des eaux usées domestiques normalement concentrées est de 1100 $\mu\text{S/cm}$

Les résultats de prélèvement de la station de Beni Messous montrent le contraire, La valeur moyenne de CE est supérieure à 1100 $\mu\text{S/cm}$, ce qui nous renseigne sur la qualité de l'eau potable utilisée, et des activités industrielles qui contribuent à l'élévation de CE des eaux usées.

➤ **Calcul de la minéralisation****Tableau 17 : La méthode de calcul de la minéralisation**

Conductivité uS/cm	Minéralisation mg/l
Conductivité < 50 uS/cm	1.365079. conductivité
Conductivité [50 à 166] uS/cm	0.947658. conductivité
Conductivité [166-333] uS/cm	0.769574. conductivité
Conductivité [333-833] uS/cm	0.715920. conductivité
Conductivité [833-10000] uS/cm	0.758544. conductivité
Conductivité > 10000 uS/cm	0.850432. conductivité

Source : [21]

- La minéralisation (EB) = $0.758544 \times 1249,5 = 981,40$ mg/l
- La minéralisation (EE) = $0.758544 \times 1265,13 = 959,65$ mg/l

C'est une eau moyennement minéralisée (Le résidu sec pèse entre 500 et 1500 mg/l)

➤ **Coefficient d'adsorption su sodium : SAR :**

	NA ⁺	CA ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Mg/l	107	144,5	26,4

• **Le sodium :**

La valeur moyenne du sodium est de 107 g/l. Elle est inférieure à la norme OMS (920 mg/l), donc le sodium ne représente aucun obstacle pour l'utilisation des eaux traitées de la STEP de Beni Messous pour irrigation.

• **Le calcium :**

En comparant la valeur de la teneur en calcium des eaux épurées qui est de 144,5 mg/l avec la norme limite attribuée par la FAO (1985) pour les eaux épurées destinées à l'irrigation (400mg/l), on retient que la concentration du calcium des eaux épurées de la station de Béni-Messous est conforme à la norme.

• **Le magnésium :**

En comparant la valeur de la concentration du magnésium dans les eaux épurées de la station qui est de 26,4 mg/l avec la norme donnée par l'OMS (1989) qui est de 60,75mg/l pour les eaux destinées à l'irrigation, on conclut que la teneur en magnésium dans l'eau épurée de la station ne présente aucun danger pour la réutilisation des eaux épurées en irrigation.

• **Le SAR :**

C'est le critère d'efficacité des eaux pour l'irrigation, il exprime le rapport de la teneur en sodium à la teneur du calcium et magnésium.

$$\text{SAR} = 2,14$$

D'après les recommandations de la FAO(1985), la valeur indiquée (SAR=2,14) n'impose aucune restriction pour l'utilisation de cette eau en irrigation

V.1.2.2. Le pH

Le pH mesure la concentration des ions H⁺ dans l'eau. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique. Les valeurs extrêmes du pH altèrent la croissance et la reproduction des microorganismes existants dans une eau, la plupart des bactéries peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum est situé entre 6,5 et 8,5, des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et la survie des micro-organismes aquatiques selon l'organisation Mondiale de la Santé (OMS) [10].

- Le pH moyen des eaux usées brutes (pH= 7,7) ne présente aucun risque sur le fonctionnement de la station notamment sur la biomasse épuratrice.
- Le pH moyen des eaux épurées de 7,65 permet la réutilisation des eaux épurées de la station de Beni Messous en irrigation.

V.1.2.3.La température

Son importance réside essentiellement dans son influence directe sur la concentration de saturation de l'oxygène qui diminue avec l'augmentation de la température de l'eau et l'activité des microorganismes épurateurs [10].

V.1.2.4.Le chlorure

Les chlorures existent dans la quasi-totalité des eaux à des concentrations très variables. La présence des chlorures en concentrations élevées dans l'eau contenant du sodium donne un goût salé. Par ailleurs, les chlorures sont indispensables aux régimes alimentaires [10].

La quantité du chlorure (Cl⁻ = 178mg/l) ne présente aucun risque pour l'utilisation des eaux épurées pour l'irrigation agricole. (Cl⁻ ne doit pas dépasser 1065 mg/l selon les normes FAO).

V.1.2.5.Les matières organiques

➤ La DBO₅

La demande Biochimique en Oxygène (DBO) c'est la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement des micro-organismes, pendant 5 jours à 20 °C, on parle alors de la DBO₅. Elle est très utilisée pour le suivi des effluents urbains. Elle est exprimée en mg O₂/l.

La valeur moyenne de la DBO_5 est de $108,03 \pm 28,21$ ce qui confirme que les eaux usées de la station sont à dominance domestique.

L'OMS(1989) limite la DBO_5 à moins 10 mg O_2/l pour la réutilisation des eaux épurées en irrigation; la valeur moyenne de $3,64 \pm 1,53$ mg O_2/l pour les eaux à la sortie de la station de Béni Messous répond à cette recommandation.

Le rendement d'élimination de la DBO_5 de l'épuration est de 96,63%, ce qui signifie que l'élimination de la pollution organique est efficace.

➤ LA DCO

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (bio-dégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant, le bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présente dans l'échantillon. Elle est exprimée en mg O_2/l . Généralement la DCO est 1,5 à 2 fois la DBO_5 pour les eaux usées urbaines et de 1 à 10 pour tout l'ensemble des eaux résiduaires industrielles.

La valeur moyenne de la DCO des eaux usées brutes est de l'ordre $251 \pm 42,99$ mg O_2/l , comprise dans la fourchette de 300 à 1000 mg O_2/l selon OIE(2008), ce qui confirme le caractère urbain à dominance domestique de l'eau usée.

La DCO moyenne des eaux après traitement est de $22 \pm 12,84$ mg O_2/l , inférieur à la norme (<40 mg O_2/l) fixée par la OMS(1989), ce paramètre ne présente donc pas de contre indication quant à l'utilisation de ces eaux en agriculture.

Le rendement d'élimination de la DCO est de l'ordre de 91% ce qui prouve l'efficacité du traitement biologique à boues activées.

➤ Rapport de biodégradabilité "K"

- **Le rapport** $\frac{DCO}{DBO_5}$: plus ce rapport est élevé, plus e l'effluent contient des molécules non biodégradables, l'inverse est vrai.

- $1,7 < \frac{DCO}{DBO_5} < 2 \Rightarrow$ Effluent très biodégradable
- $2,2 < \frac{DCO}{DBO_5} < 2,5 \Rightarrow$ Effluent biodégradable
- $\frac{DCO}{DBO_5} > 5 \text{ à } 10 \text{ et } \Rightarrow$ Effluent peu biodégradable

Le rapport : $\frac{DCO}{DBO_5} = \frac{251}{108} = 2,32 \Rightarrow$ Effluent biodégradable

V.1.2.6. Les MES

- La concentration en moyenne des MES reçue par la station est de $149 \pm 53,22$ mg/l ;
- Le rendement d'élimination moyen des MES de l'ordre de 93,14 %. La concentration en MES de l'eau épurée est en moyenne de $10,22 \pm 14,42$ mg/l, qui répond à la norme de réutilisation des eaux épurées en agriculture d'après la recommandation de l'OMS (1989).

V.1.2.7. Matières azotées

L'azote rencontré dans les eaux usées peut avoir un caractère organique ou minéral, il se présente sous quatre formes:

- L'azote organique se transforme en azote ammoniacal.
- L'azote ammoniacal (NH_4) traduit un processus d'ammonification de la matière organique azotée. Les ions ammoniums subissent une nitrification par action des bactéries nitrifiantes.
- L'azote nitreux (NO^{2-}) provient d'une oxydation incomplète de l'azote ammoniacal ou par une réduction des nitrates par dénitrification. Les nitrites sont instables et sont rapidement transformés en nitrates.
- L'azote nitrique (NO_3^-) est produit par nitrification de l'azote ammoniacal. Il joue un rôle important dans le développement des algues et participe au phénomène d'eutrophisation [10].

Dans les eaux usées, l'azote se trouve principalement sous forme ammoniacale. Les concentrations des formes oxydées de l'azote sont faibles.

	NGL		NO_3^-	
	EB	EE	EB	EE
Concentration (mg/l)	38	11,76	3	119

- la concentration en Azote total a diminué significativement dans l'eau après épuration; cela est dû à l'élimination des différentes formes d'azote organique et ammoniacal par le procédé du traitement biologique.
- La concentration en Azote nitrique a augmenté, ce qui était prévisible, après la nitrification de l'azote ammoniacal grâce aux bactéries nitrifiantes.
- La quantité d'Azote nitrique dans l'eau à la sortie de la station (119 mg/l) est supérieure à la norme attribuée par l'OMS 1989 (50 mg/l).

V.1.2.8. Composés phosphorés

Le phosphore est l'un des composants essentiels de la matière vivante. Les composés phosphorés ont deux origines, le métabolisme humain et les détergents.

Dans les eaux usées, le phosphore se trouve soit sous forme d'ions orthophosphates isolés, soit sous forme d'ions phosphates condensés avec des molécules organiques. Les polyphosphates sont utilisés comme agents de peptisation, d'émulsification, de dispersion, d'inhibition ... Ils sont utilisés dans des domaines aussi divers que les industries de poudres à laver, les industries agroalimentaires et les industries pharmaceutiques comme inhibiteurs de précipitation et de corrosion.

		EB	EE	OMS (1989)
PO_4^{-3}	mg/l	45	12	< 0,94

- la concentration moyenne des orthophosphates dans l'eau traitée atteint la valeur de 12 mg/l qui est nettement supérieure à la norme (<0,94mg/l) recommandées par l'OMS(1989).

V.1.2.9. Le potassium

		EE	FAO (1985)
K^+	mg/l	13,6	50

- On constate que la concentration en potassium des eaux épurées est en dessous de la limite recommandée par la FAO(1985), donc la quantité du potassium ne pose pas de problème pour l'utilisation des eaux de Beni Messous en irrigation.

V.1.2.10. Métaux lourds

Les résultats des analyses effectuées sur les boues de la station de Beni-Messous, montrent que les concentrations en métaux lourds sont inférieures aux limites recommandées par la FAO(1985), et comme les métaux lourds sont les premiers à se décantent, en conséquence les eaux épurées de la station de Beni Messous ne contiennent pas des quantités supérieures aux normes et donc ne présentent aucun risque pour l'irrigation.

V.1.2.11. Analyses bactériologiques

Le dénombrement des principaux germes pathogènes dans les eaux à l'entrée et à la sortie de la station est effectué pour apprécier l'efficacité du traitement biologique par boue activée sur l'abattement de ces microorganismes pathogènes.

Tableau 18 : Représentation des résultats moyens des analyses bactériologiques des eaux usées et épurées de la station.

Microorganismes (UFC/100ml)	EB ($\times 10^6$)	EE ($\times 10^4$)	Normes recommandées pour la réutilisation en irrigation
Coliformes totaux	38,61	20,03	/
Coliformes fécaux	27,89	13,18	< 1000
E. Coli	20,37	5,92	<1000
Streptocoques fécaux	37,64	17,75	1000
Salmonelles	-	Abs	Abs

Source : [9]

Les résultats moyens d'analyses bactériologiques révèlent la diminution significative du nombre de bactéries en UFC/100ml après le traitement d'épuration par boues activées des eaux usées brutes.

- On constate une élimination totale des salmonelles
- On remarque que malgré cette diminution, le nombre de germes pathogènes restent supérieures aux normes de l'OMS.

V.1.3. Conclusion :

Les eaux usées traitées par la station d'épuration de Beni Messous sont des effluents urbains à dominance domestique.

Les analyses physico-chimiques des eaux épurées révèlent une conformité de la majorité des paramètres aux normes de réutilisation de ces eaux en irrigation.

Les eaux de la station de Beni Messous contiennent des quantités importantes de phosphores et nitrates qui dépassent largement les normes OMS.

Néanmoins, ces eaux, pourront être utilisées en agriculture sous certaines réserves.

Pour l'élimination totale des germes pathogènes, une désinfection des eaux à la sortie s'impose.

V.2 .Les boues d'épuration

V.2 .1. La richesse des boues en éléments fertilisants

L'épandage des boues s'accompagne d'un apport non négligeable de fertilisants.

Les analyses des boues	L'échantillon
pH	6,59
Le Carbone ‰	226
L'Azote ‰	26,19
K ₂ O total ‰	0,48
P ₂ O ₅ Assimilable ‰	56,62
CaO%	3,68
MgO%	4,85
Na ₂ O%	0,88
Siccité %	91

a. Le pH du sol

La variation de pH (naturelle ou anthropique) semble être le facteur dont l'action sur la mobilité des métaux est la plus déterminante. L'abaissement du pH favorise la mobilité des métaux lourds, notamment par remise en solution de sels métalliques. Inversement, l'augmentation du pH provoque l'immobilisation par formation de composés insolubles ou accroissement de la capacité d'échange cationique.

b. La siccité :

Les boues sont constituées d'eau et de matières sèches. La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi la boue de la STEP de Beni Messous a une siccité de 91 % et présente une humidité de 9 % .Donc cette boue est sèche (siccité supérieure à 85 %).

c. Les éléments majeurs

- L'azote et le carbone

Les boues contiennent 2,61% d'azote et 22,6% de carbone dans la matière sèche. L'azote des boues sera rapidement minéralisé(C/N=8,65) et peut subir un lessivage.

- Le phosphore

Les boues contiennent des quantités appréciables de P₂O₅, ceci s'explique par l'usage des détergents et par le phosphore excrété par l'homme.

Les résultats de nos échantillons montrent une teneur moyenne de 5,66% de la MS pour les boues de la station de Beni Messous.

- Le potassium

La richesse des boues en potassium est négligeable, ce cation demeure dans les eaux épurées. Les boues de la STEP ont une concentration de la matière sèche de 0,048%. Cette valeur est faible comparée aux concentrations de ce même élément dans le compost urbain et le fumier de ferme.

L'épandage de fortes doses de boues ne dispense donc pas l'agriculteur d'apporter un engrais minéral potassique.

d. Les éléments secondaires

- Le Sodium

La teneur en Na_2O présente une moyenne de 0,88% de la MS. Cet apport ne provoque aucun risque pour le sol.

- Le calcium

La valeur moyenne de cet élément dans la boue de Beni Messous est de 3,68% de la MS.

Les teneurs en calcium sont supérieures à celle du Sodium, ceci est favorable à une évolution de la MO dans le sol, le calcium intervient dans la formation du complexe argilo-humique, alors que le sodium est défloculant.

- Le magnésium

La concentration en magnésium des boues est assez élevée 4,85% de la MS.

Des expériences culturales conduites sur sol carencé en magnésium ont permis de confirmer que les boues pouvaient fonctionner comme engrais magnésiens efficaces.

e. Les matières en suspension des boues

La valeur doit être comprise entre 2 à 4g/l. La moyenne des $\text{MES}_{\text{boues}}$ dans les deux bassins biologique est de 2 g/l. Ce qui explique une concentration plus ou moins optimale des MES dans la boue activée.

f. Les métaux lourds

➤ Les éléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques sont naturellement présents dans les sols et certains même sont indispensables aux plantes, ils font partie des oligo-éléments.

Des expérimentations de longue durée ont permis de montrer que les taux de transfert de ces métaux du sol vers les végétaux sont inférieurs à 1 % des quantités apportées sur les sols. Mais, selon la nature des eaux épurées, la teneur en certains éléments dans les boues peut s'élever considérablement. Les apports répétés de boues

par épandage pourrait, à long terme, provoquer dans les sols des accumulations pouvant dépasser le seuil de toxicité.

Les éléments traces métalliques ont une origine industrielle (Cd, Ni, Hg, Cr), domestique (Cd, Cu, Pb) et pluviale (Ni, Pb, Zn). Les métaux les plus toxiques sont Cd, Hg et Pb car ils constituent des contaminants stricts et leur accumulation dans les sols agricoles provoque un danger pour la plante et pour l'homme.

Le tableau ci-dessous montre les quantités moyennes d'éléments traces métalliques contenues dans la boue de la station d'épuration de Beni Messous et les valeurs limites réglementaires (mg/Kg de MS) [29].

	Moyenne	écart type	valeurs limites
Zinc (Zn)	580,746	219,22	3000
Mercure (Hg)	0,24		10
Cadmium (Cd)	6,3825	1,17	20
Nickel (Ni)	78,2475	5,97	200
Cuivre (Cu)	173,8	41,08	1000
Chrome (Cr)	58,818	12,81	1000
Plomb (Pb)	226,16	57,86	800

Les résultats consignés dans le tableau ci-dessus montrent que les teneurs en éléments traces métalliques dans la boue sont suffisamment faibles et ne constituent donc pas un facteur limitant son utilisation en agriculture.

➤ Les Composés-traces organiques

Les composés traces organiques sont des produits chimiques (hydrocarbures, détergents, restes de peinture et de solvant, produits de nettoyage ou de désinfection...) qui sont plus ou moins dégradés par l'activité microbologique du sol. Cependant, au même titre que les éléments traces métalliques, les composés traces organiques peuvent, à haute dose, devenir toxiques [29].

Il existe encore peu de données sur la teneur en composés traces organiques des boues. Soixante-dix substances dangereuses cataloguées ont été détectées dans les boues. Mais on a retenu comme indicateur des composés résistant à la biodégradation

- les hydrocarbures polycycliques aromatiques. Ces composés sont issus de la combustion des carburants (voitures, avions...) ou du chauffage. La principale voie de contamination des sols par les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) provient des retombées atmosphériques. Mais ils

peuvent aussi être apportés aux eaux usées par le lessivage des chaussées par les eaux de pluies ;

- les PCB ou polychlorobiphényles sont des produits très persistants qui font craindre une accumulation dans le sol [29].

Le tableau suivant présente les concentrations des CTO dans la boue (mg/Kg de MS).

	moyenne	valeurs limites
PolyChloro Biphéniles (PCB)		
Somme des 7 PCB	<0,54	0,8
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)		
Fluoranthène	<0,09	5
Benzo(B)Fluoranthène	<0,09	2,5
Benzo(A) Pyrène	<0,09	2

➤ **Les oligo-éléments :** (mg/Kg de MS).

Elément	moyenne	écart type
Fer (Fe)	21008,12	1597,35
Bore (Bo)	46,05	7,14
Cobalt (Co)	83,25	9,09
Manganèse (Mn)	635,61	38,42
Molybdène (Mo)	3,71	0,26

- **Le fer (Fe)**

Oligoélément essentiel pour les plantes. Le fer est le quatrième élément le plus abondant sur la croûte terrestre (5,6%). Gris a montré en 1843 que le fer était indispensable pour les plantes. Il est absorbé par les racines des plantes sous la forme d'ion ferreux Fe_2^+ . Sa concentration habituelle dans la matière sèche des plantes est de 100 mg/kg. Environ 75% du fer présent dans les cellules végétales se trouve dans les chloroplastes. Le fer est un constituant de l'enzyme nitrogénase qui joue un rôle important dans la fixation de N et le fonctionnement des nodosités. Le fer joue un rôle dans la synthèse de la chlorophylle, la production des hydrates de carbone, la respiration cellulaire, la réduction des nitrates et des sulfates et l'assimilation de N.

✓ **Niveau critique**

C'est la concentration de fer dans les sols ou les végétaux en dessous de laquelle le système sol/plante est considéré comme carencé en Fe et il convient alors d'appliquer du Fe afin d'augmenter de façon considérable le rendement. Le niveau

critique dépend du sol, de la culture, de la variété et du rendement potentiel. De façon générale, le niveau critique du fer est estimé à 2,5 - 4,5 mg/kg de Fe [28].

✓ **Carence**

Insuffisance du fer dans le système sol/plante. Une carence en fer apparaît en premier lieu au niveau des jeunes feuilles. Un jaunissement de la partie se trouvant entre les nervures des feuilles apparaît - caractéristique couramment connue sous le nom de chlorose ferrique. Dans une carence sérieuse, les feuilles deviennent pâles en raison d'une perte de chlorophylle.

✓ **Toxicité**

Un état associé aux effets non désirés dus à un excès de fer dans les sols et les plantes, possible dans les sols très acides fortement réduits et dégradé.

- **Le bore (B)**

Oligoélément non métallique essentiel pour les plantes. K. Warington a établi en 1923 le caractère indispensable du bore pour les plantes. Il constitue 0,001% en moyenne de la croûte terrestre. Il est absorbé par les racines des plantes sous forme de H_3BO_3 . Les rôles clés du bore sont

- (i) le maintien de l'intégrité de la membrane et le développement de la paroi cellulaire qui influencent la perméabilité, la division cellulaire et la multiplication des cellules
- (ii) la croissance du tube pollinique qui a un impact sur la mise à graine/fruit et donc sur le rendement final.

✓ **Niveau critique**

Concentration de bore dans les sols ou les plantes en dessous de laquelle le système sol/plante est considéré comme carencé en bore; dans ce cas, une application de bore devrait avoir un effet significatif. Le niveau critique dépend du sol, de la culture, de la variété et du potentiel de rendement. En général, le niveau critique de bore dans les sols est à 0,5 mg B soluble dans de l'eau par kg de sol.

✓ **Insuffisance**

Carence en bore dans le système sol/plante. La déficience en bore (comme celle en calcium) a une influence sur les zones de croissance des racines, des tiges et des plus jeunes feuilles. Les plantes susceptibles d'être déficientes en bore sont: la

luzerne, le pommier, le brocoli, le chou-fleur, la carotte, le céleri, le caféier, le cotonnier, l'eucalyptus, la vigne, l'arachide, le palmier à huile, le colza, l'olivier, le pin, la betterave rouge, le rutabaga, la betterave à sucre, le tournesol et le navet.

Toxicité: Effet indésirable dû à un excès de bore dans les sols ou les plantes. Elle peut être problématique dans les régions arides/semi-arides, lors de l'application de bore en excès en raison de l'utilisation d'engrais trop riche en bore. Une forte toxicité en bore est associée à une teneur supérieure à 270 mg B /kg [28].

La concentration en Bore dans les boues d'épuration étudiées ne dépasse pas la valeur de toxicité

- Le cobalt (Co)

Oligoélément important pour certains processus végétaux. Il sert de co-facteur d'enzyme et de constituant de la vitamine B12. Le cobalt est essentiel à la fixation de l'azote. La teneur moyenne est de 10 mg de Co par kilogramme de sol, mais peut être comprise entre 1 et 300. Il est absorbé par les racines des végétaux sous la forme de Co^{2+} [28].

Les boues étudiées présentent une concentration au Cobalt de 83,25 mg/Kg de boue, valeur non toxique pour le sol et la plante

- Le manganèse (Mn)

Oligoélément métallique essentiel pour les plantes. Les sources les plus courantes de Mn dans le sol sont les minéraux pyrolusite (MnO_2) et manganite (MnOOH). Il est absorbé par les plantes sous forme de Mn^{2+} .

Le manganèse est connu pour activer plusieurs enzymes telles que l'arginase et les enzymes capables de transporter le phosphate. Certaines de ses propriétés sont similaires à celles du magnésium. Il est aussi important pour le métabolisme de N et l'assimilation du dioxyde de carbone.

✓ Niveau critique

Le niveau critique dépend du sol, de la culture, de la variété et du rendement potentiel. De façon générale, le niveau critique de Mn dans les sols est estimé à 20 mg/kg (10 à 30) de Mn dans la matière sèche des plantes.

✓ **Carence**

Une carence en manganèse est caractérisée par des lésions de couleur grise (tissu abîmé ayant perdu sa couleur) sur les feuilles. Cependant, la carence en Mn est d'abord visible sur les plus jeunes feuilles alors que la carence en Mg se manifeste en premier lieu sur les anciennes feuilles. On peut citer comme espèces sensibles à une carence en Mn: pommier, orge, haricots, agrumes, vigne, laitue, avoine, pois, pêche, pomme de terre, radis, soja, sorgho, épinard, fraisier, sorgho fourrager, betterave à sucre, blé [28].

✓ **Toxicité**

Une concentration en Mn dans les sols ou végétaux largement excessive et nuisible au développement de la plante. Elle peut apparaître dans les sols dégradés, très acides. Les concentrations toxiques dans les cultures sont de l'ordre de 200 à 5 000 mg/kg de Mn [28].

La valeur 63 ,61 mg/kg de Mn trouvée dans les boues étudiées ne dépasse pas le seuil de la toxicité

- **Le molybdène (Mo)**

Oligoélément essentiel pour les plantes. Il est absorbé par les racines des plantes sous forme de MoO_4^{2-} . C'est l'oligoélément dont la plante a besoin en plus petite quantité. Il est impliqué dans les systèmes enzymatiques, tout particulièrement pour la nitrate réductase indispensable à la réduction du nitrate, et la nitrogénase impliquée lors de la fixation biologique de l'azote. Mo est donc directement impliqué dans la synthèse des protéines et la fixation de l'azote par les légumineuses.

✓ **Niveau critique**

De façon générale, le niveau critique du Mo dans les sols est estimé à 0,2 mg/kg de Mo.

✓ **Carence**

La carence en Mo dans les légumineuses peut s'apparenter à celle en N en raison de son rôle dans la fixation de N. L'insuffisance en Mo peut aussi causer une brûlure et un enroulement marginal ou un gemmage des feuilles. Les cultures sensibles à une insuffisance en Mo sont: les haricots, les brocolis, le chou-fleur, les trèfles, la laitue, les pois, le soja et les épinards.

✓ **Toxicité**

Etat nutritionnel causé par un effet défavorable en raison de quantités excessives de Mo dans les sols et les plantes. Les fourrages contenant plus de 5 mg/kg de Mo sont impliqués dans les cas de molybdénose des animaux [28].

La valeur 3,71 mg/Kg de MS est en deçà de cette de la valeur de toxicité.

V.2.2. Comparaison des caractéristiques essentielles des boues résiduaires urbaines à celle du fumier de ferme et du compost urbain (mg/l)

	Boues déshydratée	Fumier	Compost urbain
C	22,6	36,2	18
N	2,619	2,2	1,7
P₂O₅	5,662	1,3	0,03
K₂O	0,048	2,8	2,7
C/N	8,65	16,45	10,6

La comparaison des caractéristiques moyennes des échantillons des boues urbaines avec le compost et le fumier de ferme, permet les remarques suivantes :

- Les boues urbaines sont moins riches en potasse que le fumier de ferme, ou le compost, mais plus riche en phosphate.
- Les boues d'épuration contiennent une quantité importante d'azote par rapport au compost urbain.
- Par contre le fumier de ferme paraît plus équilibré pour les éléments considérés.
- Concernant le rapport C/N, les boues comme le fumier et le compost, peuvent constituer un amendement complètement évolué.

V.2.3. Conclusion

- L'étude et la comparaison des analyses des boues ne révèle aucune contre indication dans son utilisation en agriculture.
- Les boues d'épuration sont riches en éléments fertilisants, mais ne contiennent pas de celluloses et de lignines indispensables à la formation d'humus. Pour compenser à ce manque nous recommandons de les mélanger avec du compost ou du fumier de ferme.

Chapitre VI : conclusions et recommandations

Nos recherches, même partielles, ont apporté des précisions analytiques sur la nature des eaux épurées et des boues. Ils nous ont permis de tirer quelques conclusions et de proposer des recommandations que nous présentons comme suit :

Les eaux épurées

VI .1.1. La salinité

Connaissant la conductivité moyenne de notre eau qui est de 1265 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et SAR= 2,14, on peut à l'aide du diagramme de Riverside (Annexe A, figure 1) classer l'eau épurée comme suit :(annexe A, tableau 6 et figure 1) Degré : 3

Qualité : Admissible

Classe : C3-S1

Observation:

Toutefois son utilisation exige un drainage du sol et un contrôle régulier de l'évolution de la salinité; déconseillée par ailleurs pour les sols à faible perméabilité.

On peut entretenir une meilleure disponibilité de l'eau dans la partie supérieure de la zone racinaire, ce qui atténue les effets osmotiques.

L'utilisation des stations d'épuration est continue, il est donc possible d'avoir l'eau 'à la demande' et d'adapter la fréquence des arrosages aux exigences saisonnières.

VI .1.2. Les matières en suspension

Les teneurs en MES ne dépassent pas le seuil autorisé pour l'irrigation, donc la filtration n'est pas nécessaire avant son utilisation en agriculture.

VI .1.3. Le phosphore

On peut éliminer la pollution phosphorée avec une précipitation de cette dernière par des sels de fer ou d'aluminium, ou encore avec de la chaux. Les boues produites par cette technique sont traitées avec les boues biologiques.

VI .1.4. Les nitrates

Le taux des nitrates à la sortie de la station d'épuration de Beni Messous dépasse largement les normes (voir chapitre précédent). Son élimination est économiquement non envisageable.

Donc la charge importante de ces eaux usées en sels et nitrates nous confronte à un dilemme : appliquer juste la quantité d'eau nécessaire à la culture et donc augmenter la salinité du sol, ou bien appliquer une fraction de lessivage et donc faire percoler les nitrates en profondeur ce qui peut entraîner le risque de contamination de la nappe souterraine. Le défi sera alors de concevoir un système de gestion de l'eau qui soit en mesure de satisfaire les besoins de la plante dans un contexte de rareté de l'eau.

Une bonne gestion des irrigations peut remédier à ce dilemme, en optant pour des régimes d'irrigations différentes en fonction du stade de développement et des besoins de la plante

Une autre alternative est envisageable pour remédier au risque de pollution de la nappe par les nitrates, en adoptant une culture à grande consommation azoté en rotation.

On aura réussi à trouver un compromis entre les deux grands problèmes liés à l'irrigation par les eaux épurées.

VI .2.1.4. Les microorganismes

Pour l'élimination des germes pathogènes une désinfection de l'eau traitée est nécessaire, En ajoutant un désinfectant comme l'eau de javel par exemple :

Le chlore dissous réagit dans l'eau selon la réaction suivante :



C'est essentiellement l'acide hypochloreux qui est le composé le plus actif dans les mécanismes de la désinfection, il possède l'action biocide la plus efficace. En effet, il ne porte pas de charge électrique et sa forme ressemble à celle de l'eau. La membrane cytoplasmique le laisse passer en même temps que l'eau. Suite à leur pénétration, l'HOCl bloque toute activité enzymatique en entraînant ainsi la mort de la cellule.

Les boues d'épuration

Les boues de la station d'épuration peuvent fournir une fraction appréciable de matière organique.

La gestion de la matière organique du sol et celle de l'azote sont au cœur des défis pour l'agriculteur.

La fourniture d'éléments minéraux par la décomposition de la matière organique est un facteur important pour la production végétale.

Le rapport C/N est toujours inférieur à 20 donc le risque de blocage de l'azote n'est pas à craindre.

La stabilisation aérobie contribue dans ce cas à l'élimination des nuisances biologiques, odeurs, etc....

Les pertes d'azote et de phosphore sont moindres lors de la stabilisation aérobie, ce qui rend cette dernière intéressante à cet égard pour une utilisation agricole.

Il est recommandé d'utiliser ces boues en mélange avec le fumier de ferme ou le compost urbain qui apportent particulièrement la cellulose et la lignine indispensables à la formation de l'humus.

Néanmoins l'utilisation de ce mélange sur le sol serait très avantageuse, car elle permet de préserver la fragilité écologique des sols et la reconstitution du complexe argilo-humique indispensable à la fertilité du sol.

En conséquence :

- Compte tenu de la qualité des eaux épurées, l'utilisation des eaux épurées sur les végétaux à consommer crus est inacceptable, quel que soit le stade de traitement.
- Les cultures industrielles, généralement utilisées après transformation et arboricoles peuvent recevoir ces eaux sans grands risques.
- Les boues résiduelles peuvent être utilisées en agriculture, cette solution constitue non seulement une manière élégante d'éliminer un déchet mais elle représente pour l'agriculteur un grand avantage dû à l'apport de matière organique et de fertilisants minéraux, azote et phosphore...

Bibliographie

- [1] Daghar M., Sisalah A., 2007 - Descriptif de fonctionnement et d'exploitation de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Béni-Messous. M.R.E., direction des ressources hydrauliques et de l'économie de l'eau.
- [2] Rakha Pronost : Conception et dimensionnement des stations d'épuration à boues activées
- [3] Gaid,A , 1984 "Épuration biologique des eaux usées urbaines Tome I Ed. OPU Alger;
- [4] Boutin,B et Mercier,PN, 1984 « Traitement des eaux usées »
- [5] Issaadi ,R, 2003/2004 cours de 4eme année d'épuration –ENSH-Blida
- [6] Gommella, C et Guerree, H,1983« Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales » Ed. Eyrolles –Paris.
- [7] Les cours « techniques d'ingénieurs »
- [8] Kittelberger Consult GmbH : Rapport explicatif ; réutilisation des eaux épurées et des boues
- [9] Rahim Younes : Etude du fonctionnement de la STEP de Béni-Messous, suivi et essais de l'efficacité des coagulants minéraux sur la clarification d'eau issue du traitement secondaire en vue de sa réutilisation en agriculture.
- [10] Cours du Dr. R. Salghi « Différentes filières de traitement des eaux. Ecole nationale des sciences appliquées d'Agadir
- [11] Lahbib Eddeguesse: Diagnostique, Mise à Niveau et Réutilisation des Eaux Usées de la Station d'épuration O.Said.
- [12] Mohamed Saïd Ouali : Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux
- [13] Memento technique de l'eau. Huitième édition Edition Degremont. 1978.
- [14] Baumont S. et al. Réutilisation des eaux usées épurées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. E.N.S.A.T.
- [15] Mr M.Nakib : cours de 5eme année Les déchets solides – ENP Alger
- [16] Mr M.Nakib : Contribution à l'étude des possibilités d'utilisation des eaux et boues d'épuration dans l'agriculture : Cas des affluents urbains et de laitières.
- [17] M.R.E., 2007 - Etude de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. Mission 2:Schéma directeur, D.A.P.E.

[18] Mr ACHOURI FODIL: Etude des performances épuratoires de la station d'épuration par lagunage naturel de l'oued Béni-Messous W. (d'Alger)

[19] l'Agence Nationale des réserves Hydrauliques (ANRH).

[20] M.R.E., 2007 - Etude réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles ou autres sur tout le territoire national. Mission 4: Norme de réutilisation des eaux usées épurées, D.A.P.E.

[21] Abdellatif HAKMI : traitement des eaux " traitement de l'eau de source bousfer ORAN

[22] Alexandre Dudkowski: L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines

[23] European commission : the IPTS report ; Les eaux usées urbaines: santé publique et environnement

[24] ECOSSE D. (2001) - Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde. Mém. D.E.S.S. « Qualité et Gestion de l'Eau », Fac. Sciences, Amiens, 62 p.

[25] <http://www.lenntech.com/fran%E7ais/nitrate.htm>

[26] <http://www.ademe.fr/partenaires/boues/#top>

[27] <http://step.ouvaton.org/lexique1.htm#top>

[28] <http://www.fao.org/docrep/w4988f/w4988f0k.htm>

[29] www.inra.fr

Annexe A : Les tableaux de mesure

Tableau 01 : Valeurs des paramètres température, pH, conductivité du mois de février 2009.

Mois de février		Eaux brutes			Eaux épurées		
Jours	Date	pH	Conductivité (us/cm)	T °C	pH	Conductivité (us/cm)	T °C
Dim	1	7,84	1382	14,1	7,97	1364	11,7
Lun	2	7,6	1340	13,3	7,52	1375	14,1
Mar	3	7,69	1299	14,9	7,57	1386	15,5
Mer	4						
Jeu	5						
Ven	6	7,58	1403	13	7,55	1342	13
Sam	7	7,5	1272	13	7,63	1352	13,5
Dim	8	7,68	1408	13,7	7,60	1301	14
Lun	9	7,70	1423	12	7,60	1313	13,4
Mar	10	7,71	1438	10,7	7,60	1326	12,8
Mer	11						
Jeu	12	7,68	1399	10,1	7,65	1342	11,5
Ven	13	7,66	1431	11	7,63	1338	11,3
Sam	14	7,63	1463	11,2	7,57	1348	11,5
Dim	15	7,79	1254	11,5	7,62	1335	11,1
Lun	16	7,61	1405	13	7,58	1318	13,1
Mar	17	7,6	1230	10,9	7,72	1200	10,5
Mer	18						
Jeu	19	7,79	1250	9,9	7,66	1210	10
Ven	20	7,73	1259	9,5	7,81	1186	10
Sam	21	7,12	1289	10	7,89	1211	11
Dim	22	7,7	1381	11,4	7,78	1220	11,3
Lun	23	7,62	1451	10,9	7,51	1271	11,9
Mar	24	7,66	1455	11,2	7,73	1283	10
Mer	25						
Jeu	26	7,68	1412	11,8	7,73	1349	12,6
Ven	27	7,68	1433	12,8	7,74	1323	12,8
Sam	28	7,59	1309	14,7	7,61	1280	15,6
Moyenne		7,65	1365	12	7,66	1303	12
L'Ecart type		0,14	76,61	1,56	0,12	59,98	1,62

Tableau 02 : Valeurs des paramètres température, pH, conductivité du mois de mars 2009

Mois de mars		Eaux brutes			Eaux épurées		
Jours	Date	pH	Conductivité (us/cm)	T °C	pH	Conductivité (us/cm)	T °C
Dim	1	7,68	1294	10,7	7,68	1250	13,1
Lun	2	7,59	1366	11,9	7,71	1229	13,2
Mar	3	7,55	1374	12,7	6,57	1265	13,3
Mer	4						
Jeu	5	7,39	1125	12,5	7,82	1171	13
Ven	6	7,56	1232	10,4	7,87	1134	13
Sam	7	7,7	1591	9,5	7,57	1262	12,5
Dim	8	7,68	1489	11,5	7,57	1263	13,6
Lun	9	7,67	1456	12,1	7,64	1271	12
Mar	10	7,66	1411	12,8	7,71	1280	13
Mer	11						
Jeu	12	7,63	1503	10,5	7,82	1358	12,5
Ven	13	7,59	1498	11,2	7,8	1369	12
Sam	14	7,5	1389	11	7,84	1307	11,5
Dim	15	7,61	1262	13,7	7,73	1285	13,5
Lun	16	7,74	1244	12,01	7,83	1313	12,5
Mar	17	7,73	1114	11,9	7,74	1184	13,1
Mer	18						
Jeu	19	7,72	1208	12	7,79	1195	12
Ven	20	7,73	1273	12,3	7,84	1185	12,2
Sam	21	7,72	1302	12,7	7,85	1206	12
Dim	22	7,73	1114	11,9	7,74	1184	13,1
Lun	23	7,70	1311	11,7	7,79	1231	12,5
Mar	24	7,82	1321	10,2	7,89	1241	13
Mer	25						
Jeu	26	7,85	1317	11,3	7,88	1272	13
Ven	27	7,88	1236	11,9	7,97	1243	13
Sam	28	7,89	1314	12,5	8,06	1215	15,3
Dim	29	7,91	1156	12,5	7,77	1166	12,9
Lun	30	7,93	998	12,5	7,87	994	12,4
Mar	31	7,87	1134	13,1	7,76	1063	13,3
Moyenne		7,70	1297,48	11,82	7,74	1227,26	12,83
L'Ecart type		0,13	141,14	0,97	0,26	80,86	0,72

Tableau 03 : Valeurs des paramètres de la DBO₅ et la DCO

Jours	Date	Les eaux brutes		Les eaux épurées	
		DBO5 (mg O ₂ /l)	DCO (mg O ₂ /l)	DBO5 (mg O ₂ /l)	DCO (mg O ₂ /l)
Dim	1	80	182	3	19
Lun	2	97	230	2,5	19
Mar	3	106	206	2	10
Mer	4				
Jeu	5				
Ven	6	158	253	2	28
Sam	7	137	300	1,8	44
Dim	8	106	229	3	38
Lun	9	119	269	2,5	19
Mar	10	133	274	3	19
Mer	11				
Jeu	12	113	278	4	19
Ven	13	112	278	5	38
Sam	14	110	278	5	58
Dim	15	80	192	6	57
Lun	16	78	182	3	19
Mar	17	61	249	2,5	19
Mer	18				
Jeu	19	95	230	3,5	19
Ven	20	100	240	4	10
Sam	21	96	229	3	19
Dim	22	115	280	3,5	10
Lun	23	138	336	3	19
Mar	24	92	221	3	19
Mer	25				
Jeu	26	118	250	3,5	19
Ven	27	166	240	4,2	9
Sam	28	142	261	3	19
Dim	1	137	320	4	35
Lun	2	122	305	3	35
Mar	3	140	338	5,3	40
Mer	4				
Jeu	5	129	210	5	58
Ven	6	78	232	2,4	25
Sam	7	123	251	2	8
Dim	8	131	263	3,8	27
Lun	9	143	285	3	21
Mar	10	149	310	4	21
Mer	11				
Jeu	12	127	265	3	28
Ven	13	121	257	3,6	25
Sam	14	136	257	2	27
Dim	15	140	238	3,5	21
Lun	16	75	351	3	12
Mar	17	96	250	2,5	23
Mer	18				
Jeu	19	82	245	3	12

Tableau 03 (suite)

Ven	20	70	250	2,5	17
Sam	21	58	129	3,5	19
Dim	22		240	2	10
Lun	23	66	221	5,2	8
Mar	24	100		7	10
Mer	25				
Jeu	26	82	213	9	7
Ven	27	73	226	5	13
Sam	28	64	219	8	8
Dim	29				10
Lun	30				17
Mar	31	84			
Moyenne		108,03	251	3,64	22
L'Ecart type		28,21	42,99	1,53	12,84

Tableau 04 : Valeurs des matières en suspension

Jours	Date	EB	EE
		MES (mg/l)	MES (mg/l)
Dim	1	70	4
Lun	2	213	3
Mar	3	137	4
Mer	4		
Jeu	5		
Ven	6	247	6
Sam	7	336	3
Dim	8	128	2
Lun	9	130	3
Mar	10	154	6
Mer	11		
Jeu	12	200	6
Ven	13	136	4
Sam	14	73	3
Dim	15	102	8
Lun	16	81	2
Mar	17	106	19
Mer	18		
Jeu	19	201	3
Ven	20	181	2
Sam	21	103	2
Dim	22	153	43
Lun	23	145	1
Mar	24	200	1
Mer	25		

Tableau 04 (suite)

Jeu	26	118	29
Ven	27	100	35
Sam	28	120	12
Dim	1	222	2
Lun	2	162	4
Mar	3	193	3
Mer	4		
Jeu	5	187	16
Ven	6	123	10
Sam	7	185	8
Dim	8	161	10
Lun	9	149	12
Mar	10	137	13
Mer	11		
Jeu	12	179	10
Ven	13	180	8
Sam	14	250	12
Dim	15	200	5
Lun	16	168	3
Mar	17	151	3
Mer	18		
Jeu	19	127	6
Ven	20	135	7
Sam	21	83	3
Dim	22	59	4
Lun	23	87	12
Mar	24	91	2
Mer	25		
Jeu	26	121	7
Ven	27	122	11
Sam	28	91	15
Dim	29	156	14
Lun	30	122	91
Mar	31	178	19
Moyenne		149,06	10,22
L'Ecart type		53,22	14,42

Tableau 05 : Résultats des paramètres de la boue activée

Jours	Date	Biologique 1			Biologique 2		
		MES (g /l)	MVS %	IM (ml /g)	MES (g /l)	MVS %	IM (ml /g)
Dim	1	3,27	56	0	3,85	55	0
Lun	2	3,29	57	1	3,56	58	0
Mar	3	3,21	55	1	3,84	56	0
Mer	4	3,64	57	1	3,95	57	0
Jeu	5						
Ven	6						
Sam	7	1,34	56	75	1,06	58	94
Dim	8	1,96	57	51	1,98	56	51
Lun	9						
Mar	10	3,65	51	3	3,64	55	1
Mer	11	3,98	54	3	4,42	55	1
Jeu	12						
Ven	13						
Sam	14	2,11	56	7	3,12	56	2
Dim	15	2,32	74	6	3,46	56	2
Lun	16	2,32	54	7	2,78	48	2
Mar	17	2,49	53	7	2,42	53	3
Mer	18	2,75	51	7	2,86	56	2
Jeu	19						
Ven	20						
Sam	21	2,07	50		1,74	52	
Dim	22	1,7	54		1,66	54	
Lun	23	1,55	54		1,59	56	
Mar	24	0,49	77		0,99	58	
Mer	25	0,57	55		0,69	69	
Jeu	26						
Ven	27						
Sam	28	0,78	57		0,72	59	
Dim	29	0,88	53		0,86	57	
Lun	30	0,7	55		0,71	56	
Mar	31	0,81	55		1,83	55	
Moyenne		2	56	13	2	56	12
L'Ecart type		1,1	6,5	22,8	1,2	3,7	28,2

Tableau 6: Classification des eaux d'irrigation d'après le diagramme de Reverside.

Degré	Qualité	Classe	observation
1	Excellente	C1-C2	Utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures et sur la plupart des sols
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	- Exige des plantes tolérantes au sel et des sols à bonne perméabilité ; - Déconseillé au sol à forte d'échange d'ions.
3	Admissible	C3-S1	- Exige drainage des sols et contrôle de l'évolution de la salinité ; - Déconseillé aux sols à faible perméabilité.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	- Eau fortement minéralisée ; - Exige des cultures suffisamment tolérantes aux sels ; - Exige des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Ne convient pas à l'irrigation; Peuvent être utilisées pour des sols très perméables, très bien drainés et lessivés et pour des plantes très tolérantes aux sels.

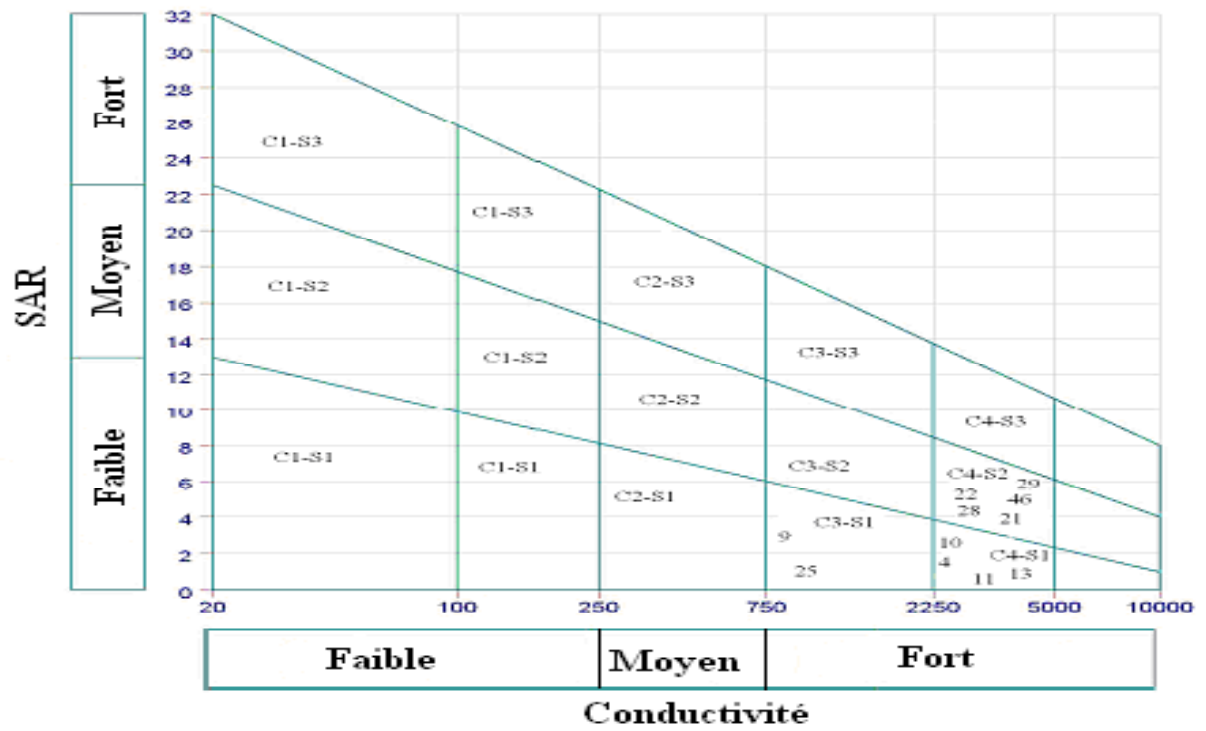


Figure 1: Diagramme pour la classification des eaux d'irrigation en fonction du SAR.

SAR : Rapport d'adsorption du sodium (m $\acute{e}q/L$).

CE : Conductivité électrique à 25 °C ($\mu\text{S/cm}$).

Annexe B : Les méthodes d'analyses

1. Le pH et température

• Appareil

pH Mètre, thermomètre.

• Principe

Mesure du potentiel hydrogène existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel - KCl saturé) dans une même solution.

• Etalonnage de du pH mètre

- Allumage de l'appareil;
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée;
- Prendre dans un petit bêché, la solution tampon pH = 7;
- Tremper l'électrode dans la solution tampon pH = 7 plus une agitation avec l'électrode;
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard 2;
- Enlever l'électrode et le rincer abondamment avec l'eau distillée;
- Procéder de la même manière avec les solutions tampon pH = 9 où pH = 4 ;
- Rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.

• Mesure

- Prendre approximativement 100 ml de d'eau à analyser;
- Tremper l'électrode dans le bêcher;
- Laisser stabiliser un moment;
- Puis noter le pH et la température en même temps.

2. Mesure de la conductivité électrique

• Appareillage

- Conductimètre.

• Etallonnage du conductimètre

- Allumer le Conductimètre;
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée, aller au mode « cal »;

- Prendre dans un petit bécher, la solution standard de 1000 ou 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage de la valeur de la solution standard, quitter le mode « cal ».

- **Mesure**

- Opérer de la verrerie rigoureusement propre et rincée, avant usage, avec de l'eau distillé;
- Rincer plusieurs fois l'électrode, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner (eau usée ou eau épurée);
- Agitation du liquide (avec l'électrode) est nécessaire pour d'éliminer les bulles d'air;
- Le résultat est exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

3. Détermination de l'azote ammoniacal (NH_4^+) (ISO 7150-1-1984)

- **Principe**

- Mesure spectrométrique du composé formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

- **Réactifs:**

- **Réactif I**

- Acide dichloroisocyanurique 2 g.
- Hydroxyde de sodium (NaOH) 32 g.
- H_2O distillée 1000 ml.

- **Réactif II (coloré)**

- Trictrate de sodium..... 130 g.
- Salicylate de sodium 130 g.
- Nitropruciate de sodium 0.97 g.
- H_2O distillée1000 ml

- **Mode opératoire**
 - Prendre 40 ml d'eau à analyser.
 - Ajouter 4 ml du réactif coloré et agiter.
 - Ajouter 4 ml de la solution dichloroisocyanurique et ajuster à 50 ml avec eau distillée et attendre 1h 30 minutes.

- **Lecture des résultats**
 - L'apparition de la couleur verdâtre indique la présence des NH_4^+ , on effectue donc la lecture à 655 nm ;
 - Le résultat est donné en mg/l, qu'il faut le multiplier par le facteur de dilution.

4. Détermination des nitreux NO_2^- et l'azote nitrique NO_3^- par analyse en flux continu (CFA)

- **Appareillage**
 - Auto analyseur à flux continu;
 - Echantillonneur automatique;
 - Pompe à faible pulsation;
 - Détecteur photométrique à flux, domaine de longueur d'onde de 540 nm;
 - Un logiciel spécifique pour évaluer les hauteurs de pics;

- **Mode opératoire**
 - Après allumage, plongé les différents tubes de pompe dans l'eau distillée;
 - Mettre en marche la pompe pendant 15 mn;
 - Mettre les différents tubes de pompes dans les réactifs de façon à ce que le flux à l'entrée du colorimètre soit constant avec un bullage régulier;
 - On place la gamme d'étalonnage et les échantillons à analyser, démarré l'analyse, les résultats sont affichés au fur et à mesure sur l'écran en mg/l.

5. Détermination des phosphates (PO_4^{3-}) ISO 6878/1-1986 (F)

- **Appareillage**

- Spectrophotomètre UV- Visible.
- **Mode opératoire**
 - Prendre 40 ml de l'échantillon à analyser ;
 - Ajouter 1 ml d'acide ascorbique ;
 - Ajouter 2 ml du molybdate acide ;
 - Attendre 30 mn.
- **Principe**
 - Les phosphates sont réduits par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu, la quantification est assurée par une lecture spectrométrique.
- **Réactifs**
 - **Réactif Mixte**
 - Heptamolybdate d'ammonium 13 g.
 - Eau distillée..... 100 ml.
 - Tartrate d'antimoine..... 0.35 g.
 - Eau distillée 100 ml.
 - Acide sulfurique pur 150 ml
 - Eau distillée 150 ml.
- **Lecture des résultats**
 - L'apparition de la coloration bleue indique la présence des PO_4^{-3} , on effectue la lecture à 880 nm;
 - Le résultat est donné en mg/l.
- **6. Détermination des matières en suspension par filtration sur filtre en fibres de verre (pour l'eau épurée)**
- **Appareillage**
 - Balance de précision électronique (annexe B, figure 49);
 - Filtre sous vide;
 - Etuve.
- **Principe**

- Vaporisation de l'échantillon à une température de 105°C pendant 24 heures, détermination des matières en suspension par pesée différentielle.

- **Mode opératoire**

Préparation des filtres :

- laver le filtre par de l'eau distillée;
- Séché le filtre à 105°C pendant au moins 1 heure;
- Laisser refroidir dans le dessiccateur;
- Peser.

- **Filtration de l'échantillon**

- Placer le filtre (la partie lisse en bas) sur le support de filtration;
- Agiter le flacon d'échantillon;
- Verser un volume convenable d'échantillon (100 ml) dans l'éprouvette graduée;
- Filtré l'échantillon;
- Rincer les parois internes de l'éprouvette graduée avec de l'eau distillée;
- Libérer le dispositif sous vide lorsque le papier filtre est pratiquement sec;
- Retirer avec précaution le papier filtre à l'aide de pinces à extrémités plate;
- Placer le filtre sur un support de séchage (capsules);
- Reporter la capsule à l'étuve à 105°C pendant 24 heures puis dans le dessiccateur et peser.

- **Expression des résultats**

Le calcul de la teneur en MES se fait de l'expression suivante :

$$[\text{MES}] = 1000(M_1 - M_0) / V$$

[MES]: est la teneur en MES en mg/l

M_1 : est la masse de la capsule contenant l'échantillon après étuvage à 105°C

M_0 : est la masse de la capsule vide avec le filtre préalablement séché.

V: volume de la prise d'essai.

7. détermination des matières en suspension par centrifugation

(Pour les eaux usées et boue activée)

- **Appareillages**
 - Balance de précision électronique;
 - Centrifugeuse;
 - Etuve.

- **Principe**
 - Séparation des matières en suspension par centrifugation avec pesé avant et après séchage.

- **Mode opératoire**
 - Attendre que les échantillons soient à température ambiante;
 - Homogénéiser le contenu du flacon par agitation;
 - Introduire la totalité de l'échantillon les quatre tubes de la centrifugeuse (volume 20ml chacun);
 - Centrifuger 20 minutes environ à 5000 tour/minutes;
 - Eliminer l'eau surnageant, recueillir le culot déposé dans une capsule préalablement séché à 105 °C et pesé;
 - Sécher la capsule et son contenu à 105°C pendant 24 heures;
 - Laisser refroidir dans un dessiccateur ;
 - Peser.

- **Expression des résultats**

Le calcul de la teneur en MES se fait à partir de l'expression suivante :

$$\text{MES (mg/l)} = (M_2 - M_1)1000/V_E$$

- [MES] : est la teneur en MES en mg/l;

- M_2 : est la masse de la capsule contenant l'échantillon après l'étuvage à 105°C (mg);
- M_1 : est la masse de la capsule vide (mg);
- V_E : le volume de l'échantillon introduire dans les pots de la centrifugeuse (80 ml).

8. Détermination des matières volatiles en suspension

- **Appareillage**

- Four à moufle;
- Dessiccateur en verre.

- **Principe**

- Volatilisation de la matière organique par la chaleur et l'obtention des matières minérales, est faire la différence par rapport au MES.

- **Mode opératoire**

- Après la détermination des MES, on détermine pois sec en g (correspondant au poids de la capsule en porcelaine et des matières séchés qu'elle contient);
- Placer ensuite la capsule en porcelaine dans un four à 560°C pendant une durée de 02 heures;
- Après refroidissement dans un dessiccateur, la capsule, ne contenant plus que les cendres, est à nouveau pesée, c'est donc la matière minérale.

- **Expression des résultats**

- $MVS (g/l) = MES (g/l) - MM (g/l)$.

9. Détermination de la DCO(ISO 6060)

- **Réactifs**

- Sulfate de mercure cristallisé 0,5 g.

- Solution de sulfate de fer et d'ammonium 0,25 N.

Sulfate de Fer et d' NH_4 98 g.

Acide sulfurique (d=1,84)20 ml.

Eau distillée

..... 1000 ml.

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

- Solution de dichromate de potassium 0.25 N.

Dichromate de potassium (séché deux heures à 110°C)..... 12.2588 g
H₂O..... 1000 ml.

- Solution de Ferroïne

1.10

phénanthroline..... 1.485 g.
Sulfate de Fer..... 0.695 g.
H₂O..... 100 ml.

- Etalon à 500 mg/l DCO.

Hydrogenophthalate de K HC₈H₅O₄ séché pendant 2 h.00 à 105°.

Peser 0,4251 g séché 1000 ml ou 0,1062 g/250 ml.

• **Appareillage et réactif**

- Appareil à reflux : il est constitué d'un tube, surmonté d'un réfrigérant;
- Bloc chauffant (annexe B, figure 27);
- Burette graduée;
- Un agitateur magnétique et un barreau magnétique.

• **Principe**

- Une oxydation des matières organiques et inorganiques présentent dans l'eau par un excès de dichromate de potassium en milieu acide en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de Fer et d'ammonium.

• **Mode opératoire**

• **Dans un tube de DCO**

- 10 ml d'eau à analyser;

- 5 ml de $K_2Cr_2O_7$;
- Homogénéisé;
- Ajouter lentement et avec précaution 15ml d'acide sulfurique plus le sulfate d'argent;
- Agiter le tube soigneusement;
- Mettre le réfrigérant et porter à l'ébullition 02 heure à une température de $150^\circ C$.
- **Détermination de la DCO**
 - Refroidissement, lavage des parois interne du réfrigérant à l'eau distillée;
 - Sortir le réfrigérant, laisser refroidir;
 - Compléter à 75 ml avec de l'eau distillée dans un bécher;
 - Ajouter 1 à 2 gouttes d'indicateur coloré, ferroïne;
 - Titrer l'excès de $K_2Cr_2O_7$ par la solution de sel de Mohr (virage bleu –vert au brun –rouge) noter V_{ECH} .
- **Essai à blanc**
 - Introduit 10ml d'eau distillée dans le tube à essai ;
 - Suivre le même protocole que pour l'essai, noter V_{Blanc} (ml).
- **Vérification du titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium**
 - Introduire 10ml de la solution de dichromate de potassium dans un bêcher;
 - Ajouter 100ml de l'acide sulfurique 4 mol/l;
 - Refroidissement;
 - Suivre le même protocole du dosage pour la détermination de la DCO;
 - Le titre de la solution de dichromate de potassium est obtenue par la formule,
 $T = 2,4 / V$.
- **Expression des résultats**

La demande chimique en oxygène, exprimé en mg d' O_2 /L est donnée par la formule suivante :

$$DCO = 8000 \times T (V_{BLANC} - V_{ECH}) / P_{D'ESSAI}$$

16 Détermination de la demande biochimique en oxygène la DBO₅

• Mode opératoire

- Prendre le volume d'essai et le verser dans le flacon de DBO, le volume pour l'eau usée est de 164 ml, pour l'eau épurée est de 432 ml;
- Mettre un aimant magnétique dans le flacon;
- Mettre 2 à 4 capsules de soude dans le godet de caoutchouc;
- Mettre le flacon dans le DBO mètre;
- Sélectionner la gamme de mesure pour chaque échantillon;
- La demande biochimique en oxygène de cinq jours est exprimé en mg d'O₂/l.

Annexe C : Redimensionnement de la station d'épuration de Beni Messous

- Calcul des débits et des charges polluantes :

Pour bien dimensionner la station d'épuration, il faut bien estimer les débits d'eau usée et les charges polluantes.

✓ Calcul des débits :

Le volume rejeté par les habitants est estimé à 80% de la dotation d'AEP.

La Consommation spécifique est estimée à 120 l/hab. j

Il s'agit de déterminer :

- Le débit journalier : « Q_j » (m^3/j)
- Le débit moyen horaire : « Q_m » (m^3/h)
- Le débit de pointe : « Q_p »
- le débit diurne « Q_d »

a) Le débit journalier :

$$Q_j = D.N.R$$

Avec :

D : dotation (l/hab/j),

N : nombre d'habitant l'horizon considéré = 250 00 EH

R : coefficient de rejet (0,8)

$$Q_j = 250.000 * 120 * 10^{-3} * 0,8 = 24 000 m^3/j$$

$$Q_j = 24 000 m^3/j$$

- Le débit des eaux parasites est estimé à 11 370 m^3/j
- Le débit des industrielles es estimé à 400 m^3/j

$$\Rightarrow Q_j = 35 770 m^3/j$$

b) débit moyen horaire :

Il est donné par la relation suivante :

$$Q_m = \frac{Q_j}{24}$$

$$Q_m = \frac{35 770}{24} = 1 490, 41 m^3/h$$

$$\Rightarrow Q_m = 414 l/s$$

c) le débit de pointe en temps sec :

On le calcule par la relation suivante :

$$Q_p = C_p \cdot Q_m$$

$$\text{Avec : } C_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}} \quad \text{si } Q_m \geq 2,8 \text{ l/s}$$

$$C_p = 3 \quad \text{si } Q_m < 2,8 \text{ l/s}$$

$$\text{Donc : } C_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{414}} = 1,62$$

D'où le calcul du débit de pointe :

$$Q_p = 1,62 \cdot 414 = 671,86 \text{ l/s} = 2418,72 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Rightarrow Q_p = 2418,72 \text{ m}^3/\text{h}$$

d) le débit diurne :

Le débit moyen diurne correspond à la période diurne de 16 heures consécutives au cours de laquelle la station reçoit le plus grand volume d'eau usée, soit :

$$Q_d = \frac{Q_j}{16 \text{ heures}} \quad Q_d = \frac{35\,770}{16} = 2\,35,62 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Rightarrow Q_d = 2\,35,62 \text{ m}^3/\text{h}$$

Base de dimensionnement de la station de Beni Messous

		Première tranche de traitement	
Habitants +Equivalent habitants		250 000	
Charges de la pollution [kg/j]			
DBO5	12 500		
DCO	25 000		
MES	15 000		
Concentrations [mg/l] : Valeurs moyennes journalières par temps sec			
	Valeurs actuelles		Valeurs futures
DBO5	349		248
DCO	700		500
MES	419		298
N	70		50
P	17,5		12,4
Volumes et débits			

	Valeurs actuelles
Volume moyen journalier [m³/j]	35 770
Débit moyen de temps sec [m ³ /h]	1 490, 41
Débit de pointe de temps sec [m ³ /h]	2418,72
Débit de pointe de temps de pluie [m ³ /h]= Q _p + 1800	4218,72

i. Le dégrillage :

DEGRILLAGE GROSSIER

Calcul de la surface de dégrilleur en m² surface de

$$S = \frac{Q_{\max}}{VOC} \quad Q_{\max}: (m^3/s)$$

S= Surface minimale de la grille en m²

V= Vitesse de l'effluent à travers la grille (par approximation on prend V = 1.2 m/s)

O= Espace libre entre barreaux / Espace libre+ épaisseur barreaux

C = Coefficient de colmatage

C = 0,10 – 0,30 grille manuelle

C = 0,40 – 0,50 grille automatique

On prend C = 0.5

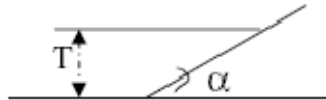
s: épaisseur des barreaux de la grille, s=1,5cm

e : espacement entre les barreaux, e = 6 cm

$$O = \frac{6}{6+1,5} = 0,8$$

$$\text{Donc } S = \frac{0,67}{1,2*0,5*0,8} = 1,39 \text{ m}^2.$$

- T : hauteur maximum d'eau dans le canal de passage d'eau, On prend T = 1m.
- α : l'angle d'inclinaison de la grille avec l'horizontal généralement. ($\alpha = 75^\circ$)
- L₀= Longueur mouillée
- l= largeur minimale de la grille



$$L_0 = T / \sin(\alpha) = 1,082$$

$$l = S / L_0 = 1,39 / 1,082 = 1,29 \text{ m}$$

Donc la largeur normalisée est : 1m

Calcul du :

- Nombre de barreaux :

$$n = \frac{lg-e}{s+e} = \frac{1-0,06}{0,06+0,015} = 12$$

- Largeur effective (Grille nettoyée)

$$l_{g,effe} = l - ns = 1 - (12 * 0,015) = 0,82 \text{ m}$$

- Largeur effective (Grille pleine de refus)

On estime de 30% le colmatage de la grille avant nettoyage.

$$l_{g,effe}^* = 0,7 * l_{g,effe} = 0,574 \text{ m}$$

Vitesse entre les barreaux :

La vitesse de passage à travers la grille doit être suffisante mais sans provoquer de charges trop importantes. Les vitesses adoptées sont : Moyenne = 0,6 m/s, Maximale = 1,2 m/s à 1,4 m/s

	Grille nettoyée	Grille colmatée
	$V = (Q / 1000) / (l_{g,effe} \times T)$	$V = (Q / 1000) / (l_{g,effe}^* \times T)$
$Q_m = 414 \text{ l/s}$	0,5	0,72
$Q_{p,sec} = 671,8 \text{ l/s}$	0,81	1,17

On remarque que les vitesses sont admissibles et elles ne dépassent pas la vitesse maximale qui est de 1,4 m/s

DEGRILLAGE FIN

- ▶ $e = 20 \text{ mm}$
- ▶ $S = 1,95 \text{ m}^2$.
- ▶ $l = 1,8 \text{ m}$
- ▶ $n = 28$

▶ $l_{g,effe} = 0,6 \text{ m}$

▶ $l_{g,effe}^* = 0,4 \text{ m}$

b- Dimensionnement du dégraisseur – dessableur

(Surface – volume)

* Charge hydraulique maximale $C_{hyd} = 35 \text{ m/h}$

* Charge hydraulique minimale à maintenir = 4 m/h

* Q_p de temps sec : $C_{hyd} = 15 \text{ m/h}$, $T_s = 13 \text{ mn}$

* Vitesse horizontale maximale : 1 m/s

- Diamètre des particules concernées :

* Gravier = diamètre de 3 mm

* Sable de $0,05$ à 3 mm

* Limon de $0,01$ à $0,05 \text{ mm}$

- Seuls les graviers et sables seront captés.

La section du dessableur = $Q_p / C_{hyd} = 2415,6 / 15 = 160,37 \text{ m}^2$

Le volume du dispositif = $\frac{Q_p}{60} \times T_s \text{ (mn)} = \frac{2415,6}{60} \times 13 = 523,38 \text{ m}^3$

Donc la hauteur du dessableur = $V/S = 3,27 \text{ m}$

Calcul de la quantité d'air à injecter :

Elle estimée à 1 à $1,5 \text{ m}^3$ par m^3 d'eau usée

$Q_{air} = 1,25 * 2415,6 = 3019,5 \text{ m}^3 / \text{h}$

– Production de sables :

Ratio : 2 à 15 _ / EH / an

Décanteur primaire :

– Principe du décanteur idéal (Hazem):

Un décanteur idéal selon Hazem où sont respectées les hypothèses suivantes :

- Toutes les particules sont indépendantes et tombent à V_0
- Il n'y a pas de phénomène de floculation, de turbulence et de perturbations thermiques.
- L'écoulement est laminaire ($Re < 2500$)
- Il n'y a pas de remise en suspension

Le principe de décanteur idéal (Hazem) est :

$$V = Q \times T_{sh}$$

Avec :

T_{sh} = temps de séjour hydraulique

V = volume

Pour que la particule soit retenue dans la cuve, elle doit parcourir une hauteur h pendant un temps T_{sh} , sa vitesse doit être $V_0 = h / T_{sh}$ et $T_{sh} = V / Q \Rightarrow$

$$\frac{h}{v_0} = \frac{V}{Q} \Rightarrow \frac{Q}{v_0} = S \quad \Rightarrow Q = v_0 S \text{ et } v_0 = Q / S$$

Q/S = Charge superficielle C_s ou vitesse ascensionnelle (V_a) ou charge hydraulique (C_h) exprimée en $m^3/m^2.h$

Le terme Q/S est aussi appelé vitesse de coupure, charge ou débit surfacique.

V_0 est le paramètre déterminant du dimensionnement d'un décanteur, car il permet de déduire que toutes les particules ayant une vitesse de chute $V_c > V_0$ décanteront (méthode Hazem simple)

On adoptera un temps de séjour de 1 heures et une hauteur de 3,5

Le volume du décanteur primaire est donné par la formule:

$$\text{Volume} = Q_{p,sec} \times t_s = 2418,72 \times 1 = 2418,72 \text{ m}^3$$

Le traitement biologique :

a) La masse de DBO5 traitée par jour :

30% de réduction de la DBO5 par la décantation primaire

10% de supplément pour traitement des boues

$$L_e = 12500 \times 0,7 \times 1,1 = 9625 \text{ kg DBO}_5/\text{j}$$

b) Le volume du bassin d'aération :

La concentration des MVS (b_a) à maintenir dans le bassin d'aération varie en fonction du procédé d'épuration, dans le cas de boues activées elle varie de 2 à 8 kg/m^3 . Nous adoptons la valeur 4.

Comme cette station travaille à faible et moyenne charge, nous adoptons $C_m = 0,3 \text{ kg DBO}_5/\text{Kg MVS}$

$$B_a = L_e / C_m = 9625 / 0,3 = 32083,33 \text{ Kg MVS}$$

$$C_v = C_m \times b_a = 0,3 \times 4 = 1,02 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3/\text{j}$$

Donc :

$$V = B_a / C_v = 9625 / 1,02 = 9436,27 \text{ m}^3.$$

Le bassin d'aération se compose de deux chambres, le volume de chaque chambre est de 4700 m³ de profondeur de 5 m.

c) Le temps de séjour :

$$t_s = \frac{9400}{35\,770} = 6,3\text{h}$$

d) Le taux de recirculation :

Le but c'est de connaître le débit de recirculation des boues.

Teneur en MVS des boues dans le bassin d'aération : $C_{bv} = 4 \text{ Kg MVS /m}^3$

Teneur en MVS dans la boue de recirculation : $C_r = 8 \text{ Kg MVS /m}^3$

Donc :

$$R = \frac{C_{bv}}{C_r - C_{bv}} 100 = \frac{4}{8-4} 100 = 100\%.$$

On prend $R = 150\%$ pour le dimensionnement des pompes.

Débit maximal de recirculation des boues :

$$Q_r = 1\,490,41 \times 1,5 = 2\,235,651 \text{ m}^3/\text{h}.$$

e) Production de boues activées en excès :

Concentration des boues en sortie du clarificateur est $= 8 \text{ Kg MVS/m}^3$.

Donc

Le volume de boues en excès produites quotidiennement $= L_e / 8 = 9626/8 = 1203\text{m}^3/\text{j}$

f) Age des boues dans le bassin d'aération :

B_m : La charge des MES : $15\,000 \text{ Kg/j}$

$$\Delta B = B_{\min} + B_{dur} + B_S - B_e$$

Avec :

B_{\min} : Boues minérales $= 30\% B_m = 4\,500 \text{ Kg/j}$

MVS totale $= 70\% \text{ MES} = 10\,500 \text{ Kg/j}$

B_{dur} : Boues difficilement biodégradables (appelées matières dures),

$$B_{dur} = 25\% \text{ MVS} = 2\,625 \text{ Kg/j}$$

B_e : Fuite des MES avec l'effluent (dépend des normes de rejet, nous adoptons 30mg/l). $B_e = 30 \times 35\,770 = 1\,073,1 \text{ Kg/j}$.

B_S : Nouvelles cellules

$$B_S = 0,3 \times a_m \times l_e = 0,3 \times 0,55 \times 9626 = 1\,588,29 \text{ Kg/j}.$$

Donc : $\Delta B = 4\,500 + 2\,625 + 1\,073,1 - 1\,588,29 = 6\,609,1 \text{ Kg/j}$

Avec un taux de MVS = $\frac{6\,609,1 - 4\,500}{6\,609,1} = 31,9\%$

⇒ **Age des boues** = θ = Concentration de MVS dans l'aérateur x Volume de l'aérateur /
Production de boue en excès

$$\theta = 4 \times 9400 / 6\,609,1 = 5,68 \text{ JOURS}$$

g) Oxygénation :

Oxygénation spécifique pour un traitement des eaux usées : 2 Kg O₂ / Kg DBO₅

Oxygénation nécessaire par jour :

$$2x \text{ le} = 2x 9626 = 19\,252 \text{ Kg O}_2/\text{j}$$

Débit d'oxygénation moyen sur 24h :

$$19\,252 / 24 = 802 \text{ Kg O}_2/\text{j}$$