

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Spécialité :Génie des procédé des matériaux

Intitulé du mémoire

Traitement par électrocoagulation des lixiviats par les anodes hybrides

Présenté par :

Aissani Sarah
Fkair noureddine

Encadré par :

Dr Med Hamitouche.
Dr.Aoudje.S

Année universitaire 2017/2018

المخلص

يوضح العمل الحالي النتائج التي تم الحصول عليها أثناء معالجة عينة العصارة بعملية التخثر الكهربائي وذلك بعد اختيار الشروط المثلى للمعالجة. (درجة الحموضة، شدة التيار، المسافة بين الأقطاب الكهربائية والوقت المستغرق أثناء عملية التخثر الكهربائي)، يتم العلاج خاصة بالأقطاب الكهربائية الهجينة. تثبت النتائج التي تم الحصول عليها أن شروط علاج العصارة المثلى هي: درجة الحموضة 4، سرعة الخلط تقدر بـ 400 دورة/ثانية، المسافة بين الأقطاب 2 سم، مدة المعالجة 90 دقيقة، شدة التيار هي 0.5 أمبير وتمديد قدره 25% وأن استخدام مصعد هجين يحسن العلاج. لذلك العلاج باستخدام المصعد الهجين مناسب بشكل خاص لإزالة COD، الفوسفات والنترات. الكلمات المفتاحية: الأنود الهجين، العصارة، التخثر الكهربائي، إلكتروود الألمنيوم.

Résumé

Le présent travail illustre les résultats obtenus durant le traitement de lixiviat par l'électrocoagulation après optimisation des paramètres de traitement. (pH, intensité de courant, distance entre électrodes et temps d'électrocoagulation). Le traitement avec les électrodes hybrides est notamment évalué. Les résultats trouvés montrent que les conditions optimales de traitement de lixiviat sont : pH=4, V=400tr/min, e=2cm, t=90 min, I=0.5A et 25% de dilution et que l'utilisation des anodes hybrides améliore le traitement en termes d'élimination de DCO, orthophosphate et nitrate.

Mot clé : anode hybride, lixiviat, électrocoagulation, électrode aluminium.

Abstract

The present work illustrates the results obtained during the treatment of a leachate sample by the electrocoagulation process after optimizing the processing parameters. (pH, current intensity, distance between electrodes and electrocoagulation time). The treatment with the hybrid electrodes is evaluated in particular. The results found show that the optimal lixiviat treatment conditions are: pH = 4, V = 400tr / min, e = 2cm, t = 90 min, I = 0.5A and 25% dilution and that the use of hybrid anodes improve the treatment.

Therefore, the treatment with hybrid anodes is particularly suitable for the removal of COD, orthophosphate and nitrate.

Keyword: hybrid electrode, leachate, electrocoagulation, aluminium electrode.

REMERCIEMENT

Avant tout, nous remercions ALLAH, le tout puissant qui m'a donné le courage, la volonte et la patience pour réaliser ce travail. Ensuite nous remercions nous parents qui Nous ont encouragés à terminer nos études

Ay terme de cette étude, il m'est agréable de remercier vivement tous ceux qui grâce à leur aide précieuse, ont permis la réalisation de ce travail et particulièrement :

- Dr Hamitouche. H, Maître de conférence au département de génie des procédés, faculté des sciences de la technologie, université de Blida pour avoir proposée et dirigée ce travail, ses conseils, ses orientations et qui été la source généreuse de l'aide tout au long de ce travail.*
- Dr Aoudj.S Maître de conférence au département de génie des procédés, faculté des sciences de la technologie, université de Blida*

Nous tenons à remercier :

- Madame Fodile chrife .H le responsable de laboratoire de traitement des eau ENSH.*
- Le chef de centre d'enfouissement de oued El-Aleug*

Nous saisissons Aussi cette Occasion pour REMERCIER Toute la famille et les Amis chacun à son nom et à toute personne Ayant Contribué à la Réalisation DE CE Mémoire.

TABLE DES MATIER

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIE	
1.1 GENERALITE SUR LIXIVIAT	3
1.1.1 Introduction	3
1.1.2 Fonctionnement de CET	3
1.1.3 Lixiviat	4
1.1.4 Les type de lixiviat	5
1.1.5 Impact de l'évolution de lixiviat sur l'environnement	6
1.2 LES METHODE DE TRAITEMENT DE LIXIVIAT	10
1.2.1. Les traitements par voie biologique	10
1.2.2. Procédés physico chimique	10
1.2.3. Méthode membranaires	12
1.3. PROCEDE D'ELECTROCOAGULATION	12
1.3.1. Introduction	12
1.3.2. Historique et développement de procédé	13
1.3.3. Principe d'électrocoagulation	15
1.3.4. Les différents matériaux utilisés pour les électrodes	17
1.3.5. Principales lois d'électrolyse	17
1.3.6. Les Avantages et les inconvénients	18
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODE	
2-1 Protocole expérimentale	20
2-2 les méthodes des analyses	22

CHAPITRE 3 : RESULTAT ET DISCUSSION

3.1. Caractérisation de lixiviats	27
3.2. Étude de l'effet de différents paramètres opératoires sur l'électrocoagulation	27
3.2 traitement de lixiviats par les anodes hybrides	44
CONCLUSION GENERALR	48

LISTE DES ABREVIATION

CET	: Centre d'enfouissement technique.
CSDU	: centre de Stockage de déchets Ultimes
DCO	: Demande chimique en oxygène [mg /l]
DCO i	: Demande chimique en oxygène initiale [mg /l]
DCO f	: Demande Chimique en oxygène finale [mg /l]
COT	: carbone en oxygéné totale
pH	: potentiel hydrogène
T	: Température[C°]
Con	: Conductivité [ms]
E	: distance inter-électrode [cm]
V	: vitesse d'agitation [tr/min]
NO₃⁻	: nitrate
PO₄⁻	: ortophosphate
AGV	: Acide gras volatile
DBO	: Demande biologique en oxygène,
MES	: Matières en suspensions,
TDS	: Taux de solides dissous,
TAC	: Taux alcalimétrique complet,
ABS	: Coloration liée à l'absorbance de l'effluent
m	: masse du métal dissous ou de gaz formé (g).
I	: intensité du courant imposé (A).
t	: durée d'électrolyse (s).
M	: poids moléculaire de l'élément considéré (g. mol ⁻¹).
F	: constante de Faraday (96500 C. mol ⁻¹).
n	: nombre d'électrons mis en jeu dans la réaction considérée.

- N** : nombre d'Avogadro ($6.022 \cdot 10^{23} \text{mol}^{-1}$).
- F** : constante de Faraday ($96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$).
- e₀** : la charge élémentaire ($1.602 \cdot 10^{-19} \text{C}$).
- n** : nombre d'électrons mis en jeu dans la réaction considérée.

LISTE DES FIGURE

Chapitre 1 : synthèse bibliographie

Figure 1.1. Schéma de procédé d'électrocoagulation	15
---	----

Chapitre 2 : matérielle et méthode

Figure 2.1. Dispositif expérimental d'électrocoagulation	21
Figure 2.2. Dispositif expérimental d'électrocoagulation avec les anodes hybrides	21
Figure 2.3. DCO-mètre	23

Chapitre 3 : résultat et discussion

Figure 3.1. Variation de pH en fonction du temps	28
Figure 3.2. Variation de conductivité en fonction du temps à différentes valeurs de pH	29
Figure 3.3. Variation de température en fonction du temps à différentes valeurs de pH	29
Figure 3.4. Variation de rendement d'abattement en fonction du pH	30
Figure 3.5. Variation de pH en fonction du temps à différentes dilutions	32
Figure 3.6. Variation de conductivité en fonction du temps à différentes dilutions	32
Figure 3.7. Variation de température en fonction du temps à différentes dilutions	33
Figure 3.8. Variation de rendement d'abattement en fonction de la dilution de lixiviat	34
Figure 3.9. Variation de pH en fonction du temps à différentes épaisseurs	35
Figure 3.10. Variation de conductivité en fonction du temps à différents épaisseurs	35
Figure 3.11. Variation de température en fonction du temps à différents épaisseurs	36
Figure 3.12. Variation de rendement d'abattement en fonction de la distance entre électrode	37
Figure 3.13. Variation de pH en fonction du temps	38
Figure 3.14. Variation de conductivité en fonction du temps	38
Figure 3.15. Variation de température en fonction du temps	39
Figure 3.16. Variation de rendement d'abattement en fonction du temps	40

Figure 3.17. Variation de pH en fonction du temps à différentes intensités	41
Figure 3.18. Variation de conductivité en fonction du temps à différents l'intensités	41
Figure 3.19. Variation de température en fonction du temps à différents l'intensités	42
Figure 3.20. Variation de rendement d'abattement en fonction du l'intensité	43
Figure 3.21. Variation de pH en fonction du temps des électrodes hybrides	45
Figure 3.22. Variation de conductivité en fonction du temps des électrodes hybrides	45
Figure 3.23. Variation de température en fonction du temps des électrodes hybrides	46
Figure 3.24. Couleur de lixiviat avant et après traitement	47

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 1 : synthèse bibliographique

Tableau 1.1. Les type de lixiviat	6
Tableau 1.2. Effets possibles des métaux sur la santé à la suite d'une exposition Chronique	8
Tableau 1.3. Maladie transmissibles par la consommation d'eau contaminé	9
Tableau 1.4. Exemple d'application du procédé d'électrocoagulation	14

Chapitre 3 : résultat et discussion

Tableau 3.1. Caractérisation de lixiviat brute	27
Tableau 3.2. Caractérisation physico-chimique de lixiviat traité à différentes valeurs de pH	30
Tableau 3.3. Caractérisation physico-chimique de lixiviat traité à différentes dilutions	33
Tableau 3.4. Caractérisations physico-chimique de lixiviat traité à différentes épaisseurs	36
Tableau 3.5. Caractérisation physico-chimique de lixiviat traité en fonction du temps	39
Tableau 3.6. Caractérisation physico-chimique de lixiviat traité à différentes intensités	42
Tableau 3.7. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour l'anode Al/Al	44
Tableau 3.8. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour l'anode Al/Fe	44
Tableau 3.9. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour l'anode Fe/Fe	44
Tableau 3.10. Caractérisations physico-chimiques de lixiviat traité avec les anodes hybrides	47

Introduction générale

INTRODUCTION

La forte croissance économique et démographique à travers le monde s'est accompagnée d'une production massive de déchets de toutes sortes. A l'heure actuelle, l'enfouissement constitue le principal mode de gestion des déchets dans plusieurs pays du monde. Les déchets enfouis subissent divers processus de transformations chimiques et biologiques à l'intérieur de la décharge [1].

Devant la croissance démographique, l'amélioration de la qualité de vie et la grande densité des zones urbaines, de nouvelles formes de pollution des eaux sont générées. En effet, l'enfouissement et le stockage des déchets solides doit permettre non seulement une gestion efficace des déchets mais aussi le traitement après drainage et récupération des deux effluents qui sont les biogaz et les lixiviats [2].

L'augmentation du volume des déchets en décharge (contrôlée et sauvage) ainsi que leurs interactions avec le milieu extérieur conduisent à la production et à la dispersion de flux polluants, essentiellement à travers l'émergence des lixiviats. La production de lixiviat est l'un des problèmes les plus aigus que la pratique de l'enfouissement des déchets occasionne [3].

En fait, la percolation de l'eau de pluie à travers une décharge entraîne la production d'un effluent pollué en matières organiques et minérales appelé lixiviat [1].

Les lixiviats qui s'écoulent de la décharge sont contaminés par divers produits et polluants présents dans ce bioréacteur que constitue la décharge. Ainsi ces derniers doivent répondre à des normes de rejet leur imposant au préalable un traitement spécifique. Le suivi de ces effluents s'avère nécessaire aussi bien pour prévenir les risques sanitaires, environnementaux que pour collecter régulièrement les données dont l'exploitation servira à améliorer leurs traitements. En effet, la composition de lixiviat dépend de plusieurs paramètres : pH, âge du site, type de déchets entreposés auquel s'ajoutent le climat et la saison. Afin de choisir le procédé le plus approprié pour chaque effluent, il est nécessaire de considérer une série de conditions : les caractéristiques de l'eau résiduaire brute : DCO, DBO₅, MES, pH,

métaux lourds. La qualité de l'effluent final requis (spécifications de l'eau traitée liées à la réglementation) et les coûts relatifs [3].

Le suivi de ces effluents s'avère nécessaire aussi bien pour prévenir les risques sanitaires, environnementaux que pour collecter régulièrement les données dont l'exploitation servira à améliorer leurs traitements.

Il existe plusieurs méthodes et techniques de traitement de lixiviat à savoir : méthode biologique, technique membrane, méthodes physico-chimiques (électrochimie). Ces dernières sont très appliquées actuellement, surtout l'électrocoagulation.

L'électrocoagulation est un procédé d'électrolyse à anodes solubles. Son principe c'est d'imposer un courant électrique entre les électrodes à l'aide d'un générateur de courant pour produire les réactions d'oxydo-réductions.

Actuellement, il existe un grand besoin de recherche et d'innovation afin d'améliorer et de développer ce procédé, car il est fortement influencé par la nature d'anode, le nombre d'anodes, la composition de l'électrolyte, la température, ...etc. Récemment, afin d'améliorer le traitement des effluents par l'électrocoagulation, les anodes hybrides sont employés.

L'objectif de cette étude consiste à optimiser les paramètres opératoires à savoir : pH, intensité de courant, distance entre électrodes et temps d'électrocoagulation pour le traitement de lixiviat de centre d'enfouissement technique d'Oued El Alleug par l'électrocoagulation d'une part, et de tester les conditions optimales obtenues dans le traitement de lixiviat par les anodes hybrides d'autres part. Les paramètres caractéristiques de notre charge polluante après traitement sont : la demande chimique en oxygène et la quantité en nitrates et en phosphate.

Ce mémoire est composé de trois chapitres :

Le chapitre 1 est une synthèse bibliographique qui se décompose en trois parties, la première met le point sur le lixiviat et les différents types de lixiviat. La deuxième aborde les méthodes de traitement de lixiviat, et la troisième partie présente le procédé d'électrocoagulation. Dans le deuxième chapitre, nous présentons l'aspect expérimental de notre travail. Le troisième chapitre est consacré aux résultats et discussion. Notre manuscrit se termine par une conclusion générale et quelques perspectives.

CHAPITRE 1

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Généralité sur lixiviât

1.1.1. Introduction

La mise en décharge est une méthode qui a été très utilisée pour traiter les ordures ménagères. Néanmoins, l'enfouissement des déchets provoque de nombreuses nuisances dans l'environnement : pollution de l'eau par production de lixiviât, dégagement d'odeurs, risques d'incendies, création d'un biotope favorable à l'accroissement des populations d'insectes et de rongeurs, contribution à l'aggravation de l'effet de serre...

La principale source de pollution est néanmoins constituée par les percolâtes de décharge qui sont à l'origine de la contamination des sols, des eaux de surfaces et des eaux des nappes aquifères [4].

Dans le cas des décharges de classe II, c'est-à-dire de déchets non dangereux, l'eau favorise la transformation bio-physico-chimique des déchets, le fonctionnement d'une décharge peut alors être assimilé à un réacteur complexe à multi-compartiments (biologique, minéral et organique) qui sont en permanence en contact les uns avec les autres et qui réagissent de façon interactive. L'ensemble de ces phénomènes conduit à la génération de métabolites gazeux, du biogaz et à l'entraînement par l'eau de molécules très diverses qui donnent lieu à des lixiviât, tous deux vecteurs essentiels de la charge polluante des centres de stockage de déchets non dangereux [2].

1.1.2. Fonctionnement de CET

Un centre d'enfouissement est un équipement d'élimination des déchets par dépôt ou enfouissement sur le sol ou dans des cavités artificielles ou naturelles du sol, sans intentions de reprise ultérieure. On distingue :

- Le centre d'Enfouissement Technique (CET) de classe 1 ou centre de Stockage de déchets Ultimes (CSDU) destiné aux déchets spéciaux minéraux, solides, très peu réactifs, très peu évolutifs et très peu solubles.

- Le centre d'Enfouissement Technique de classe 2 ou centre de stockage des déchets ménagers et assimilés destiné d'une part aux déchets dont le comportement est forcément évolutif et conduit à la formation de lixiviat et de biogaz par dégradation biologique, et d'autre part aux déchets dont le comportement est peu évolutif, dont la capacité de dégradation biologique est faible et qui présente un caractère polluant modéré [5].

La création d'un CET permet officiellement de réduire les risques sur l'environnement par l'enfouissement des déchets et permet également la création d'un biogaz utilisé comme engrais. Autrement dit, les déchets sont entassés dans des casiers sur lesquels est déversée de la terre, puis encore les déchets par-dessus. L'opération se répète ainsi jusqu'au remplissage des casiers. Une fois totalement remplis, ces casiers peuvent faire l'objet de plantation d'arbres grâce au biogaz issu de la fermentation des détritiques [6].

L'enfouissement des déchets reste la filière de traitement la moins coûteuse et la plus efficace pour l'élimination des grandes quantités de déchets [7].

1.1.3. Lixiviat

La législation européenne définit le lixiviat comme étant « tout liquide filtrant par percolation des déchets mis en décharge et s'écoulant d'une décharge ou contenu dans celle-ci ». Plus communément, le lixiviat provient de l'eau qui percole à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et chimiquement en substances minérales et organiques dissoutes ou en suspension [2]. La qualité des lixiviats est difficile à prédire et peut varier considérablement d'un site à un autre et au sein d'un même site [11].

Les lixiviats sont produits par la percolation des eaux de pluie et de ruissellement à travers les déchets stockés dans les décharges. La mobilisation des constituants déchets par l'eau se fait d'une part par une mise en solution de ces constituants et d'autre part par un entraînement mécanique : particules en suspension, colloïdes...

La plupart des réactions chimiques sont catalysées par les microorganismes et les cinétiques observées dépendent principalement du type de transformations bactériennes qui ont lieu dans la décharge. Il est généralement admis que les lixiviats sont de nature différente selon l'âge de la décharge [8].

a -Caractéristiques des lixiviat

Le débit et la composition des lixiviats sont influencés par différents paramètres tels que : la nature des déchets enfouis, l'âge de la décharge, le climat local (température, humidité, précipitation), le caractère géologique du site, la gestion opérationnelle du site (hauteur des déchets, degré de compacité etc [1]).

On distingue quatre étapes de décomposition des déchets dans la décharge au cours du temps :

- 1) la phase initiale aérobie.
- 2) la phase acidogène anaérobie.
- 3) la phase méthanogène initiale.
- 4) la phase méthanogène stable.

Même après la phase de maturation stable d'une décharge, cette dernière continue à produire des lixiviats. Aux États-Unis, les décharges sont sur surveillance jusqu'à 30 ans suivant leur fermeture. On estime qu'après cette période, la décharge est complètement stable et qu'une surveillance intensive n'est plus nécessaire [9].

b - Composition et évolution de la qualité des lixiviat

Il est généralement reconnu que les lixiviats issus de déchets non dangereux contiennent plusieurs polluants majeurs classés en quatre groupes :

- Matières organiques dissoutes (DCO, COT, CH₄, acides gras volatils (AGV), composés réfractaires tels que les acides humiques et fulviques).
- Macro-composants inorganiques (Ca, Mg, Na, K, NH₄, Fe, Mn, Cl, SO₄, HCO₃).
- Éléments de traces métalliques (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn).
- Composés organiques xénobiotiques (pesticides).

D'autres éléments traces d'importance secondaire peuvent être présents en très faibles quantités dans les lixiviats (entre autres : B, As, Se, Be, Li, Hg, Co...).

1.1.4. Les types de lixiviat

a - Le lixiviat jeune

Il est caractérisé par un pH acide de l'ordre de 6. Le rapport DBO₅/DCO est important, du fait de la présence des microorganismes. La DCO dépasse souvent les 20 000 mg/l et peut

même atteindre des valeurs extravagantes (jusqu'à 80 000 mg/l), les acides carboxyliques représentent environ 80% de la charge organique. Ainsi, un traitement biologique est fortement recommandé pour ce genre d'effluent [10].

b - Le lixiviat Intermédiaire

C'est une phase de transition entre le lixiviat jeune et le lixiviat stabilisé. Le pH s'approche généralement de la neutralité et la charge organique est nettement plus faible que celle du jeune (entre 3 000 et 15 000 mg/l). Le rapport DBO₅/DCO avoisine les 0,2. Le pourcentage en acides carboxyliques est faible (20 à 30%). Ce genre de lixiviat est faiblement biodégradable et c'est plutôt les procédés physico-chimiques qui sont préconisés pour son traitement [10].

c - Le lixiviat Stabilisé

Il est appelé aussi le lixiviat vieux. La DCO ne dépasse pas les 2 000 mg/l et le pH est légèrement basique (7,5 à 8,5), les acides carboxyliques et les métaux n'existent presque pas dans ces eaux, mais la teneur des composés à haut poids moléculaire est importante [10].

Tableau 1.1. Types de 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)	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

1.1.5. Impact de l'évolution de lixiviat sur l'environnement

L'envergure des problèmes appelant l'urgence des solutions, les centres d'enfouissement technique sont devenues l'unique moyen pour l'élimination des déchets. Ces derniers présentent l'avantage d'éliminer d'importants volumes à des coûts raisonnables. Mais par contre, ils génèrent des flux polluants difficiles à maîtriser dont les lixiviats [11].

a - Pollution de l'eau

Au cours du siècle que nous vivons, l'eau est en phase de devenir la clé de l'avenir de la planète, l'alimentation en eau sera une menace pour la stabilité du monde entier. Les lixiviats sont la source polluante majeure des décharges sur les eaux alentour, et suivant leur toxicité et leur dilution, les modifications du milieu environnant ne seront pas les mêmes. Les lixiviats qui s'infiltrent sont en partie responsables de la dégradation de la qualité de l'eau. Ce milieu peut être divisé en deux parties, les eaux superficielles et les eaux souterraines. La contamination peut avoir lieu par infiltration directe dans le substratum et polluer les nappes phréatiques, où par rejet des effluents, traités ou non, dans le réseau hydrographique de surface et le détériorer [12].

Les effets de ces deux types de contamination pouvant interagir entre elles sont :

- d'une part, pour les eaux souterraines, un problème d'alimentation en eau potable par pollution des captages d'eau si ceux-ci sont hydrogéologiquement accessibles.
- d'autre part, pour le réseau hydrographique superficiel, une détérioration des écosystèmes aquatiques, en particulier liée au problème d'eutrophisation qui menace la vie piscicole par asphyxie, et également d'alimentation en eau potable [12].

b - Risque pour la santé

Trois classes de substances ayant la capacité de porter atteinte à la santé humaine sont généralement présentes dans les eaux de lixiviation. Il s'agit des composés inorganiques, des composés organiques et des microorganismes pathogènes [13].

- Composé inorganique : Parmi les composés inorganiques retrouvés dans les eaux de lixiviation brutes, ce sont les métaux lourds qui retiennent l'attention en raison de leur potentiel de toxicité. Bien que ces substances soient généralement présentes à de faibles concentrations dans le lixiviat (à l'exception du fer et du manganèse), certaines peuvent présenter un danger si elles s'infiltrent au niveau d'une source d'approvisionnement en eau potable. Les effets possibles de ces métaux sur la santé sont présentés au tableau 1.2 [13]

▪ **Tableau 1.2.** Effets possibles des métaux sur la santé à la suite d'une exposition
Chronique

Métaux lourd	Utilisation et sources	Effets toxiques possibles à la suite d'une exposition chronique
Cadmium	- Agent de placage; -fabrication de colorants	-Absorbé par les voies digestives. - dommages aux reins, jaunissement des dents, fatigue, souffle court, sécheresse de la bouche et de la gorge, troubles olfactifs, emphysème, ostéomalacie, hypertension artérielle possible. -cancer du poumon et de la prostate.
Arsenic	-Alliage. -soudure. -combustion du charbon. -activités agricoles (pesticides).	- Absorbé par les voies digestives. - lésions cutanées (hyperpigmentation, verrues, hyperkératose des paumes de mains et des plantes de pieds). Neuropathies périphériques, atteintes cardiovasculaires et vasculaires périphériques (gangrène), incidence de diabète plus élevée; - cancer de la peau, du poumon, de la vessie, du foie et des reins à la suite de l'ingestion d'eau contenant de l'arsenic.
Plomb	Plomb et ses composés : fabrication d'accumulateurs au plomb (batteries); - plomb métallique : alliage, munitions, matériaux de blindage, matériaux pour la manutention de produits corrosifs, revêtements de câbles électriques, pigments de peinture, céramiques, verre et plastiques	Principalement absorbé par et les voies digestives ; la peau est une voie d'absorption négligeable par rapport aux autres. Les effets de l'intoxication à long terme au plomb sont les mêmes, peu importe sa voie d'entrée dans l'organisme ; - trouble digestif, douleurs articulaires et musculaires aux extrémités, effets sur le système sanguin (anémie), effets sur le système nerveux (ex. : irritabilité) Insuffisance rénale chronique, augmentation de la pression artérielle, affaiblissement de la fonction immunitaire. - femme : avortements spontanés, traverse le placenta accouchements prématurés, bébés de petit poids, trouvé dans le lait maternel ; - jeune enfant : retards de croissance, de développement neuro-comportemental (moteur, intellectuel et émotif) et déficiences mentales ; -cancérogénicité : CIRC Groupes

- **Organismes pathogènes:** Divers microorganismes pathogènes sont présents dans le lixiviat en raison de la nature même des matières résiduelles enfouies (ex : mouchoirs en papier, couches, résidus de nourriture) et de la présence de vermine (ex. : fientes de goélands). Les bactéries et virus susceptibles d'être retrouvés sont les salmonelles, les shigelloses, *Escherichia coli*, polyvirus, virus de l'hépatite A, etc. La présence des microorganismes dans le lixiviat et éventuellement dans l'eau de surface ou souterraine dépend de nombreux facteurs dont la vitesse d'écoulement des eaux, le pH, la température, l'oxygène dissous, etc. L'ingestion ou le contact avec une eau contaminée par des micro-organismes pathogènes ou des substances chimiques sont susceptibles d'engendrer des problèmes de santé d'ordre aigus et chroniques. C'est entre autres pour cette raison qu'un traitement des eaux de lixiviation (désinfection) est effectué avant rejet dans le milieu. Le tableau 1.3 fait état des principales maladies transmissibles par la consommation d'eau contaminée [13].

Tableau 1.3. Maladies transmissibles par la consommation d'eau contaminée.

Maladie ou agent de Contamination	Période d'incubation	Symptômes
Bactéries		
Shigellose (<i>Shigella</i> sp.)	1-7 jours	Maladie aiguë du colon et de l'intestin grêle. Diarrhée, fièvre, vomissements, sang dans les selles à l'occasion.
Salmonellose (<i>Salmonella</i> spp. Exception de <i>S. typhi</i>, <i>S. choleraesuis</i>, <i>S. paratyphi</i>)	6-72 heures	Gastro-entérite aiguë débutant subitement par des céphalées. Diarrhée, nausées, douleurs abdominales, vomissements, fièvre.
Fièvre typhoïde (<i>Salmonella typhimurium</i>)	1-3 jour	Douleurs abdominales, fièvre, frissons, diarrhée ou constipation, hémorragie ou perforation intestinale.
Entéroxygénique (<i>E. coli</i>)	12-72 heures	Diarrhée, fièvre, crampes abdominales, vomissements. Symptôme durant habituellement cinq jours.
<i>Campylobacter fetus</i> ssp. <i>Jejuni</i>	1-7 jour	Diarrhée, crampes abdominales, céphalées, fièvre, vomissements, sang dans les selles occasionnellement. Peut causer des infections généralisées chez les hôtes immunodéprimés. Entraîne l'avortement et la stérilité chez le bétail

Virus		
Hépatite A	15-45 jours	Fièvre, malaises, anorexie, nausées, jaunisse
« Norwalk-like »	12-48 heures	Vomissements, crampes abdominales, céphalées, fièvre.
Yersinia enterocolitica	1-7 jours	Douleurs abdominales supposant une appendicite aiguë, fièvre, céphalées, malaises, diarrhée, vomissements.

1.2. Les méthodes de traitement de lixiviat

Le lixiviat est un liquide très complexe avec une forte concentration de pollution qui rend son traitement très difficile et fournir des normes d'élimination difficiles. Parmi les autres types d'eaux usées, le lixiviat est le plus difficile à traiter, car il contient une structure complexe qui est produite dans une décharge. En conséquence, les types de traitement prétraitement et les méthodes mixtes de traitement ont été utilisés pour traiter les lixiviat [14]. 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 [12].

1.2.1. Les traitements par voie biologique

Le traitement par voie biologique est au cœur de la filière traditionnelle de traitement des lixiviats car il permet une élimination simultanée de la pollution organique et azotée. Ce type de traitement est surtout applicable et efficace sur des lixiviats jeunes et non stabilisés. Les procédés biologiques peuvent être divisés en deux grands groupes : aérobie ou anaérobie, selon qu'il y ait ou pas présence d'oxygène [15]. Les traitements biologiques se sont révélés très efficaces pour éliminer les matières organiques et azotées des jeunes lixiviats lorsque le DBO/DCO a une valeur élevée (>0,5). Avec le temps, la présence importante de composés réfractaires (principalement des acides humiques et fulviques) tend à limiter l'efficacité du processus [2].

1.2.2. Procédés physico-chimiques

La majorité des traitements physico-chimiques utilisés pour l'épuration des lixiviats intervient en tant que prétraitement ou étape de finition pour compléter la filière de traitement, ou encore pour éliminer un polluant spécifique (ex : le stripping pour l'azote ammoniacal...)

[15]. Le traitement physico-chimique est destiné à des déchets de nature minérale. Le traitement effectué va dépendre de la composition chimique du déchet [16].

a - Procédé de Coagulation-floculation

Le traitement physicochimique par coagulation-floculation est généralement suivi d'une séparation eau-boue, soit par flottation, soit par décantation. Dans le cas des lixiviats de CSDU, l'application de ce procédé permet d'éliminer la matière organique colloïdale, les MES et les éléments métalliques, impactant alors la DCO mais aussi la couleur et la turbidité. Le procédé semble également plus efficace sur des lixiviats stabilisés avec des faibles DBO5 ($< 300-500 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$) et des rapports DBO_5/DCO inférieurs à 0,1 [15]. Le procédé de coagulation-floculation ne peut pas éliminer plus de 50% de la pollution organique [16].

b - Précipitation chimique

Sur le même principe que celui de la coagulation/ floculation, la précipitation consiste à ajouter aux lixiviats un réactif destiné à faire précipiter certains composés indésirables, pouvant être éliminés par décantation ou flottation [15]. Grâce à son efficacité, sa simplicité et les équipements peu coûteux utilisés, la précipitation chimique a été utilisée pour l'élimination des composés organiques bio-récalcitrants, de l'azote ammoniacal et des métaux lourds à partir des lixiviats. Les inconvénients de la précipitation chimique sont : la forte dose de précipitant nécessaire, la sensibilité du processus au pH, la production de boues et la nécessité de poursuivre l'élimination des boues [2].

c - Procédé d'adsorption

L'une des raisons principales qui a motivé l'application de l'adsorption au traitement des lixiviats de CSDU est son critère de non sélectivité vis-à-vis des composés organiques. Ainsi, les substances biodégradables et non-biodégradables sont éliminées comme par exemple les substances humiques et les composés halogénés [15]. Ce procédé permet également d'abattre de manière très satisfaisante les composés responsables de la coloration de l'effluent. Le charbon actif en poudre (CAP) ou en grain (CAG) est l'adsorbant le plus communément utilisé. Les principaux inconvénients de ce procédé sont la nécessité de régénérer fréquemment les colonnes ainsi que la forte consommation de charbon actif [2].

d - Procédé d'oxydation chimique :

Parmi les traitements chimiques appliqués aux lixiviats de CSDU, les procédés d'oxydation avancée jouent un rôle majeur, du fait de leur fort potentiel d'oxydation et de leur faible sélectivité vis-à-vis des composés organiques. Ils s'avèrent particulièrement adaptés aux effluents fortement chargés en composés organiques réfractaires à l'épuration biologique. Généralement, ils sont divisés en deux groupes : les procédés d'oxydation chimique et les procédés d'oxydation photochimique (mettant en œuvre une photolyse). [2]

1.2.3. Méthodes membranaires

a - La nanofiltration

Ce procédé a la capacité d'éliminer les particules d'un poids moléculaire supérieur à 300 Da ainsi que les substances inorganiques par le biais des interactions électrostatiques entre les ions et les membranes. La nanofiltration utilise généralement des membranes en polymère moléculaire de coupure entre 200 et 2000 Da. Elle a été utilisée en combinaison avec des méthodes physiques et il s'est avéré que les résultats obtenus sont satisfaisants. En effet, le taux d'abattement de la DCO obtenu est de l'ordre de 70-80% [2].

b - L'osmose inverse

L'osmose inverse semble être l'une des méthodes les plus prometteuses dans le traitement des lixiviats. En effet, plusieurs études effectuées à la fois à l'échelle du laboratoire et à l'échelle industrielle ont montré l'efficacité de ce procédé dans l'élimination des contaminants présents dans les lixiviats. Les taux d'abattement de la DCO et des métaux lourds sont respectivement supérieurs à 98 et 99%. A partir de 1984, les modules tubulaires et spiraux ont été les premiers utilisés pour le traitement des lixiviats [2].

1.3. Procédé d'électrocoagulation

1.3.1. Introduction

L'aspect non polluant et les facilités d'automatisation que l'électricité apporte, devraient permettre un développement significatif des techniques électrochimique de traitement dans les prochaines années [17].

De nombreuses techniques utilisant directement ou indirectement, l'énergie électrique se sont déjà développées. D'autres méthodes à l'échelle laboratoire sont en cours d'études, et apportent des résultats pertinents dans le domaine de l'environnement en général, et plus particulièrement dans le traitement des effluents.

Les effets directs de l'électricité ne sont, en général, sensibles, que sur les impuretés de faibles dimensions : ions ou petites molécules, les produits chimiques et colloïdaux en solution, les pollutions biologiques... Par effet indirect, c'est-à-dire par génération électrolytique d'un produit traitant, il est possible d'agir sur d'autres particules telles que les grosses molécules, les matières en suspension et les bactéries [17].

Durant les récentes décennies, les recherches ont révélé l'électrocoagulation comme une technique attirante et convenable pour le traitement des différents effluents en raison de ses nombreux avantages tels que sa compatibilité environnementale, son adaptabilité, son efficacité et son faible coût. Ce processus est caractérisé par un matériel simple, facile à réaliser et ne nécessite pas l'ajout de produits chimiques [18].

1.3.2. Historique et développement de procédé

En 1909, Harries dépose un nouveau brevet sur ce procédé. Les anodes étaient alors constituées par des plaques de fer et d'aluminium. En 1912, deux autres stations de traitements des eaux usées furent construites sur ce principe, aux Etats-Unis. Cependant, leur fonctionnement fut stoppé, quelques années plus tard (1930), en raison du coût qui étaient deux fois plus élevé que celui d'un traitement classique [17].

En 1946, Stuart étudie plus précisément le procédé avec un réacteur équipé d'électrodes en aluminium Comparant le procédé de coagulation physico-chimique et le procédé électrochimique, il observe que le phénomène de coagulation semble plus rapide avec la méthode électrochimique. Bollina (1947) [19] se base sur les résultats de Stuart et Les recherches se sont poursuivies sur les effluents de caractéristiques très différentes.

Holden (1956) [20] s'est intéressé à la possibilité de traiter les eaux de surface pour la production d'eau potable alors que, Sadek (1970) [21] a proposé un traitement des eaux usées en éliminant

les phosphates par électrocoagulation. Back et Tipping (1987) [22] ont employé le procédé pour le traitement des effluents issus des industries agro-alimentaires.

L'intérêt de l'électrocoagulation ne cesse de croître depuis les années 80.

Aujourd'hui, grâce à une plus grande conscience de pollution et de conditions de normalisation de l'industrie. Plus récemment, plusieurs applications du procédé ont été réalisées sur différents types d'effluents et montrent une efficacité très élevée et un coût de traitement compétitif par rapport aux procédés classiques [17].

L'EC a été étudiée pour l'élimination de divers polluants minéraux ou organique [17].

Tableau 1.4. Exemples d'application du procédé d'électrocoagulation

<i>Effluents traités</i>	Efficacité	Référence
<i>Eaux riches en substances humiques.</i>	Décoloration de l'ordre de 95%.	[23]
<i>Eaux résiduaires Urbaines</i>	Abattement de la turbidité de 89%, et de MES 60%.	[23]
<i>Suspension de kaolite et doetonite.</i>	Abattement de la turbidité entre 20 et 60%.	[23]
<i>Huiles minérales</i>	Abattement de DCO $\geq 80\%$.	[23]
<i>Lixiviats</i>	Abattement de DCO $\geq 80\%$.	
<i>Eaux encrées</i>	Décoloration de l'ordre de 40%.	
<i>Bain photographique</i>	Abattement de la DCO $\geq 80\%$ et coloration 30%.	
<i>Eaux phénolées.</i>	Abattement de DCO et COT $\geq 30\%$	
<i>Effluents Cosmétiques.</i>	Abattement de DCO $\geq 40\%$.	
<i>Effluents Pharmaceutiques</i>	Abattement de DCO, COT, MES $\geq 80\%$.	

<i>Eaux colorées et eaux de rivière.</i>	Efficacité de l'ordre de 90% pour la décoloration.	[23]
<i>Effluent réel réactif de bain.</i>	Décoloration de 20 à 100% et un DCO >75%.	[23]
<i>Traitement de solution contenant des ions indium(III)</i>	Rendement d'élimination 78%	[23]

L'importance de l'électrocoagulation s'est accrue du fait de son efficacité, généralement supérieures aux autres techniques, pour éliminer les différentes formes de pollution, répertoriées par les indicateurs suivants :

- DCO, DBO, COT, MES, TDS, TAC, Les métaux lourds, ABS [17].

1.3.3. Principe d'électrocoagulation

L'électrocoagulation entraîne une séparation électrochimique des polluants. Ce système permet de traiter de nombreux effluents de type agroalimentaire, agricole ou industriel [24].

L'électrocoagulation consiste à générer directement en solution les réactifs nécessaires, par une oxydation d'une électrode (anode) dite sacrificielle. L'électrocoagulation (EC) est un processus complexe impliquant beaucoup de phénomènes chimiques et physiques. L'efficacité de ce processus est contrôlée par l'effet des paramètres électrochimiques, physico-chimiques et hydrodynamiques. Le procédé d'électrocoagulation est basé sur le principe des anodes solubles. Il s'agit, d'imposer un courant (ou potentiel) entre deux électrodes (fer ou aluminium) immergées dans un électrolyte contenu dans un réacteur pour générer, in situ, des ions (Fe^{2+} ou Al^{3+}). Les différentes espèces qui en sont issues, sont susceptibles de provoquer une coagulation et une floculation. Le dégagement du gaz d'hydrogène H_2 au voisinage de la cathode, sous la forme de microbulles, conduit à une flottation des particules éliminées par leur entrainement à la surface de la solution à traiter [24].

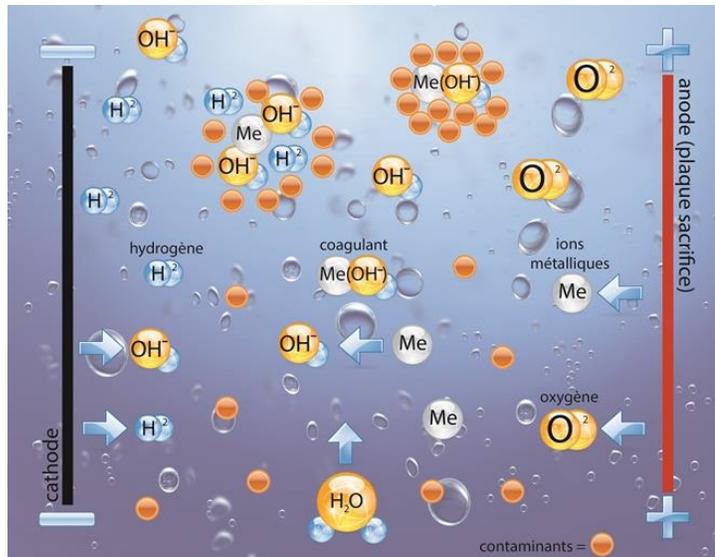


Figure 1.1. schéma de procédé d'électrocoagulation

Durant le processus d'électrocoagulation, les réactions électrochimiques mises en jeu par des électrodes soumises à un courant continu sont :

A l'anode :

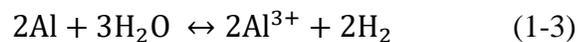
On a l'oxydation et le métal va passer de l'état solide à l'état ionique selon la réaction :



L'aluminium se dissout suivant :



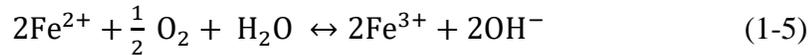
Du fait du potentiel standard très négatif du couple Al/Al³⁺ l'aluminium réagit avec l'eau en présence d'anions tels que les chlorures.



La dissolution du fer se fait à travers la réaction suivante :



Les ions ferreux précipitent sous forme de Fe(OH) à un pH supérieur à 6. Cependant, les ions ferreux sont instables dans un environnement contenant de l'oxygène comme en présence d'oxygène dissout dans l'eau.



Les ions ferriques à des niveaux variés d'hydratation forment dans l'effluent les hydroxydes ferriques qui sont responsables des floccs bruns qui précipitent. Même s'il est souvent ressorti que les hydroxydes ferriques favorisent le traitement, plusieurs autres hydroxydes et oxydes sont souvent cités [25].

L'électrolyse de l'eau se produit à la cathode et à l'anode. Dans le cas d'un milieu acide, on a les réactions suivantes :



Les cations métalliques forment des complexes avec les ions hydroxydes. L'espèce majoritaire dépend du pH du milieu [25].

Dans le cas d'une anode en aluminium, le cation métallique formé est Al³⁺ tandis que l'utilisation d'une électrode en fer conduit à la formation d'ions ferreux Fe²⁺ qui peuvent s'oxyder en présence d'oxygène dissous ou bien par auto oxydation pour donner les ions ferriques Fe³⁺ [17].

Les cations métalliques forment des complexes avec les ions hydroxydes. L'espèce majoritaire dépend du pH du milieu. Dans le cas de l'aluminium, on trouve une multitude de complexes anioniques et cationiques. On peut distinguer :

- Les mono complexes tels que Al(OH)²⁺, Al(OH)₂⁺, Al(OH)₄⁻.
- Les poly complexes tels que Al₂(OH)₂⁴⁺, Al₂(OH)₅⁺, Al₆(OH)₁₅⁺³, Al₁₃(OH)₃₄⁺⁵.
- Les espèces amorphes et très peu solubles telles que Al(OH)₃, AlO₃.

Ces espèces jouent le rôle de coagulant et conduisent à la formation de de précipités, puis de floccs facilement éliminables. La différence entre l'EC et la coagulation chimique réside

principalement dans la source des coagulants, qui sont générés électro chimiquement (in situ) dans l'une, et ajoutés directement sous forme de composés chimiques dans l'autre [17].

Dans le cas du fer, on a les complexes tels que FeOH^{+2} , $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ et $\text{FeO}(\text{OH})$, $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Fe}_2(\text{OH})_4^{2+}$ [25]

1.3.4. Les différents matériaux utilisés pour les électrodes

Les électrodes les plus couramment utilisées sont celles en fer et en aluminium. Cependant des essais ont été conduits sur d'autres types d'électrode. On cite quelques couples d'anode/cathode qui sont utilisés en électrocoagulation : Al et Mn, Fe/Fe, titane/platine, Fe / Al ou Al / Fe, Ti/acier, Comparaison Al et Fe, Al/Al [25].

1.3.5. Principales lois d'électrolyse

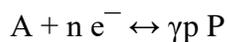
a - Loi de Faraday

Si l'on considère que les seules réactions chimiques qui se déroulent dans le réacteur d'électrocoagulation sont l'oxydation du métal à l'anode, et la réduction de l'eau à la cathode, il est possible de déterminer la quantité de matière produite et consommée lors d'une réaction électrochimique qui se calcule par la loi de Faraday, et qui est fonction de la durée de l'opération et de l'intensité du courant I [26].

$$m = \frac{I.t.M}{n.F}$$

b - Rendement faradique et rendement énergétique

Soit la réaction électrochimique :



Avec :

A : espèce oxydante.

P : espèce réductrice

n : nombre d'électrons mis en jeu dans la réaction.

γp : nombre de moles de P produites.

Si cette réaction est la seule à se produire, la loi de Faraday indique que la production de γ_p moles de P nécessite le passage de γ_p moles d'électrons, c'est-à-dire, la quantité d'électricité Q_0 telle que :

$$Q_0 = n \cdot N \cdot e_0 = nF$$

Le courant d'électrolyse est alors entièrement utilisé par cette réaction. Dans le cas où plusieurs réactions électrochimiques se produisent en même temps, on évalue le rendement faradique par rapport à la réaction [17].

Différentes expressions du rendement peuvent être utilisées :

- ✓ Le rendement en courant ou rendement faradique ϕ_c

$$\phi_c = \frac{\text{quantité d'électricité nécessaire pour produire } \gamma_p \text{ mole de p}}{\text{quantité d'électricité réellement consommée pendant l'électrolyse}}$$

1.3.6. Les avantages et les inconvénients

a - Les avantages

- EC est un équipement simple et facile à travailler avec une portée opérationnelle adéquate qui peut surmonter la plupart des problèmes qui peuvent être rencontrés pendant l'opération.
- L'eau après purification est savoureuse, claire, incolore et sans odeur.
- Les boues produites au cours du processus sont prêtes à être réassemblées et faciles à sécher, car elles contiennent principalement des oxydes et des hydroxydes métalliques.
- Les floccs produits par EC sont similaires aux floccs chimiques ; cependant, il devrait être plus grand et contenir moins d'eau liée, être plus stable et résistant à l'acide qui peut, par conséquent, être séparé plus rapidement par les filtres.
- En comparaison avec le traitement chimique, EC produit des eaux usées qui contiennent moins de matières totales dissoutes (TDS). Par conséquent, si cette eau doit être réutilisée, le faible niveau de TDS nécessite des coûts de récupération plus faibles [14].

b . Les inconvénients

- Le procédé d'électrocoagulation est basé sur des réactions électrochimiques. L'effluent à traiter doit donc être un électrolyte ce qui impose un ajout de sel (généralement NaCl) pour certains effluents faiblement conducteurs.
- La présence des ions calcium et hydrogénocarbonates provoquent la formation de dépôts de carbonate de calcium sur la cathode ce qui augmente la résistance électrique de la cellule.
- Le coût des électrodes consommables semble être le principal inconvénient. L'utilisation de métaux recyclés a permis de palier partiellement à ce problème.
- L'électrocoagulation est sans effet sur certains types de pollutions telles que celles dues à des fluides parfaitement miscibles à l'eau (exemple le benzène ou les solvants oxygénés). En revanche, les résultats sont moins probants avec les matières organiques solubles ; on ne dépasse guère 20% d'élimination de la DTO.
- La maintenance des installations, le nettoyage et le changement des électrodes impliquent une perte de temps dû à l'arrêt du procédé au cours de ces opérations [23].

CHAPITRE 2

MATERIELS ET METHODES

Ce chapitre décrit le montage expérimental mis en œuvre au cours de l'électrocoagulation et les méthodes analytiques employés. Une étude sur l'effet de différents paramètres à savoir : le pH du milieu, la vitesse d'agitation, la distance entre les électrodes, l'intensité du courant, la dilution de la charge à traiter sur l'électrocoagulation a été faite. Des essais d'électrocoagulation sur le lixiviat brute, avec les anodes hybrides, pour les conditions optimales obtenues ont été tentés.

2.1. Protocole expérimental

Le dispositif expérimental utilisé pour les essais d'électrocoagulation (Figure 2.1) est composé de :

- Deux électrodes d'aluminium de mêmes dimensions (170 mm × 45 mm) plongées dans un bēcher de 1 litre.
 - Réacteur agité de forme cylindrique, Le volume de lixiviat à traiter est de 400 ml, dans lequel se déroulent les réactions électrochimiques concourant au traitement. Nous avons travaillé à vitesse d'agitation constante de 400 t/min, vitesse choisie de sorte à ne pas casser les floccs mais suffisant pour avoir un mélange homogène. Il est à signaler que nous avons ajouté 0.4 g de NaCl dans le volume de lixiviat à traiter afin d'augmenter sa conductivité.
- Générateur de courant marque Philips model PE 1540 DC power supply 40V-3A, avec lequel, les plaques métalliques parallèles sont soumises à un courant constant qui permet une dissolution du métal à l'anode et un dégagement du gaz d'hydrogène (H₂) à la cathode.
- pH-mètre de marque XS model pH50 et de conductimètre de marque Adwa model AD3000 EC/TDS & Temperature Meter pour suivre le pH et la conductivité respectivement de notre électrolyte au cours du temps.

Avant chaque essai, un prétraitement de la surface des électrodes en aluminium est effectué, qui consiste en un polissage à l'aide du papier au carbure de silicium SiC et un décapage dans la solution de NaOH 1M pendant 30 seconde, ensuite on rince avec l'eau distillée.

Toutes les expériences ont été effectuées à la température ambiante (approximativement $23 \pm 2^\circ\text{C}$). La figure 2-1 représente Le dispositif d'électrocoagulation utilisé au cours de traitement



Figure 2.1. Dispositif expérimental d'électrocoagulation

A chaque fois, on fait varier un paramètre et on fixe les autres (pH, la vitesse d'agitation, la distance entre électrodes, intensité du courant, la dilution de la charge à traiter).

La seconde partie de notre travail est destinée à l'application des anodes hybrides dans notre traitement l'aide de dispositif expérimental illustré sur la figure 2.2.

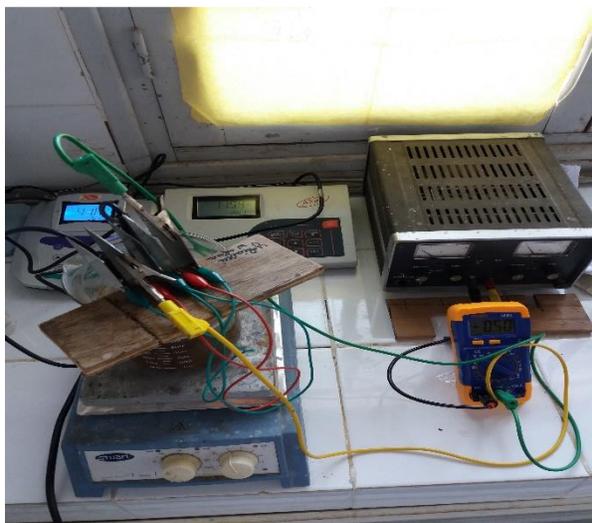


Figure 2.2. Dispositif expérimental d'électrocoagulation avec les anodes hybrides

2.2. Méthodes d'analyses utilisées

A la fin de l'électrocoagulation, des analyses sont effectuées sur les échantillons traités. Cela concerne les mesures de la DCO et les concentrations des phosphates et les nitrate.

2.2.1. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelle que soit leur origine organique ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfures et chlorures) [30].

➤ Réactifs

- Acide sulfurique ($d = 1,84$).
- Solution d'acide sulfurique à 4 mol/L.
- Solution de sulfate d'argent à 10 g/L dans l'acide sulfurique.
- Solution de sulfate de fer et d'ammonium à 0,12 mol/L.
- Solution de ferroïne.
- Solution étalon de dichromate de potassium à 0,04 mol/L, contenant du sulfate de mercure(II).

➤ Mode opératoire

Dans un tube de réaction introduire 10 ml d'échantillon. Ajouter 5 ml de la solution de dichromate de potassium (0,040 mol/L). Ajouter, lentement et avec précaution, 15 ml de la solution d'acide sulfurique contenant le sulfate d'argent, et petite pincé de sulfate de mercure, en agitant soigneusement le tube. Placer le tube dans le bloc chauffant et porter à ébullition ($150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) pendant 2 heures. Arrêter le chauffage. Retirer les tubes avec leurs réfrigérants.



Figure 2.3. DCO mètre (bloc chauffant)

Les laisser refroidir, puis rincer avec précaution le réfrigérant en recueillant les eaux de lavage dans le tube de réaction.

Ôter le réfrigérant. Transvaser le contenu du tube dans un erlenmeyer de 250 ml, rincer et diluer avec environ 75 ml d'eau. Ajouter 2 à 3 gouttes de ferroïne et titrer avec la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium.

-Eau distillé : Procéder de la même manière en remplaçant l'échantillon par 10,0 ml d'eau déionisée. La consommation de dichromate de potassium lors de cet essai doit être très faible et ne pas excéder 0,5 ml.

➤ Expression des résultats

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimée en milligrammes d'oxygène par litre est égale à :

$$\frac{8000 \times (V_0 - V_1) \times T}{V_1}$$

V_0 = Volume de sulfate de fer et d'ammonium (II) nécessaire au dosage de l'eau (ml).

V_1 = Volume de sulfate de fer et d'ammonium (II) nécessaire à l'échantillon

T = Titre de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium (en mol/l)

2.2.2. Phosphate

Le phosphore peut exister dans les eaux à l'état dissous ou en suspension.

Le phosphore total dissous comprend le phosphore organique et le phosphore inorganique qui lui-même inclut les orthophosphates et les polyphosphates [29].

➤ Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium.

➤ Réactifs

- Solution d'acide sulfurique ($d = 1,84$) à 15 % environ en volume.
- Solution de molybdate d'ammonium à 40 g/L.
- Solution d'acide ascorbique à 20 g/L : préparer chaque jour.
- Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium à 2,8 g/L.
- Réactif combiné :
 - Solution d'acide sulfurique 50 ml.
 - Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium 5 ml.
 - Solution de molybdate ammonium 15 ml.
 - Eau déionisée q.s.p. 100 ml (Conserver le réactif au réfrigérateur à 4 °C).
- Solution mère étalon à 50 mg/L de phosphore.
- Solution fille étalon à 1 mg/L de phosphore.

➤ Établissement de la courbe d'étalonnage

Introduire dans une série de fioles jaugées de 25 ml :

Numéro des fiole	T	1	2	3	4	5
------------------	---	---	---	---	---	---

Solution étalon de phosphate à 1 mg/L (ml)	0	1	5	10	15	20
Eau déionisée (ml)	20	19	15	10	5	0
Correspondance en milligrammes de phosphore	0	0.001	0.005	0.01	0.015	0.02

Introduire dans chaque fiole 1 ml de solution d'acide ascorbique, agiter, puis ajouter 4 ml de réactif, mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml. Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 700 ou 800 nm en cuve de 1 cm. Construire la courbe d'étalonnage.

➤ Mode opératoire

Vérifier le pH de l'échantillon qui doit être compris entre 2 et 7, l'ajuster si nécessaire. Introduire 20 ml d'eau dans une fiole jaugée de 25 ml, ajouter 1 ml de solution d'acide ascorbique puis poursuivre comme pour l'établissement de la courbe d'étalonnage. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

2.2.3. Nitrate

Les nitrates (ou azote nitrique) représentent la forme azotée souvent la plus présente dans les eaux naturelles. Les nitrates constituent la composante principale de l'azote inorganique (Ninorganique) ou minéral, lui-même inclus majoritairement dans l'azote global (NGL) ou azote total (NT) avec une autre composante, l'azote organique (Norganique).

➤ Les réactifs

-Solution de Nitrate de potassium (KNO_3) (50mg/L d'ions nitrates).

-Solution de Salicylate de sodium à 5%.

-Solution d'Hydroxyde de sodium (NaOH) et de tartrate double de sodium et de potassium.

-Acide sulfurique.

➤ Mode opératoire

1-Etablissement de la courbe d'étalon Dans une série de flacons de 60 ml introduire successivement :

Numéro de flacons	T	1	2	3	4	5
Solution stock de nitrate de potassium à 50mg/L	0	2	4	6	8	10
Eau distillée (ml)	10	8	6	4	2	0
Solution de salicylate de sodium (ml)	1	1	1	1	1	1
Concentration en ions nitrates en mg/L	0	10	20	30	40	50

2-Evapores chaque flacon à sec au bain-marie ou dans une étuve portée à 75-80°C.

3- laisser refroidir.

4-reprendre le résidu par 2 ml d'acide sulfurique concentré en ayant soin de l'humecter complètement ; attendre 10 minutes.

5-ajouter 15 ml d'eau distillée puis 15 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune.

6-mesurer l'absorbance de chaque échantillon au colorimètre (longueur d'onde 415nm).

➤ Dosage de l'échantillon :

1-Introduire 10 ml d'eau à analyser dans un récipient de 60 ml.

2-Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium.

3-Ajouter 1 ml de solution de salicylate de sodium puis poursuivre le dosage comme pour la procédure d'étalonnage à partir de point 2.

4-Effectuer la lecture au colorimètre (longueur d'onde :415 nm).

5-Déterminer graphiquement la concentration en nitrate dans l'échantillon à partir de la droite d'étalonnage.

CHAPITRE 3

RESULTATS ET DISCUSSION

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats obtenus, de traitement de lixiviat provenant de la décharge d'Oued El-Alleug par électrocoagulation. La caractérisation de lixiviat traité a été faite par la détermination de la DCO et de la quantité en nitrate et en phosphate mesure de pH et conductivité et température.

3.1. Caractérisation de lixiviat

3.1.a prélèvement et échantillonnage :

La quantité de Lixiviat nécessaire à ce travail a été prélevée à partir d'un bassin de stockage des lixiviats provenant de la décharge d'Oued El-Alleug. Cet échantillon a été transporté directement au laboratoire dans un flacon de plastique où il a été conservé à 4 °C. Les lixiviats, d'une couleur noirâtre et d'une odeur fécaloïde,

3.1.b caractérisation de lixiviat :

Nous avons caractérisé lixiviat par la mesure de pH, conductivité, température et la détermination de DCO ainsi que la concentration de orthophosphate et nitrate.

Les résultat obtenue sont conginé dans le tableau ci-dessous

Tableau 3.1. Caractérisation de lixiviat brute

pH	Conductivité (ms)	Température (°C)	DCO (mg O ₂ /L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)
8.14	30.4	21	4224	22.64	0.018

3.2. Etude de l'effet de différents paramètres opératoires sur l'électrocoagulation

Dans cette partie nous avons fait une étude paramétrique. A chaque fois on fait varier un paramètre et fixer les autres (pH : 2-8, la dilution de lixiviat (25-100%), la distance inter-

électrodes (e) : 1 -4 cm, le temps d'électrolyse (t) : 1-4 heure et à la fin l'intensité de courant (i) : 0.3 - 0.9 A. Un volume de 400 ml de lixiviat a été traité. A la fin de ce traitement des prélèvements des échantillons sont effectués afin de calculer les rendements d'abattéma de la DCO, de orthophosphate et de nitrate.

$$R\% = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (3.1)$$

Avec, C_i ; C_f sont respectivement la concentration initiale et finale en mg/L. Au cours de notre traitement, on a essayé également de suivre le pH, conductivité (G) et la température au cours du temps.

3.2.1. Effet de pH

Dans cette partie nous avons varié le pH entre 2 et 8 et fixé les autres paramètres tels que :

$I = 0.5A$; Vitesse d'agitation = 400 tr/min ; $t = 90$ min ; $e = 2cm$. Les figures 3.1-3.3 représentent les résultats de traitement.

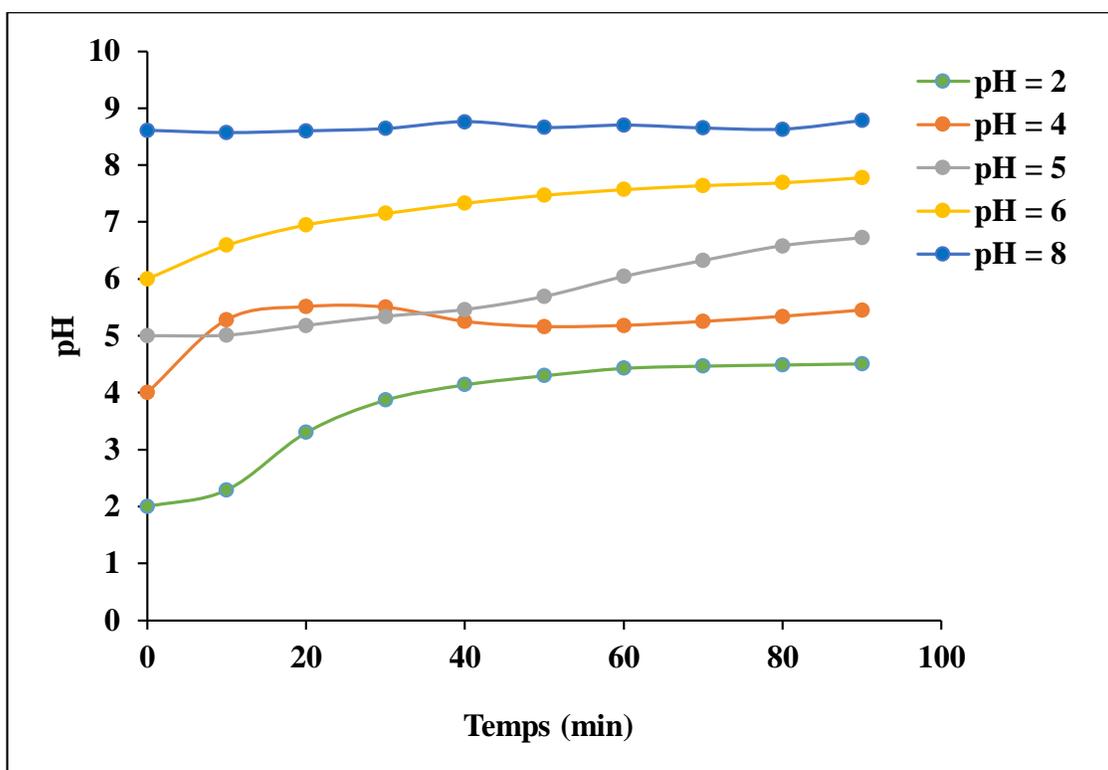


Figure 3.1. Variation de pH de lixiviat en fonction du temps.

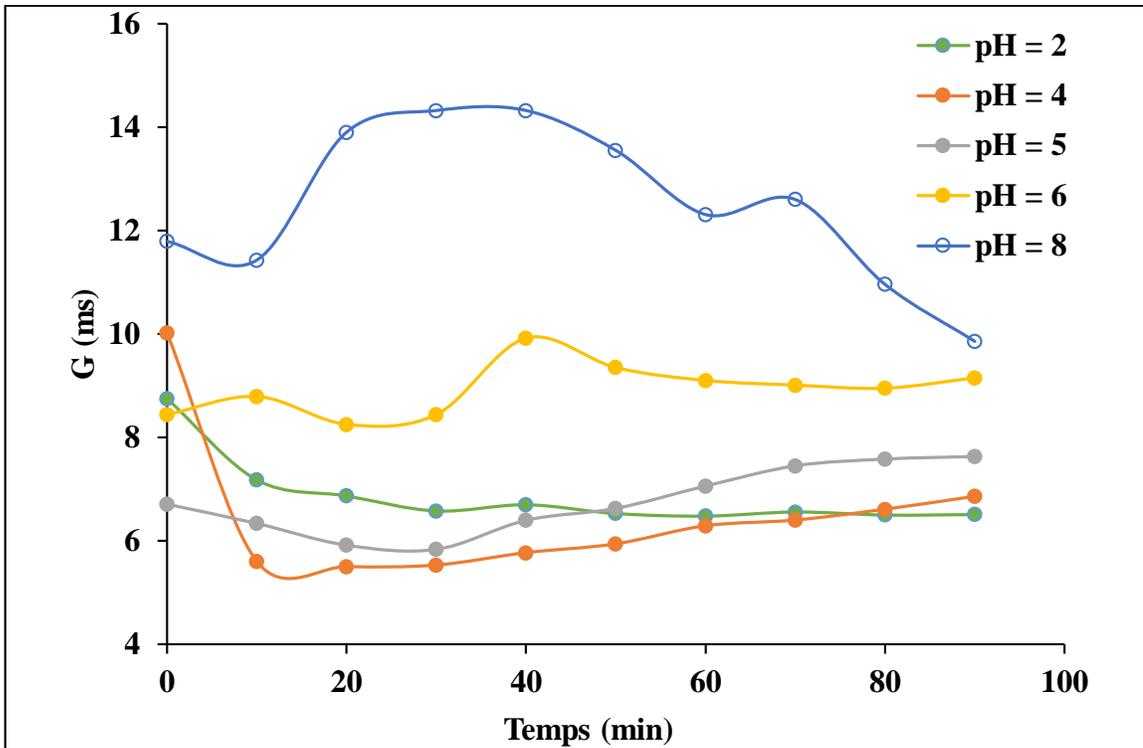


Figure 3.2. Variation de conductivité de lixiviat en fonction du temps

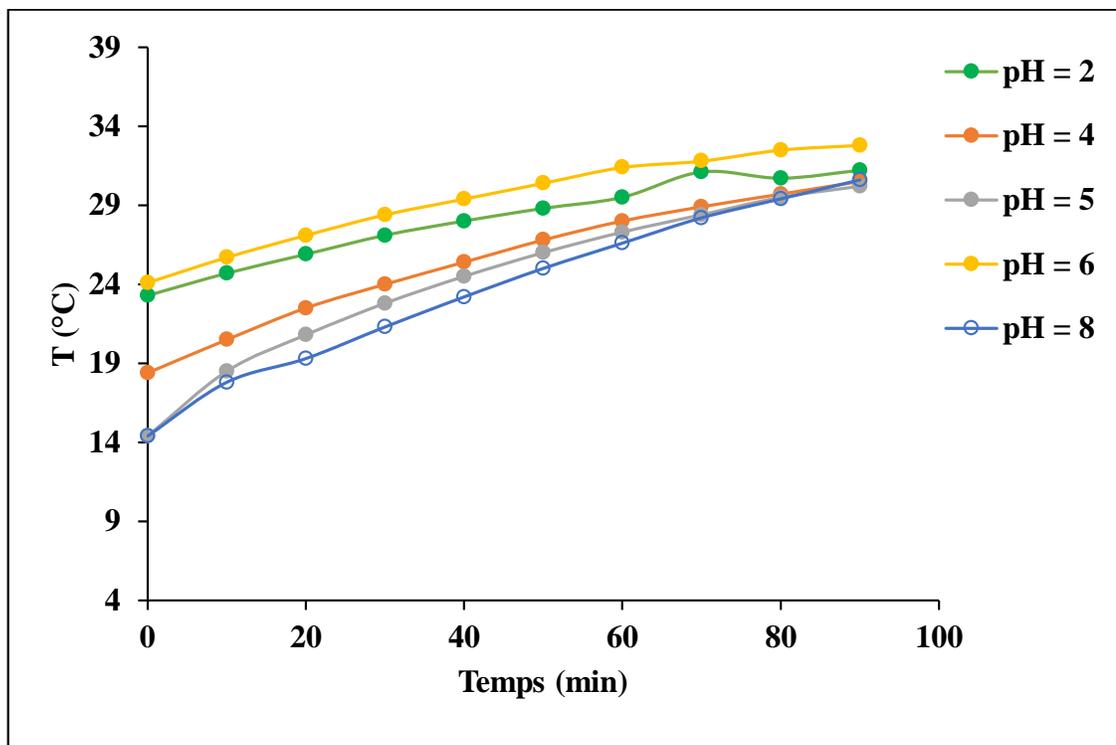


Figure 3.3. Variation de température de lixiviat en fonction du temps

Nous remarquons une légère augmentation de pH au cours du processus d'électrocoagulation. Cette augmentation est due à la formation des ions hydroxydes produits à la cathode par la réduction de l'eau ou par la libération des ions OH^- issus de l'échange partiel des Cl^- avec les OH^- de $\text{Al}(\text{OH})_3$ [27]. Des chercheurs ont montré que durant le processus d'électrocoagulation, le pH de l'eau augmente approximativement d'une unité [28].

Nous remarquons aussi une diminution de la conductivité due à élimination des ions et augmentation de la température due à la chaleur résultant à la tension électrique appliquée.

Tableau 3.2. Caractérisation physico-chimique de lixiviat traité à différentes valeurs de pH

<i>pH</i>	2	3	4	5	6	8
<i>R % d'élimination</i> <i>DCO</i>	72.72	87.5	78.26	60	55.55	52.94
<i>R% d'élimination</i> <i>NO₃⁻</i>	65.64	82.24	87.83	87.10	77.48	44.12
<i>R% d'élimination</i> <i>PO₄⁻³</i>	62.02	71.68	96.49	97.94	96.30	74.50

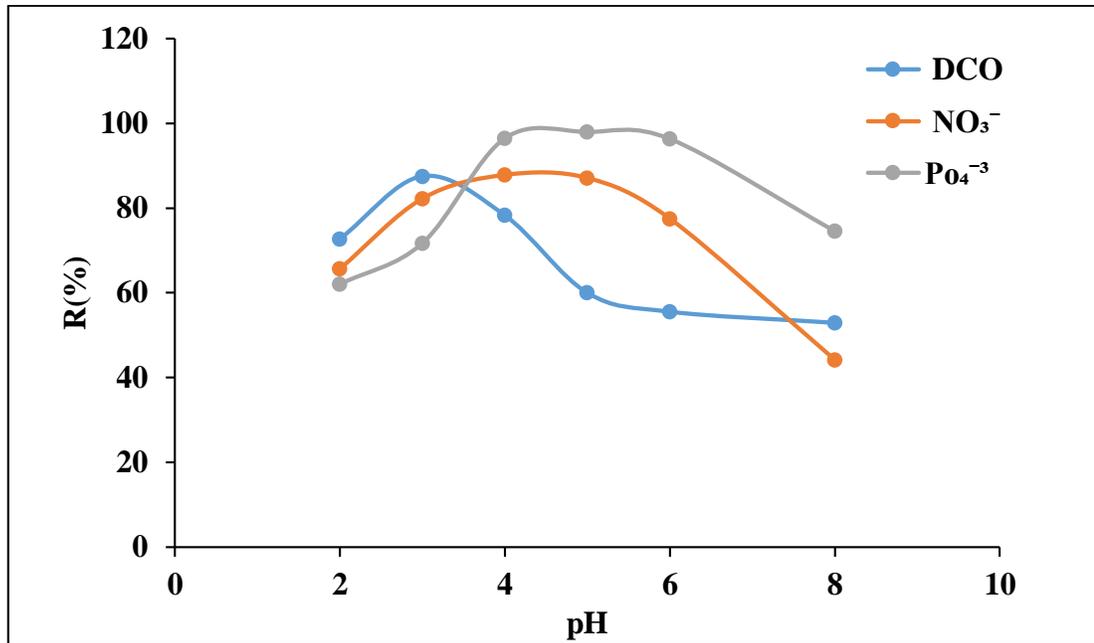


Figure 3.4. Variation de rendement d'élimination en fonction de pH

Dans cette partie, l'influence du pH initial sur l'abattement de DCO et l'élimination de orthophosphate est illustrée par la figure 3.4 pour une densité de courant et une conductivité initiale fixées. Un optimum de pH initial a été trouvé 4, bien qu'une légère différence soit notée entre les maximums d'abattement de DCO et la réduction de l'absorbance.

D'autres travaux précisent que cette évolution dépend du pH initial et des capacités tampons de la solution, en raison de la production et la consommation des ions OH⁻ au cours de l'EC, ce qui permet d'éviter une variation brusque du pH [17].

- ✓ Pour un pH faible d'environ 2-3, les espèces cationiques monomères Al³⁺ et Al(OH)₂⁺ sont prédominantes.
- ✓ Lorsque le pH est compris entre 4 et 9, les Al³⁺ et les OH⁻ produits par les électrodes réagissent pour former différentes espèces oligomériques telles que Al₆(OH)₁₅⁺³, Al₇(OH)₁₇⁺⁴, Al₁₃(OH)₃₄⁺⁵, pour se transformer finalement en un composé amorphe insoluble dans l'eau : Al(OH)₃, via une cinétique de polymérisation / précipitation complexe [17].

3.2.2. Effet de la dilution de lixiviat

Dans la seconde partie, on fait une dilution de lixiviat brute (25%-100%) et on fixe les autres paramètres ($I = 0.5 \text{ A}$, $\text{pH} = 4$, $V = 400 \text{ tr/min}$, $e = 2 \text{ cm}$, et $t = 90 \text{ min}$, les résultats trouvés sont mentionnés dans les figure 3.5-3.7. L'analyse des résultats obtenus pour ce qui concerne l'évolution de pH, de conductivité et de température en fonction de temps à différentes dilutions indique que les mêmes constatations (pH et température augmentent alors que la conductivité diminuée) sont retenues que celles de l'effet de pH.

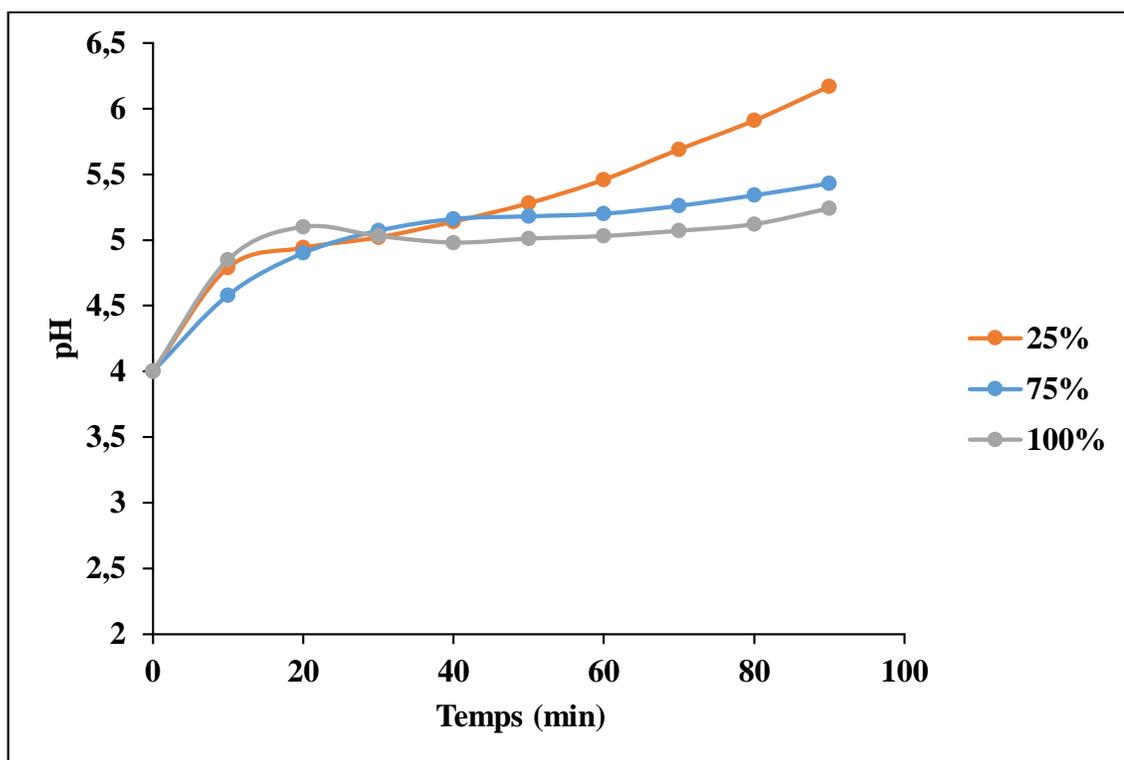


Figure 3.5. Variation de pH de lixiviat en fonction du temps à différentes dilutions

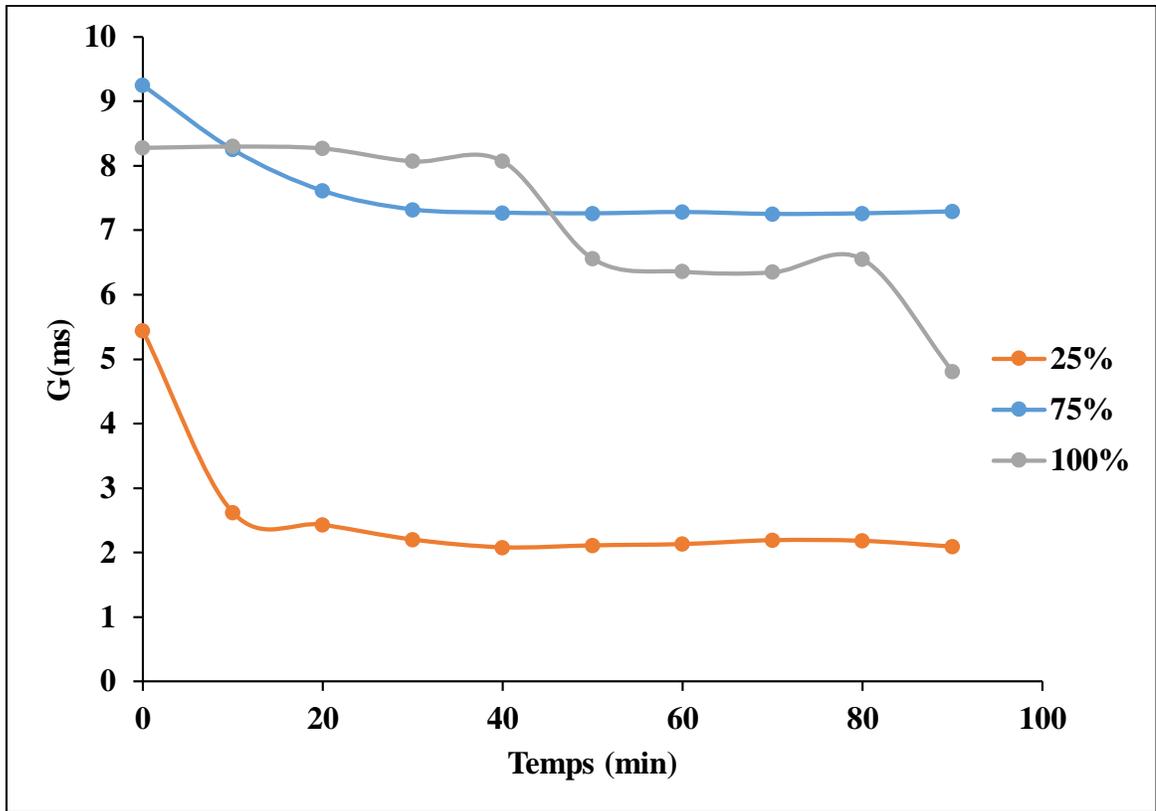


Figure 3.6. Variation de conductivité de lixiviat en fonction du temps à différentes dilutions

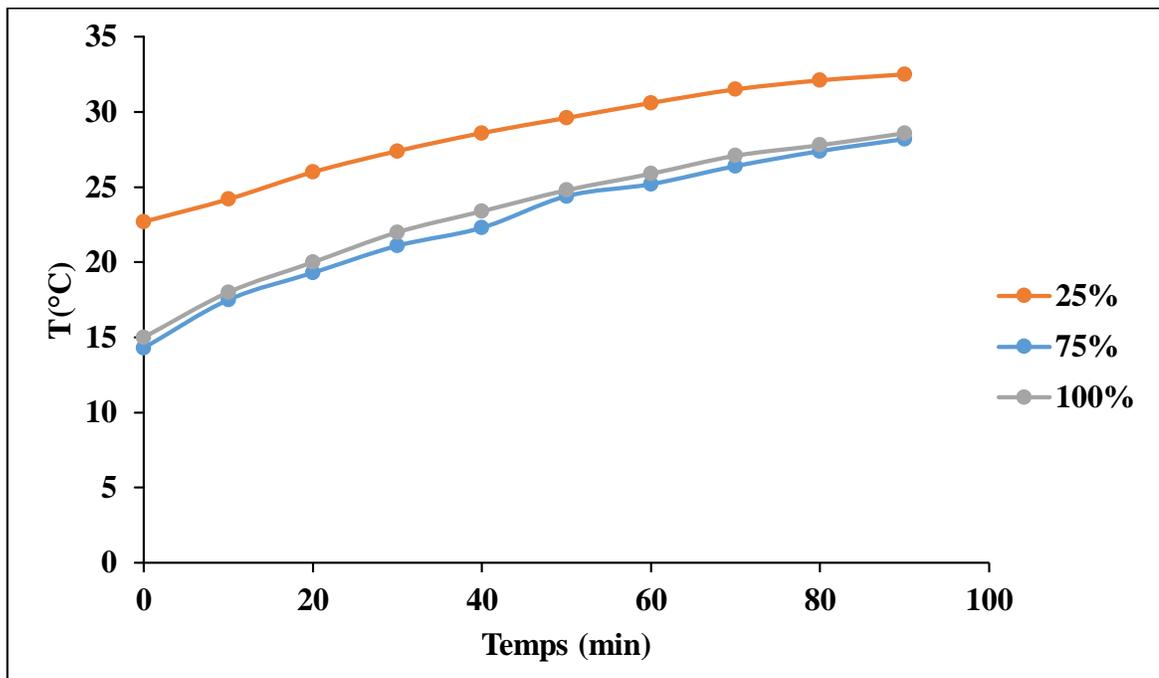


Figure 3.7. Variation de température de lixiviat en fonction du temps à différentes dilutions

Tableau 3.3. Caractérisation physico-chimique de lixiviat traité à différentes dilutions

Dilution	25 %	50%	75%	100%
R % d'élimination DCO	87.5	78.26	72.22	65.38
R% d'élimination NO₃⁻	90	87.83	85.68	85.92
R% d'élimination PO₄⁻	98.78	96.49	95.29	86.93

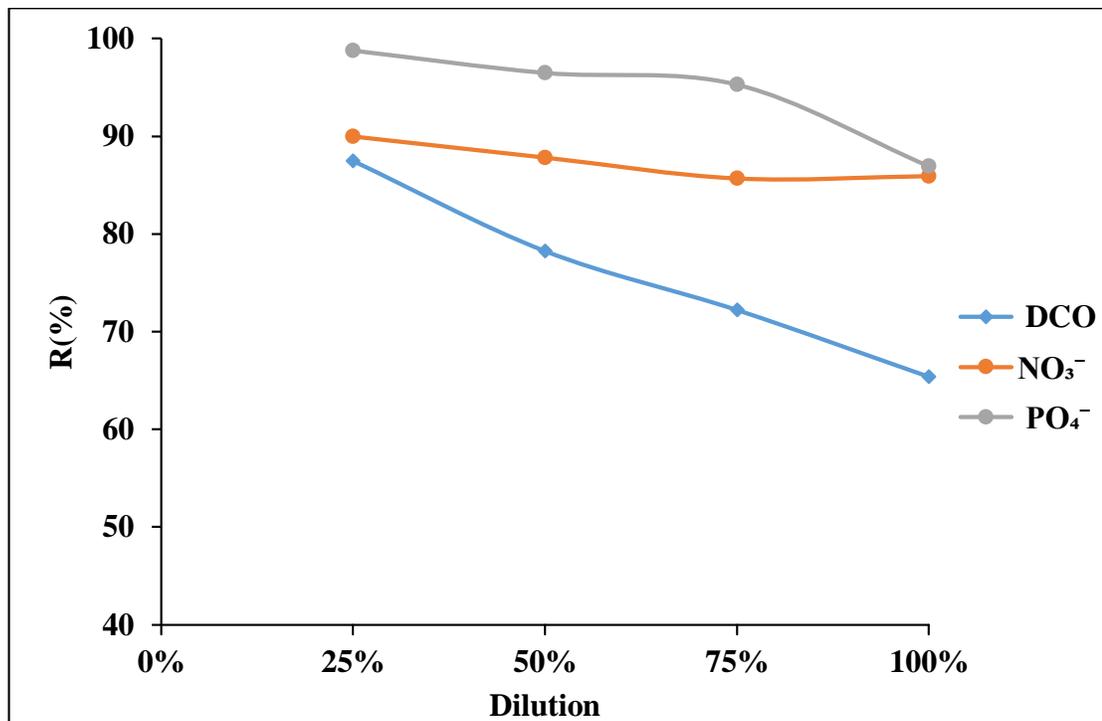


Figure 3.8. Variation de rendement d'élimination en fonction de la dilution de lixiviat

D'après la figure 3.8, Nous remarquons que le meilleur rendement d'élimination de DCO, de nitrate et d'orthophosphate est obtenu pour une dilution de 25%. Les rendements récoltés sont respectivement 87%, 90%, 98%.

3.2.3. Effet de la distance entre les électrodes

Dans cette partie, nous avons varié la distance entre les électrodes (1- 4 cm) et fixé les autres paramètres (pH = 4, dilution 25%, I = 0.5A, V = 400tr/min) les résultats représenté dans les figure 3.9-3.11.

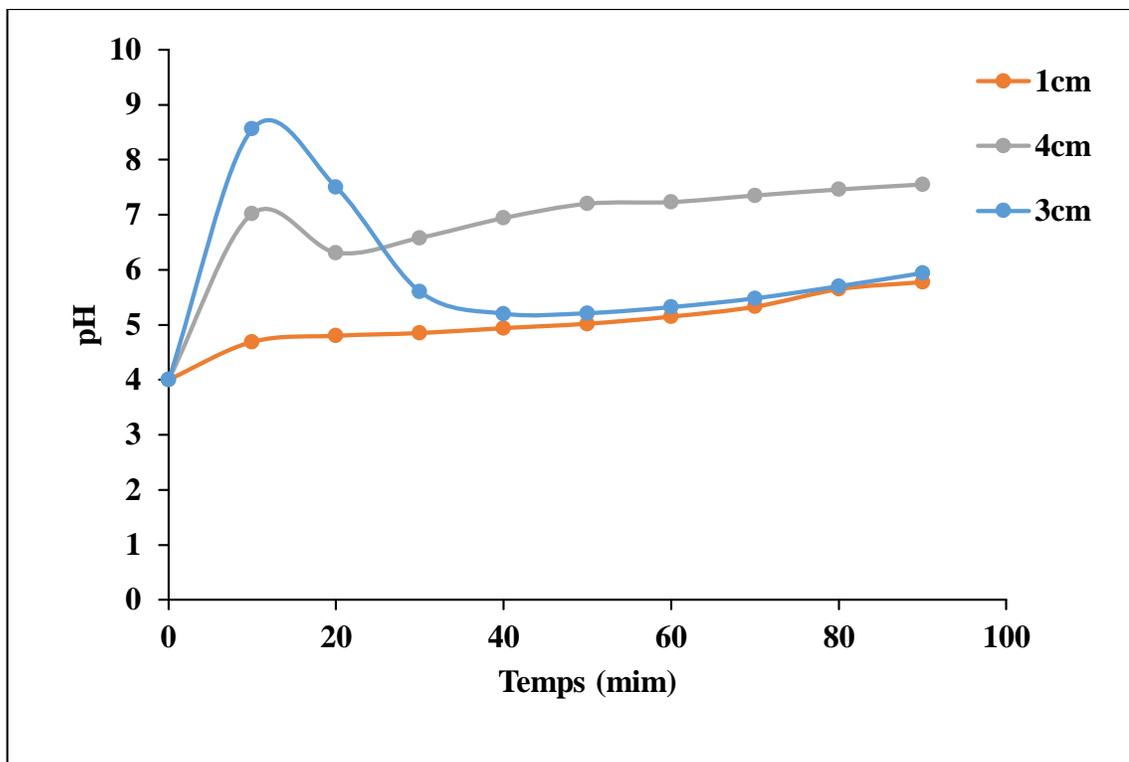


Figure 3.9. Variation de pH de lixiviat en fonction du temps à différents épaisseurs

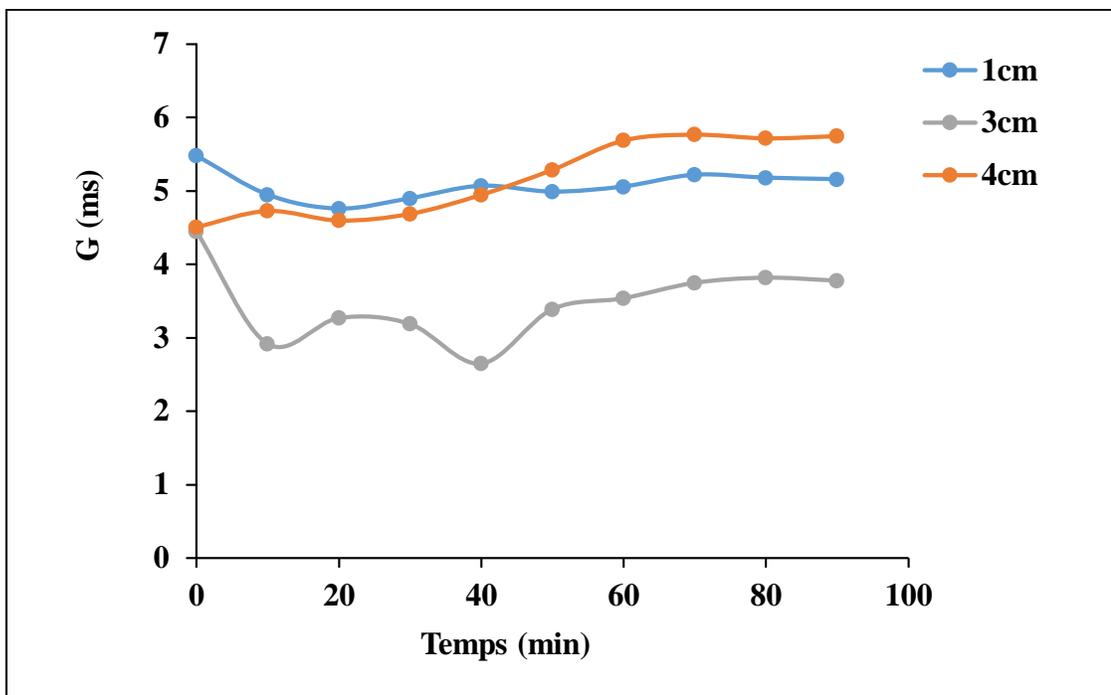


Figure 3.10. Variation de conductivité de lixiviat en fonction du temps à différents épaisseurs

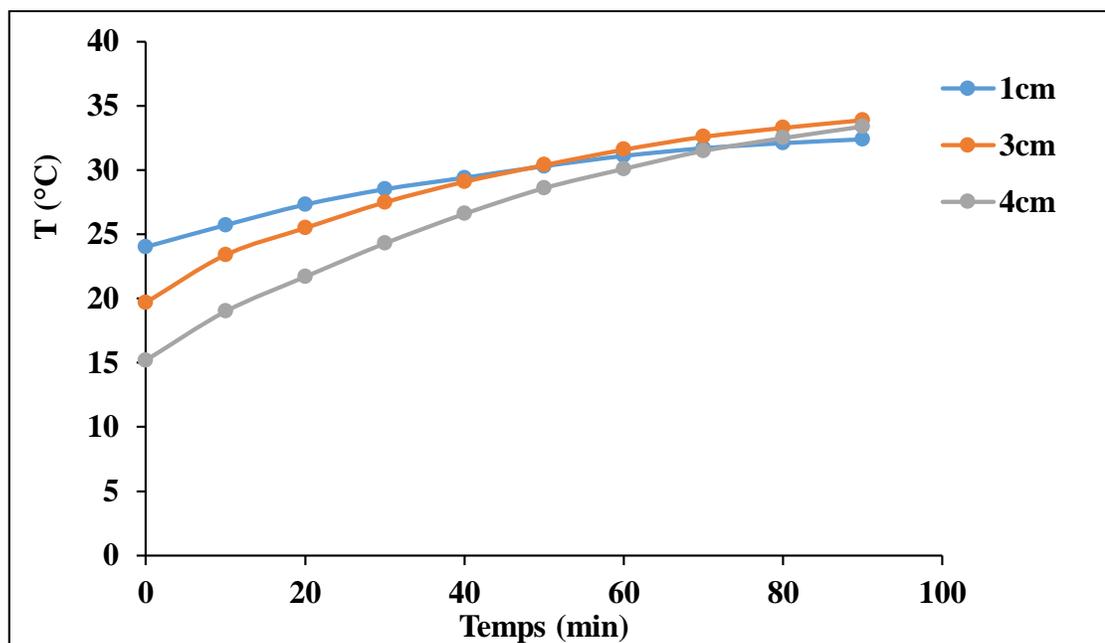


Figure 3.11. Variation de température de lixiviat en fonction du temps à différents épaisseurs

La lecture de ces différents résultats, montre que le même comportement en termes d'évolution de ces différents paramètres physico-chimiques en fonction de temps est remarqué.

La figure 3.12 suggère que le bon rendement d'élimination est obtenu pour une distance inter-électrode de 2 cm.

Tableau 3.4. Caractérisations physico-chimique de lixiviat traité à différentes épaisseurs

Epaisseur (cm)	1	2	3	4
R% d'élimination DCO	26.28	87.5	75.42	62.5
R% d'élimination NO_3^-	64.14	90	73.97	81.84
R% d'élimination Po_4^{-3}	84.58	97.45	85.36	96.56

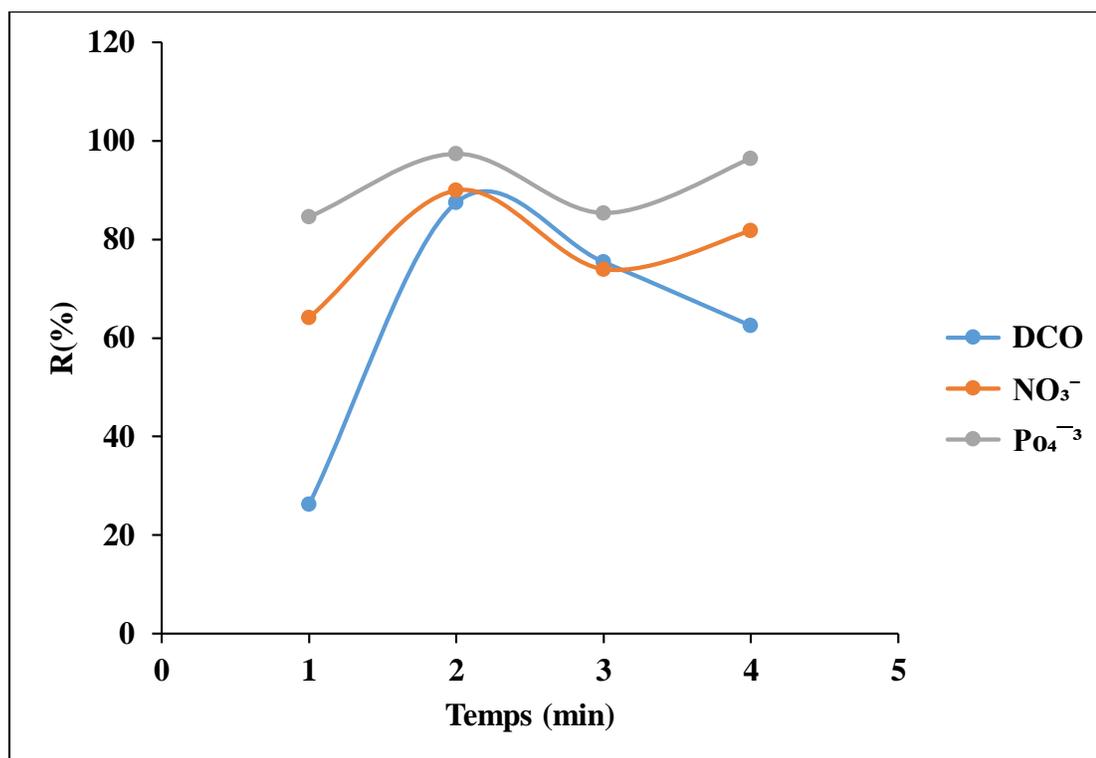


Figure 3.12. Variation de rendement en fonction de la distance entre les électrodes

3.2.4. Effet du temps

Après avoir établi la valeur optimale de l'épaisseur entre les électrodes (2 cm), on procède par la suite à la variation des durées d'électrolyse (1 heure-4heure). Les paramètres fixés sont : pH = 4, I = 0.5A, V = 400 tr/min, e = 2 cm. Les figures 3.13-3.15 représenté les résultats trouvés après traitement.

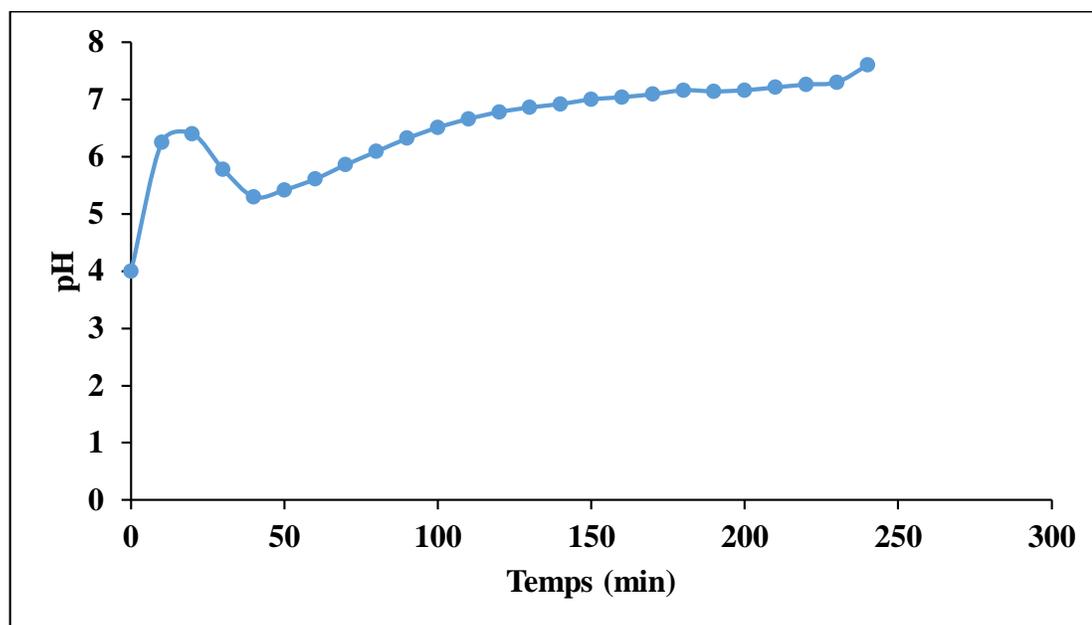


Figure 3.13. Variation de pH de lixiviat en fonction du temps

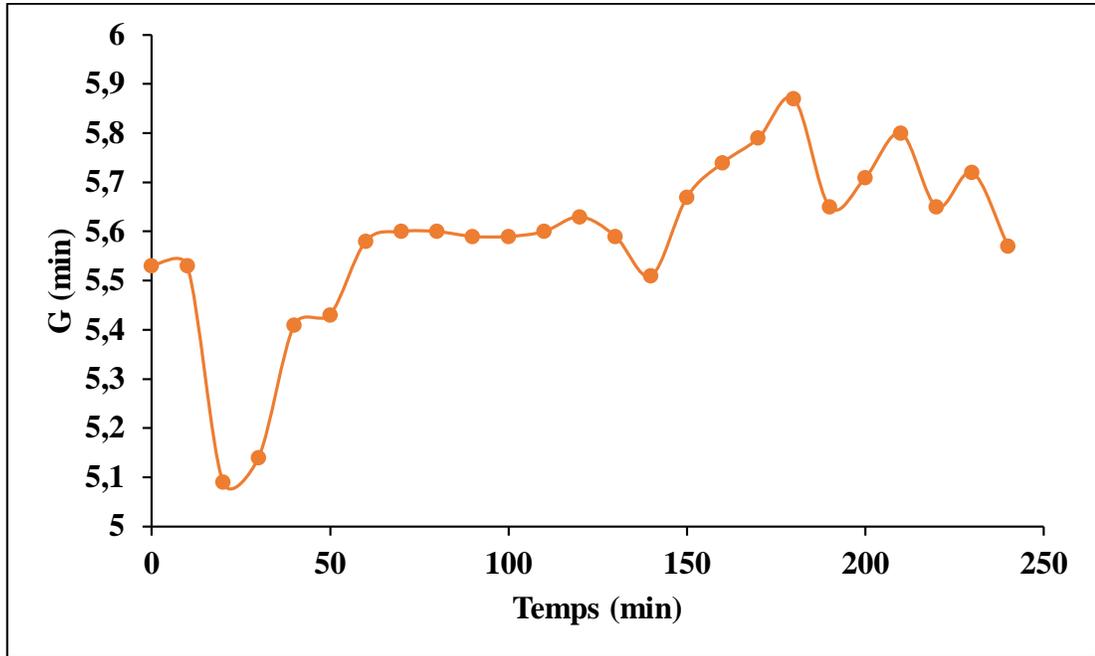


Figure 3.14. Variation de conductivité de lixiviat en fonction du temps

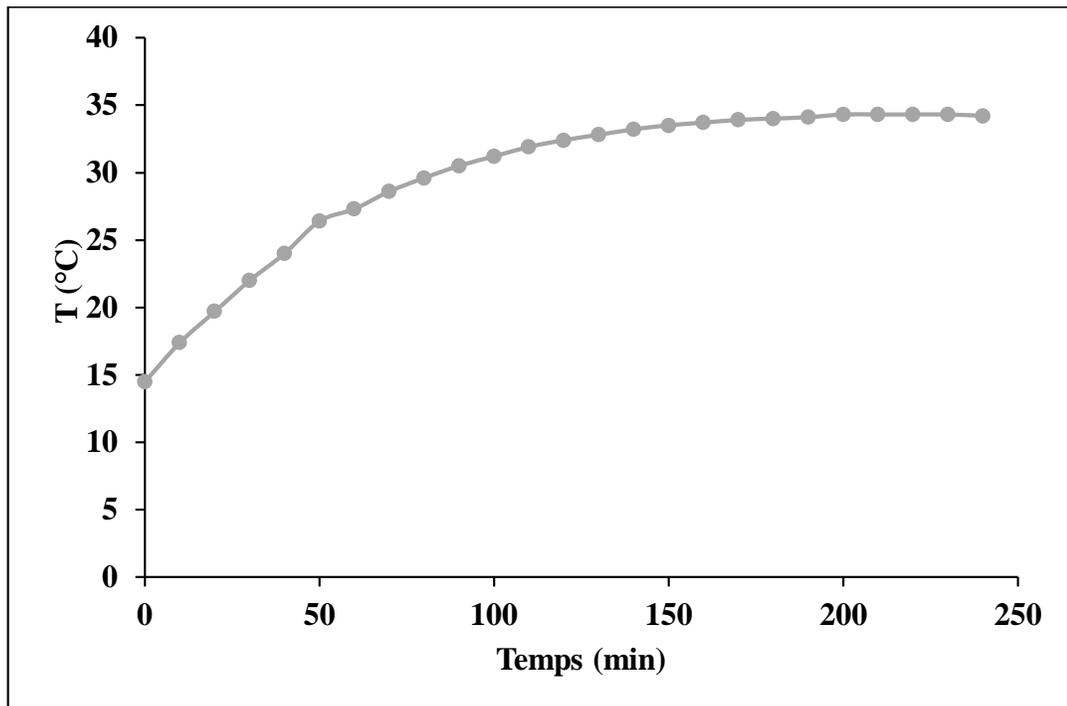


Figure 3. 15. Variation de température de lixiviat en fonction du temps

Des résultats obtenus, on remarque dans les figures 3.13-3.15 le pH, la conductivité et la température augmentent avec le temps.

Tableau 3.5. Caractérisation physico-chimique de lixiviat traité en fonction du temps

Temps (h)	1 h	1 :30h	2h	3h	4h
R% d'élimination DCO	87.5	87.5	62.5	50	25
R% d'élimination NO₃⁻	27.08	90	81.84	75.64	80.03
R% d'élimination PO₄³⁻	94.45	97.75	91.13	84.58	64.52

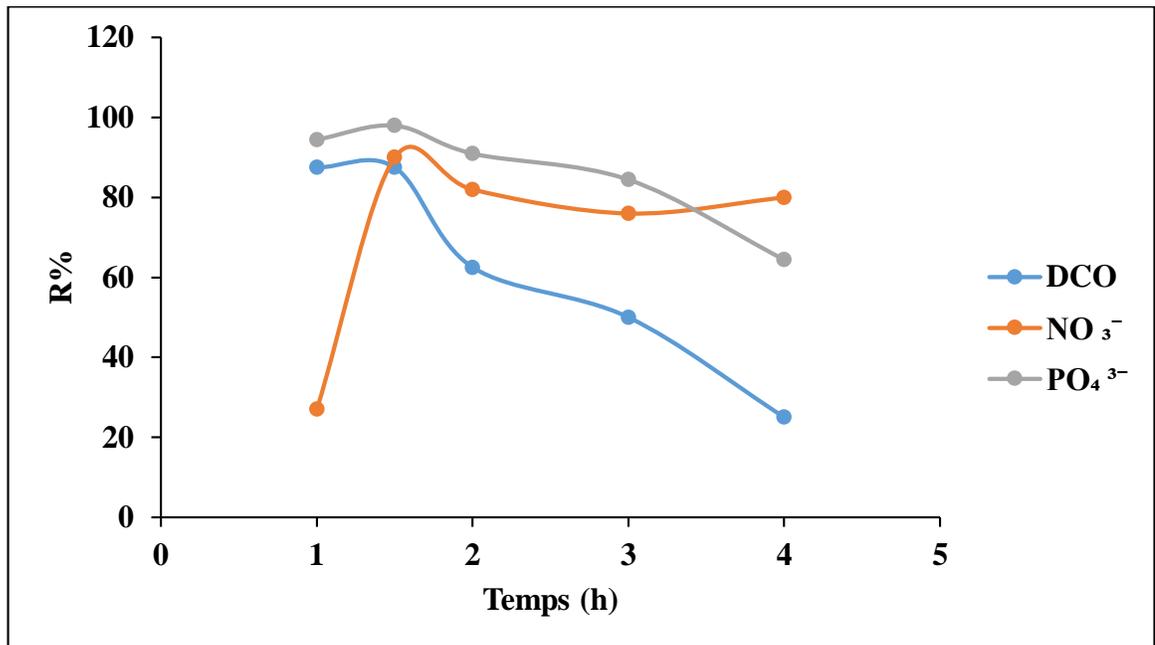


Figure 3.16. Variation de rendement d'élimination en fonction du temps

On remarque dans la figure 3.16 que la meilleure élimination de la DCO, de nitrate et de orthophosphate est atteinte après 1h30min (90 min) de traitement.

3.2.5. Effet de l'intensité de courant

La densité de courant est jugée comme un paramètre essentiel en électrocoagulation spécifiquement pour la cinétique d'abattement de DCO et celle de décoloration.

Dans cette partie, nous nous sommes intéressés à la variation de l'intensité de courant (0.3-0.9 A), afin d'étudier son effet sur le taux de dépollutions. Toute en fixant paramètre les autres constant $e=2\text{cm}$, $V=400\text{ tr/min}$, $\text{pH}=4$, $t=90\text{ min}$, la dilution 25% de lixiviat. Les figures 3.17-3.19 illustrent les résultats trouvés après traitement avec différents intensité.

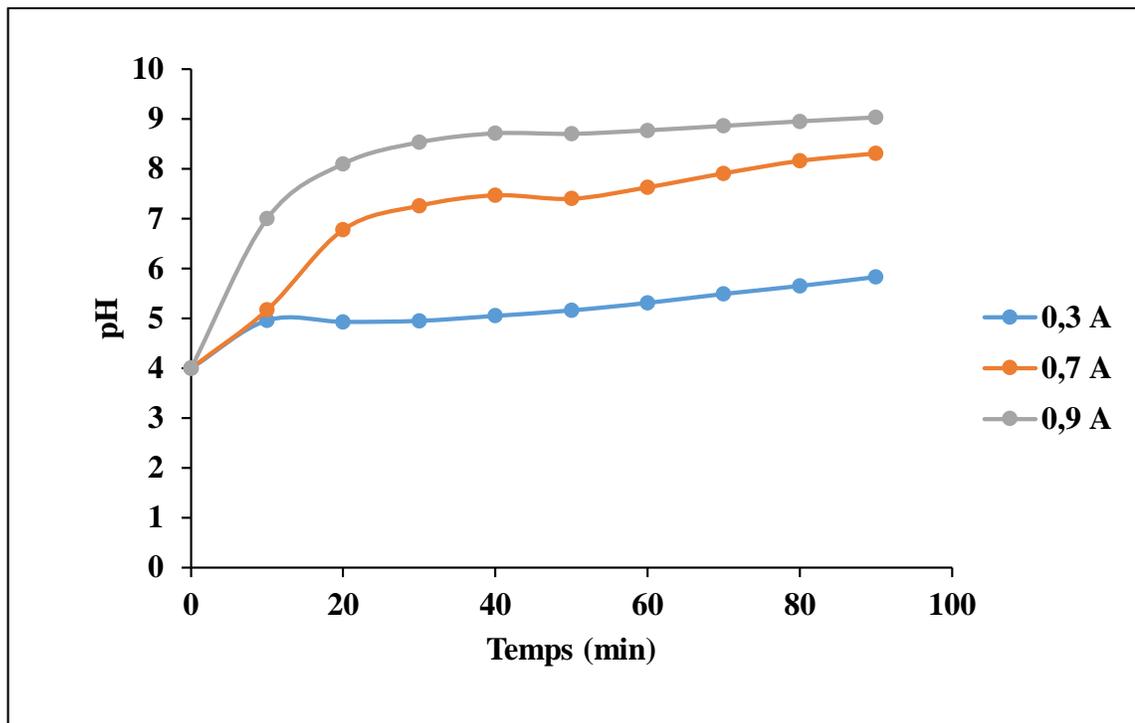


Figure 3.17. Variation de pH de lixiviat en fonction du temps à différents l'intensités

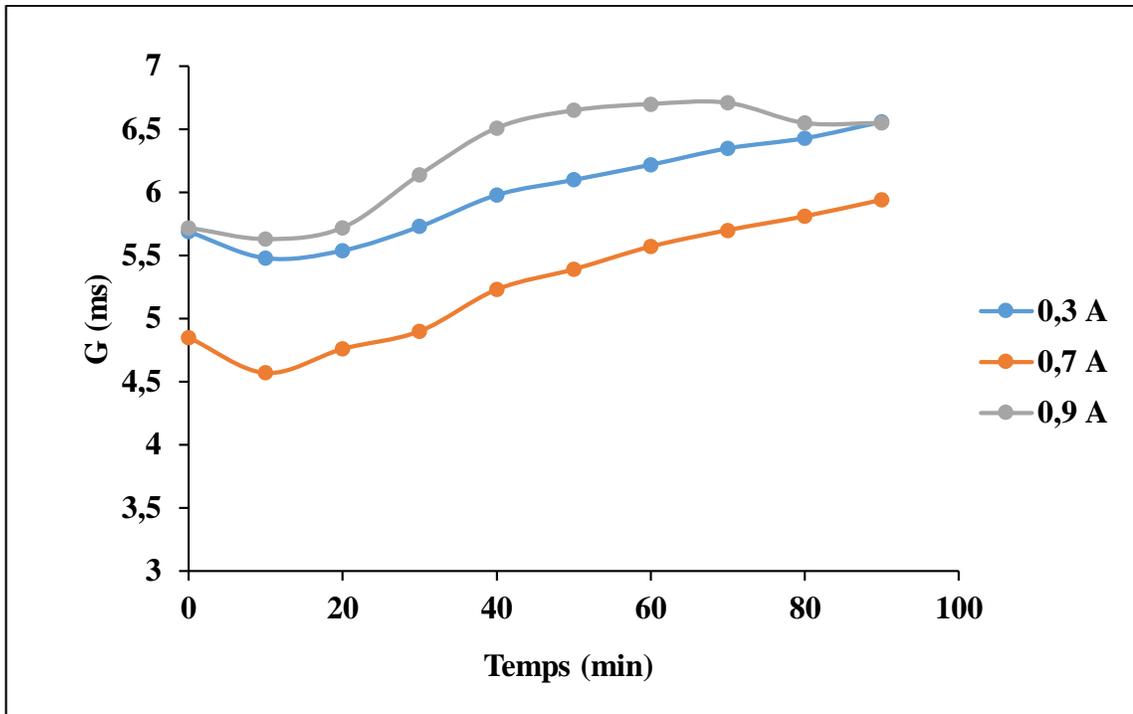


Figure 3.18. Variation de conductivité de lixiviat en fonction du temps à différents l'intensités

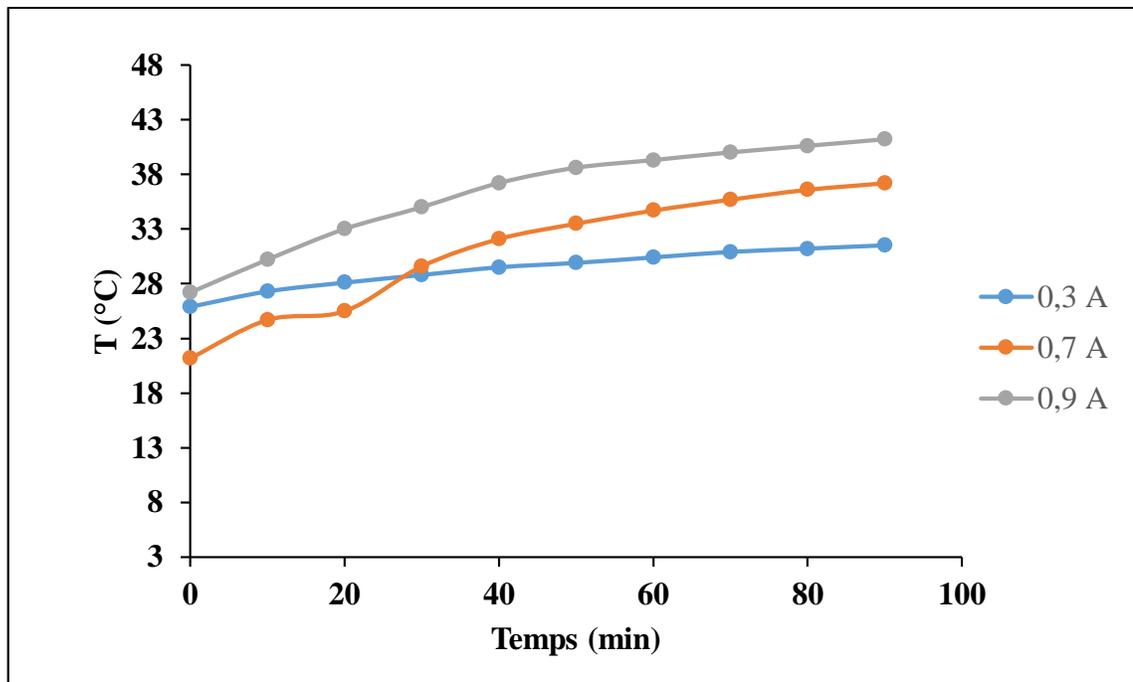


Figure 3.19. Variation de température de lixiviat en fonction du temps a à différents l'intensités

On constate que le pH augmente au cours du traitement cette augmentation est d'autant plus importante que l'intensité de courant est élevée [25].

Par ailleurs en remarque que plus l'évolution de l'intensité élevée plus que la température augmente.

Tableau 3.6. Caractérisation physico-chimique de lixiviat traité à différentes intensités

L'intensité (A)	0.3	0.5	0.7	0.9
R% d'élimination DCO	75	86.7	87	87.5
R% d'élimination NO ₃ ⁻	37.59	90	62.93	65.65
R% d'élimination PO ₄ ⁻³	95.85	98.78	98.18	97.27

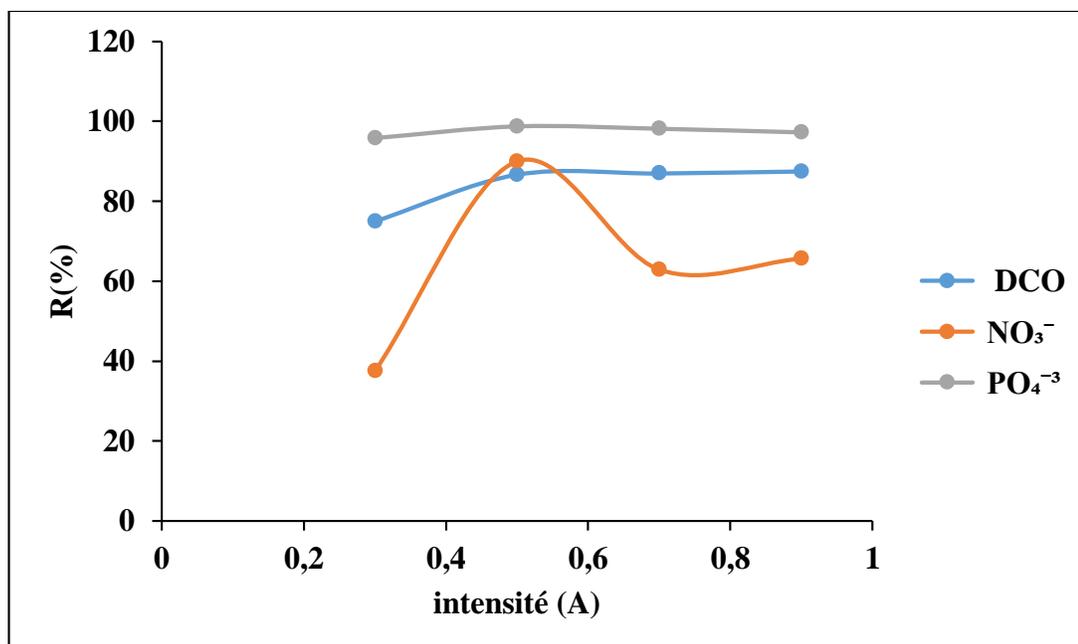


Figure 3.20. Variation de rendement d'élimination en fonction du temps

Pour les électrodes étudiées et quelles que soient les valeurs des densités de courant et la nature de l'effluent, la DCO des effluents diminue de façon régulière avec le temps de traitement pour atteindre une valeur résiduelle supérieure à 0. Plus la densité de courant appliquée est élevée et plus cette valeur résiduelle de DCO est atteinte rapidement.

On peut conclure que les résultats de traitement de lixiviat par électrocoagulation trouvés en utilisant les électrodes en aluminium, sont très intéressants. Les taux d'élimination de DCO, des nitrates et des phosphates sont 86, 90 et 98% respectivement pour les conditions optimales suivantes : $t = 90$ min, $pH = 4$, $I = 0.5$ A, $V = 400$ tr/min et $e = 2$ cm.

3.3. Traitement de lixiviat par les anodes hybrides

Après avoir défini les paramètres optimaux dans la première partie pour un meilleur traitement, nous nous sommes intéressés à tester des anodes hybrides dans le souhait d'améliorer plus notre traitement. L'idée c'est de fixer la nature de la cathode (en acier inoxydable) et de travailler avec une combinaison des anodes de nature différente.

On place 5 électrodes : trois électrodes en acier inoxydable comme cathode et l'anode peuvent être composée de deux plaques en aluminium (Al/Al) et une en fer, les deux en fer (Fe/Fe) et une en aluminium et l'autre en fer (Al/Fe).

Les résultats obtenus avec les différentes hybridations sont regroupés dans les tableaux 3.7-3.9.

Tableau 3.7. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour l'anode Al/Al

t(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	4	4.48	4.58	5.02	5.14	5.23	5.32	5.43	5.57	5.7
G(ms)	11.21	10.9	10.91	10.92	11	11.17	11.4	11.54	11.92	12.24
T (°C)	24.6	26	27.1	28.1	28.7	29.4	29.9	30.5	31	31.4

Tableau 3.8. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour l'anode Al/Fe

t(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	4	4.48	4.89	5.33	5.91	6.19	6.50	6.78	6.85	7.01
G(ms)	13.02	11.47	11.34	11.45	11.74	11.83	12.07	12.26	12.32	12.63
T (°C)	27.8	28.4	29	29.5	29.9	30.2	30.6	31	31.2	31.4

Tableau 3.9. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour l'anode Fe/Fe

t(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	4	4.60	5.22	5.98	7.12	7.54	7.66	7.75	7.85	7.89
G(ms)	11.92	11.62	11.94	12.22	12.36	12.53	12.67	12.81	13.08	13.08
T (°C)	27.02	28.1	28.7	29.2	29.6	29.9	30.3	30.7	31.1	31.2

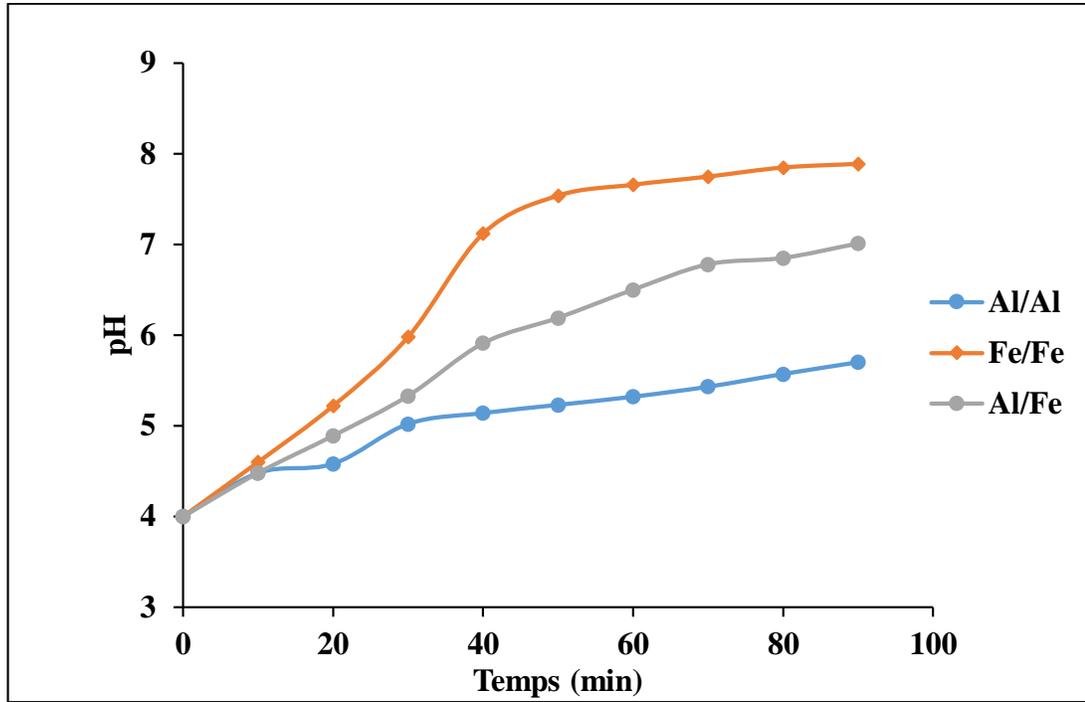


Figure 3.21. Variation de pH de lixiviat en fonction du temps

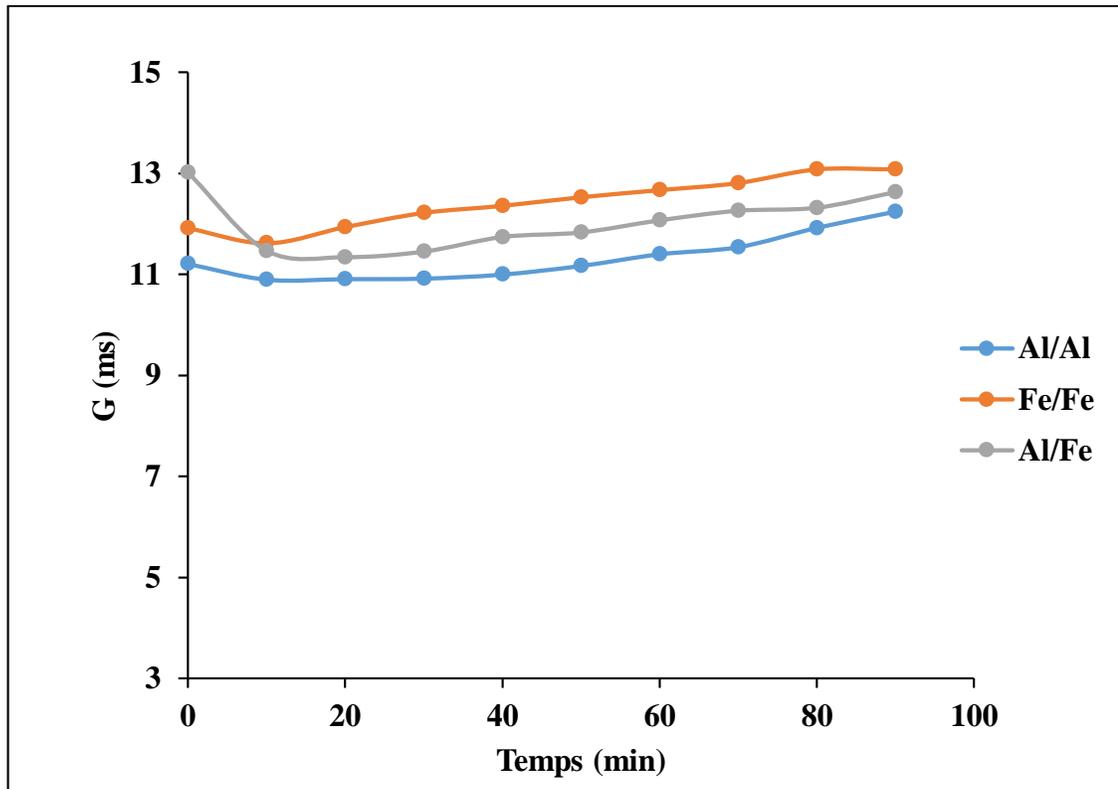


Figure 3.22. Variation de conductivité de lixiviat en fonction du temps

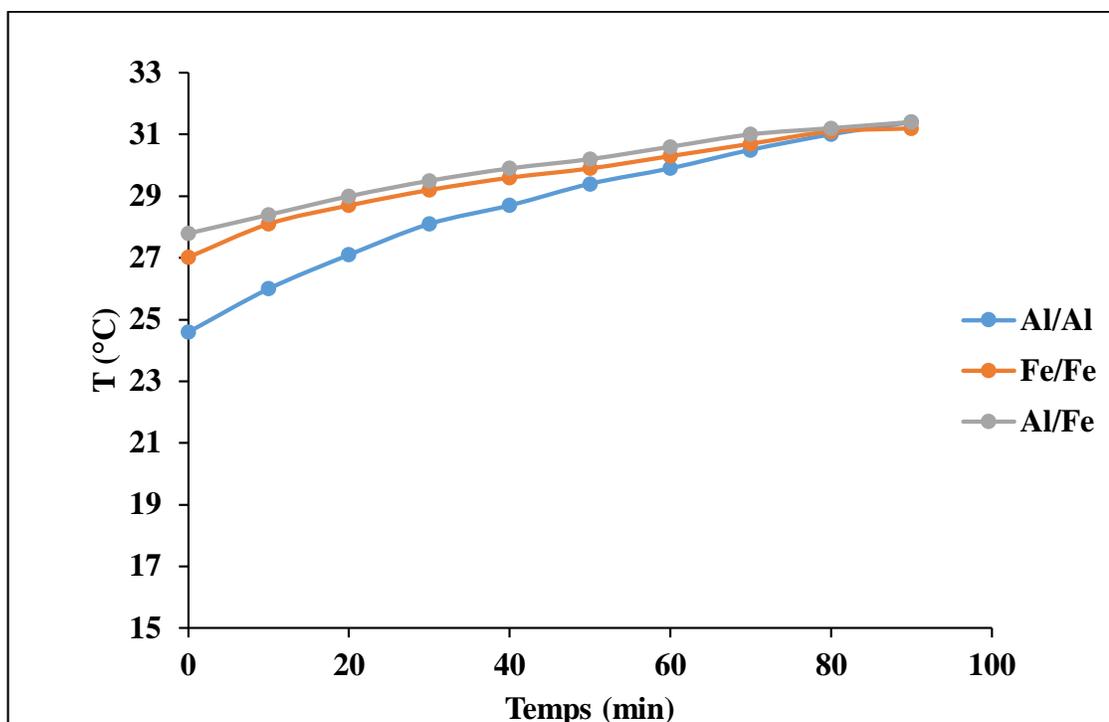


Figure 3.23. Variation de température de lixiviat en fonction du temps

Pour les deux matériaux d'électrode, on constate une stabilisation du pH avec le temps due au pouvoir tampon de l'aluminium alors qu'il augmente plus dans le cas du fer.

Cette augmentation du pH quel que soit le matériau d'électrode est due à la production d'ions OH^- par la cathode.

L'analyse de la figure 3.21, illustre une augmentation rapide de pH au début de traitement, après il se stabilise pour l'électrode hybride (Fe/Fe) alors que pour les autres électrodes la variation est plus régulière.

D'après la figure 3.22, la conductivité présente une légère diminution, puis une augmentation et enfin une stabilisation.

Tableau 3.10. Caractérisations physico-chimiques de lixiviat traité avec les anodes hybrides

<i>Nature d'électrode</i>	<i>Al/Al</i>	<i>Al/Fe</i>	<i>Fe/Fe</i>
<i>R% d'élimination DCO</i>	75.09	70.83	66.66
<i>R% d'élimination NO₃⁻</i>	87.76	73.93	67.04
<i>R% d'élimination PO₄³⁻</i>	98.27	98.11	71.66

D'après les résultats de tableau 3.10, nous remarquons que le meilleur rendement d'abattement de la DCO (75.09%) et l'élimination de nitrate (87.76%) et orthophosphate (98.27%) est obtenu avec les électrodes hybrides Al/Al.

La figure 1.24 représenté la couleur de lixiviat avant et après traitement.

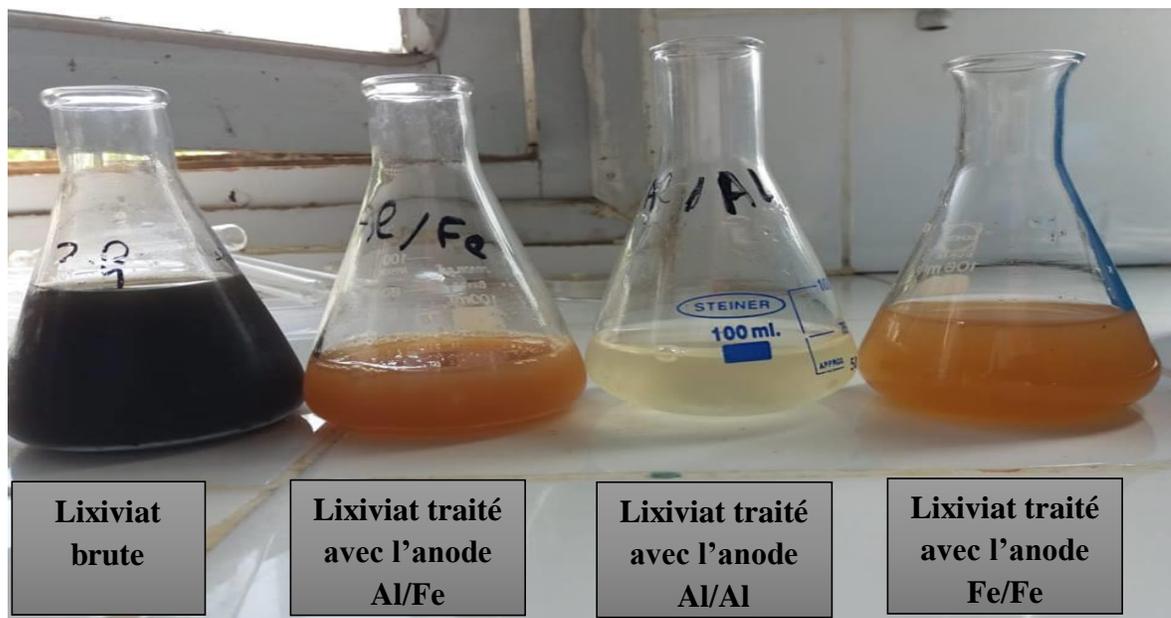


Figure 3.24. Couleur de lixiviat avant et après traitement

CONCLUSION

L'objectif de cette étude consiste à optimiser les paramètres opératoires à savoir : pH, intensité de courant, distance entre électrodes et temps d'électrocoagulation pour le traitement de lixiviat par l'électrocoagulation d'une part, et de tester les conditions optimales obtenues dans le traitement de lixiviat par les anodes hybrides d'autres part. Les paramètres caractéristiques de notre charge polluante après traitement sont : la demande chimique en oxygène et la quantité en nitrates et en orthophosphate et mesure de température, pH, et la conductivité.

L'analyse des résultats trouvés, nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

1. Les conditions optimales de traitement de Lixiviat sont : pH= [4], V=400tr/min, e=2cm, t=90 min et I=0.5A et 25% de dilution.
2. Pour ces conditions optimales et avec cathode et anode en aluminium, les taux d'élimination de DCO, des nitrates et des phosphates sont 86, 90 et 98% respectivement.
3. Le meilleur rendement d'élimination en DCO (75.09%) et en nitrate (87.76%) et en orthophosphate (98.27%) est obtenu avec les électrodes hybrides Al/Al. Et donc, le traitement avec les électrodes hybrides est très approprié pour l'élimination de DCO, orthophosphate et nitrate.

Perspective :

Pour la suite de cette étude :

- Nous souhaite augmenter le nombre d'anodes.
- Étudier l'effet des différentes hybridations possibles sur le rendement de traitement
- Étudier les mécanismes misent en jeu au cours de traitement par les anodes hybrides.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] **OUMAR DIA.**, "Combinaison des procédés de biofiltration et d'électrocoagulation pour le traitement des lixiviats des sites d'enfouissement sanitaires", Thèse de doctorat. Université du Québec, 2017.
- [2] **TRABELSI. S.**, "Etudes de traitement des lixiviats des déchets urbains par les procédés d'oxydation avancée photochimiques et électrochimiques : application aux lixiviats de la décharge tunisienne (Jebel Chakir) ", Thèse de doctorat. France, 2011.
- [3] **CHETIOUL.N, CHETIOUL.S.**, "Traitement de lixiviat du CET de Tébessa par électrocoagulation", Mémoire de master. Algérie , 2016.
- [4] **JACQUES BOURGOIS, OLIVIER THOMAS.**, "Les lixiviats de décharges d'ordures ménagères genèse, composition et traitements", Article. Mars, 2015.
- [5] <http://lavalorisationdesdechets.e-monsite.com/pages/des-dechets-au-biogaz-en-passant-par-les-csdu/le-centre-de-stockage-des-dechets-et-son-fonctionnement.html#YGRxzxWwwPWDkBO.99>
- [6] **BENSAAD.S.**, Article. El watan. Alger, le 12.02.2012.
- [7] **Dr. BESSENASSE.M** Revue Agrobiologia 2012 ; N°3 ; 71-76 Realites des centres d'enfouissement techniques en Algérie : cas de CET de Soumaa (W. Blida).
- [8] **JACQUES BOURGOIS, OLIVIER THOMAS.**, "Les lixiviats de décharges d'ordures ménagères genèse, composition et traitements", Article. Mars, 2015.
- [9] **DIA.O, DROGUL.P, DUBE.R et BUELNA.G.**, "Utilisation des procédés électrochimiques et leurs combinaisons avec les procédés biologiques pour le traitement des lixiviats de sites d'enfouissement sanitaires", Revue de littérature. Revue des sciences de l'eau 29(1), 63-89 doi : 10.7202/1035717ar. Article , 2016.
- [10] **HARITIM.M.**, "Traitement du lixivias par procédé électrochimique", Mémoire de Magister. ENP Alger , 2010.

[11] **LESSOUED.R, SOUAHI. F** Ouargla Evaluation de la pollution des lexiviats de la décharge d Ouled Fayet et proposition d'un traitement. Article 2013.

[12] **EMILIE BELLE.**, "Evolution de l'impact environnemental de lexiviat d'ordure ménagère sur les eaux superficielles et souterraines, approche hydrobiologique et hydrogéologique. Site d'étude : décharge de Dufffont (Territoire de Belfort –France)", Thèse de doctorat. Hydrologie. Université de Franche-Comté, 2008.français.

[13] Agrandissement du lieu d'enfouissement technique de Saint-Nicéphore étude d'impact sur l'environnement 9-7 05-18215-décembre 2010.

[14] **YOUSOFF MOHD SUFFIAN.**, "Treatment of Leachate by Electrocoagulation Technique Using Iron And Hybrid Electrodes ", Article. Novembre, 2014.

[15] **PHILIPPE MOULIN.**, "Les filières classiques de traitement des lexiviats Article in eau l'industrie, les nuisances", January 2008.

[16] **LALLA AICHA REGGANI, NOUSSAIBA BENSACI.**, "Optimisation statistique du traitement de lexiviat de Laghouat par électrocoagulation" Mémoire de master. 2016.

[17] **MOUNIR BENNAJAH.**, "Traitement des rejets industriels liquides par électrocoagulation/électrolocation en réacteur airlift" Thèse de doctorat, 2007.

[18] " Déchets ménagers et traitement de lixiviat " , Extrait d'un master, 12-2008.

[19] **Bollina**, Possibilities of the electric coagulator for water treatment. Water and Sewage, 3, 21-25, (1947).

[20] **W. S. HOLDEN**, Electrolytic dosing of chemicals. Proceedings of the society of Water Treatment and Examination, 5, 120-128 (1956).

[21] **S. E. Sadek**, An electrochemical method for removal of phosphates from wastewaters. Federal Water Quality Administration of United States, Dept of interior, rapport PB- 217, 27 (1970).

[22] **C. A. Backes, E. Tipping**, Aluminium complexation by Aquatic Humic fraction under acidic conditions. Water Res., 21, 211-216 (1987).

[23] **GOUSMI NAWEL.**, "Étude paramétrique du traitement de microémulsion d'huile de coupe par le procédé d'électrocoagulation" mémoire de magister, Alger 2011.

[24] **GOUSMI.N, BENSADOK.K.**, "Etude de l'applicabilité du procédé d'électrocoagulation pour le traitement de rejets pétroliers". Article octobre 30-31, 2016.Constantine. Alegria.

[25] **I.ZONGO.** "Etude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation : application au traitement de deux effluents textiles et d'un effluent simulé de tannerie" Thèse de doctorat, 2009.

[26] **S. ZODI** "Étude de l'épuration d'effluents de composition complexe par électrocoagulation et des couplages intervenants entre le traitement électrochimique et l'étape de séparation : application à l'industrie textile et papetière " thèse de doctorat ,2012.

[27] **R.LESSOUED, F.SOUAHI** "optimisation du traitement de lixiviat par électrocoagulation " Alger.

[28] **M.AOUDJEHANE, M.REZZOUK, A. KELLIL, Y. AURELLE et C.GUIGUI**

" étude comparative de l'électrocoagulation et la coagulation floculation vis-à-vis de la déstabilisation d'une émulsion d'huile de coupe " article Revue des sciences de l'eau, 23(1), 17–30. doi:10.7202/038922ar 2010.

[29] **JEAN RODIE** « analyse de l'eau » 9^{em} édition

ANNEXE

1. Dosage de phosphate

Tableau 1. Variation de l'absorbance en fonction de la concentration de phosphate

[PO₄³⁻] mg/l	0	0,001	0,005	0,01	0,015	0,02
Abs	0	0,234	0,446	2,113	3,068	3,337

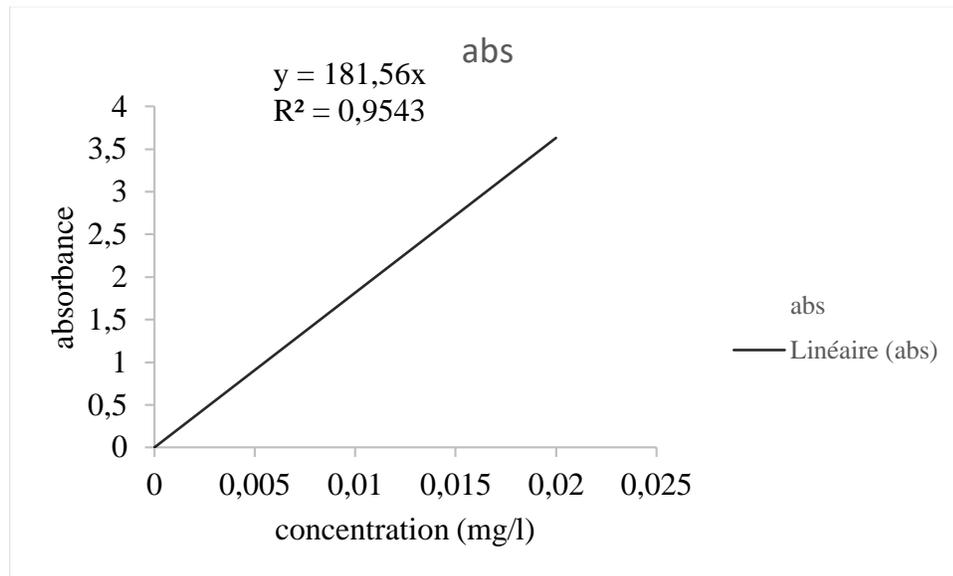


Figure 1. Variation de l'absorbance en fonction de concentration de phosphate

2. Dosage de nitrate

Tableau 2. Variation de l'absorbance en fonction de la concentration de nitrate

[NO₃⁻] mg/l	0	10	20	30	40	50
Abs	0	0,766	1,19	1,799	2,421	3,18

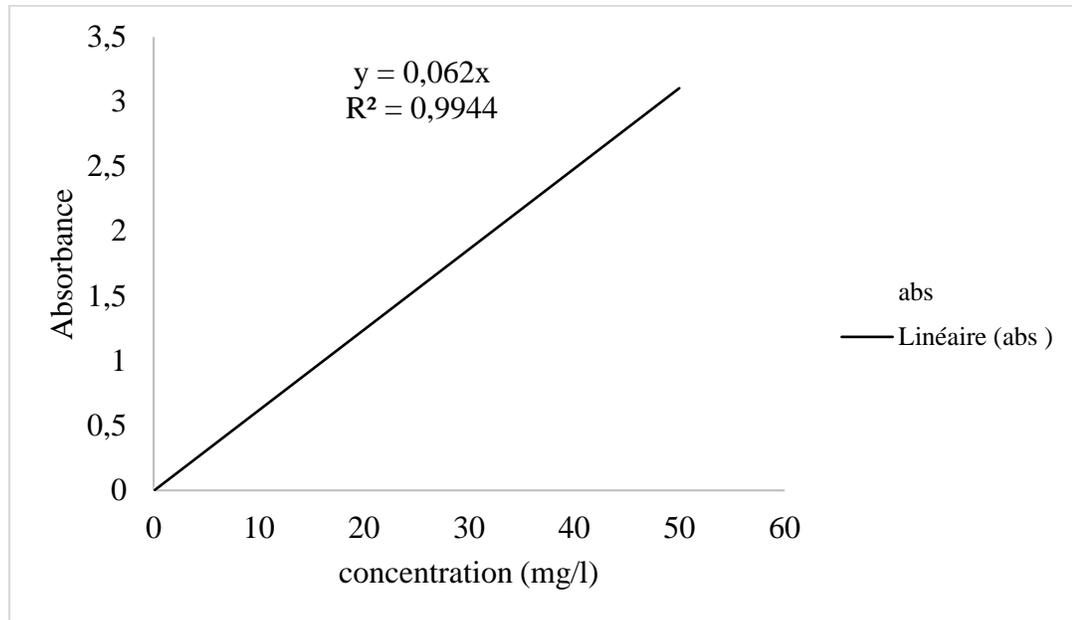


Figure 1. Absorbance en fonction de concentration (la courbe d'étalonnage)

Effet de pH

Tableau 3. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
pH = 2

t (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	2	2,29	3,3	3,87	4,14	4,3	4,43	4,47	4,49	4,51
G (ms)	8,75	7,18	6,87	6,58	6,7	6,53	6,48	6,56	6,5	6,51
T (°C)	23,3	24,7	25,9	27,1	28	28,8	29,5	31,1	30,7	31,2

Tableau.4. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
pH = 3

t (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	3	4,03	4,25	4,41	4,52	4,64	4,72	4,75	4,76	4,77

G(ms)	6,29	5,9	6,17	6,02	5,93	5,81	5,83	5,6	5,49	5,48
T (°C)	22,2	23,7	24,7	25,9	26,9	27,8	28,6	29,3	29,9	30,6

Tableau 5. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
pH = 4

t (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	4	5,28	5,51	5,5	5,25	5,16	5,18	5,25	5,34	5,45
G (ms)	10,02	5,6	5,5	5,53	5,77	5,94	6,29	6,4	6,61	6,86
T (°C)	18,4	20,5	22,5	24	25,4	26,8	28	28,9	29,7	30,5

Tableau 6. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
pH = 5

t(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	5	5,01	5,18	5,34	5,46	5,69	6,04	6,32	6,58	6,72
G(ms)	6,71	6,34	5,92	5,84	6,4	6,63	7,06	7,45	7,58	7,63
T (°C)	14,4	18,5	20,8	22,8	24,5	26	27,3	28,4	29,5	30,2

Tableau 7. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
de pH = 6

t (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
PH	6	6,59	6,95	7,15	7,33	7,47	7,57	7,64	7,69	7,78
G(ms)	8,44	8,79	8,25	8,44	9,62	9,35	9,19	9,01	8,95	9,15
T (°C)	24,8	26,1	27,5	28,5	29,3	30,1	30,9	31,5	31,9	32,3

Tableau 8. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
pH = 8

t (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	8,61	8,57	8,6	8,64	8,76	8,66	8,7	8,65	8,63	8,78
G (ms)	11,79	11,43	13,9	14,32	14,32	13,55	12,31	12,6	10,96	9,86
T (°C)	14,4	17,8	19,3	21,3	23,2	25	26,6	28,2	29,4	30,6

Effet de dilution de lixiviat

Tableau 9. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
une dilution de 25%

t (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	4	4,79	4,94	5,02	5,14	5,28	5,46	5,69	5,91	6,17
G(ms)	5,44	2,62	2,43	2,2	2,08	2,11	2,13	2,19	2,18	2,09
T (°C)	22,7	24,4	26	27,4	28,6	29,6	30,6	31,5	32,1	32,5

Tableau 10. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
une dilution de 75 %

t(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	4	4,58	4,9	5,07	5,16	5,18	5,2	5,26	5,34	5,43
G (ms)	9,25	8,25	7,61	7,32	7,27	7,26	7,28	7,25	7,26	7,29
T(°C)	14,3	17,5	19,3	21,1	22,8	24,4	25,2	26,4	27,4	28,2

Tableau 11. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour une dilution de 100%

t (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	4	4,85	5,1	5,03	4,98	5,01	5,03	5,07	5,12	5,24
G (ms)	8,28	8,3	8,27	8,07	8,07	6,56	6,36	6,35	6,55	4,81
T(°C)	15	18	20	22	23,4	24,8	25,9	27,1	27,8	28,6

Effet de la distance entre les électrodes

Tableau 12. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour e = 1 cm

t (min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	4	4,69	4,8	4,85	4,94	5,02	5,15	5,33	5,65	5,78
G (ms)	5,48	4,95	4,76	4,9	5,07	4,99	5,06	5,22	5,18	5,16
T (°C)	24	25,7	27,3	28,5	29,4	30,3	31,1	31,7	32,1	32,4

Tableau 13. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour e = 3 cm

t(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	4	8,56	7,5	5,6	5,2	5,21	5,32	5,48	5,7	5,94
G (ms)	4,45	2,92	3,27	3,19	2,65	3,39	3,54	3,75	3,82	3,78
T (°C)	19,7	23,4	25,5	27,5	29,1	30,4	31,6	32,6	33,3	33,9

Tableau 14. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
e = 4 cm

t(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	4	7,02	6,31	6,58	6,94	7,2	7,23	7,35	7,46	7,55
G (ms)	4,51	4,73	4,6	4,69	4,95	5,29	5,69	5,77	5,72	5,75
T (°C)	15,2	19	21,7	24,3	26,6	28,6	30,1	31,5	32,5	33,4

Effet de temps

Tableau 15. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
t = 1 heure

t(min)	0	10	20	30	40	50	60
pH	4	6,25	6,4	5,78	5,3	5,42	5,61
G (ms)	5,35	5,53	5,09	5,14	5,41	5,43	5,58
T (°C)	14,5	17,4	19,7	22	24	26,4	27,3

Tableau 16. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
t = 2 heure

t(min)	0	20	40	60	80	100	120
pH	4	6,4	5,3	5,61	6,09	6,51	6,78
G (ms)	5,35	5,09	5,41	5,58	5,6	5,59	5,63
T (°C)	14,5	19,7	24	27,3	29,6	31,2	32,4

Tableau 17. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
t = 3 heure

t(min)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
pH	4	6,4	5,3	5,61	6,09	6,51	6,78	6,92	7,07	7,09
G(ms)	5,35	5,09	5,41	5,58	5,6	5,59	5,63	5,51	5,74	5,87
T (°C)	14,5	19,7	24	27,3	29,6	31,2	32,4	33,2	33,7	34

Tableau 18. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
t = 4 heure

t(min)	0	30	60	90	120	150	180	210	240
pH	4	5,78	5,61	6,32	6,78	7	7,16	7,21	7,64
G (ms)	5,35	5,14	5,58	5,59	5,63	5,67	5,87	5,8	5,57
T (°C)	14,5	22	27,3	30,5	32,4	33,5	34	34,3	34,2

Effet de l'intensité de courant

Tableau 19. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
I=0.3 A

t(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	4	4.96	4.93	4.95	5.05	5.16	5.31	5.49	5.65	5.83
G(ms)	5.69	5.48	5.54	5.73	5.98	6.10	6.22	6.35	6.43	6.56
T (°C)	25.9	27.3	28.1	28.8	29.5	29.9	30.4	30.9	31.2	31.5

Tableau 20. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
I=0.7 A

t(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	4	5.17	6.78	7.26	7.47	7.4	7.63	7.91	8.16	8.31
G(ms)	4,85	4,57	4,76	4,9	5,23	5,39	5,57	5,7	5,81	5,94
T (°C)	21.2	24.7	25.5	29.6	32.1	33.5	34.7	35.7	36.6	37.2

Tableau 21. Variation des propriétés physico-chimiques de lixiviat en fonction du temps pour
I = 0.9 A

t(min)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
pH	4	7	8.10	8.53	8.71	8.70	8.77	8.86	8.95	9.03
G(ms)	5,72	5,63	5,72	6,14	6,51	6,65	6,70	6,71	6,55	6,55
T (°C)	27,2	30,2	33	35	37,2	38,6	39,3	40	40,6	41,2