



LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES
Génie Électrique

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

**Étude d'une solution thermique pour la
distillation du lixiviat**

Réalisé Par :

CHIBOUB Chaymae

Encadre par :

P^r Abdellah MECHAQRANE (FST FES)

Mme Asmae OURHEDJA (Ecomed)

Soutenu le 5 Juillet 2021 devant le jury

P^r A. MECHAQRANE (FST FES)

P^r A. ELBASSET (FST FES)

Mme A. OURHEDJA (Ecomed)

Dédicace

A une femme exceptionnelle qui m'a toujours inspiré, à qui je dois tout. Une femme rigoureuse qui m'a toujours encouragée. À ma meilleure amie, qui était toujours disponible et attentive qui m'a donné les plus précieux conseils et pardonné mes erreurs. À une grand-mère courageuse et forte qui m'a protégée de toutes ses forces et qui m'a aimée de tout son cœur. À cette femme bienveillante et généreuse, qui avait toujours un mot pour me reconforter. À cette femme exigeante et ambitieuse, qui a guidé mes pas et qui était à l'origine de toutes mes réussites. Elle m'a accompagné dans mes petits et mes grands bonheurs. Elle m'a appris à ne pas baisser les bras.

Tu m'as quitté, mais ton amour est toujours présent et aussi fort. Chaque souvenir est ancré au plus profond de moi, et ta voix, gravée à jamais. Je souhaite à présent que tu reposes en paix, tu le mérites tellement. Tu me manques déjà terriblement, mais tu resteras un modèle pour moi, une étoile qui ne me quittera jamais et qui continuera à éclairer ma vie.

Merci grand-mère d'avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui !

J'espère que tu es fière de moi comme tu l'étais toujours !

Remerciements

Après avoir rendu grâce à Dieu le Tout Puissant et le Miséricordieux je tiens à remercier vivement toute personne ayant eu la bonté et la patience de satisfaire ma curiosité et de m'aider dans mon travail par ses précieux conseils, réponses et recommandations.

Je présente mes profonds respects et mes reconnaissances à Mr Abdellah Mechaqrane ; professeur à la faculté des Sciences et Techniques de Fès, qui a été pour moi plus qu'un parrain, il m' a donné le temps, la confiance en soi et la passion de travailler et de produire. Je le remercie du fond du cœur pour son intérêt, sa patience, sa générosité, sa disponibilité, pour son encadrement fructueux.

Par la même volonté et la même chaleur, je tiens à remercier Mme Asmae Ourhedja; responsable de suivi environnementale à ECOMED, qui a suivi ce travail dans tous ses détails avec une rigueur scientifique exceptionnelle, ce qui m'a donné le courage de poursuivre la réalisation de ce projet.

Un grand merci aux Professeurs Kawtar Fikri Benbrahim, du département de Biologie et Hicham Zitan, du département de Chimie, qui ont aimablement accepté de nous faire les analyses microbiologique et chimique de notre distillat.

J'adresse mes plus sincères remerciements aux membres du Jury d'avoir accepté d'examiner et juger mon humble travail

Je tiens à remercier profondément Fouad Raqen, pour l'aide efficace qu'il m'a toujours apporté, ses critiques, ses conseils et ses remarques ont largement contribué à l'aboutissement de mon travail.

Je n'oublierai jamais la gentillesse et l'amabilité de tous les doctorants du laboratoire SIGER pour leur collaboration fructueuse, leurs aides et aussi pour leurs remarques et suggestions utiles. Grâce à eux, l'atmosphère a toujours été amicale et détendue.

Enfin, merci à mes parents, pour le soutien qu'ils m' ont témoigné, pour m'avoir donné le gout et l'ambition de faire mes études, ainsi qu'à tous les professeurs qui, au cours de ma scolarité du primaire au licence, m'ont fait aimer les Sciences.

Résumé

Ce travail est le fruit d'une formation universitaire pluridisciplinaire qui met en exergue toutes les connaissances acquises pendant ces 3 ans d'études.

L'objectif de ce travail consiste à développer une technique pour traiter les importantes quantités de lixiviats produites par la décharge de la ville de Fès au Maroc, vu que leur charge polluante ne permet pas leur rejet dans le milieu naturel. Un mode de traitement par évaporation forcée a été installé et étudié.

Les performances d'évaporation et la qualité du distillat obtenues permettent de valider le système comme technique alternative pour le traitement des lixiviats.

Mots clés: Décharge, Lixiviats, Évaporation forcée, Distillat.

Table des matières

<i>Dédicace</i>	2
<i>Remerciements</i>	3
<i>Résumé</i>	4
<i>Introduction Générale</i>	1
CHAPITRE I :	3
GRUPE ECOMED-BIOELECTRICITE	3
Introduction	3
1) Groupe ECOMED au Maroc	3
3) Organisation de l'entreprise ECOMED	5
3.1) Localisation du site	6
3.2) Choix du site	6
4) Le secteur des déchets au Maroc	6
4.1) Cadre institutionnel	6
4.2) Cadre juridique.....	6
5) Procédé de génération d'électricité à partir des déchets au sein de la décharge de Fès..	7
5.1) Le pesage :	8
5.2) L'enfouissement :	8
5.3) Séparer le biogaz du lixiviat	9
5.4) Le traitement de biogaz	10
5.5) Le traitement du lixiviat	12
Conclusion	13
Chapitre II:.....	14
PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE	14
Introduction	14
1) Impactes du lixiviat sur l'environnement.....	14
2) Types du lixiviat.....	15

3) Traitements du lixiviat déjà existants et leurs rendements.....	15
4) Le traitement proposé.....	16
5) Réalisation.....	17
4.1) Réservoir de chauffage	17
4.2) Système de chauffage du lixiviat	18
4.3) Système de pompage du lixiviat	19
Conclusion.....	20
CHAPITRE III :	21
DISTILLATION DU LIXIVIAT-RÉSULTATS	21
Introduction	21
1) Système d'acquisition et de stockage des données	21
2) Résultats et discussions	22
2.1) Performances du système	22
2.2) les analyses du lixiviat distillé et comparaisons avec les normes.....	24
<i>Conclusion et perspectives</i>	26
<i>Annexes</i>	27
<i>Références</i>	29

Liste des figures

Figure 1: Implantation du groupe ECOMED au Maroc	4
Figure 2: Décharge contrôlée de Fès.	4
Figure 3: Organisme de la Direction d'exploitation.	5
Figure 4: Étapes de récupération du biogaz et du lixiviat	7
Figure 5: Logiciel Transistor	8
Figure 6: Pont-bascule lors d'entrée du camion	8
Figure 7: Site d'enfouissement	9
Figure 8: Réseau de collecte du biogaz	10
Figure 9: Bassin du lixiviat	10
Figure 10: Unité de soutirage du biogaz.	11
Figure 11: Unité de contrôle	11
Figure 12: Générateur bioélectrique de la décharge de Fès	12
Figure 13: De gauche à droite, l'évaporateur thermique, filtration par membrane biologique	13
Figure 14: système Réalisé	17
Figure 15: Serpentin échangeur tubulaire	18
Figure 16: Tuyau flexible	18
Figure 17: Circulateur d'eau chaude	18
Figure 18: Circuit de pompage automatique	19
Figure 19: Circuit intégré NE555	20
Figure 20: Circuit du système d'acquisition	21
Figure 21: Évolution des températures des 3 systèmes pendant 24h	22
Figure 22: Volume du lixiviat évaporé dans les deux bacs	23
Figure 23: Distillat obtenu	24
Figure 24: Appareil d'Analyses physiques	24
Figure 25: Analyses bactériologiques	25

Liste des tableaux

Tableau 1: Quelques dispositions de la loi 28-00 liées aux décharges	6
Tableau 2: Des articles de décret de la loi 28-00 adopté.	7
Tableau 3: Types du lixiviat.	15
Tableau 4: Quelques procédés de traitement du lixiviat	16
Tableau 5: Analyses chimiques du distillat obtenu	24
Tableau 6: Résultats des Analyses Bactériologiques	25

Introduction Générale

Vu l'évolution démographique, l'urbanisation forcée et l'amélioration du niveau de vie de notre pays, la quantité de déchets urbains produits ne cesse de croître. En effet, ces dernières années, plusieurs définitions des déchets ont été proposées. Le point commun à ces définitions c'est qu'elles considèrent le déchet comme un objet qui arrive à sa fin de vie; dont le producteur veut s'en débarrasser, ou comme Jean Vernier a cité : «Le déchet est un produit dont personne n'en veut à l'endroit où il se trouve ».

De nos jours, le Maroc produit une quantité très importante de déchets, qu'ils soient ménagers, industriels ou agricoles. « Nous produisons, par an, 7 millions de tonnes de déchets ménagers, 1,5 millions de tonnes de déchets industriels, 300 000 à 350 000 tonnes de déchets industriels dangereux et nous produisons également environ 7 millions de gravats et quelque 300 000 tonnes de boue ». [Leseco.ma]

Le problème des déchets solides est avant tout un facteur contraignant auquel sont confrontées les collectivités locales. Il engendre des effets négatifs directs et indirects liés à la quantité, l'élimination et le traitement des déchets. Face à l'insuffisance des ressources financières et au manque de filières d'élimination des déchets, la mise en décharge reste le seul mode de gestion des déchets solides adopté dans les pays en développement. Par rapport à d'autres formes de gestion des déchets.

On se pose la question tout d'abord, c'est quoi une décharge ? Et quelle est la différence entre une décharge contrôlée et une décharge non contrôlée (sauvage) ?

Les décharges sauvages répondent à une définition simplissime : « tout dépôt d'ordure de n'importe quelle nature et de n'importe quelle dimension en un lieu où il ne devrait pas être ». [décharge sauvage loi - Systemex Automation]

Alors que la décharge contrôlée est un site, répondant aux caractéristiques et prescriptions techniques réglementaires où les déchets sont déposés d'une façon permanente; sont classées selon les types de déchets comme suit :

- Classe 1 : les décharges des déchets ménagers et assimilés ;

- Classe 2 : les décharges des déchets industriels, médicaux et pharmaceutiques non dangereux, des déchets agricoles, des déchets ultimes et inertes ;
- Classe 3 : les décharges des déchets dangereux.

En effet, quel que soit le mode de fonctionnement, les décharges peuvent être sources de plusieurs nuisances : émissions d'odeurs désagréables, production de gaz à effet de serre (biogaz), et surtout, sécrétion du lixiviat.

Le lixiviat de décharge est une sorte d'eau résiduaire complexe, résultant de la percolation de l'eau de pluie à travers les ordures, mais également de processus biologiques, physiques et chimiques ayant lieu au sein même de la décharge. Leur composition révèle notamment de hautes valeurs de conductivité, DCO, DBO5, anions, cations, ammoniac, métaux lourds et dépend de nombreux facteurs : la composition des déchets, l'âge de la décharge, conditions météorologiques, etc.

Le lixiviat doit impérativement être traité avant d'être rejeté dans l'environnement.

De nombreuses techniques de traitement des lixiviats existent aujourd'hui. On peut en citer: les procédés membranaires, les procédés biologiques et les procédés physico-chimiques. L'efficacité de ces processus à l'échelle industrielle est limitée, principalement à cause de la forte charge polluante des lixiviats [Camille BACCOT ; Étude du potentiel de valorisation énergétique et matière de composés organiques extraits de lixiviats de déchets ménagers].

Dans le présent travail, on s'intéressera à un nouveau procédé thermique de distillation du lixiviat.

Le présent manuscrit sera divisé en 3 chapitres principaux :

- ✓ Le premier chapitre se concentre sur la décharge contrôlée de Fès et son fonctionnement,
- ✓ Dans le deuxième chapitre, on présentera quelques informations utiles sur le lixiviat (types de lixiviat, son impact sur l'environnement, ...).
- ✓ Le troisième chapitre sera axé sur la partie expérimentale de notre projet.

Et on terminera par une conclusion générale et quelques perspectives.

CHAPITRE I :

GROUPE ECOMED-BIOELECTRICITE

Introduction

Ce chapitre est réservé à la présentation de l'organisme d'accueil de notre stage et de quelques opérations de traitement des déchets pour la production du biogaz. On présentera, en premier lieu, le groupe ECOMED-Maroc auquel appartient le groupe ECOMED-Fès, chargé du contrôle de la décharge de Fès. On présentera, ensuite, le cadre juridique et institutionnel du secteur des déchets au Maroc et on terminera par la présentation des principales opérations du circuit que parcourent les déchets depuis leur entrée à la décharge jusqu'à la production de la bioélectricité en passant par quelques projets de traitement du lixiviat qui ont été réalisés sur le site de la décharge.

1) Groupe ECOMED au Maroc

Le groupe ECOMED est un holding marocain créé par deux sociétés américaines EDGEBORO INTERNATIONAL Inc. (EII) et GLOBAL ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY, Inc. (GESI). Ce groupe est connu mondialement par son expertise dans le domaine de gestion, du traitement et de la valorisation des déchets solides. Leur objectif est de préserver la nature

ECOMED est la première entreprise privée au Maroc, spécialisée dans la construction et l'exploitation des décharges contrôlées. Le groupe propose des services personnalisés selon les besoins de chaque ville, notamment des services liés aux sites d'enfouissement sélectionnés par la commune, le groupement de communes ou le groupement de collectivités locales.

Depuis 2002 la société a créé aux fils des années des projets dont Elle a obtenu la concession, des filiales/Agences, afin d'assurer leur gestion dans différentes villes du Maroc. Ainsi, le nombre de ces filiales/agences a évolué. La FIGURE 1 représente les sites ECOMED implémentés au Maroc.

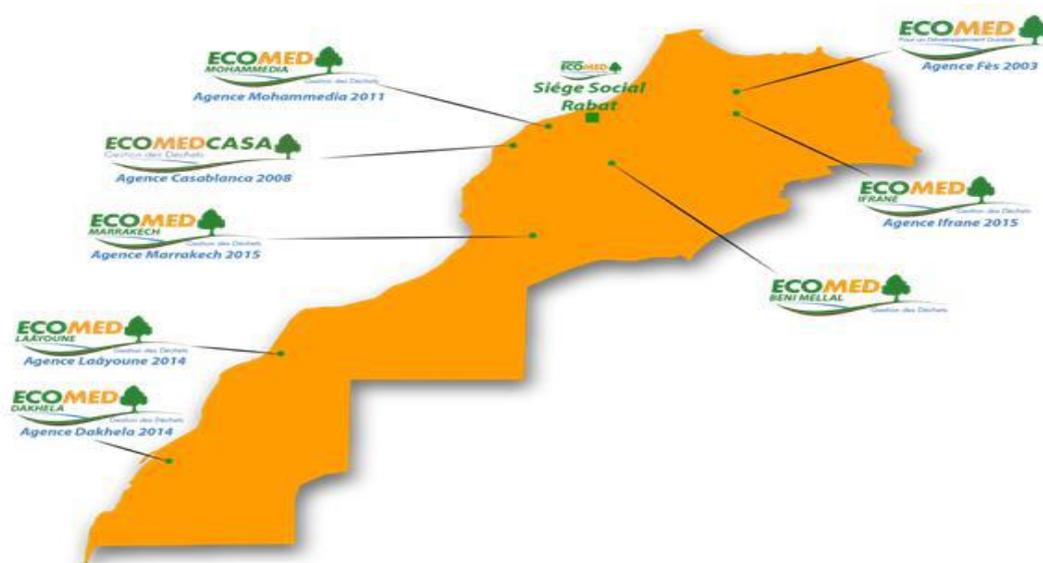


Figure 1: Implantation du groupe ECOMED au Maroc

2) Le groupe ECOMED-Fès

La société ECOMED, est représentée à Fès par l'ingénieur Mr Baamal, Directeur d'exploitation de la décharge. Il est le responsable de la Direction d'exploitation et de travaux.



Figure 2: Décharge contrôlée de Fès.

La décharge contrôlée de Fès est la première décharge contrôlée au Maroc. Elle est gérée par ECOMED depuis 2004, dans le cadre d'un contrat de gestion déléguée de 30 ans avec la Commune Urbaine de Fès ; elle traite tous les jours entre 750 à 1.000 tonnes de déchets solides. La décharge de Fès est de classe 2 et donc reçoit les déchets solides comportant :

les ordures ménagères (OM) issues de l'activité domestique quotidienne des habitants de la ville de Fès, les déchets ménagers assimilés (DMA) issus des marchés, les déchets verts (DV), les déchets d'abattoirs (DA), les déchets de démolition (DD), les déchets de tannerie (DT) (la ville de Fès est très connue par la tannerie) et non les déchets industriels ou les déchets médicaux.

3) Organisation de l'entreprise ECOMED

Le siège principal du groupe est situé à Rabat, mais chaque décharge dispose d'une Direction d'exploitation et de travaux, composée d'ingénieurs, d'informaticiens, de techniciens ... l'organigramme suivant (FIGURE 3) décrit les différentes branches de la Direction d'exploitation d'ECOMED-FES.

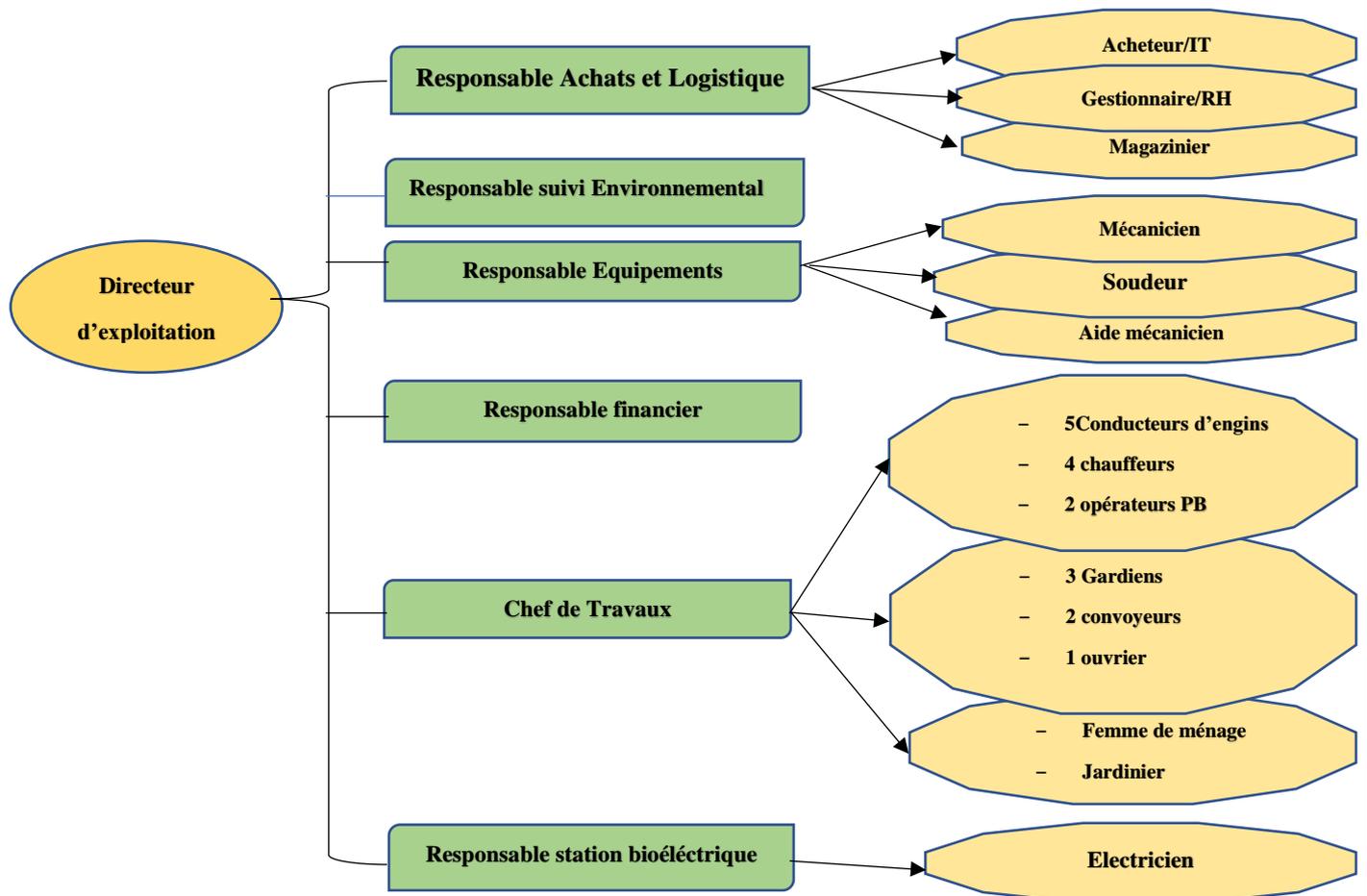


Figure 3: Organigramme de la Direction d'exploitation.

3.1) Localisation du site

Le site de la décharge se situe dans la commune de Ain Bida, à 12 km du centre-ville et à 3 km du complexe sportif sur la route de SIDI HRAZEM. La décharge publique contrôlée de Fès s'étale sur une superficie de 120 ha

3.2) Choix du site

- Le terrain de la décharge est en argile, elle est donc imperméable, ce qui est très important, d'autant plus qu'à quelques kilomètres de la décharge se trouvent la source thermale de Sidi Hrazem et des sources chaudes.
- La profondeur de la couche d'argile est de plus de 50 m, et le sondage de profondeur a été réalisé. Les résultats montrent que plus on va en profondeur, plus l'argile devient imperméable.
- Au cours du sondage et dans une portée allant jusqu'à 80 mètres, aucune nappe phréatique n'a été rencontrée.
- La décharge a la forme d'une vallée, ce qui présente de grands avantages dans l'enfouissement.

4) Le secteur des déchets au Maroc

4.1) Cadre institutionnel

La gestion des déchets exige l'intervention de plusieurs institutions. Chacune d'entre elles a un rôle bien défini. Les principales institutions sont: l'État (le ministère de l'intérieur, le ministère de la santé, le ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, le ministère de l'industrie et du commerce), la région, les provinces, les communes et le département de l'environnement.

4.2) Cadre juridique

L'arsenal juridique marocain s'est renforcé en 2006 par l'adoption de la loi n° 28-00 spécifique à la gestion des déchets et leur élimination.

Tableau 1: Quelques dispositions de la loi 28-00 liées aux décharges

Articles	Idée principale
3	Définition et types des déchets
2	On entend par la définition du lixiviat et son milieu d'étude (casier, bilan hydrique ...)

Tableau 2: Des articles de décret de la loi 28-00 adopté.

Décret et ses articles	Portées
Décret n° 2-09-284 du 20 hja 1430 (8 décembre 2009) fixant les procédures administratives et les prescriptions techniques relatives aux décharges contrôlées	Procédures administratives applicables aux décharges contrôlées
Article 8 et 9 dans le même décret	Les critères de choix de site de réalisation d'une décharge contrôlée au Maroc et l'objectif d'aménagement de site de cette décharge
Article 11 dans le même décret	Les objectifs de la planification de la décharge

5) Procédé de génération d'électricité à partir des déchets au sein de la décharge de Fès

Une première au Maroc et en Afrique, la ville de Fès est éclairée à 30 % grâce à ses déchets ménagers.

Pour se faire, les déchets passent par plusieurs étapes au sein de la décharge (FIGURE 4). Le biogaz récupéré est ensuite valorisé en énergie électrique grâce à une unité de transformation installée sur le site de la décharge.

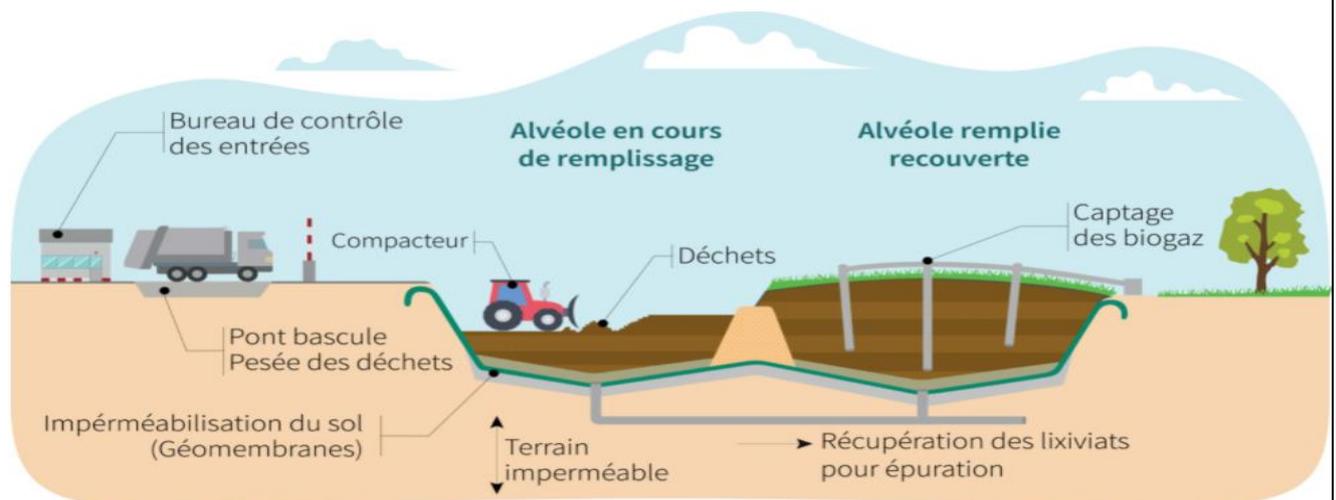


Figure 4: Étapes de récupération du biogaz et du lixiviat

5.1) Le pesage :

Tout commence dans la salle de pesage où toutes les informations concernant les déchets sont récoltées. Le pesage des déchets se fait à travers une bascule électronique (FIGURE 6) dotée de six capteurs en dessous liés à un appareil appelé le terminal qui permet l'affichage de la masse sur la bascule électronique. Sa capacité est de 60 tonnes et son incertitude est de 20 kg par tonne (2%). Le terminal est lié à un ordinateur dans lequel est installé un logiciel dit Transistor qui permet d'enregistrer les masses des déchets reçues chaque jour et qui sont entre 750-1000 tonnes par jour.

Lorsque le véhicule arrive sur le pont-bascule, l'agent de permanence saisit son numéro d'immatriculation pour obtenir des informations sur le client/fournisseur, le type de déchets qu'il contient (par exemple : ordures ménagères (OM), déchets verts (DV)...). Le nom du transporteur et le lieu de chargement. Ensuite, l'agent note le poids du véhicule transportant les ordures. Après avoir déchargé le véhicule, il est pesé encore une fois afin de noter son poids à vide. La différence entre les deux poids donne la masse des déchets transportés.

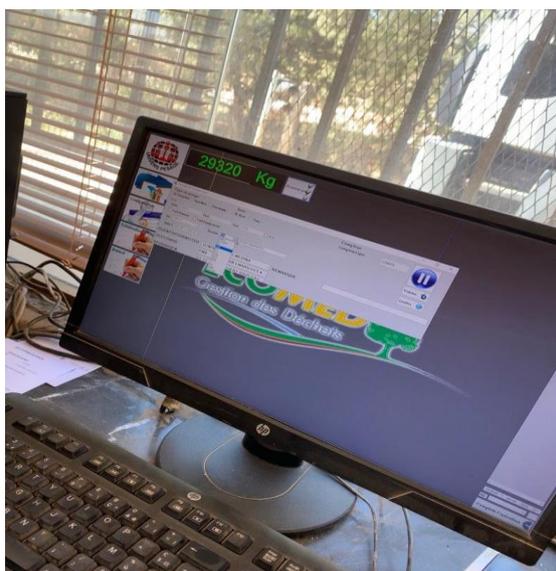


Figure 5: Logiciel Transistor



Figure 6: Pont-bascule lors d'entrée du camion

5.2) L'enfouissement :

Après leurs pesages et leur tri, les camions suivent leur chemin vers le site d'enfouissement (FIGURE 7) pour vider les déchets. Ces derniers sont, alors, empilés en différentes couches épaisses de 3 à 4 mètres, et des Bulldozers D6 sont chargés de répartir les déchets sur toute la surface du casier avant d'être recouverts d'une couche de terre de 15cm puis compressés.

Ceci permet d'éviter l'envol des papiers et des sacs en plastique et d'éviter les émissions des mauvaises odeurs.



Figure 7: Site d'enfouissement

Après leur enfouissement, les déchets commencent à se dégrader par des bactéries qui agissent en l'absence de l'air. Ce processus est connu sous le nom de fermentation anaérobique ou bien la méthanisation.

Le processus de méthanisation est complexe mais on repère globalement trois grandes étapes:

- l'hydrolyse et l'acidogènes : les chaînes organiques complexes (protéines, lipides, polysaccharides) sont transformées en composés plus simples (acides gras, peptides, acides aminés) ;
- la méthanogenèse : l'acide acétique est transformé en méthane « biogaz » et en gaz carbonique.

Or, le grand problème qui se pose, est que lors de leur stockage et sous l'action de la fermentation naturelle (et de l'eau de pluie aussi), les déchets produisent une fraction liquide appelée le lixiviat.

5.3) Séparer le biogaz du lixiviat

Le site de la décharge se compose de trois casiers, deux d'entre eux sont déjà remplis jusqu'à une hauteur de 44 mètres. Au milieu des déchets, sont installés des canaux de drainage du biogaz et du lixiviat. Les canaux sont installés toutes les 3 couches et ils sont communs aux 3 casiers, c'est-à-dire qu'il y a un réseau collecteur tous les 12 mètres. Le réseau de collecte du

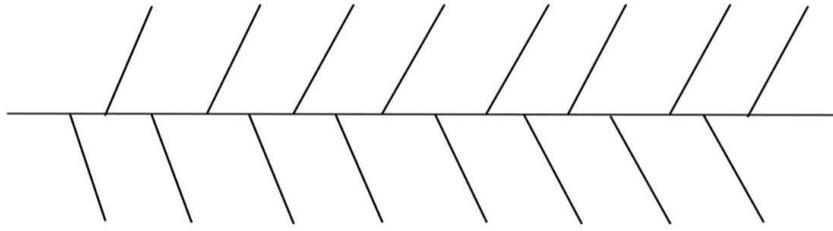


Figure 8: Réseau de collecte du biogaz

lixiviats et du biogaz comprend un collecteur central et des ramifications en «arêtes de poisson» (FIGURE 8).

Les dendrites sont latérales, car la pression des déchets fait migrer horizontalement le biogaz. Ils sont distants de 75 mètres et reliés à des têtes de puits. Le collecteur intermédiaire est le collecteur central dont les deux tiers sont occupés par le biogaz et le reste est directement relié aux bassins du lixiviat. Le collecteur principal est installé avec une pente de 2,5 % pour faciliter l'écoulement des lixiviat vers les bassins (FIGURE 9).



Figure 9: Bassin du lixiviat

Les collecteurs sont perforés et ils sont en polyéthylène haute densité « PEHD ». Le PEHD est résistant à la corrosion chimique. Il peut être employé pour des pressions de quelques bars (canalisations sous pression) et résiste à une température maximale de 90°C.

5.4) Le traitement de biogaz

A) Unité de soutirage du biogaz

Le biogaz issu de la dégradation des déchets est soutiré grâce à un ensemble d'appareils pour sa valorisation. Le système de soutirage (FIGURE 10) se compose de deux aspirateurs dont le débit d'aspiration peut être contrôlé. Chaque aspirateur dispose d'une vanne qui permet de

commander l'aspiration du biogaz. Le système comprend également une torchère qui brûle l'excès de gaz. Pour assurer une combustion complète, la torchère fonctionne à des températures allant jusqu'à 1000 °C et comprend une vanne électronique pour réguler le débit du biogaz à brûler. La torchère est réglée pour ne pas dépasser 1200°C. Le système dispose d'un filtre pour éliminer les traces d'eau présentes dans le biogaz. Un ensemble de débitmètres est installé sur le système pour mesurer le débit du biogaz brûlé par la torchère et le débit du biogaz utilisé par le moteur bioélectrique.

La figure ci-dessous montre la station d'extraction et de traitement du biogaz utilisée dans la décharge de Fès.



Figure 10: Unité de soutirage du biogaz.

Cette unité est contrôlée à l'aide d'une interface qui contient le schéma suivant :

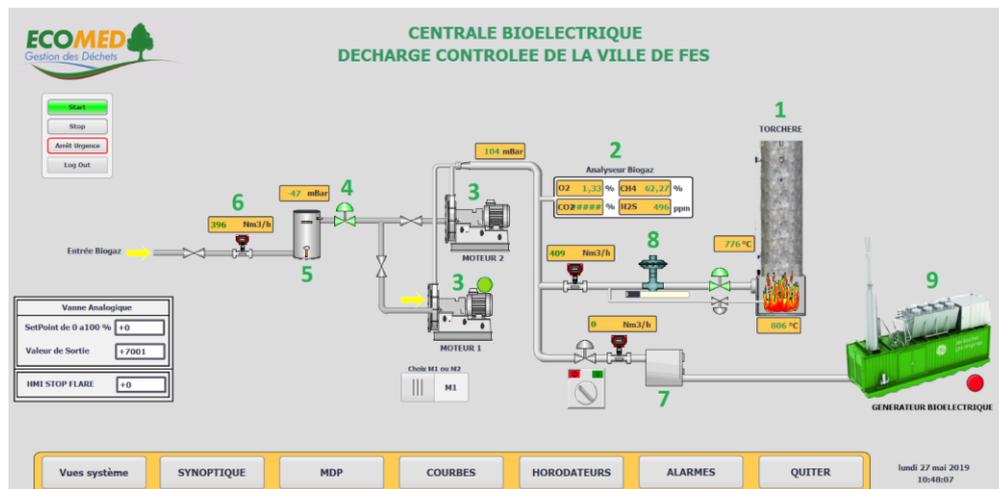


Figure 11: Unité de contrôle

- | | | | | |
|----------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|
| • 1 Torchère | • 2 Analyseur | • 3 Sous presseur | • 4 Électrovanne | • 5 Filtre de condensat |
| • 6 Débitmètre | • 7 Filtre à charbon | • 8 Vanne pneumatique | • 9 Générateur bioélectrique | |

B) Unité de valorisation du biogaz-Station bioélectrique

La centrale bioélectrique comprend deux générateurs électriques permettant de valoriser le méthane dans le biogaz en Energie électrique : le premier est d'une puissance de 165kW (assure les besoins en électricité de la décharge), l'autre générateur de 1 Mégawatt (assure l'alimentation de 25% de l'éclairage public de la ville de Fès).

Le générateur de 1mw est un moteur à gaz de type ge jenbacher qui, jusqu'à aujourd'hui, reste leader du marché. Ces moteurs sont extrêmement efficaces pour la conversion de gaz en électricité utile. Disposant d'une technologie de contrôle de la combustion à mélange pauvre, il garantit le rapport air-gaz adéquat pour toutes les conditions de fonctionnement minimisant ainsi les émissions d'échappement tout en maintenant un fonctionnement stable du moteur.



Figure 12: Générateur bioélectrique de la décharge de Fès

Un transformateur électrique élève ensuite la tension de l'énergie électrique produite par le générateur à biogaz de 400 V à 20 kV afin de pouvoir l'injecter dans le réseau MT de l'éclairage public. Un poste électrique abritant des cellules moyenne tension assure le contrôle et le comptage de l'énergie électrique livrée à la RADEEF (Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Électricité de Fès).

5.5) Le traitement du lixiviat

Jusqu'à présent, il n'y a pas de dispositifs de traitement des lixiviats dans la décharge. Cependant, certains projets de recherches ont été menés dans ce domaine. C'est le cas de l'évaporateur thermique, qui était alimenté par le biogaz provenant de la décharge. Il est actuellement considéré comme non rentable et est hors fonction en ce moment. En revanche, il s'agit du projet pilote de biofiltration des lixiviats menés par des étudiants et des doctorants

sous la direction du Professeur MERZOUKI MOHAMMED (FIGURE 13). Mais le système proposé n'a pas donné une suite favorable.

Actuellement, et quand les bassins de stockage se remplissent, le lixiviat est utilisé dans l'arrosage du site d'enfouissement ou bien il est transporté à la station d'épuration des eaux usées de Fès STEP.



Figure 13: De gauche à droite, l'évaporateur thermique, filtration par membrane biologique

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'organisme d'accueil, le cadre juridique et institutionnel du secteur des déchets au Maroc et les principales opérations de traitement des déchets pour la production du biogaz et la bioélectricité. Malgré quelques projets conduits au niveau du site de la décharge, le problème de traitement du lixiviat persiste encore, ce qui justifie la proposition de notre nouvelle solution.

Chapitre II:

PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE

Introduction

La décharge contrôlée de Fès produit environ 300 m³ de lixiviats par jour. Ces dernières années, les bassins commencent à se remplir et ceci pose un problème majeur pour la décharge. Si la station d'épuration ne traite pas comme il faut ces lixiviats, cela constituerait une grande menace pour l'environnement.

De ce fait, plusieurs chercheurs par le monde penchent sur cette problématique. Nous proposons, dans le présent travail, une solution thermique pour la distillation du lixiviat. Cette solution peut valoriser la chaleur produite à partir de la combustion du biogaz par la torchère du site ECOMED-Fès.

Dans ce chapitre nous abordons:

- Les impacts du lixiviat sur l'environnement ;
- Les systèmes de traitements du lixiviat existants et leurs rendements ;
- Le système de traitement proposé ;

1) Impactes du lixiviat sur l'environnement

La maîtrise des flux de lixiviats consiste d'abord à confiner les déchets pour éviter la pollution des eaux souterraines, puis à collecter les lixiviats, les stocker puis les traiter. Les lixiviats ne peuvent être rejetés dans le milieu naturel qu'après traitement et sous réserve que leur composition respecte les valeurs réglementaires de rejets. L'infiltration et/ou le rejet de surface de lixiviats non-traités entraîne des perturbations physiques et chimiques des milieux récepteurs qui se traduisent par une détérioration de la qualité des eaux. [Emilien, 2008].

2) Types du lixiviat

Dans la littérature, trois types de lixiviats ont été distingués: lixiviats jeunes caractérisés par une forte charge organique relativement biodégradable, lixiviats intermédiaires dont la charge organique est réduite et lixiviats stabilisés composés essentiellement de substances humiques réfractaires à la biodégradation.

Tableau 3: Types du lixiviat

	Lixiviats jeunes	Lixiviats intermédiaires	Lixiviats stabilisés
Age de la décharge	< 5 ans	5 à 10 ans	> 10 ans
pH	< 6,5	6,5 à 7,5	> 7,5
DCO (g L ⁻¹)	10 à 20	5 à 10	< 5
DBO ₅ /DCO (biodégradabilité)	> 0,5 bonne	0,1 à 0,5 Assez faible	< 0,1 Très faible
AGV* (% du COT)	> 70	5 à 30	< 5

AGV* : acides gras volatils.

3) Traitements du lixiviat déjà existants et leurs rendements

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques, avantages et inconvénients de quelques procédés de traitement du lixiviat. [CONCEPTION ET EXPLOITATION DES CENTRES DE STOCKAGE DES DECHETS EN ALGERIE ET LIMITATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX]

Tableau 4: Quelques procédés de traitement du lixiviat

	PROCEDES	AVANTAGES	INCONVENIENTS	SOUS-PRODUITS
Procédés biologiques	Lagunage aéré	Élimination de la DBO ₅ et de l'azote	Dénitrification difficile, encombrement important	Boues biologiques en excès
	Boues activées	Élimination de la DBO ₅ et de l'azote global	Consommation énergétique pour l'apport d'oxygène	Boues biologiques en excès
	Bioréacteur à membranes	Élimination de la DBO ₅ , azote, DCO résiduelle, MES, bactéries, virus Faible encombrement	Consommation énergétique	Boues biologiques en excès
	Culture fixée	Élimination de la DBO ₅ et de l'azote Faible consommation énergétique	Faible rendement épuratoire	-
Procédés physico-chimiques	Coagulation-floculation	Débit de traitement Réduction de 40 à 50 % de la DCO dure Agglomération de MES	Production importante de boues (20 % du volume traité)	Boues
	Précipitation	Précipitation des métaux, diminution de MES, élimination d'une partie de la matière organique	Production des boues d'hydroxydes métalliques	Boues
	Filtration sur charbon actif	Élimination de la DCO résiduelle, réduction des organo-halogènes et de la couleur	Renouvellement des absorbeurs	-
	Ozonation (H ₂ O ₂ et / ou UV)	Élimination de la DCO dure, décolonisation et augmentation du caractère biodégradable	Sensible aux variations de charges. Consommation énergétique	-
Procédés membranaires	Nanofiltration	Rétention de la DCO dure, des sels, des métaux	Consommation énergétique	Rétentats de nanofiltration
	Osmose inverse	Rétention de la DCO dure, des sels, des métaux et des nitrates	Consommation énergétique	Rétentats d'osmose (saumures)
Autre	Traitement en station d'épuration externe	Pas d'investissement sur le site	Coût parfois très élevé Dépendance à un "tiers traiteur" Solution non pérenne	-

4) Le traitement proposé

Étant donné que :

- la quantité de lixiviat produite chaque jour par la charge contrôlée de Fès est très importante (300 m³/jour),
- une grande quantité du biogaz est brûlée dans la torchère sur le site de la décharge et les températures peuvent atteindre jusqu'à 1000 °C,

une solution plausible serait de pouvoir exploiter cette chaleur pour évaporer l'eau contenu dans le lixiviat. Pour valoriser plus le procédé, nous avons pensé à récupérer (condenser) l'eau évaporée. Notre solution consiste, donc, en la proposition d'un "distillateur du lixiviat".

5) Réalisation

Le système proposé est résumé dans LA FIGURE 14

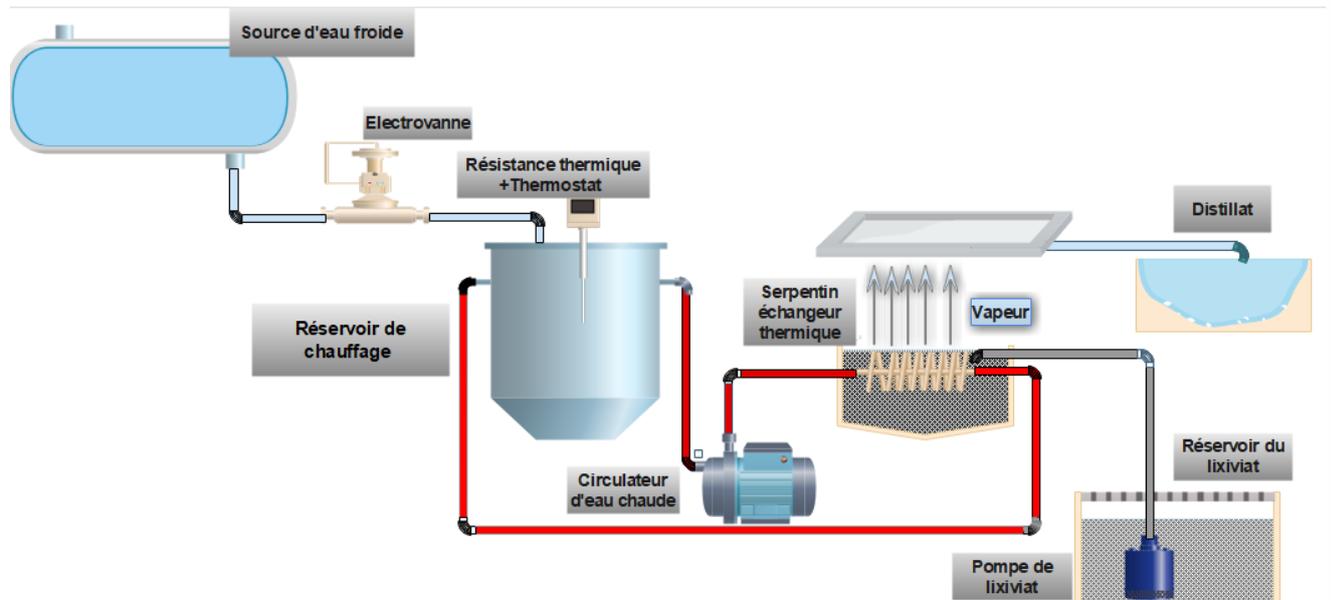


Figure 14: Système Réalisé

Le projet pilote peut être divisé en 5 sous-systèmes :

- Un réservoir de chauffage,
- Un système de pompage du lixiviat,
- Un système de chauffage du lixiviat,
- Un Système d'acquisition et de stockage de données,
- Système de contrôle du pompage.

4.1) Réservoir de chauffage

Le système de chauffage est composé d'une cuve équipée d'une résistance, elle-même, équipée d'un thermostat pour réguler la température maximale de l'eau dans la cuve. Cette eau constitue le fluide caloporteur de notre système.

4.2) Système de chauffage du lixiviat

Sur le plan fonctionnel, les échangeurs de chaleur sont des appareils qui servent à transférer l'énergie entre deux fluides à des températures différentes.

Sur le plan technologique, bien qu'il existe une très importante variété de modèles d'échangeurs, les quatre principales catégories utilisées dans les systèmes énergétiques sont les suivantes :

- Les échangeurs tubulaires
- Les échangeurs à tube et calandre
- Les échangeurs à ailettes
- Les échangeurs à plaques

Pour notre système, on a choisi de travailler avec des échangeurs tubulaires (figure15) pour leur facilité d'entretien ou d'accès pour les éventuelles réparations ou autres interventions.

Ils peuvent être installés dans une position verticale ou horizontale. Pour notre système on l'a installé verticalement.

Les deux fluides ne sont pas en contact et le transfert s'effectue à travers une surface d'échange.

Des flexibles (figure 16) assurent les connexions entre les différents composants du système.

Un circulateur (FIGURE 17), fait circuler le fluide caloporteur (eau chaude) dans le système



Figure 15: Serpentin échangeur tubulaire



Figure 16: Tuyau flexible



Figure 17: Circulateur d'eau chaude

Lorsque deux systèmes sont à des températures différentes, le système le plus chaud cède de la chaleur au plus froid. Il y a donc un transfert thermique entre ces deux systèmes.

Le principe consiste à circuler l'eau chaude dans le serpentin qui est immergé dans le bassin du lixiviat pour générer un échange thermique entre les deux milieux, ce qui fait chauffer le lixiviat.

4.3) Système de pompage du lixiviat

Au fur et à mesure que l'eau dans le lixiviat s'évapore, le volume du lixiviat dans le réservoir diminue. Pour assurer une alimentation continue du réservoir en lixiviat, nous avons réalisé un système électronique qui permet de pomper, automatiquement, le lixiviat lorsque le volume atteint un niveau minimal. Le pompage s'arrête, aussi automatiquement, lorsque le volume maximal fixé est atteint.

Ce système a une grande importance pour notre projet, car, il contrôle le niveau de lixiviat dans le système de chauffage du lixiviat, ainsi que le niveau d'eau dans le réservoir de chauffage et compense les pertes liquides dans ces deux systèmes.

Ce système est un commutateur de pompe automatique à l'aide de la minuterie 555 IC. La pompe s'allumera automatiquement si le niveau de fluide dans le réservoir diminue (niveau du fil vert) et s'arrêtera lorsque le niveau touchera le fil rouge (FIGURE 18).

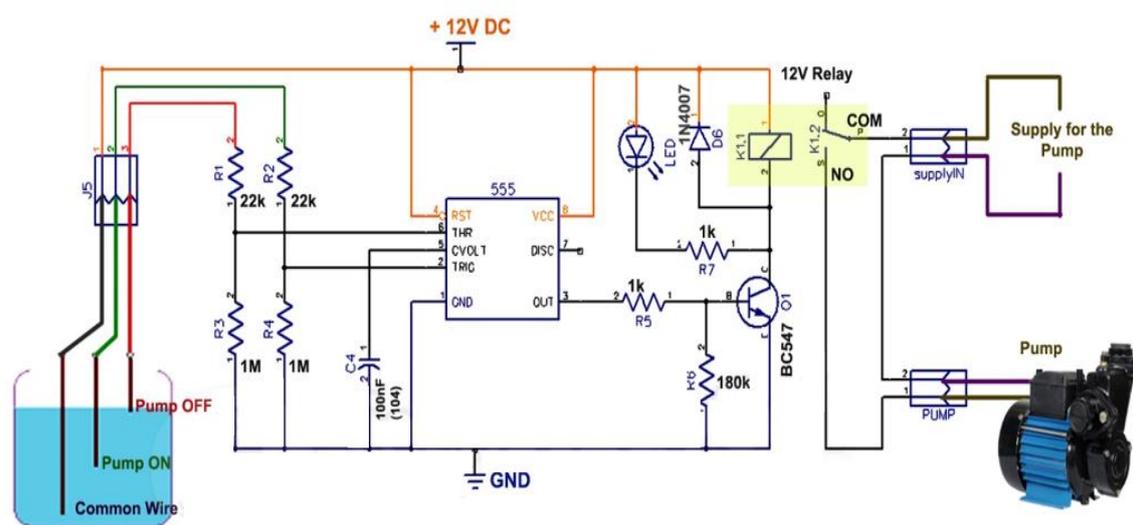


Figure 18: Circuit de pompage automatique

Le circuit NE555 est un circuit intégré qui permet de s'autoréguler et sert pour la temporisation.

Il contient 23 transistors, 2 diodes, 16 résistances qui forment 2 amplificateurs, 1 porte inverseuse, 1 bascule Set-Reset comme c'est mentionné dans la figure suivante :

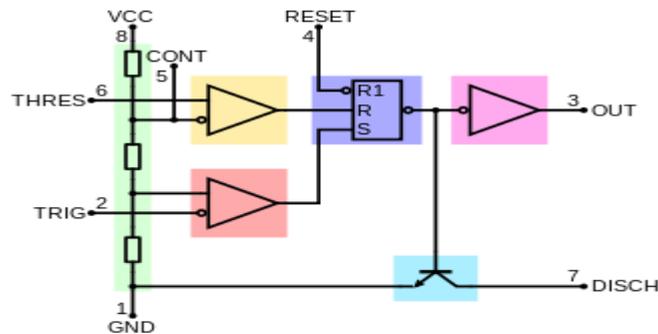


Figure 19: Circuit intégré NE555

Il peut fonctionner en 3 modes : Monostable, Astable et Bistable

Dans notre cas, on le fait fonctionner en mode astable ce qui permet de l'utiliser comme oscillateur.

Le circuit 555 fonctionne avec une tension de 12V alors que la pompe a besoin de 220V. Pour cela nous avons utilisé un relais qui assure la mise sous tension de la pompe. Les caractéristiques du relais doivent être adéquates avec celle de la pompe (tension, puissance) dans ce projet un relais (220V/10A) est utilisé.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents composants matériels de notre système. Un mini prototype a été réalisé à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès. Les résultats obtenus feront l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE III :

DISTILLATION DU LIXIVIAT-RÉSULTATS

Introduction

Comme mentionné dans le chapitre précédent, les technologies de traitement des lixiviats sont très diverses. Pour les lixiviats « jeunes », les traitements biologiques sont les plus courants, mais ils ne sont pas efficaces contre les lixiviats peu biodégradables des décharges âgées, aussi leurs performances en hiver sont réduites. Dans la présente étude, nous avons choisi une technique de traitement peu coûteuse et simple qui convient à tous les types de lixiviat, même en période hivernale et pour toutes les zones climatiques. Il s'agit d'une technologie de traitement par évaporation forcée.

1) Système d'acquisition et de stockage des données

Comme son nom l'indique, un système d'acquisition de données, data logger en anglais, est un type de montage un peu particulier n'ayant qu'un seul et unique but : enregistrer des données de manière périodique, le circuit est dans LA FIGURE 20 qui se suite.

Le principe est simple : toutes les N secondes, le système fait une mesure, enregistre ladite mesure dans une mémoire non volatile : une carte SD, une mémoire EEPROM,

Dans notre projet, nous avons conçu un système autonome de mesure et d'acquisition de températures à base d'une carte Arduino et des sondes DS18B20 . Ce système nous permet d'enregistrer les évolutions des températures dans le réservoir de chauffage, le réservoir du lixiviat et la cuve de chauffage du lixiviat.

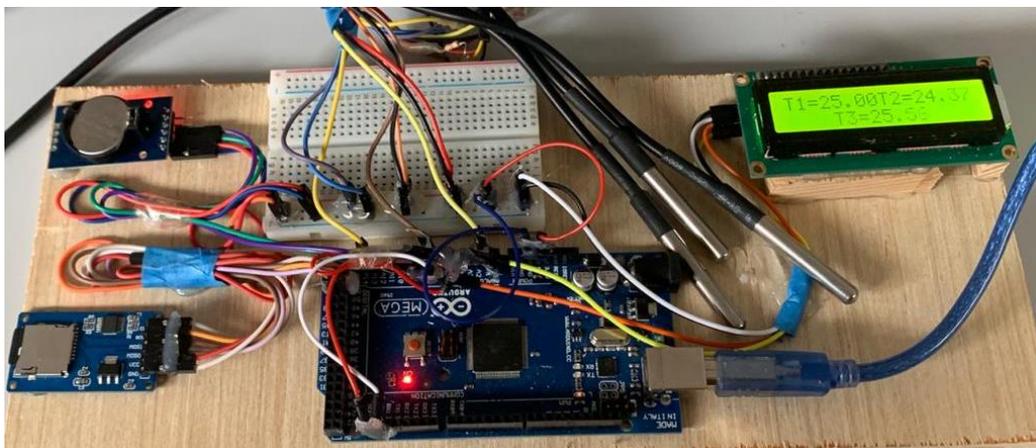


Figure 20: Circuit du système d'acquisition

Les mesures sont stockées sur une carte SD dans un format textuel facilement utilisable avec un logiciel de type tableur (Excel, Libre Calc, etc.). Pour dater les mesures effectuées, nous avons utilisé un module horloge temps réel RTC DS3231, afin d'avoir l'heure exacte de chaque prise de mesures.

2) Résultats et discussions

2.1) Performances du système

A) Mesure de température

Les résultats obtenus par le système d'acquisition de températures sont représentés sur la figure suivante.

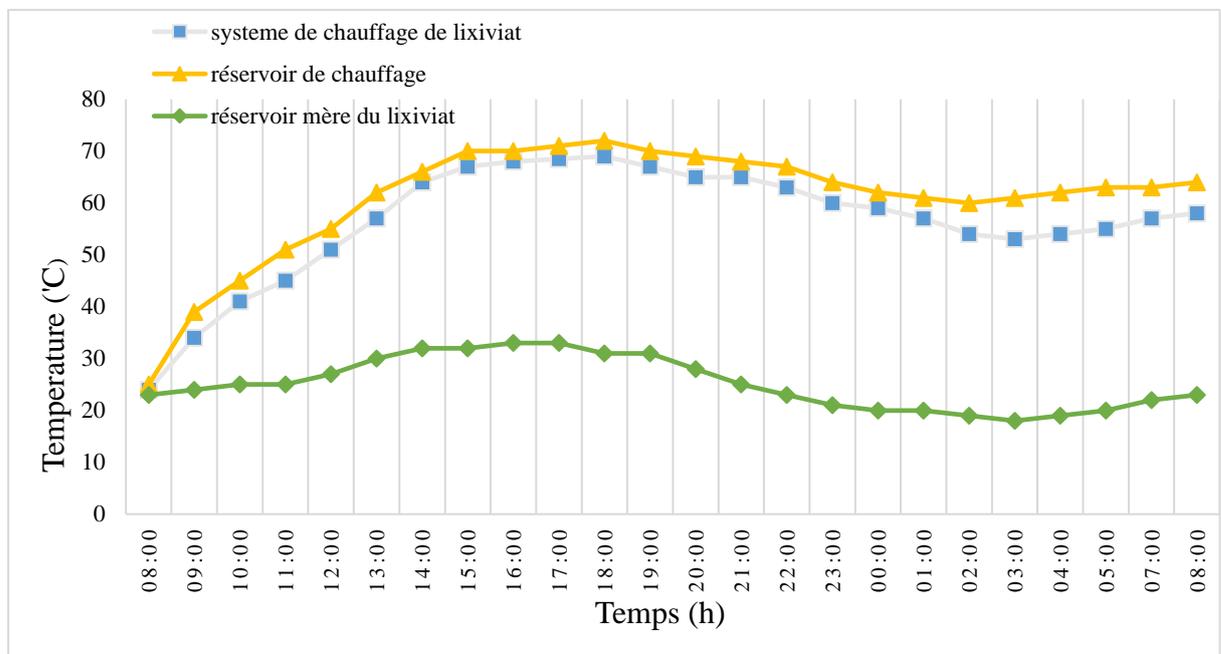


Figure 21: Évolution des températures des 3 systèmes pendant 24h

Ces valeurs sont prises le 25/06/2021. D'après la figure 20, on constate que les températures du réservoir de chauffage de l'eau et de la cuve de chauffage du lixiviat sont très proches. La différence entre les deux températures ne dépasse pas 4 °C entre 14h et 1h du matin. Pendant la nuit, la différence maximale est de 8 °C.

B) Mesure du volume d'eau évaporé par jour

Les essais ont été réalisés dans deux bacs d'évaporation en plastique de différentes dimensions.

Les 2 bacs ont été mis en œuvre dans les mêmes conditions climatiques et suivant le même protocole opératoire. Celui-ci consiste à suivre l'évaporation du lixiviat dans les bacs par mesure de la diminution du volume du lixiviat en fonction du temps. Un volume initial de 6 litres de lixiviat a été introduit dans chaque bac.

Le premier bac à une profondeur de 28 Cm et une ouverture de 30 cm.

Le deuxième bac à une profondeur de 11 cm et une ouverture de 37 cm.

Le but de ce premier essai est d'évaluer la différence de rendement d'évaporation entre les deux bacs ainsi que la performance de notre système de chauffage.

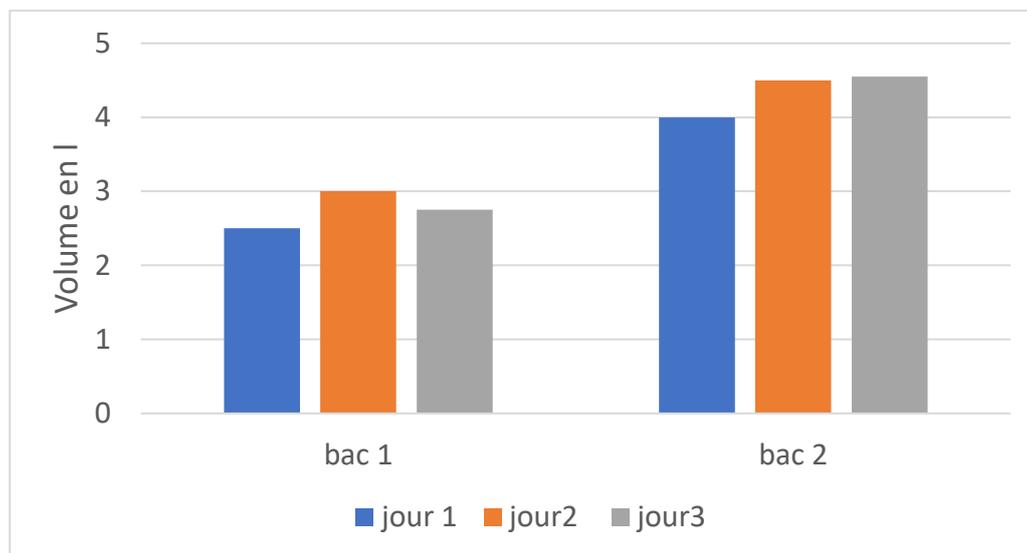


Figure 22: Volume du lixiviat évaporé dans les deux bacs

D'après LA FIGURE 22, le système a donné de bons résultats, malgré les températures du fluide caloporteur qui ne dépassent pas 70 °C. Aussi, les résultats montrent que les performances du deuxième bac sont meilleures que le premier. On peut dire que le système est plus efficace si l'ouverture de la cuve de chauffage est plus grande (surface de contact avec l'air plus grande).

2.2) les analyses du lixiviat distillé et comparaisons avec les normes

A) Analyses physiques

Après récupération des gouttelettes condensées de la vapeur du lixiviat des analyses ont été faites, voir FIGURES (23,24)



Figure 23: Distillat obtenu

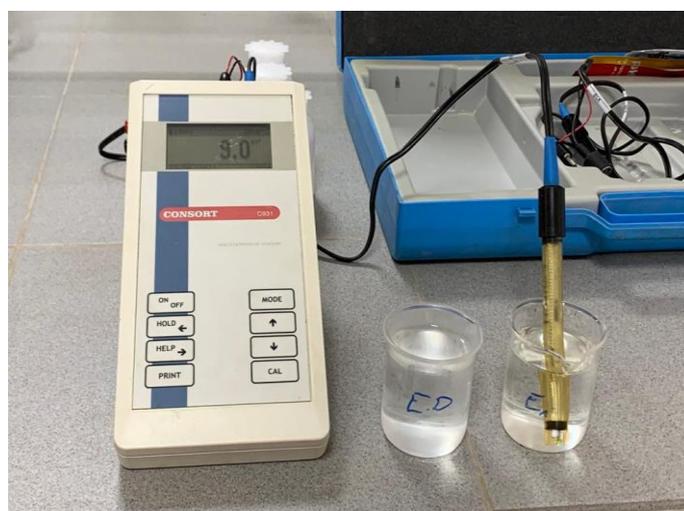


Figure 24: Appareil d'Analyses physiques

Les résultats sont réunis dans le tableau suivant :

Tableau 5: Analyses chimiques du distillat obtenu

	Lixiviat mère	Distillat obtenu	Normes
Noir	noir	Sans couleur	-
Odeur	désagréable	Sans odeur	-
pH	6,96	8,9	5,5-9,5
Conductivité(uS/cm)	42200 uS/cm	1486 uS/cm	< 2700 uS/cm
TDS (mg/l)	31850 mg/l	786 mg/l	< 1000 mg/l
Salinité	40	0	0 – 0,5
Température (°C)	26,1	20	< 30

D'après le tableau 5, on observe que pour notre échantillon du lixiviat distillé, presque toutes les valeurs des analyses sont conformes avec les normes exigées par l'État.

B) Analyses bactériologiques

Les résultats des analyses bactériologiques du distillat (FIGURE 25) sont donnés dans le tableau 6

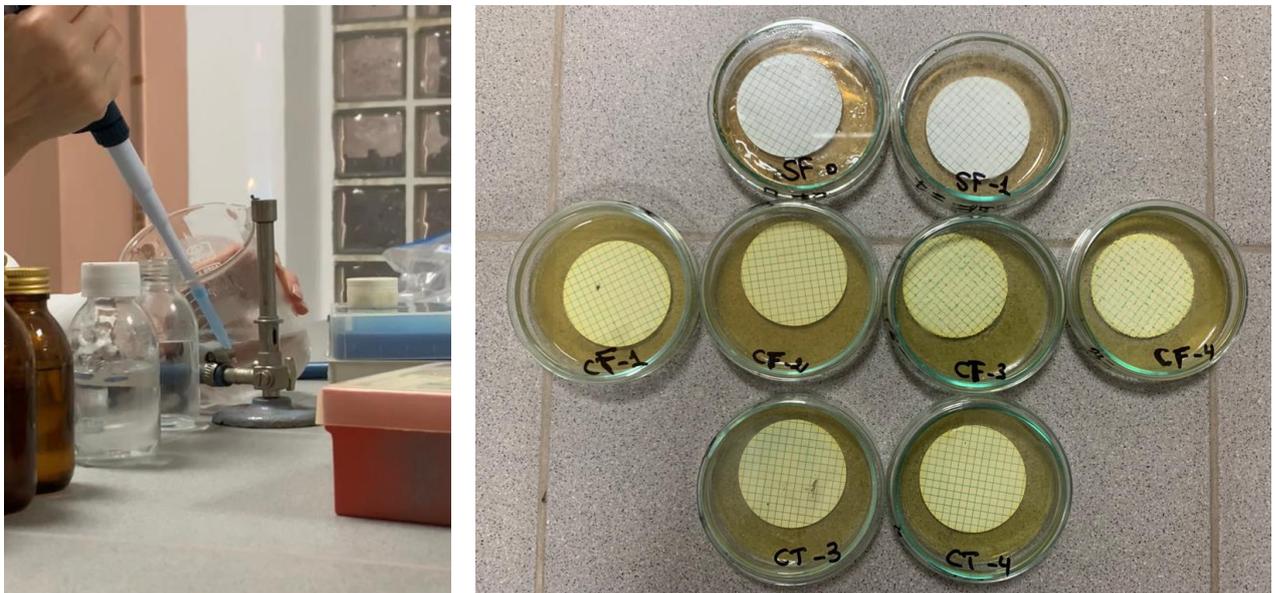


Figure 25: Analyses bactériologiques

Tableau 6: Résultats des Analyses Bactériologiques

Microorganismes	Charge bactérienne en UFC/100ml
Flore Mésophile Aérobie totale (FMAT)	$3,55 \cdot 10^4$
Coliformes totaux	10
Coliformes fécaux	0
Streptocoques fécaux	0

UFC : Unité Faisant Colonie

Ces résultats montrent que le distillat obtenu présente une charge bactérienne totale de $3,55 \cdot 10^4$ UFC/ml, 10CT/100ml pour les coliformes totaux qui traduisent les espèces bactériennes qui vivent dans l'intestin des animaux, avec absence totale des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux, ce qui indique qu'il n'y a pas de contamination d'origine fécale.

Cela a été confirmé par la norme d'eau d'irrigation qui exige une concentration de Coliformes fécaux inférieure à 1000/100ml. Ceci veut dire que l'eau distillée résultante de l'évaporation du lixiviat peut servir à l'arrosage. On peut dire que le système a bien répondu à nos attentes et a donné des résultats satisfaisants.

Conclusion et perspectives

Le présent travail s'inscrit dans le cadre de mon projet de fin d'études de la licence Génie Électrique. Il a été réalisé au sein du laboratoire SIGER (Systèmes Intelligents, Géoressources et Énergies Renouvelables) et a concerné la problématique de traitement du lixiviat qui se pose à l'échelle mondiale. Le système réalisé au sein de l'équipe de recherche Energie Renouvelables et Développement Durable consiste en la réalisation d'un système thermique de traitement du lixiviat. Les résultats obtenus sont très satisfaisants.

Le travail élaboré, dans le présent mémoire, peut constituer un premier pas dans l'élaboration d'un projet industriel qui pourra servir à la décharge de Fès et à toutes les décharges contrôlées.

Annexes

Annexe 1 : Normes de rejets appliquées par l'État [Ministre de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement]

Paramètres	Les normes marocaines de rejet dans les eaux superficielles ou souterraines
Temperature (°C)	30
pH	5.5-9.5
MES (mg/l)	100
Azote kjeldhal (mg N/l)	40
Phosphore total (mg P/l)	15
DCO (mg O ₂ /l)	500
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	100
Chlore actif (Cl ₂) (mg/l)	0,2
Dioxyde de chlore (ClO ₂) (mg/l)	0.05
Aluminium (Al) (mg/l)	10
Détergents (anionique, cationique et ionique) (mg/l)	3
Conductivité électrique (uS /cm)	2700
Salmonelles/5000 ml	Absence
Vibrions cholériques/5000ml	Absence
Cyanures libres (CN ⁻) (mg/l)	0,5
Sulfates (SO ₄ ²⁻) mg/l	600
Sulfures libres (S ²⁻) (mg/l)	1
Fluorures (F ⁻) (mg/l)	20
Indice de Phénols (mg/l)	0.5
Hydrocarbures par Infra-rouge (mg/l)	15
Huiles et graisses(mg/l)	30
Antimoine (Sb) (mg/l)	0.3

Argent (Ag) (mg/l)	0.1
Arsenic (As) (mg/l)	0.1
Baryum (Ba) (mg/l)	1
Cadmium (Cd) (mg/l)	0.25
Cobalt (Co) (mg/l)	0.5
Cuivre total (Cu) (mg/l)	2
Mercure total (Hg) (mg/l)	0.05
Plomb total (Pb) (mg/l)	1
Chrome total (Cr) (mg/l)	2
Chrome hexavalent (Cr ⁶⁺) (mg/l)	0.2
Etain total (Sn) (mg/l)	2,5
Manganese (Mn) (mg/l)	2
Nickel total (Ni) (mg/l)	5
Sélénium (Se) (mg/l)	0.1
Zinc total (Zn) (mg/l)	5
Fer (Fe) (mg/l)	5
AOx	5

Références

Emilien Belle. Évolution de l'impact environnemental de lixiviats d'ordures ménagères sur les eaux superficielles et souterraines, approche hydrobiologique et hydrogéologique. Site d'étude : décharge d'Étueffont (Territoire de Belfort – France). Hydrologie. Université de Franche-Comté, 2008.

Camille BACCOT ,Etude du potentiel de valorisation énergétique et matière de composés organiques extraits de lixiviats de déchets ménagers , Université de Limoges, 2016

https://www.lemonde.fr/planete/article/2019/08/20/l-impact-de-la-pollution-de-l-eau-est-sous-estime-selon-la-banque-mondiale_5501123_3244.html

<https://leseco.ma/business/linstitut-cdg-se-penche-sur-le-modele-national-de-gestion-des-dechets.html>

<https://docplayer.fr/34247479-Traitement-des-lixiviats-de-la-decharge-controlee-du-grand-agadir-par-aeration-intensive.html>

<http://format-deco.fr/gestion-des-dechets/>

<https://hse-reglementaire.com/filieres-traitement-dechets-non-dangereux/>

<http://www.smicotom.fr/prevention/185-les-dechets-dangereux.html>

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00674731/document>

<https://www.usinenouvelle.com/article/maroc-fes-s-eclaire-au-biogaz-en-valorisant-ses-dechets.N341173>

<https://www.environnement.gov.ma/fr/lois-et-reglementations/textes-juridiques>

<https://www.circuito.io/>

<https://valodea.fr/installations/site-denfouissement/>

<https://naturolistique.fr/la-resistivite-de-l-eau-et-la-conductivite-de-l-eau/>

<http://www.ecomed.ma/>

<https://easyelectronicsproject.com/mini-projects/automatic-water-pump-switch/>

<http://www.echangeur-tuyauterie-maine.fr/installateur-echangeur-thermique-tubulaire-sarthe.html>

<https://www.dedietrich.com/fr/solutions-et-produits/transfert-de-chaleur/echangeur-thermique-serpentins-qvfr-supra>

<https://www.dedietrich.com/fr/solutions-et-produits/transfert-de-chaleur/echangeur-thermique-serpentins-qvfr-supra>

<https://www.maison-travaux.fr/maison-travaux/renovation-par-type/chauffage-renovation-par-type/fonctionne-circulateur-de-chauffage-fp-189414.html>

<https://www.leschroniquesdegoliath.com/conseils-maison-bricolage/le-confort-de-la-maison-renovation-bricolage/2701-2/>

<https://www.lamaisonsaintgobain.fr/guides-travaux/plomberie-sanitaire/plomberie-les-bons-tuyaux>

<https://www.omega.fr/prodinfo/acquisition-de-donnees.html>

<http://aurore.unilim.fr/ori-oai-search/notice/view/unilim-ori-28483>