



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

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



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département du Génie de l'Environnement

**Laboratoire des Biotechnologies Environnementales et Génie des Procédés
(BIOGEP)**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du grade

Ingénieur d'Etat en génie de l'environnement

Thème :

**Elimination du malathion par électrocoagulation
monopolaire et bipolaire**

Etudié par :

M^{elle} Malika NAIT ATMANE

Président du jury :	Pr. N.MAMERI	Professeur	E.N.P.
Directeurs de mémoire :	Dr. H.GRIB	Maitre de conférences	E.N.P.
	Mr M .BEHLOUL	Doctorant	E.N.P.
Examinatrice :	Dr. N.ABDI	Maitre de conférences	E.N.P.

Année Universitaire

2010 – 2011

Dédicaces

**A mes parents,
A ma chère sœur Zahoua et à mes frères,
Ainsi qu'à tous ceux qui me sont chers.**

Malika.

Remerciements

Je tiens à adresser mes plus sincères remerciements à Monsieur Hocine GRIB maître de conférences à l'Ecole Nationale Polytechnique et Monsieur Hakim LOUNICI, Directeur du Laboratoire des Biotechnologies Environnementales BIOGEP de l'Ecole Nationale Polytechnique, pour leur accueil au sein du laboratoire, leurs conseils et leur suivi durant mon travail.

Je remercie mes deux directeurs de mémoire, Monsieur Hocine GRIB et Monsieur Mourad BEHLOUL, Doctorant à l'Ecole Nationale Polytechnique pour leur suivi durant la réalisation de ce travail.

J'adresse mes remerciements à Monsieur le professeur Nabil MAMERI pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury de ma soutenance.

Je suis très honorée de compter parmi les membres du jury Madame Nadia ABDI, Maître de conférences à l'Ecole Nationale Polytechnique.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué à ce travail, et en particulier, Farouk et Monsieur SADAOUI, médecin à l'Enp pour sa précieuse aide.

Je remercie aussi tous les membres de laboratoire BIOGEP pour leurs conseils, leur soutien et la chaleur familiale avec laquelle ils m'ont entouré, en particulier Latifa, Farid, Fethi, Ouerdia, Samir et Mustapha .

Je remercie également mes camarades : Imène et Nesrine pour tous les bons moments qu'on a partagé ces trois dernières années.

Enfin, je remercie toute ma famille qui m'a toujours soutenue, encouragée, aidée, guidée et aimée.

Merci.

Table des matières

Introduction	3
PARTIE THEORIQUE	
Chapitre I : Généralité sur les pesticides	
I.1.Historique	5
I.2.Définitions et Classification	5
I.3. Modes de pollution des eaux par les résidus de pesticides	7
I.3.1. Pollution ponctuelle	8
I.3.1.1.La Pollution accidentelle.....	8
I.3.1.2.La Pollution chronique.....	8
I.3.2. Pollution diffuse	9
I.3.2.1.Pollution par voie atmosphérique	9
I.3.2.2.pollution par ruissellement.....	9
I.3.2.3.Pollution par infiltration	10
I.4. Persistance des pesticides	10
I.5.Toxicité des pesticides.....	11
I.5.1.Toxicité aiguë	12
I.5.2.Toxicité chronique	13
I.6.Normes réglementaires sur les pesticides.....	13
I.7.Les pesticides en Algérie	15
I.8.Le malathion	16
I.8.1.Définition	16
I.8.2.Les propriétés physicochimiques du malathion	16
I.8.3.Origine/fabrication	17
I.8.4. Utilisation.....	19
I.8.5.Mode d'action	19
I.8.6.La toxicité du malathion.....	19
I.8.6.1.Pour l'Homme.....	19
I.8.6.2.Pour l'environnement	20
I.8.7.Réglementation	21
Chapitre II : Elimination des pesticides.	
II.1. Introduction	22
II.2. Les techniques d'élimination des pesticides	22
II.2.1. Dégradation microbienne	22
II.2.2. L'adsorption sur charbon actif en poudre et en grain.....	23
II.2.2.1. Le charbon actif en poudre (CAP)	23
II.2.2.2. Le charbon actif en grains (CAG)	23
II.2.3. L'ozonation	24

II.2.4. La nanofiltration	24
Chapitre III : Coagulation et électrocoagulation	
III.1.introduction	25
III.2.Coagulation et électrocoagulation.....	25
III.3. Définition de la Coagulation	25
III.4. Définition de la Flocculation.....	26
III.5. Théorie de la double couche	26
III.6. Potentiel de Nernst	27
III.7.Potentiel Zêta.....	27
III.8.définition de L'électrocoagulation.....	29
III.9.Théorie de l'électrocoagulation	29
III.10.Description de la technique d'électrocoagulation.....	30
III.11.Electrodes monopolaires	31
III.12.Electrodes bipolaires	33
III.13.Avantages de l'électrocoagulation	34
III.14.Inconvénients de l'électrocoagulation	35
III.15.Les domaines d'utilisation de l'électrocoagulation	35
PARTIE EXPERIMENTALE	
Chapitre IV : Matériels et méthodes	
IV.1.Matériels et réactifs	37
IV.2.L'effluent synthétique	37
IV.3.Dispositif expérimental	38
Chapitre V: Résultats et discussions	
V.1. Effet de la concentration initiale du malathion	41
V.2. Effet de la concentration en NaCl.....	43
V.3. Effet du pH initial	47
V.4.Effet de l'intensité de courant	54
V.5.Effet de la distance inter électrodes	56
V.6.Effet du nombre d'électrodes, EC bipolaire	59
Conclusion.....	61
Références bibliographiques	63
Annexe.....	70

La liste des figures :

Figure (1) : Le devenir des pesticides.....	8
Figure (2): Formule développée du malation	16
Figure (3) : Chiffres de production du malathion.....	18
Figure (4) : Consommation du malathion.....	18
Figure (5): Distribution ionique autour d'une particule colloïdale.....	27
Figure (6) : Schéma du procédé d'électrocoagulation	30
Figure (7): Connexion en parallèle d'électrodes monopolaires	32
Figure (8) : Connexion en série d'électrodes monopolaires.....	33
Figure (9) : Connexion des électrodes bipolaires	34
Figure (10): Malathion à 95% de matière active	37
Figure(11): schéma du dispositif experimental.....	39
Figure (12): Echantillons après 36 heures	40
Figure(13) : Influence de la concentration initiale en malathion.....	41
Figure(14): Evolution du temps nécessaire pour 80% d'élimination du malathion en fonction de sa concentration initiale	42
Figure (15) : Le lien entre la salinité et la conductivité d'une solution.....	43
Figure(16): Influence de la concentration en NaCl sur l'élimination du malathion ...	44
Figure (17): Evolution du taux d'élimination du malathion en fonction de la teneur en sel.....	45
Figure (18) : Temps nécessaire à l'abattement de 80% du malathion en fonction de la teneur en NaCl.....	47
Figure(19): Influence du pH initial sur l'élimination du malathion	48
Figure (20) : Hydrolyse de l'aluminium en fonction du pH	49
Figure (21) : Evolution du pH _f en fonction du pH _i	49
Figure (22): Variation du pH en fonction du temps au cours de l'EC, pH _i =4.....	50
Figure (23): Variation du pH en fonction du temps au cours de l'EC, pH _i =6.....	51
Figure (24): Variation du pH en fonction du temps au cours de l'EC, pH _i =7.5.....	51
Figure (25): Variation du pH en fonction du temps au cours de l'EC, pH _i =10.....	52
Figure (26): Variation du pH en fonction du temps au cours de l'EC	52
Figure (27): Pourcentage d'élimination du malathion selon le pH initial.....	53
Figure (28): Influence de l'intensité de courant sur l'élimination du malathion,	54

Figure (29): Evolution du temps nécessaire pour 80% d'élimination du malathion en fonction de l'intensité de courant	55
Figure (30): Influence de la distance inter- électrodes sur l'élimination du malathion	56
Figure (31): Evolution du temps nécessaire pour 75% d'élimination du malathion en fonction de la distance inter-électrodes en Al.....	57
Figure (32): Pourcentage d'élimination du malathion en fonction de la distance inter- électrodes. Temps=40min... ..	58
Figure (33): Influence du nombre d'électrodes sur l'élimination du malathion.....	60

La liste des tableaux

Tableau(1) : Différents groupes de pesticides selon la cible visée	6
Tableau(2) : Persistance de certains pesticides dans les eaux de rivière	10
Tableau(3) : Classification OMS des pesticides par degré de risque pour l'homme	11
Tableau (4) : Les différents diagnostics cliniques liés à certaines familles de pesticides.....	12
Tableau (5) : Les effets des pesticides sur l'organisme	13
Tableau (6) : Les Valeurs guides des pesticides selon l'OMS	14
Tableau(7) : Les propriétés physicochimiques du malathion	17
Tableau (8) : Les micro-organismes dégradant les pesticides.....	23

La liste des abréviations :

Ci : Concentration initiale

I : intensité de courant (Ampère)

λ : longueur d'onde

nm : nanomètre

di : distance inter- électrodes

cm : centimètre

N : nombre d'électrodes

E% : pourcentage d'élimination.

ECM : électrocoagulation monopolaire

ECB : électrocoagulation bipolaire

INTRODUCTION

Introduction

L'eau est un capital vital. Sans elle, il n'y a pas de vie possible, pour cela, nous devons la préserver et la protéger de toutes les sortes de pollutions.

En effet, les eaux de mer sont polluées par les hydrocarbures alors que les eaux de surfaces qui ruissellent jusqu'aux eaux souterraines sont fréquemment polluées par les pesticides.

Si les pesticides sont d'abord apparus bénéfiques, leurs effets secondaires nocifs ont été mis en évidence. Leurs toxicités, liées à leurs structures moléculaires, ne se limitent pas en effet aux seules espèces que l'on souhaite éliminer. Au fil des années, les chercheurs ont pris conscience du «danger» que cause l'usage de façon irrationnelle des pesticides sur l'environnement et particulièrement sur la santé humaine, pour cela, l'utilisation des pesticides est devenue très réglementée et très surveillée.

La contamination des eaux par les pesticides constitue assurément l'un des principaux problèmes environnementaux associés aux activités industrielles et agricoles. C'est pourquoi l'élimination de ces produits devient une obligation.

Pour cela, plusieurs études ont été entamées ces dernières années et ce, dans le but de rechercher des procédés de traitement plus économique et plus efficace. Des améliorations progressives, en qualité et en quantité d'eaux utilisables dans de nombreux domaines ont été rapportées au fur et à mesure de la mise au point de procédés de traitement de plus en plus performants.

De nouvelles voies ont été explorées ces dernières années par le biais de l'utilisation de techniques d'électrocoagulation permettant le traitement de l'eau en générant des cations métalliques nécessaire à la formation d'ions complexes sur lesquels les polluants s'adsorbent.

Les enjeux sont à la fois économiques et écologique car ces procédés permettent d'envisager une très forte réduction des pesticides

Dans cette optique, nous avons opté pour la technique d'électrocoagulation au traitement des eaux chargées en malathion.

Des essais à l'échelle laboratoire ont été effectués pour mettre en évidence la faisabilité de ce procédé. Nous avons effectué une optimisation des différents paramètres opératoires influençant le rendement du traitement à savoir : l'intensité de courant électrique ; la salinité ; le pH initial de la solution; la concentration initiale en malathion et la distance inter électrodes.

Enfin, le procédé d'Electrocoagulation bipolaire sera appliqué pour le traitement de notre pesticide.

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I
GÉNÉRALITÉS SUR LES
PESTICIDES...

CHAPITRE I:Généralités sur les pesticides

I.1.Historique :

L'emploi des pesticides en agriculture remonte à l'antiquité jusqu'à la première moitié du 20^e siècle. Ils regroupent des substances d'origine naturelle, des dérivés minéraux comme le cuivre qui entre dans la composition de la bouillie de bordelaise, et des végétaux (produits dérivés du pyrèthre)[1].

Dès la seconde guerre mondiale, les pesticides organiques de synthèse voient leur utilisation s'accroître, débute alors l'ère des organochlorées avec le DDT, un insecticide parmi les premiers utilisés.

Les pesticides sont commercialisés sous forme d'un mélange entre principe actif et produit de formulation. Les matières actives des pesticides sont souvent associées au sein d'une même spécialité commerciale. Les adjuvants qui peuvent entrer dans la composition des phytosanitaires sont très nombreux : solvants, dispersants, émulseurs, tensioactifs ou surfactants, stabilisateurs, anti-mousse [2].

Ces adjuvants ont pour but d'améliorer les propriétés physico-chimiques et/ou l'efficacité biologique des matières actives. Ils sont en principe dépourvus de toute activité pesticide propre [3].

I.2.Définitions et Classification :

Le terme «pesticide» provient du mot anglais 'pest' qui signifie fléau et insecte nuisible pour l'homme et l'environnement. Ce terme est employé pour désigner un ensemble de substances chimiques (naturelles ou synthétiques) utilisées vis-à-vis de diverses espèces animales ou végétales considérées comme indésirables ou nuisibles [4].

Selon the Food and Agriculture Organisation (FAO), « un pesticide est une substance ou un mélange de substances, utilisées pour empêcher d'agir, détruire ou neutraliser un ravageur, un vecteur de maladie humaine ou animale, une espèce végétale ou animale nocive ou gênante, au cours de la production, de la transformation, de l'entreposage, du transport ou de la commercialisation de dérivés alimentaires, de produits agricoles, de bois et de dérivés du bois ou d'aliments pour animaux, ou encore susceptible d'être administrée à des

animaux pour détruire les insectes, arachnides ou autres parasites à la surface de leur corps et à l'intérieur de leur organisme » [5].

Mais le terme « pesticide » a pris une signification plus stricte et ne s'étend plus qu'aux produits à usage agricole. Ainsi, Afnor définit les pesticides comme étant les substances ou préparations permettant de lutter contre les ennemis des cultures et des produits récoltés [4]. Les pesticides sont aussi appelés produits phytosanitaires, ou encore produits agropharmaceutiques[6].

Actuellement, un grand nombre de produits sont commercialisés ; on compte plus de 3000 formulations (matière active et adjuvant) [7, 4]. Le tableau n°1 présente les différents groupes de pesticides selon la cible visée.

Tableau n°1: Différents groupes de pesticides selon la cible visée [3, 4].

GROUPE	CIBLE VISEE
Insecticides.....	Insectes nuisibles
Herbicides	Mauvaises herbes
Fongicides.....	Champignons pathogènes
Rodenticides.....	Rongeurs (rats, souris)
Nematicides.....	Nématodes (groupe de vers parasites)
Molluscicides.....	Limaçons, escargots, limaces
Acaricides.....	Acariens
Avicides.....	Oiseaux nuisibles

Une autre classification permet d'identifier un pesticide par la famille chimique à laquelle il appartient [8] :

- **Pesticides inorganiques ou minéraux:** composés de différents éléments toxiques tels que l'arsenic, le cuivre et le mercure.
- **Pesticides organiques de synthèse:**
 - **Les pesticides organométalliques synthétiques:** ce sont des fongicides (organomercuriels).
 - **Les phénols:** ce sont des fongicides utilisés pour la conservation du bois et d'autres substrats organiques.
 - **Les organochlorés:** le DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) et ses dérivés, le HCH (hexachlorocyclohexane), l'aldrine et le toxaphène.

- **Les organophosphorés:** ce sont des produits utilisés comme insecticides, acaricides ou nématicides. Ils ont une faible persistance dans le sol. On peut citer le parathion, le methylparathion, le malathion, le fénitrothion et le diazinon.
- **Les Carbamates:** ce sont des insecticides et quelques herbicides. La plupart sont des esters de l'acide N-méthylcarbonique. Il en existe une quarantaine de nos jours parmi lesquels on peut citer: le carbaryl, l'aldicarbe et le zirane.
- **Les Pyréthrinoïdes de synthèse:** la perméthrine, la deltaméthrine et la cyperméthrine.
- **Les Triazines:** le simazine et l'atrazine.
- **Les Amides:** diphénamide.

I.3. Modes de pollution des eaux par les résidus de pesticides

La contamination des eaux résulte des systèmes de culture et des pratiques agricoles, de leur contexte pédo-climatique et de mécanismes complexes, physiques, chimiques et biologiques. Les pollutions résultantes peuvent présenter un caractère ponctuel, souvent même accidentel ou, au contraire diffus [9]. La figure n°1 illustre le devenir des pesticides. Les phénomènes ne sont pas simples : une partie est volatilisée dans l'atmosphère et se retrouve, entre autre, dans l'atmosphère, dans les eaux de pluies, une autre est absorbée par les végétaux ; le sol en retient également et une biodégradation y transforme la substance active initiale en divers métabolites : la partie de ces produits non retenue dans le sol atteint enfin, par lixiviation, la nappe souterraine [10].

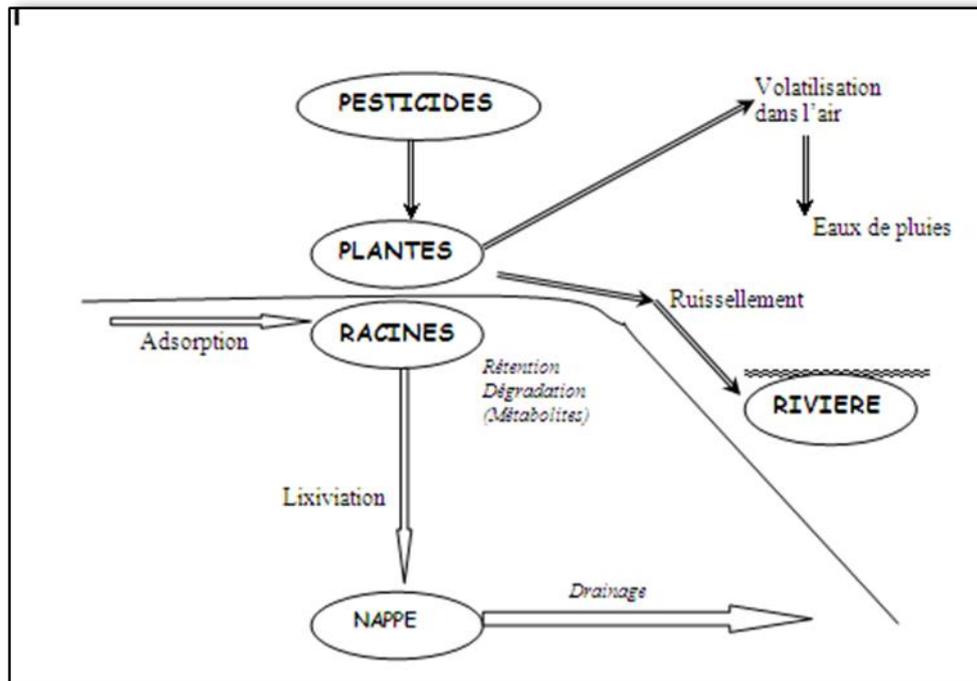


Figure n°1 : Devenir des pesticides

I.3.1. Pollution ponctuelle

L'introduction des pesticides dans les eaux superficielles et souterraines se fait par deux modes essentiels.

I.3.1.1. La Pollution accidentelle

On considère que la majorité des pollutions accidentelles d'origine agricole est liée à des erreurs, des difficultés de manipulation des produits et des matériels, avant et après le traitement, ou encore à une maîtrise insuffisante de gestion des emballages, souvent liée à une méconnaissance des risques [11].

I.3.1.2. La Pollution chronique

Certaines pratiques répétées sont à l'origine de contaminations chroniques, comme la vidange des fonds dans la cour des fermes, l'enfouissement et l'incinération répétés des emballages en un même lieu. Des traitements préparés ou effectués dans les bâtiments d'exploitation (traitements des semences, des produits une fois récoltés) sont aussi source de pollution chronique [9, 10].

1.3.2. Pollution diffuse

Ce type de pollution est lié aux traitements en plein champs et conduit à trois modes de pollutions de l'eau : par voie atmosphérique, par ruissellement ou encore par infiltration.

1.3.2.1. Pollution par voie atmosphérique

En règle générale, le traitement est effectué en plein air. Une fraction des quantités épandues peut alors manquer sa cible et être entraînée hors du champ par voie aérienne. Cette pollution atteint ensuite tout particulièrement les eaux superficielles et les eaux souterraines en relation rapide avec elles [9]. Dans ce phénomène de volatilisation, le plus important du point de vue environnemental est la capacité à se répandre dans l'atmosphère d'une grande partie du produit phytosanitaire appliqué sur le champ. Le fait que les molécules de pesticides puissent être véhiculées très loin par les courants aériens est compensé par la dilution très rapide dans l'atmosphère.

Pour certains auteurs, le transport aérien de molécules de pesticides consécutif à leur volatilisation est la voie principale de transfert vers les plantes et donc vers les animaux et les hommes [12].

1.3.2.2. Pollution par ruissellement

Ce mode de transfert semble fréquent dans de nombreuses situations pédo-climatiques et culturales. Il affecte essentiellement les eaux superficielles au moment où les traitements sont les plus pratiqués (printemps, été) [9]. Cette pollution dépend d'un certain nombre de facteurs [9, 13] :

- propriétés du pesticide appliqué ;
- texture du sol ;
- micro – relief et sa concentration dans les lignes d'écoulements.

La contamination due au ruissellement se traduit le plus souvent par des pics de teneurs dans les eaux superficielles s'il se produit des épisodes pluvieux intenses durant la période qui suit les traitements de printemps ou d'été.

En automne et en hiver, alors que le ruissellement est intense, les teneurs des cours d'eaux en produits phytosanitaires sont très faibles ou nulles (inférieures au seuil de détection) du fait d'un effet de dilution et d'éloignement de la date d'application du produit [14].

I.3.2.3. Pollution par infiltration

Le mécanisme élémentaire mis en jeu dans ce type de pollution est celui de la pénétration, dans le sol et le sous-sol, de substances entraînées par l'eau. En profondeur, les phénomènes de dégradation, notamment biologique, deviennent souvent faibles et le délai de transfert au travers de la zone non saturée est alors le facteur principal de retard de contamination de l'eau souterraine. L'absence de certains produits dans des nappes relativement profondes ne signifie par forcément l'absence de contamination du sous-sol mais peut être due à ce que les produits infiltrés ne les ont pas encore atteints [9].

I.4. Persistance des pesticides

La persistance est la durée nécessaire à la dégradation de 50% du produit. Elle est estimée dans les eaux, à une dizaine d'années pour le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) et plus de vingt ans pour la dieldrine [15]. Les pesticides organochlorés sont connus pour être très persistants. Cette persistance est liée à plusieurs facteurs :

- la nature du milieu : sol, eau, atmosphère.
- les conditions physiques : température, pH.
- les conditions biologiques et microbiologiques.

Le tableau n°2 présente les durées de persistance de certains pesticides dans les eaux [15].

Tableau n°2 : Persistance de certains pesticides dans les eaux de rivière [15]

Composé	Pourcentage (%)				
	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5
Lindane	100	100	100	100	100
Heptachlor	100	25	0	0	0
Aldrine	100	100	80	40	20
Endosulfan	100	30	5	0	0
Dieldrine	100	100	100	100	100
DDE	100	100	100	100	100
DDT	100	100	100	100	100
Chlordane	100	86	86	86	86

I.5.Toxicité des pesticides

L'utilisation des pesticides et la contamination qu'ils peuvent engendrer ne sont pas sans conséquence. En effet, l'exposition aux produits phytosanitaires peut occasionner deux types de dangers sur la santé de la victime : des effets aigus à court terme ou des effets chroniques [16].

On utilise habituellement pour estimer la toxicité d'un pesticide les paramètres normatifs suivants [17 ,18] :

- **Dose Létale 50 (DL50)**

C'est la dose d'une substance provoquant cinquante pour cent de décès chez une population déterminée après un temps d'application et une durée d'observation déterminée. Elle s'exprime en milligramme ou en gramme par kilogramme (mg. kg^{-1} ou g.mg^{-1}) de poids vif de l'animal expérimental. Le tableau 5 donne la classification OMS des pesticides par degré de risque pour l'homme [14].

Tableau n°3 : Classification OMS des pesticides par degré de risque pour l'homme [14]

Classe des risques	DL50 pour le rat (mg.kg^{-1} de poids corporel)			
	Par voie orale		Par voie cutanée	
	Solide	Liquide	Solide	Liquide
Extrêmement dangereux	< 5	< 20	< 10	< 40
Très dangereux	5 à 50	20 à 200	10 à 100	40 à 400
Modérément dangereux	50 à 500	200 à 2000	100 à 1000	400 à 4000
Peu dangereux	> 500	> 2000	> 1000	> 4000

- **Dose Sans Effet (DSE)**

C'est la dose la plus élevée qui ne provoque encore aucun effet décelable chez les animaux soumis à un essai donné. Elle s'exprime en mg.kg^{-1} de poids vif de l'animal.

▪ **Dose Journalière Admissible (DJA)**

C'est la quantité de produit pouvant être quotidiennement absorbée au cours d'une vie d'homme sans manifestation d'effets secondaires (en mg.kg⁻¹ du poids corporel).

▪ **Limite Maximale de Résidu (LMR)**

Elle se rapporte aux denrées alimentaires. Elle représente la concentration en résidus la plus élevée légalement acceptable pour que les denrées restent commercialisables (en mg.kg⁻¹).

▪ **Concentration Maximale Admissible (CMA)**

Elle indique la concentration maximale admissible dans l'atmosphère des lieux de travail.

On peut distinguer deux formes de toxicité :

I.5.1. Toxicité aiguë :

La toxicité aiguë d'une substance est définie par l'apparition d'effets divers survenant dans un court laps de temps après administration d'une dose répartie sur 24 heures. Le tableau n° résume les différentes constatations cliniques d'intoxications aiguës observées chez l'homme, classées suivant la famille de pesticides.

Tableau n°4: *Les différents diagnostics cliniques liés à certaines familles de pesticides*[19]

Famille de pesticides	Diagnostics cliniques
Organochlorés	- Troubles digestifs (diarrhées), neurologiques.
Organophosphorés	- Troubles digestifs (crampes abdominales, nausées, vomissements, diarrhées). - Troubles respiratoires (œdèmes pulmonaires) - Troubles cardio-vasculaires. - Troubles neuro-musculaires.
Pesticides divers	- Troubles de la vision, salivation, coma, convulsion, anxiété, et vertiges. - Dermite de contact et irritations. - Lésions cutanées.

I.5.2.Toxicité chronique :

C'est la mise en évidence d'effets toxiques, après l'administration ou l'application répétée, quotidienne ou fréquente, d'une ou plusieurs quantités de la substance à tester pendant une période de temps longue, supérieure à 90 jours. Cette intoxication, surtout rencontrée dans les milieux professionnels de fabricants et d'utilisateurs de pesticides, se manifeste par des effets très divers résumés dans le tableau n°5 [11] :

Tableau n°5: *Les effets des pesticides sur l'organisme* [11]

Les effets à court terme	Les effets à long terme
- atteintes dermatologiques avec congestion	- Mutagénicité
- atteintes digestives	- Cancérogénicité
- atteintes respiratoires	- Tératogénicité
- atteintes cardio-vasculaires	- Les effets sur l'immunité
- atteintes génitales et infertilité	- Les effets de bioaccumulations
- manifestations allergiques	

I.6.Normes réglementaires sur les pesticides :

Certains pays voient leur développement économique passer par le développement de l'extraction des ressources naturelles. Une des extractions qui peut causer des soucis au niveau de la protection de l'environnement est bien l'activité de la recherche [20].

L'Algérie a pris conscience depuis peu de l'importance du problème de l'environnement. Les autorités de tutelle ont demandé aux industriels de commencer à réfléchir sur le problème de la pollution.

Les grands principes qui régissent la réglementation en matière de protection de l'environnement sont fixés par les textes suivants :

- La loi n° 83-03 du 05/02/1983, relative à la protection de l'environnement dont les dispositions de certains articles ont pour objet la lutte contre la pollution des eaux.

Il existe pour les pesticides des normes internationales, régionales et nationales. La réglementation algérienne concernant l'utilisation et le contrôle de produits phytosanitaires est d'introduction récente. Le contrôle des pesticides est régi par [21]:

- La loi numéro 87-17 du 1 août 1987 relative à la protection phytosanitaire.
- Le décret exécutif numéro 95-405 du 02-décembre 1995 relatif au contrôle des produits phytosanitaires à usage agricole. A ce titre, il couvre les activités de commercialisation et d'homologation.

La directive européenne n° 98/83 du 3 novembre 1998 prévoit pour les pesticides et produits apparentés (métabolites) une valeur maximale de 0,1 µg/L par substance individualisée avec un maximum de 0,5 µg/L pour le total des produits détectés à l'exception de l'aldrine, diéldrine, heptachlore et époxyde d'heptachlore qui font l'objet d'une valeur limite réglementaire fixée à 0,03 µg/L [22].

Parmi ceux qui sont recherchés le plus fréquemment, on peut citer la liste diffusée par l'OMS (1994), qui donne des valeurs guides résumés dans le tableau n°6 [22].

Tableau n°6 : Les Valeurs guides des pesticides selon l'OMS [22].

PESTICIDES	VALEURS GUIDES (µg.L ⁻¹)
Alachlore	20
Aldrine/dieldrine	0,03
Atrazine	2
Dichloropropène	20
Heptachlore	0,03
Heptachlorobenzène	1
DDT	2
Lidane	2
MCPA	2
Méthoxychlore	20
Propanil	20
Simazine	2
Trifluralin	20
2.4 DB	90

I.7. Les pesticides en Algérie [23] :

En Algérie, la fabrication des pesticides a été assurée par des entités autonomes de gestion des pesticides: Asmidal, Moubydal. Mais avec l'économie de marché actuelle, plusieurs entreprises se sont spécialisées dans l'importation d'insecticides et divers produits apparentés.

Récemment, dans notre pays, l'usage des pesticides ne cesse de se multiplier dans de nombreux domaines et en grandes quantités.

La lutte antiacridienne menée au cours de cette dernière décennie a entraîné par ailleurs le déversement de milliers de tonnes d'insecticides. Par exemple, au cours de la campagne de lutte antiacridienne de 2004-2005, plusieurs tonnes de pesticides (des organophosphorés, des carbamates et la Deltaméthrine) ont été utilisées par épandage ou par pulvérisation dans les régions infestées par le criquet pèlerin, dans les régions du Sud et dans le Tell. Puis, depuis les cinq dernières années, une autre forme d'utilisation intensive de pesticides se généralise dans de nombreuses wilayates du pays, dans le cadre du Programme national de lutte contre les zoonoses et plus particulièrement dans la lutte contre une pathologie vectorielle : la leishmaniose, une maladie qui a pris de l'ampleur malheureusement dans toutes les régions du pays.

Il y a quelques années déjà, dans certaines régions du pays, les concentrations en pesticides dans les eaux de source et des nappes souterraines étaient élevées. Des analyses effectuées sur des échantillons d'eau prélevés dans la région de Staoueli (Alger) ont montré que dans plus de 30% des échantillons, la concentration de certaines molécules organochlorées (lindane, H.chlore, 2,4 et 4,4 DDT, 2,4 et 4,4 DDE) et des organophosphorés (diazinon, parathion), dépasse les valeurs guides préconisées par l'OMS.

En plus, selon le Cadastre national des déchets dangereux, il existe plus de 2.300 tonnes de pesticides périmés répartis sur 500 sites détenus majoritairement par les anciennes entreprises nationales et usines de produits phytosanitaires (Onapsa, Asmidal, etc.).

Cette sur-utilisation nationale des produits phytosanitaires dans les cultures et dans le cadre de la lutte antivectorielle fait craindre une pollution massive des sols, des eaux superficielles, des nappes souterraines et de tous les milieux physiques dans toutes les régions du pays.

I.8. Le malathion :

I.8.1. Définition :

Le malathion est un composé organophosphoré qui se fixe irréversiblement à la cholinestérase [24]. Le malathion est un insecticide, neurotoxique [25]. Si sa toxicité humaine est relativement basse, le produit de décomposition du malathion, le malaxon est très toxique [26].

Le malathion est appelé carbophos en ancienne URSS, maldison en Nouvelle-Zélande et en Australie, et mercaptothion en Afrique du Sud.

L'utilisation du malathion est interdite en France à compter du 1er décembre 2008 [27].

La concentration maximale acceptable (CMA) de malathion dans l'eau potable est de 0,19 mg/L [28].

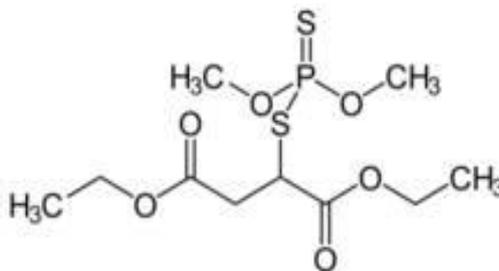


Figure n°2: Formule développée du malathion

I.8.2. Les propriétés physicochimiques du malathion :

Les propriétés physicochimiques du malathion sont présentées dans le tableau n°7.

Tableau n°7 : les propriétés physicochimiques du malathion.

Formule brute	$C_{10}H_{19}O_6PS_2$
Nom de la substance	S-[1,2-bis-(éthoxy-carbonyl)éthyl]-O,O-diméthyl-dithiophosphate .
Synonymes, noms commerciaux	O,O-diméthyl-S-[1,2-bis(éthoxy-carbonyl)éthyl] dithiophosphate, Aphisane , Carbophos , Mercaptothion [28].
Description générale	Liquide clair de couleur jaunâtre (huile); le produit technique (95%) est brun [27]
Masse atomique relative	330,36g[30]
Masse volumique	1,23 g/cm ³ à 25°C[30]
Densité de gaz	11,4[30]
Point d'ébullition	156-157 (0,7 mm Hg) [29]
Point de fusion	2,8-3,7°C
Tension de vapeur	5,3 mPa (20° C)[31]
Stabilité chimique	<ul style="list-style-type: none">➤ Relativement stable en milieu neutre. Décomposé en milieu acide ou alcalin [29].➤ Incompatible avec les oxydants puissants, le magnésium et les pesticides alcalins.➤ Commence à se décomposer à 49 °C et se décompose explosivement au-dessus de 100°C.➤ Corrode les métaux et attaque certains plastiques, caoutchoucs et revêtements [29].
Solubilité	Dans l'eau: 145 mg/l à 30°C; soluble dans les solvants organiques, faiblement soluble dans l'éther, le pétrole et certains types d'huiles minérales.[31]

I.8.3.Origine/fabrication:

Réaction de 0,0-diméthyl-hydrogène-phosphordithioate avec le maléate de diéthylénique en présence de triéthylamine comme catalyseur et d'hydroquinone afin de prévenir la polymérisation du maléate[32].

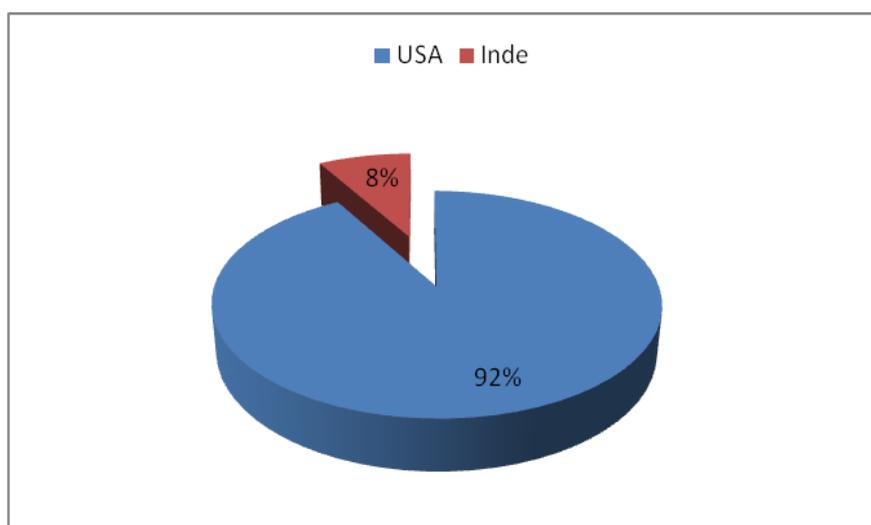


Figure n° 3 : *Chiffres de production du malathion*

En 1983 la production du malathion était assurée en quasi-totalité par les états unis avec plus de 92% de la production mondiale alors que l'Inde n'arrive à produire que 8%. [32].

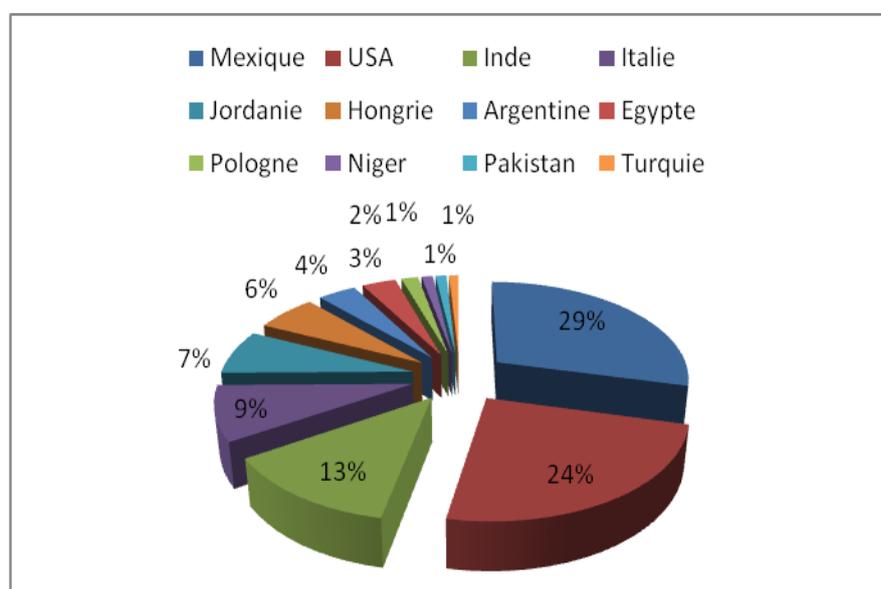


Figure n°4: *Consommation de malathion* [32]

Le malathion est très utilisé aux USA, au Mexique et en Inde. A eux seules, ils consomment plus de la moitié de la production mondiale.

I.8.4. Utilisation :

Le malathion est principalement utilisé dans l'agriculture comme produit antiparasitaire (insecticide et acaricide) à large spectre, et surtout dans la lutte contre les insectes suceurs. Le malathion est très toxique pour les insectes, y compris les insectes utiles, comme les abeilles. L'épandage de malathion sur les zones aquatiques contribue également au déclin des populations d'amphibiens [35].

En 1999, toute la région de New York a été traitée au malathion par avion pour éradiquer le virus du Nil occidental. Au Canada, le malathion est employé depuis des décennies à Winnipeg contre les moustiques [32].

I.8.5.Mode d'action :

Après absorption par le criquet (que ce soit par contact, ingestion ou Inhalation), le malathion est rapidement oxydé en malaxon. Le malaxon métabolite actif du malathion est un inhibiteur efficace de l'acétylcholinestérase. Des insectes nuisibles ciblés, dont il bloque le système neurotransmetteur, Provoquant ainsi leur mort.

Chez les mammifères et les oiseaux, le malathion est rapidement dégradé par les carboxyestérases ; il est de ce fait, bien moins toxique pour ces organismes que pour les insectes [36].

I.8.6.la toxicité du malathion :

I.8.6.1.Pour l'Homme :

Le malathion se décompose en malaxon, qui est 60 fois plus toxique que le malathion. Pour cette raison, si le malathion est employé en intérieur, il peut sérieusement empoisonner les personnes vivant ou travaillant dans cet environnement.

Le malathion présent dans l'eau non traitée est converti en malaxon pendant la phase de chloration du traitement de l'eau, il ne devrait donc pas être employé dans les eaux servant de source d'eau potable.

L'apport quotidien acceptable (AQA) de malathion pour l'homme a été calculé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) comme suit:

$$AQA = \frac{0,23 \text{ mg/kg p.c. par jour}}{10} \approx 0,02 \text{ mg/kg p.c. par jour}$$

où :

- ✓ 0,23 mg/kg p.c. par jour est la dose sans effet nocif observé obtenue au cours d'études réalisées chez des volontaires.
- ✓ 10 est le facteur d'incertitude.

La concentration maximale acceptable (CMA) de malathion dans l'eau potable a été calculée à partir de l'AQA comme suit [34] :

$$CMA = \frac{0,02 \text{ mg/kg p.c. par jour} \times 70 \text{ kg} \times 0,20}{1,5 \text{ L/jour}} \approx 0,19 \text{ mg/L}$$

Ou :

- ✓ 0,02 mg/kg p.c. par jour est l'AQA établi par la FAO et l'OMS.
- ✓ 70 kg est le poids corporel moyen d'un adulte.
- ✓ 0,20 est la proportion de l'apport quotidien de malathion attribuée à l'eau potable (la consommation quotidienne réelle est évaluée à 0,06 pour cent de l'AQA)
- ✓ 1,5 L/jour est la consommation moyenne quotidienne d'eau potable d'un adulte.

1.8.6.2. Pour l'environnement :

Le malathion est un produit très toxique pour les insectes utiles (coccinelles, chrysopes, aphidoletes).

La Chine reste un producteur important et a exporté 1500 tonnes de malathion en 2008[36].

I.8.7.Réglementation :

Sur le plan de la réglementation des produits phytopharmaceutiques:

- **pour l'Union européenne :** cette substance active est interdite par la décision 2007/389/CE à la suite de l'examen relatif à l'inscription à l'annexe I de la directive 91/414/CEE.
- **pour la France :** cette substance active n'est pas autorisée dans la composition de préparations bénéficiant d'une autorisation de mise sur le marché [33]

CHAPITRE II

ELIMINATION DES

PESTICIDES

CHAPITRE II: *Elimination des pesticides*

II.1.Introduction :

Les pesticides sont utilisés dans de nombreux secteurs industriels, mais leur utilisation majeure reste en milieu agricole.

Aujourd'hui leurs effets néfastes pour la santé humaine sont reconnus. Or, des résidus de pesticides sont susceptibles d'être présents à de faibles teneurs dans les eaux de surface et les eaux souterraines. Pour cela, il existe plusieurs méthodes classiques ou au stade expérimental qui réduisent de manière efficace les pesticides.

Cependant, les techniques de traitements des produits phytosanitaires ne cessent de se diversifier et de se renforcer. Seulement, le choix de l'utilisation de la technique dépend essentiellement des paramètres suivants [37]:

- La concentration en pesticides dans l'eau à traiter.
- La qualité de l'eau à traiter (COT, TAC, etc.)
- La durée de la pollution (accidentelle ; chronique)
- Les effets du traitement sur les autres paramètres de la qualité de l'eau, le coût d'investissement et d'exploitation. En revanche, nous présenterons un bref aperçu sur quelques traitements, les plus courants, tandis que ; nous développerons plus la technique d'électrocoagulation que nous allons utiliser pour traiter des eaux chargées en malathion.

II.2. Les techniques d'élimination des pesticides :

II.2.1. Dégradation microbienne :

Certains Chercheurs se sont intéressés à l'utilisation de micro-organismes présents dans le sol, et aussi, plusieurs procédés utilisant des souches cultivées, pures ou mélangées, ont été étudiés pour chacune des quatre grandes classes de pesticides [38].

Tableau(8): Les micro-organismes dégradant les pesticides [38].

Pesticides	Micro-organismes
<ul style="list-style-type: none">• Pentachlorophenol(PCP)• Conservateur du bois, biocide agricole et industriel	<ul style="list-style-type: none">• Arthrobacter,• Mycobacterium,Flavobacterium,• Pseudomonas,• Phanerochaetechrysosporium
<ul style="list-style-type: none">• S-triazines• Dérivés azotés hétérocycliques, herbicides dont métribuzine	<ul style="list-style-type: none">• Rhodococcus,• klebsiella,Pseudomonas,Acinetobacter• Cunninghamellaechinulata.
<ul style="list-style-type: none">• Carbamates,• Esters d'acide carbamique,• N-substitué (méthyle carbates, thiocarbatesphénylcarbamates et dithiocarbates).	<ul style="list-style-type: none">• Pseudomonas, Achromobacter
<ul style="list-style-type: none">• Organophosphorés,• (parathion, méthyl parathion,diazinon ; fenitrothion ; couphamos, gliocladium, virens malathion), pesticides agricoles	<ul style="list-style-type: none">• Pseudomonas, Flavobacterium

L'inconvénient de cette technique, est que souvent ses rendements sont faibles, en raison de la croissance trop lente de ces organismes en culture [39].

II.2.2.Adsorption sur charbon actif en poudre et en grain :

II.2.2.1. Le charbon actif en poudre (CAP) :

Pour permettre d'augmenter le temps de contact, donc le taux d'abattement des pesticides, le charbon actif en poudre est injecté sous forme de barbotine [40].

II.2.2.2. Le charbon actif en grain (CAG) :

Il est utilisé de préférence pour traiter les pollutions chroniques ou durables. Le traitement s'effectue par simple percolation de l'eau à travers le CAG dans les filtres ouverts ou fermés. La capacité d'adsorption d'un CAG est fonction de sa granulométrie (0.7 à 1mm) et du temps de contact (12 à 15 min).

II.2.3. ozonation :

L'ozonation est un traitement chimique par oxydation. L'utilisation de réactifs chimiques oxydants pour le traitement des eaux a visé au départ la stérilisation de l'eau, ou, plus exactement, la destruction des germes pathogènes [41].

L'ozone a l'avantage de permettre des actions complémentaires dans la destruction d'un grand nombre de micropolluants et dans l'amélioration des goûts, des odeurs et dans la destruction des couleurs [41].

Cette méthode consiste à transformer chimiquement les pesticides par oxydation directe avec de l'ozone moléculaire. Le traitement s'effectue au sein d'une ou plusieurs cuves de contact en mélangeant l'eau à traiter avec de l'air asséché et ozoné.

Pour accroître les performances de l'oxydation, il est possible de coupler avec un ajout de peroxyde d'hydrogène ou en favorisant la voie radicalaire par photolyse de l'ozone par ultraviolets. Le peroxyde d'hydrogène est généralement injecté après l'ozone dans un rapport stoechiométrique bien établi (0,4g de H₂O₂/g O₃) [40].

En 1992, Youg. Ku [41] étudia la décomposition de diazinon dans une solution aqueuse par ozonation, et arriva à abattre la concentration du diazinon jusqu'à 95% de la concentration initiale à pH=9.

II.2.4. la nanofiltration :

La nanofiltration est une filtration qui utilise des membranes partiellement perméables, pour séparer préférentiellement différents fluides ou ions.

La nanofiltration permet de concentrer des solutions de constituants ayant un poids moléculaire plus grand que 1000 Daltons.

Une étude menée par l'équipe de K. Agbecodo [42], sur la dégradation des pesticides à l'échelle semi-pilote et plus particulièrement l'élimination de l'atrazine et la simazine par nanofiltration a démontré l'influence des matières organiques sur la rétention de ceux-ci.

En travaillant sur une plus grande gamme de concentration en matières organiques naturelles (MON), cela leur a permis de mieux saisir les phénomènes impliqués à la rétention de l'atrazine et la simazine en présence et absence de MON. Le principal résultat obtenu [42] est que l'élimination de l'atrazine et la simazine par nanofiltration augmente de 50% à 90-100% quand l'eau contient de la matière organique à des teneurs de 0.4 à 3.6 mg/l.

CHAPITRE III

COAGULATION ET

L'ÉLECTROCOAGULATION

CHAPITRE III: *Coagulation et électrocoagulation*

III.1.Introduction :

La turbidité d'une eau est principalement causée par des particules très petites dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin [43]. L'origine des colloïdes est très diverse ; on peut citer l'érosion des sols, la dissolution des substances minérales, la décomposition des matières organiques, le déversement des eaux résiduaires urbaines et industrielles ainsi que les déchets agricoles [44].

III.2.coagulation et électrocoagulation :

Lorsque la décantation naturelle des matières en suspension dans l'eau est trop lente pour obtenir une décantation efficace ; on utilise les processus de coagulation et de floculation [45].

Une partie importante de ces solides non décantables peuvent être de type colloïde. La surface des particules est chargée négativement, ce qui leur permet de se repousser les unes des autres et les empêchent de former des masses plus grosses, appelées floccs. Elles ne peuvent pas décanter.

III.3. Définition de la coagulation:

La coagulation est la déstabilisation des colloïdes par la neutralisation des forces qui les tiennent séparées par addition d'un réactif chimique, le coagulant. Elle s'accomplit en général par adjonction de coagulants chimiques et apport d'énergie nécessaire [46].

Les coagulants peuvent être :

❖ Des coagulants minéraux :

- les sulfates d'aluminium et de fer III: $Al_2(SO_4)_3$ et $Fe_2(SO_4)_3$
- les chlorures d'aluminium et de fer III : $AlCl_3$ et $FeCl_3$
- les mélanges de sulfates et de chaux : $M_2(SO_4)_3 + Ca(OH)_2$
- les produits mixtes : Al^{3+} / Fe^{3+}

❖ **Des coagulants organiques de synthèse :**

Ce sont des molécules organiques de synthèse à caractère cationique. Ces produits neutralisent les colloïdes négatifs et sont utilisables directement, en remplacement total ou partiel d'un coagulant minéral. Ils présentent l'avantage de réduire considérablement le volume de boue produite. Mais, dans certains cas, ils sont moins efficaces.

L'utilisation conjointe des deux types de coagulant permet une très nette diminution de la quantité de coagulant minéral nécessaire (40 à 80%) tout en assurant un moindre volume de boue produite.

III.4. Définition de la floculation [46]:

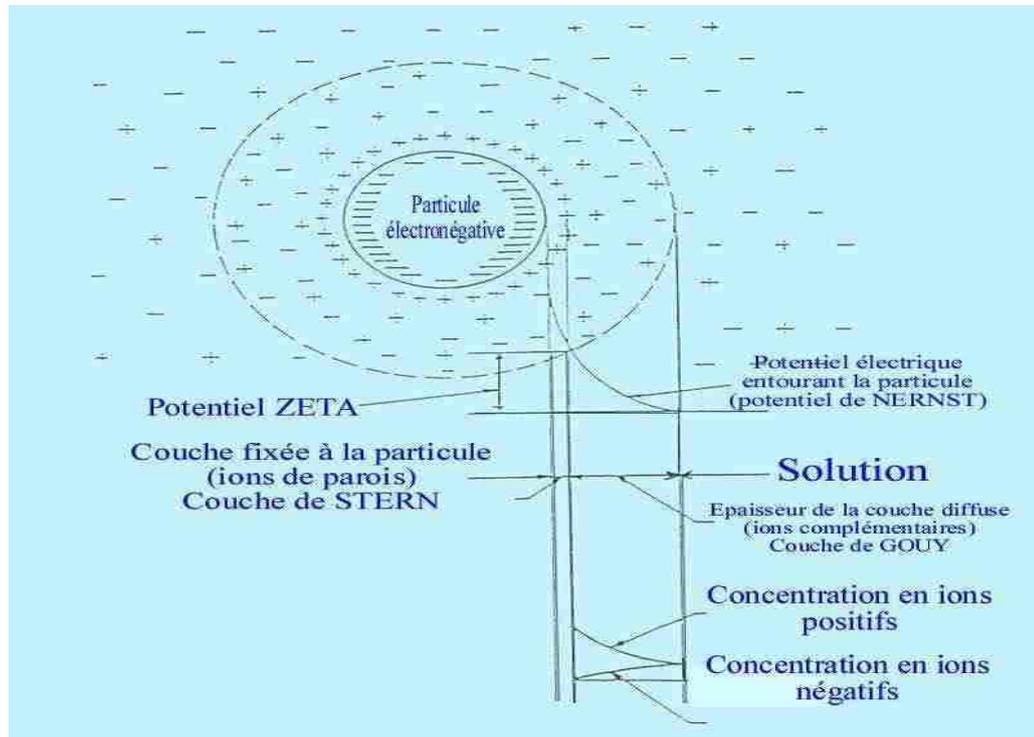
La floculation est l'agglomération de ces particules "déchargées" en micro floccs, puis en floccs volumineux et décantables, le flocc. Cette floculation peut être améliorée par l'ajout d'un autre réactif, le flocculant ou adjuvant de floculation.

On utilise les flocculats :

- **des polymères minéraux :** tels que la silice activée (SiO_2), généralement associée au sulfate d'aluminium en eau froide,
- **des polymères naturels :** extraits de substances animales ou végétales: amidons, alginates (obtenus à partir d'algues marines),
- **des polymères de synthèse:** apparus plus récemment qui ont fait évoluer considérablement les performances de la floculation. Ils conduisent souvent à un volume de boue très inférieur.

III.5. Théorie de la double couche :

Les colloïdes présents dans l'eau brute sont généralement chargés négativement. Ces charges dites primaires attirent les ions positifs en solution dans l'eau, formant la couche liée (couche de Stern) et attirent à leur tour des ions négatifs, accompagnés d'une faible quantité d'ions positifs, formant la couche diffuse ou la couche de Gouy-Chapmann. Il y a donc un gradient électrostatique entre la surface de la particule et la solution [46].



Figure(5): Distribution ionique autour d'une particule colloïdale [46].

III.6. Potentiel de Nernst :

C'est le potentiel présent à la surface de la particule. Il varie à peu près linéairement à l'intérieur de la gaine qui constitue la couche fixe.

III.7. Potentiel Zêta :

Il est responsable du comportement électrocinétique de la particule colloïdale ceci est dû à la charge effective de l'ensemble particule double couche. Quand la charge effective diminue, le potentiel Zêta et la stabilité diminuent.

Le potentiel qui existe entre la surface délimitant l'entité mobile et la surface extérieure de la couche diffuse, s'appelle potentiel Zêta.

Ce potentiel Zêta est défini par l'équation :

$$Z = 4.\Pi .e .q/D$$

Avec :

Z : potentiel Zêta.

e : épaisseur effective de la couche diffuse.

q : charge de l'entité mobile par unité de surface.

D : constante diélectrique du milieu.

III.8. Définition de l'électrocoagulation:

Durant le phénomène de la coagulation, le coagulant est ajouté sous forme de substances chimiques adéquates. Lors du procédé d'électrocoagulation, le coagulant est généré *in situ* par l'oxydation électrolytique d'une anode solide appropriée [47].

L'électrocoagulation (EC) est une technologie qui résulte de l'interaction de trois technologies fondamentales qui sont : l'électrochimie, la coagulation et la flottation [48]. Elle est basée sur le fait que la stabilité des colloïdes, suspensions et émulsions, soit influencée par les charges électriques [49].

Dans l'électrocoagulation, la déstabilisation des colloïdes se fait suite au champ électrique entre les électrodes et l'action des composés coagulants produits par oxydation de l'anode. Ces composés sont chargés électriquement, ils déstabilisent le système colloïdal dans lequel des particules solides sont initialement présentes et forment des floccs de particules qui peuvent être facilement séparables par flottation. La flottation est améliorée par la formation des bulles de gaz durant l'électrolyse du solvant (eau)[50] .

III.9. Théorie de l'électrocoagulation :

L'électrocoagulation est un procédé complexe impliquant plusieurs phénomènes physiques et chimiques qui utilisent des électrodes consommables (sacrificielles) pour fournir des ions dans l'effluent d'eau. Trois étapes successives principales sont impliquées durant L'électrocoagulation :

- Formation des coagulants par oxydation électrolytique de l'électrode sacrificielle.
- Déstabilisation des contaminants, suspension particulaire et rupture des émulsions.
- Agrégation des phases déstabilisées pour former les floccs.

Le mécanisme de déstabilisation des contaminants, suspension particulaire et rupture des émulsions peut être résumé comme suit :

- Compression de la couche diffuse autour des espèces chargées par les interactions avec les ions générés par l'oxydation de l'anode sacrificielle.
- Neutralisation de la charge des espèces ioniques présentes dans le rejet d'eau à l'encontre des ions produits par dissolution électrochimique de l'anode sacrificielle. Ces ions réduisent la répulsion

électrostatique entre les particules jusqu'à ce que les forces d'attraction de Van der Waals prédominent, causant ainsi la coagulation.

- Formation du floc : le floc formé suite à la coagulation crée les boues qui piègent et relient les particules colloïdales restant dans le milieu aqueux [47].

III.10. Description de la technique d'électrocoagulation :

Dans sa forme la plus simple, un réacteur d'EC est formé d'une anode et d'une cathode. Quand un courant est appliqué à partir d'une source externe, le matériel anodique subira une oxydation, pendant que la cathode fera l'objet d'une réduction [48].

Les interactions ayant lieu dans un réacteur d'EC (*batch mode*) sont montrées sur la figure 6 :

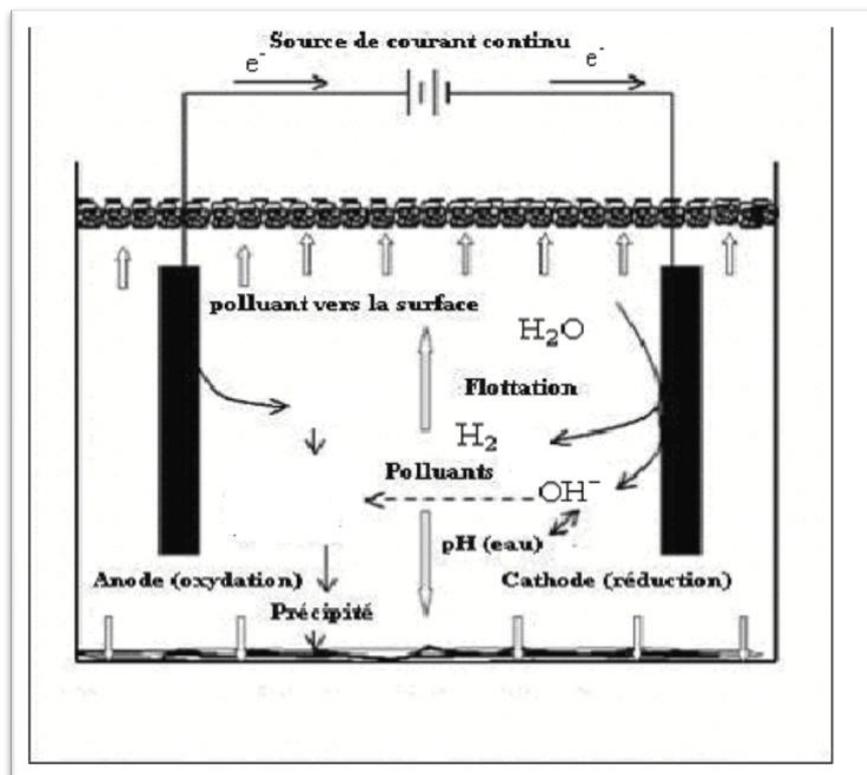


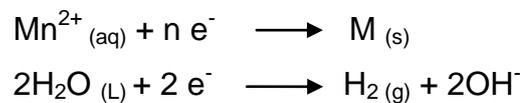
Figure 6: Schéma du procédé d'électrocoagulation [51].

Les réactions électrochimiques avec un métal M comme anode peuvent être résumées comme suit :

✓ à l'anode :



✓ à la cathode :



Les gaz produits aux électrodes peuvent entraîner la flottation des matières coagulées [44].

Cependant, une cellule d'Electrocoagulation à deux électrodes ne convient pas pour le traitement des eaux usées du fait que la vitesse de dissolution du métal n'est pas exploitable et il est alors nécessaire d'utiliser des électrodes présentant de grandes surfaces [47], ceci est rendu possible par l'utilisation d'électrodes supplémentaires monopolaires ou bipolaires :

III.11.Électrodes monopolaires :

Les électrodes monopolaires peuvent être connectées soit en parallèle, soit en série.

a- Connexion en parallèle :

La figure 7 montre un dispositif simple de la cellule d'électrocoagulation avec une paire d'anodes et une paire de cathodes disposées en parallèle. Cette cellule d'électrocoagulation consiste essentiellement en paires de plaques de métal conducteur placées entre deux électrodes parallèles et une source de courant continu:

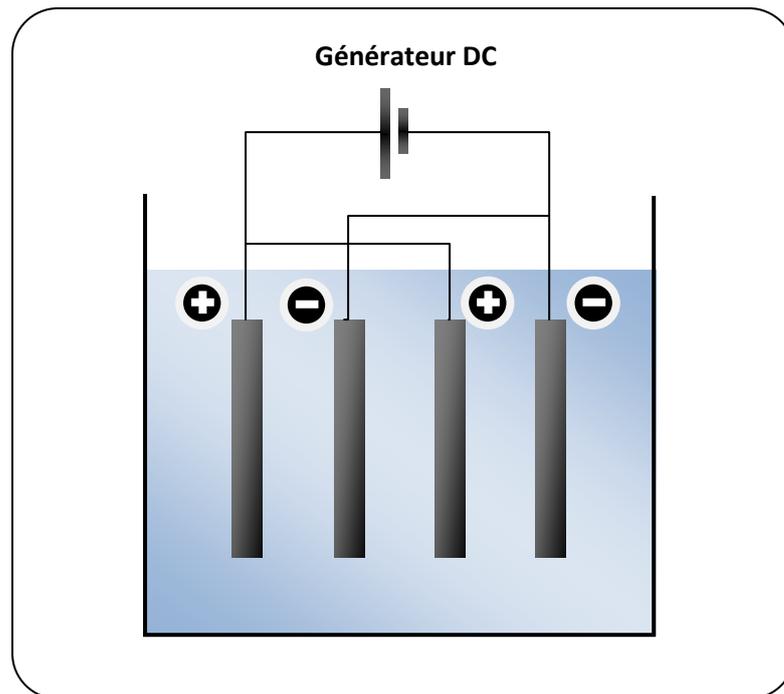


Figure 7: Connexion en parallèle d'électrodes monopolaires.

Les plaques métalliques conductrices sont appelées communément «électrodes sacrificielles». L'anode sacrificielle abaisse le potentiel de dissolution de l'anode et minimise la passivation de la cathode. Les électrodes sacrificielles peuvent être constituées des mêmes matériaux que l'anode ou de matières différentes [47].

b- Connexion en série :

Comme le montre la figure n°8, chaque paire d'électrodes sacrificielles est interconnectée l'une avec l'autre, et n'a donc pas d'interconnexions avec les électrodes externes. Cette disposition dans la cellule d'électrocoagulation avec des électrodes monopolaires en série est similaire du point de vue électrique à une simple cellule avec plusieurs électrodes et des interconnexions.

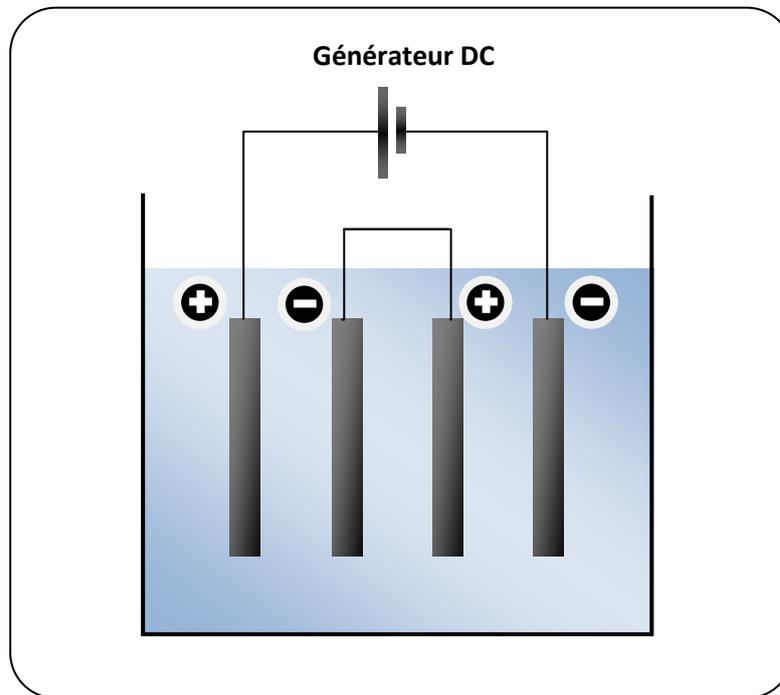


Figure 8: Connexion en série d'électrodes monopolaires.

Dans un montage en série, pour une intensité de courant, nous avons besoin d'une différence de potentiel plus élevée car les cellules connectées en série ont une résistance plus élevée. Cependant, une même intensité de courant traverse toutes les électrodes.

III.12. Electrodes bipolaires :

Dans ce cas, les électrodes sacrificielles sont placées entre deux électrodes parallèles sans aucune connexion électrique, comme le montre la figure 9. Seules les deux électrodes monopolaires sont connectées à la source de courant sans aucune interconnexion entre les électrodes sacrificielles.

Cet arrangement permet une installation plus simple, qui facilite la maintenance lors de l'utilisation. Quand le courant électrique traverse les deux électrodes, les faces non chargées des plaques conductrices seront transformées en faces chargées, qui auront alors une charge opposée par

rapport au côté parallèle qui lui est adjacent ; les électrodes sacrificielles sont alors dites électrodes bipolaires.

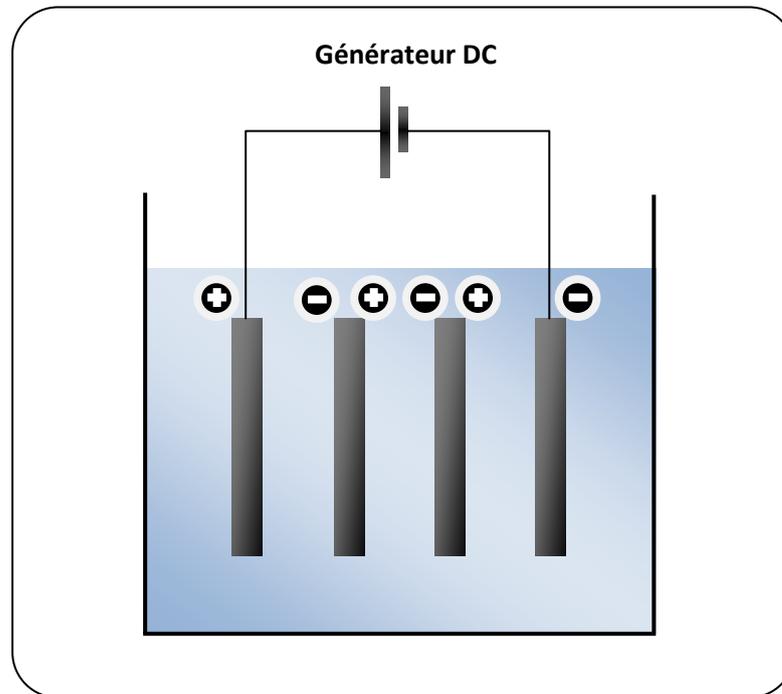


Figure 9 :Connexion des électrodes bipolaires.

III.13. Avantages de l'électrocoagulation :

- Elle nécessite un équipement simple avec un mode opératoire facile.
- L'eau traitée par EC a des propriétés appréciables: l'eau a un goût acceptable, elle est claire, incolore et inodore.
- Les floes formés par EC sont similaires aux floes chimiques, sauf que les floes d'EC ont tendance à être plus grands, qu'ils contiennent moins d'eau liée, sont résistants aux acides et plus stables, et peuvent être ainsi séparés plus rapidement par filtration [47].
- Comparée à la coagulation-floculation traditionnelle, l'EC a en théorie l'avantage d'éliminer les particules colloïdales les plus petites: les plus petites particules chargées ont une plus grande probabilité d'être coagulées à cause du champ électrique qui les met en mouvement.

- Une pollution secondaire peut être causée par les substances chimiques ajoutées à grandes concentrations quand la coagulation chimique est appliquée pour traiter les effluents textiles. L'addition excessive des coagulants peut être évitée dans le cas de l'EC car la génération des coagulants se fait par électro oxydation de l'anode sacrificielle [52].
- La technique EC peut être utilisée facilement en milieu rural où l'électricité pourrait ne pas être disponible, puisqu'un panneau solaire relié à l'unité peut suffire pour mener à bien le procédé d'EC [47].

III.14. Inconvénients de l'électrocoagulation :

- Les électrodes «sacrificielles» sont dissoutes dans l'eau usée par suite de leur oxydation, ce qui nécessite le remplacement régulier de ces électrodes.
- L'utilisation de l'électricité peut revenir chère en certains lieux.
- Il peut se former un film imperméable d'oxyde sur la cathode, ce qui conduit à une perte d'efficacité de l'unité d'EC.
- La technique EC nécessite que la suspension d'eau usée traitée ait une conductivité élevée [47].

III.15. les domaines d'utilisation de l'électrocoagulation :

L'EC a largement été appliquée avec succès par différents chercheurs pour le traitement d'effluents de natures diverses :

Mameri et *al.* [53] ont étudié l'élimination des ions fluorures dans les eaux du Sud Algérien par électrocoagulation bipolaire en utilisant des électrodes en aluminium. Ils sont arrivés à diminuer la concentration en fluorures de 6,0 à moins de 0,8 mg/L enregistrant ainsi un taux d'abattement de l'ordre de 90%.

L'EC a été utilisée pour l'élimination des nitrates [49] et des phosphates [54] retrouvés dans les eaux de surfaces et le sol, surtout dans les zones où l'agriculture est la principale industrie, sachant qu'ils sont responsables d'un problème majeur qui est l'eutrophisation.

Le traitement d'eau polluée par les rejets d'une industrie de raffinage mécanique et chimique, caractérisée par une teneur élevée en matières en suspensions, une DCO supérieure à 500 mg/L, une concentration en cuivre de

l'ordre de 100 mg/L, etc. a permis d'atteindre 99% d'élimination du cuivre et 75% de DCO par électrocoagulation en utilisant des électrodes en fer et en aluminium[55].

Des chercheurs thaïlandais ont isolé des produits naturels à partir des plantes par EC ; celle-ci leur a donné des résultats meilleurs que les méthodes classiques telles que, l'extraction par solvants ou chromatographies, où des solvants organiques toxiques doivent être utilisés en grandes quantités et qui finissent éventuellement comme problématique environnementale [56].

L'électrocoagulation a été appliquée comme prétraitement des margines (rejets des industries de production d'huile d'olive) où la majorité des composés phénoliques responsables de couleur sombre, phytotoxicité...etc., ont été polymérisés [57].

Suite à cette étude bibliographique, il s'avère que l'application de l'électrocoagulation a connu des domaines très divers, contribuant à l'élimination de plusieurs composés d'origines différentes mais qui s'unissent par leurs impacts négatifs sur l'environnement.

En ce qui nous concerne ; on va utiliser la technique d'électrocoagulation pour traiter les eaux de MOBYDAL chargées en malathion .

PARTIE
EXPÉRIMENTALE

CHAPITRE IV
MATÉRIELS ET
MÉTHODES

Chapitre IV : matériels et méthodes

IV-1-Matériels et réactifs:

- Matériels :

- **Générateur** :MCP labelectronics. Model: M10-TP 3003L
- **pH-mètre** :HANNA INSTRUMENTS
- **conductimètre** :HANNA INSTRUMENTS
- **Spectrophotomètre UV** : spectrophotometer SHIMADZU
- **Agitateur** : Linda instrument

- Réactifs :

- **NaCl**
- **NaOH**
- **H₂SO₄**

IV-2- Effluent synthétique :

Le pesticide que nous avons utilisé (figure n°8), nous a été gracieusement fournis par l'entreprise Mobydal de Baraki:



Figure n°10: Malathion à 95% de matière active.

Nous avons préparé l'effluent synthétique au laboratoire, par dissolution dans de l'eau distillée du malathion appartenant à la classe des organophosphorés largement utilisés en agriculture. Le calcul de sa concentration pour une pureté de 95% de matière active est résumé en annexe

Les caractéristiques du pesticide utilisé sont décrites ci-dessous:

- **Le nom selon l'UPAC** :..... *Diethyl[(dimethoxyphosphinothioyl)thio]butanedioate*
- **Pureté** :..... *95% de matière active*
- **Couleur** :..... *Liquide jaune ambré*
- **Odeur** :..... *Douceâtre, extrêmement légère*
- **Densité** :..... *1,23 kg/l à 20°C*
- **Stabilité** :..... *Reste stable pendant 3 ans conservé dans son emballage d'origine dans des conditions normales de température et d'humidité.*
- **Solubilité dans les solvants**: *Très soluble dans les solvants organiques tels hexane, isopropanol.*
- **Solubilité dans l'eau** :..... *145 mg/l à 30 °C*

IV.3- Dispositif expérimental :

Pour réaliser nos expériences, nous avons conçu et réalisé au laboratoire des biotechnologies de l'ENP, un réacteur en plexiglas comprenant une cuve , des électrodes en aluminium, des fils électriques reliant le dispositif au générateur .

Le réacteur est placé dans une colonne remplie avec 800ml de l'effluent à traiter. La conductivité de la solution est ajustée avec du NaCl et le pH est réglé avec des solutions de NaOH ou H₂SO₄ 0,5N.

Les deux électrodes en aluminium ont chacune une longueur de 55 mm, une largeur de 45 mm et une épaisseur de 0,5 mm. Ces électrodes sont installées parallèlement, séparées par une distance de 50 mm et connectées séparément à deux fils électriques. Tous les matériaux en contact avec le liquide à traiter sont de nature isolante. Un agitateur assure l'homogénéisation de la solution.

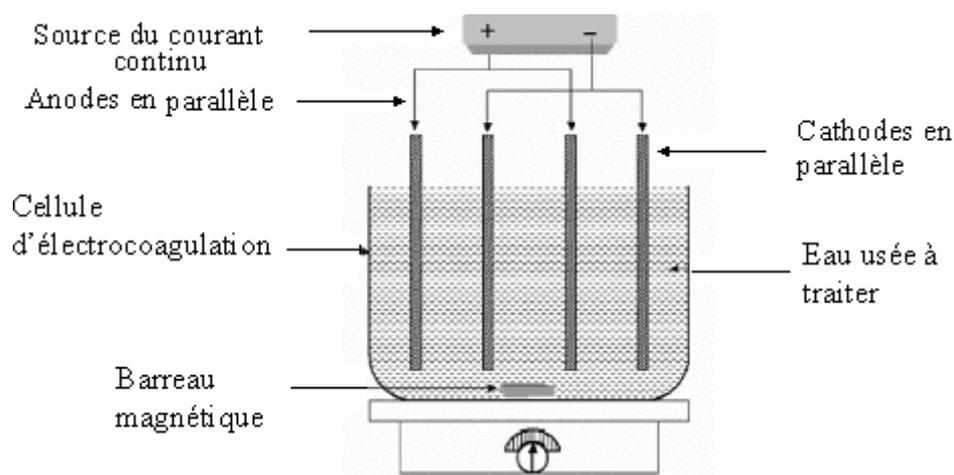


Figure (11): schéma du dispositif expérimental

Le champ électrique produit entre les électrodes est généré par un appareil pouvant produire un courant continu de deux ampères. L'appareil est relié aux électrodes par des fils en cuivre munis de pinces crocodiles.

Après la détermination de la longueur d'onde optimale pour une absorbance maximale du pesticide étudié, une courbe d'étalonnage a été tracée afin de pouvoir estimer sa concentration en solution.

Le pourcentage d'élimination est calculé par la relation suivante :

$$E\% = ((C_i - C_f) \div C_i) \times 100$$

Avec :

- ✓ C_i : Concentrations initiales (avant traitement) de l'effluent (en mg/L) .
- ✓ C_f : Concentrations finales (après traitement) de l'effluent (en mg/L).

Au cours du procédé d'électrocoagulation, des prélèvements d'échantillons sont effectués à des temps bien déterminés. Le pH et la conductivité sont mesurés à chaque temps et dosés par spectrophotométrie à 825nm.

Les échantillons après 36 heures sont représentés sur la figure n°12:



Figure (12):*Echantillons après 36heures*

CHAPITRE V

RÉSULTATS

ET DISCUSSIONS

CHAPITRE V: Résultats et discussion

V.1- Effet de la concentration initiale du malathion:

L'objectif de ces expériences, c'est d'étudier l'influence de la concentration initiale du malathion sur le rendement du traitement par électrocoagulation. Pour cela, nous avons réalisé des essais en gardant tous les paramètres constants à savoir : la teneur en sel, l'intensité de courant, le pH initial des solutions, la distance séparant les électrodes ainsi que leurs nombre, excepté la concentration initiale du malathion que nous avons faite varier de 15 à 100 mg/L. Cette gamme de concentration a été choisie afin de répondre à la question que nous nous sommes posés :

Est-ce que le système d'électrocoagulation répond efficacement aussi bien aux fortes charges qu'aux basses charges ?

Les résultats obtenus sont représentés sur la figure n°13 présentant les concentrations résiduelles en malathion exprimées en mg/L en fonction du temps de traitement en minutes.

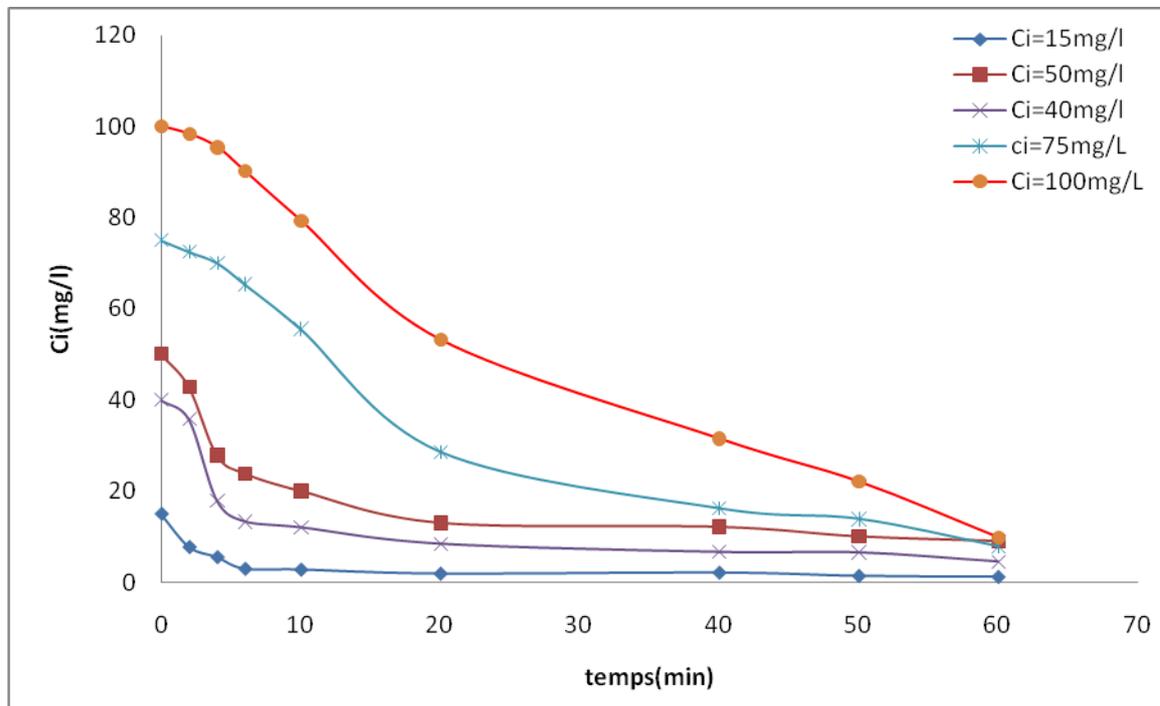


Figure n°13: Influence de la concentration initiale en malathion $I=0,85A$, $N=2$, $d_i=2cm$, ϕ de la solution, $NaCl=1g.l^{-1}$.

A la lecture de ces graphes, on observe des différences dans la cinétique d'élimination. Il apparaît que le traitement de solutions de plus en plus concentrées en malathion nécessite plus de temps réactionnel pour atteindre le taux maximal d'élimination. Ceci est dû à la formation insuffisante des complexes d'hydroxydes métalliques pour coaguler l'excès des molécules de malathion à des concentrations élevées [58].

Nous observons aussi sur la figure n°13 présentée ci-dessus, que quelque soit la concentration du pesticide utilisée, le traitement par électrocoagulation s'avère efficace où des taux d'élimination dépassant les 85% pour les fortes concentrations, et même des taux d'élimination atteignant les 91% sont obtenus pour les moyennes et faibles concentrations.

La figure n°14 représente l'évolution du temps nécessaire pour 80% d'élimination du malathion en fonction de sa concentration initiale. Elle permet aussi d'avoir une meilleure lisibilité des résultats et de mettre en évidence le ralentissement causé par les concentrations élevées en malathion.

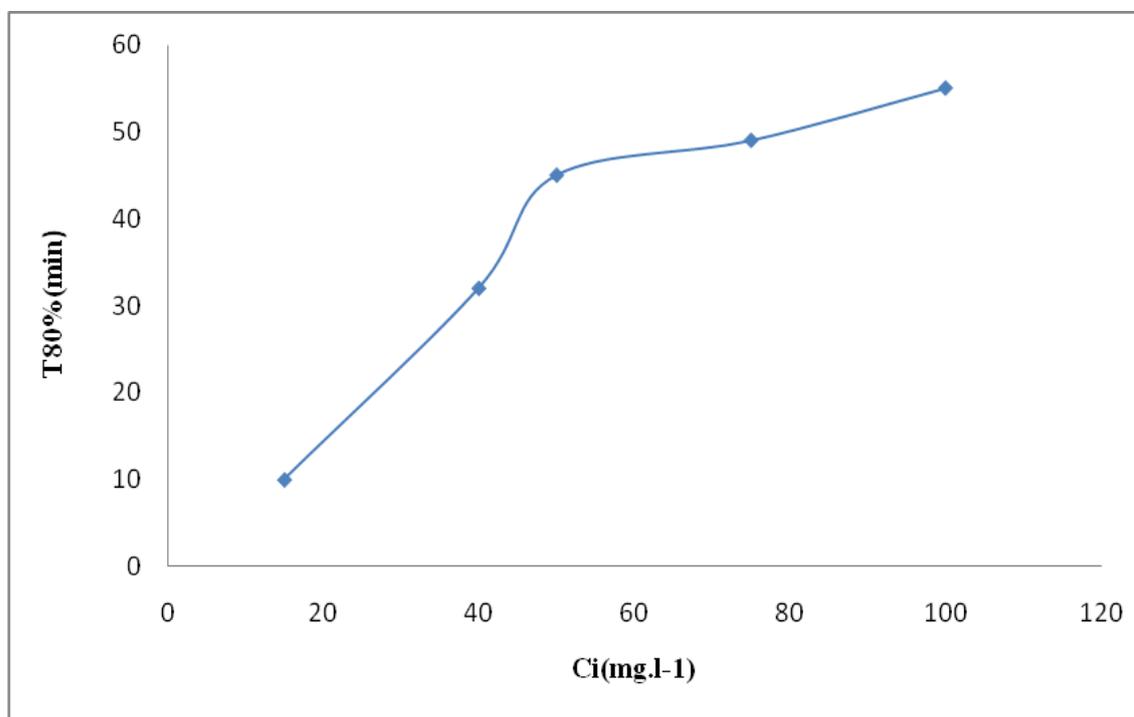


Figure n°14: Evolution du temps nécessaire pour 80% d'élimination du malathion en fonction de sa concentration initiale.

Dorénavant, la concentration initiale du malathion que nous utiliserons pour la suite de nos expériences est de 40 mg/L.

V.2- Effet de la concentration en NaCl :

Un des principaux paramètres influençant le traitement des eaux par électrocoagulation est la conductivité du milieu réactionnel, qui peut être modifiée par l'ajout d'un sel [59,60,61,62,63].

Pour établir le lien entre la salinité d'une solution et sa conductivité, nous avons préparé des solutions de différentes concentrations en NaCl. Les résultats sont présentés sur la figure n°15.

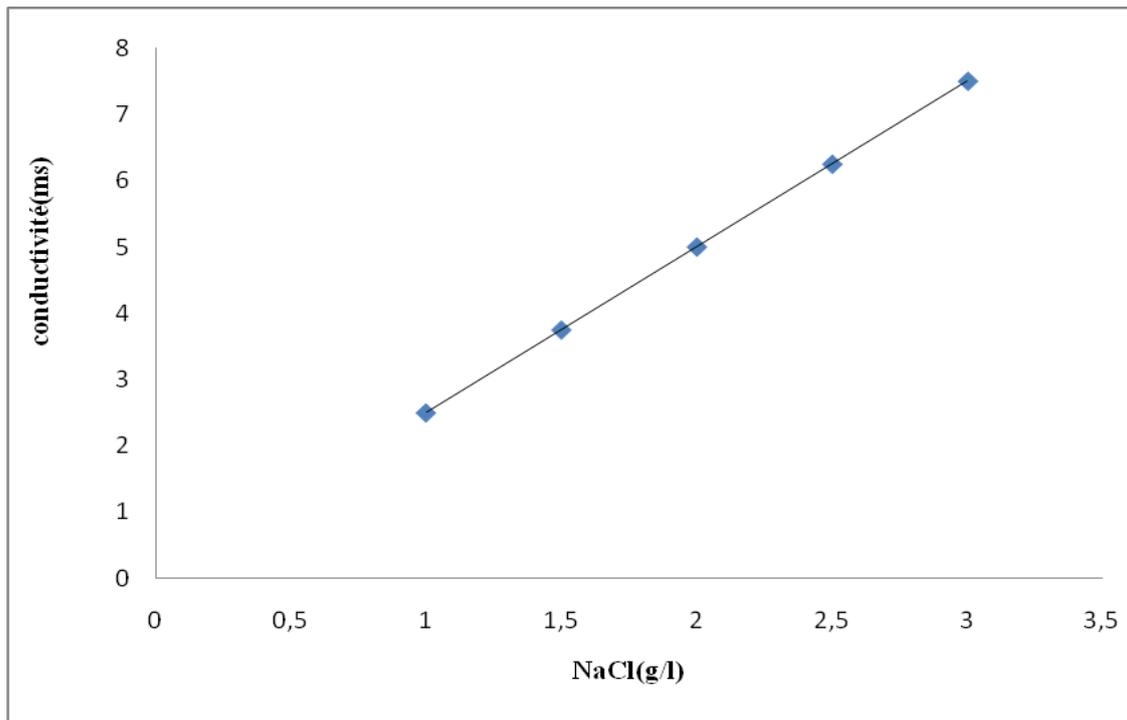


Figure n°15: Lien entre la salinité et la conductivité d'une solution.

Nous remarquons que la conductivité est proportionnelle à la concentration du sel utilisée. En effet, l'influence du sel a été étudiée en faisant varier sa concentration dans les solutions contenant du malathion. Les autres paramètres ont été maintenus constants à savoir :

- Concentration initiale..... 40 mg/L.
- Intensité de courant..... 0,85A.
- Electrodes..... en aluminium.
- Nombre d'électrodes..... 2 (EC monopolaire).
- Distance inter- électrodes..... 2cm.
- pH des solutions..... Non contrôlés

Nous avons fait varier la salinité en NaCl de 1 à 3g/l, Les résultats obtenus sont présentés sur la figure n°16.

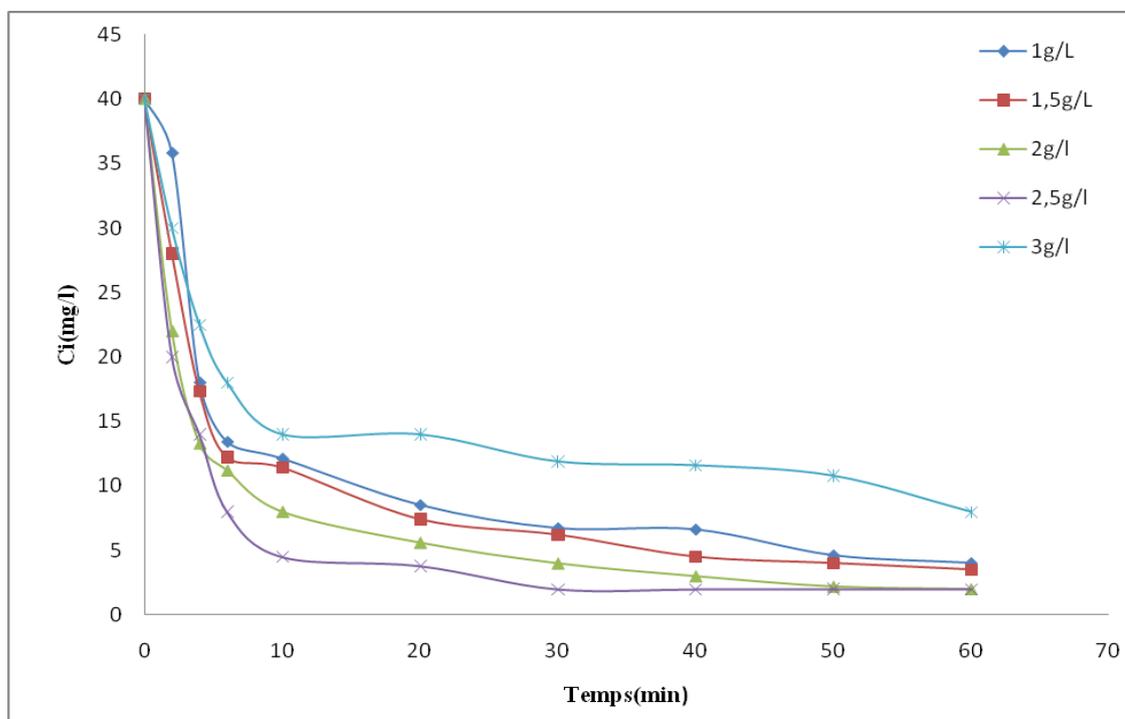


Figure n°16: Influence de la concentration en NaCl sur l'élimination du malathion
 $C_i=40\text{mg/L}$, $I=0,85\text{A}$, pH_i de la solution, $N=2$, $d_i=2\text{cm}$.

D'après ces résultats, nous remarquons que l'allure des courbes est similaire pour les teneurs en NaCl de 1 à 2,5 g/L. La cinétique d'abattement est d'autant plus élevée que la salinité est importante.

Le rendement maximal de 95% est atteint pour une salinité de 2,5g/l au bout de 60 minutes de traitement.

Afin de bien mettre en évidence l'influence de la conductivité, nous avons tracé le graphe donnant les taux d'élimination enregistrés après 10 min de temps opérationnel en fonction de la teneur en sel, comme illustré sur la figure n°17.

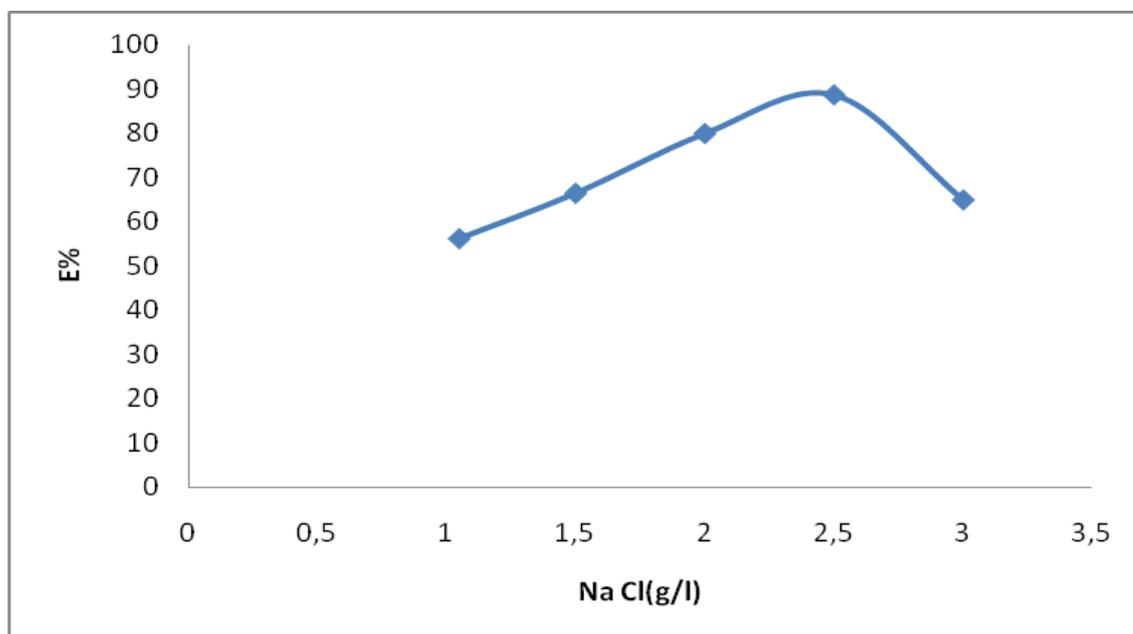


Figure n°17: Evolution du taux d'élimination du malathion en fonction de la teneur en sel après 10 minutes de traitement.

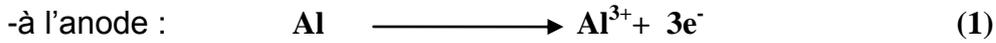
D'après la figure n°17, nous remarquons que le passage de 1 à 2,5 g/L de la teneur en sel a permis une augmentation de 56% à 89% du taux d'élimination du malathion. Au-delà de 2,5g/L, un apport supplémentaire en sel semble avoir un effet négatif sur l'efficacité du procédé où une diminution est enregistrée.

La diminution du taux d'élimination peut être attribuée au changement dans la force ionique dû au changement de la conductivité dans le milieu aqueux. La force ionique affecte les cinétiques et l'équilibre des réactions entre les espèces chargées se produisant durant l'Electrocoagulation [64,65].

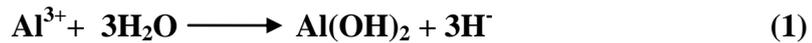
D'une manière globale, le traitement par électrocoagulation monopolaire (ECM) a donné de très bons résultats avec l'utilisation des électrodes en aluminium et une salinité de l'ordre de 1 à 2,5 g/L en NaCl.

Ces résultats concordent avec les travaux de Kobya et *al.* [66] affirmant qu'une conductivité élevée est favorable pour une haute performance du procédé d'électrocoagulation.

Sous l'action du courant électrique, il se produit des réactions d'oxydoréduction à l'anode et à la cathode. Les mécanismes intervenant lors du traitement par EC avec des électrodes en aluminium sont résumés ci-dessous:



Les ions Al^{3+} et OH^- générés par les réactions (1) et (2) vont réagir pour former des espèces monomériques variées telles que: $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$, $\text{Al}(\text{OH}_4)^-$, $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ et des espèces polymériques telles que: $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$, $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{4+}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$, $\text{Al}_{12}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$, $\text{Al}_{13}\text{OH}_{34}^{5+}$, qui se transforment enfin en $\text{Al}(\text{OH})_2$ suivant des cinétiques de précipitation complexes (Can et al., 2003) :



Les floccs amorphes $\text{Al}(\text{OH})_2$ dits «*sweep floccs*» fraîchement formés ont de larges surfaces qui sont bénéfiques pour une adsorption rapide des composés organiques solubles et le piégeage des particules colloïdales [65].

Lors du procédé d'électrocoagulation, nous avons remarqué un dégagement de bulles de gaz à la cathode. Ce sont des bulles d'hydrogène produites suite à l'électrolyse de l'eau qui peut aussi induire de l'oxygène à l'anode [66].

Les travaux de Daneshvar et al. ont montré que ces bulles de gaz recueillent les polluants à la surface de la solution où ils sont plus facilement concentrés, collectés et éliminés [67].

Il s'est avéré que l'abattement de 80% est atteint en moyenne pour toutes les concentrations de NaCl testées, mais à des temps différents.

Afin d'illustrer ces différences et avoir une meilleure lisibilité des résultats obtenus, nous avons porté le t80% représentant le temps opérationnel nécessaire pour atteindre un pourcentage d'élimination de 80% du malathion de la solution en fonction de sa teneur en sel. Les résultats sont représentés sur la figure n°18.

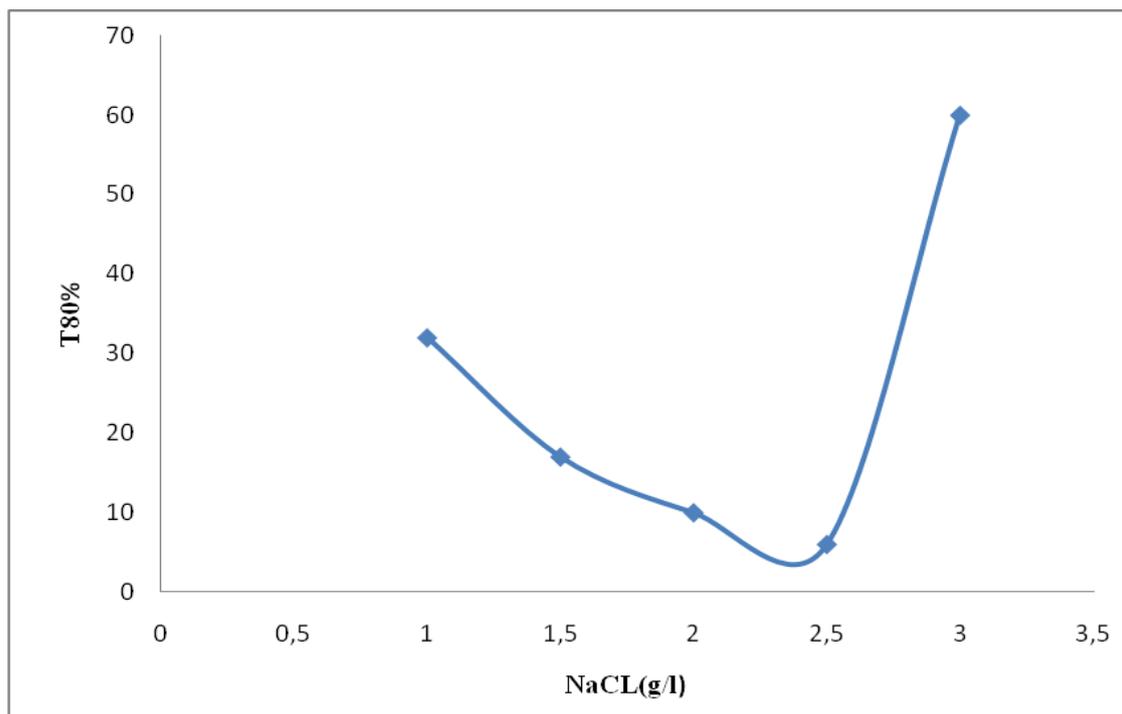


Figure 18: Temps nécessaire à l'abattement de 80% du malathion en fonction de la teneur en NaCl.

Nous constatons que le malathion est plus rapidement éliminé avec la solution 2 contenant 2,5 g/L en NaCl que la solution 1 contenant 1g/L en NaCl.

En effet, nous enregistrons pour la solution 2 un abattement de 80% pour un temps inférieur à 10 minutes et le même abattement en 35 minutes pour la solution 1. La concentration optimale est donc fixée à 2,5 g/L.

V.3- Effet du pH initial :

Afin d'établir l'influence du pH initial sur l'élimination du malathion, nous avons effectué des essais avec des solutions de pH initial allant de 4 à 10 en faisant ajuster la solution synthétique avec une solution d'acide chlorhydrique (HCl 0,5N) pour des solutions acides, et avec une solution de soude (NaOH 0,5N) pour des solutions alcalines.

Les résultats obtenus sont rapportés sur la figure n°19, où nous constatons que l'abattement du malathion par électrocoagulation en fonction du temps, diffère suivant le pH en allant de la gamme acide à la gamme alcaline.

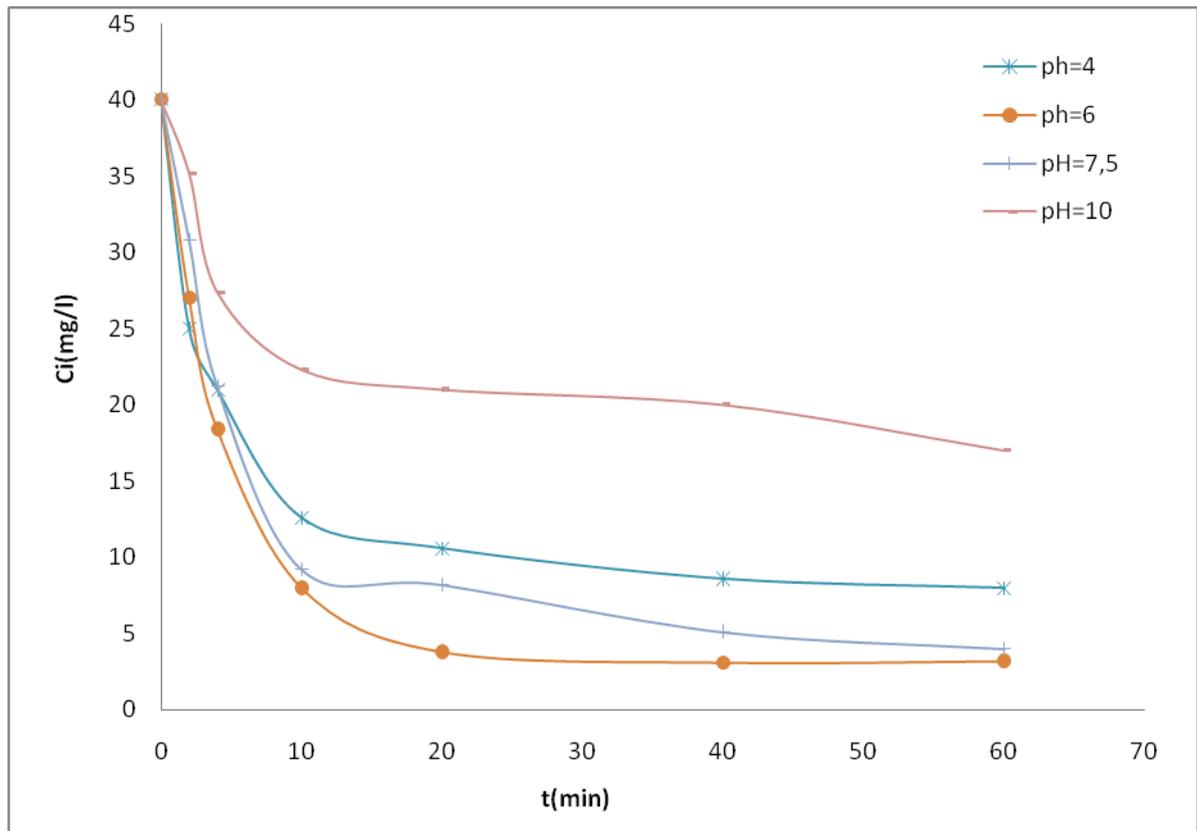


Figure n°19: Influence du pH initial sur l'élimination du malathion
 $C_i=40\text{mg.L-1}$, $N=2$, $d_i=2\text{cm}$, $I=0,85\text{A}$, $\text{NaCl}=2,5\text{g.L-1}$.

Nous constatons d'après la figure n°19, que l'abattement du malathion est optimal à pH légèrement acide et que le pH basique est très défavorable.

En effet, une meilleure cinétique d'abattement est obtenue à $\text{pH}_i = 6$ où le taux d'élimination du malathion atteint 92% au bout de 60min.

Dans les cas où l'aluminium est utilisé, les ions générés électrochimiquement peuvent former des complexes hydroxomonomériques ou polymériques selon le pH du milieu, et ces complexes ont tendance à polymériser entre le $\text{pH}=4$ et le $\text{pH}=7$, cela est démontré par les travaux de Gurses et *al.*[69].

Un diagramme d'hydrolyse de l'aluminium en fonction du pH a également été proposé, il est représenté sur la figure n°20.

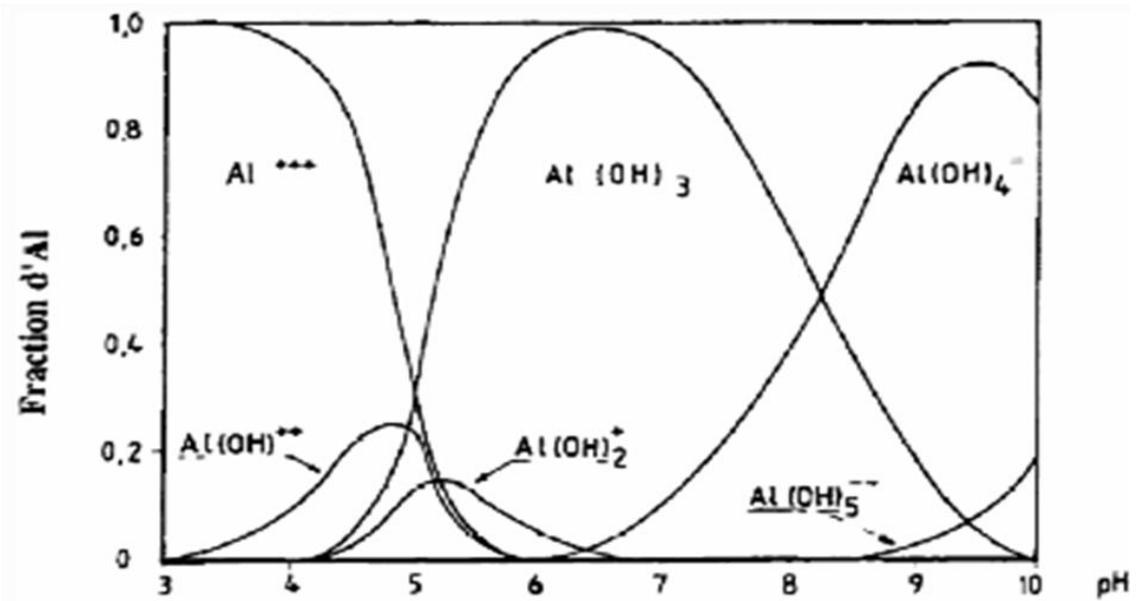


Figure n°20 :Hydrolyse de l'aluminium en fonction du pH [70]

L'évolution du pH dans le milieu réactionnel a été suivie lors de toutes les expériences, ceci nous a permis de tracer le pH final en fonction du pH initial selon la figure n°21.

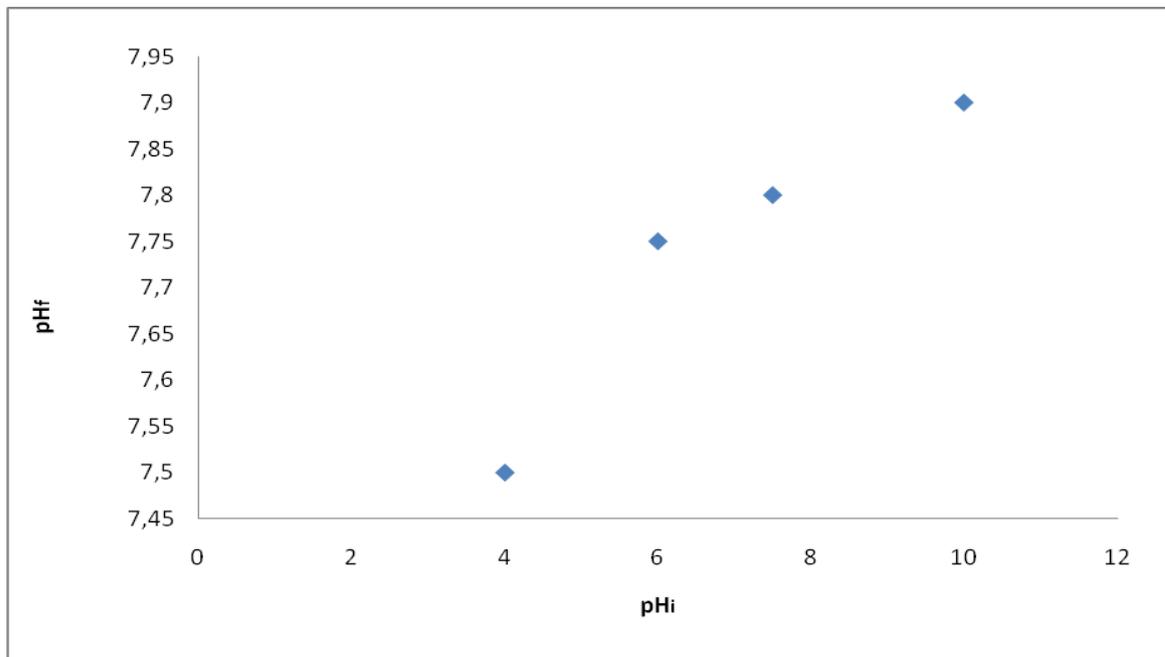


Figure n°21:Evolution du pH_f en fonction du pH_i .

Nous remarquons que, quelque soit le pH_i des solutions à traiter, les pH obtenus à la fin du traitement d'électrocoagulation sont alcalins pour la plupart des cas. Cependant, un léger fléchissement des pH_f lorsque les pH_i étaient alcalins dans certaines manipulations est observé.

En 2004, Chen a rapporté que le pH de l'effluent traité par EC augmenterait si l'effluent est acide, et diminuerait s'il est alcalin et attribue ce phénomène à plusieurs réactions ayant lieu dans le milieu; Le procédé d'électrocoagulation est dit avoir un pouvoir tampon[71].

Les pH_4 , 7.5 , 6 et 10 représentés sur les figures n°22, 23, 24 et 25 permettent d'avoir une meilleure lisibilité des résultats et de mettre en évidence le pouvoir tampon du procédé d'EC.

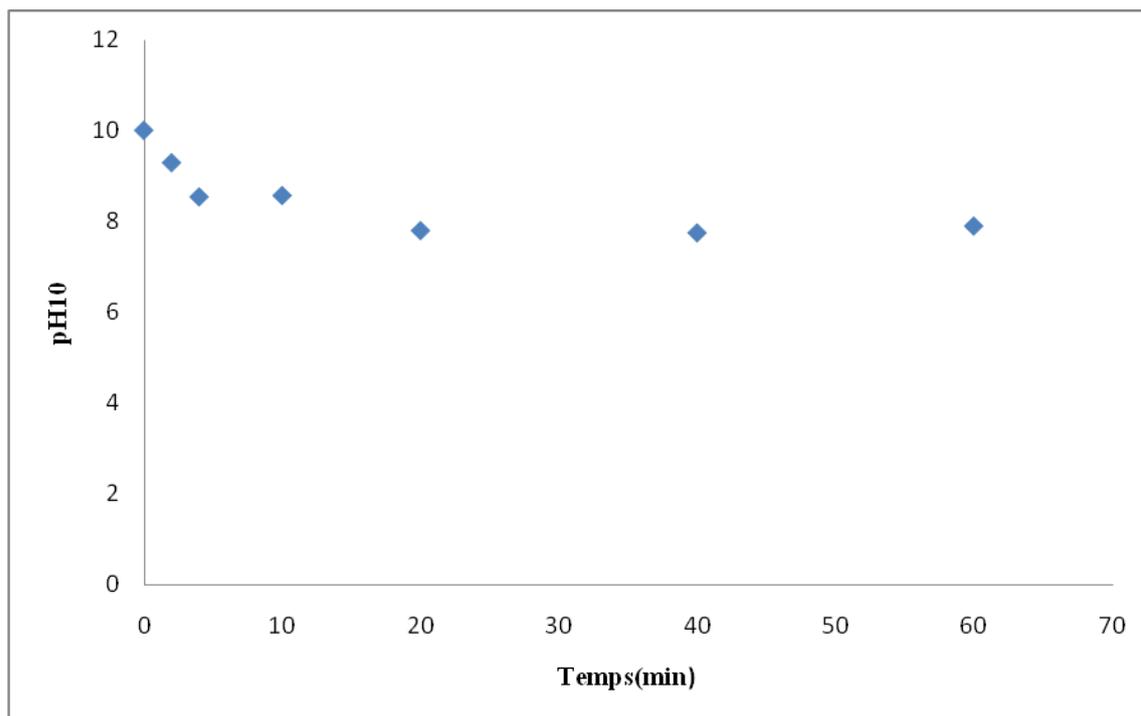


Figure 22: Variation du pH en fonction du temps au cours de l'EC, $pH_i=4$.

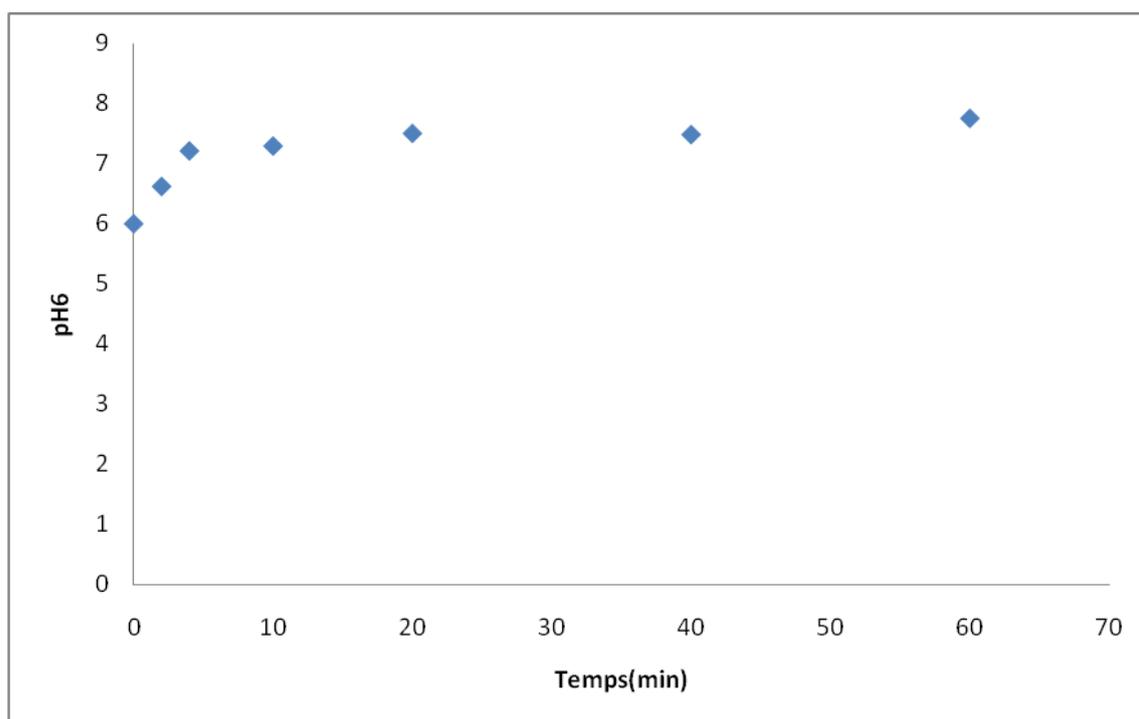


Figure 23: Variation du pH en fonction du temps au cours de l'EC, $pH_i=6$.

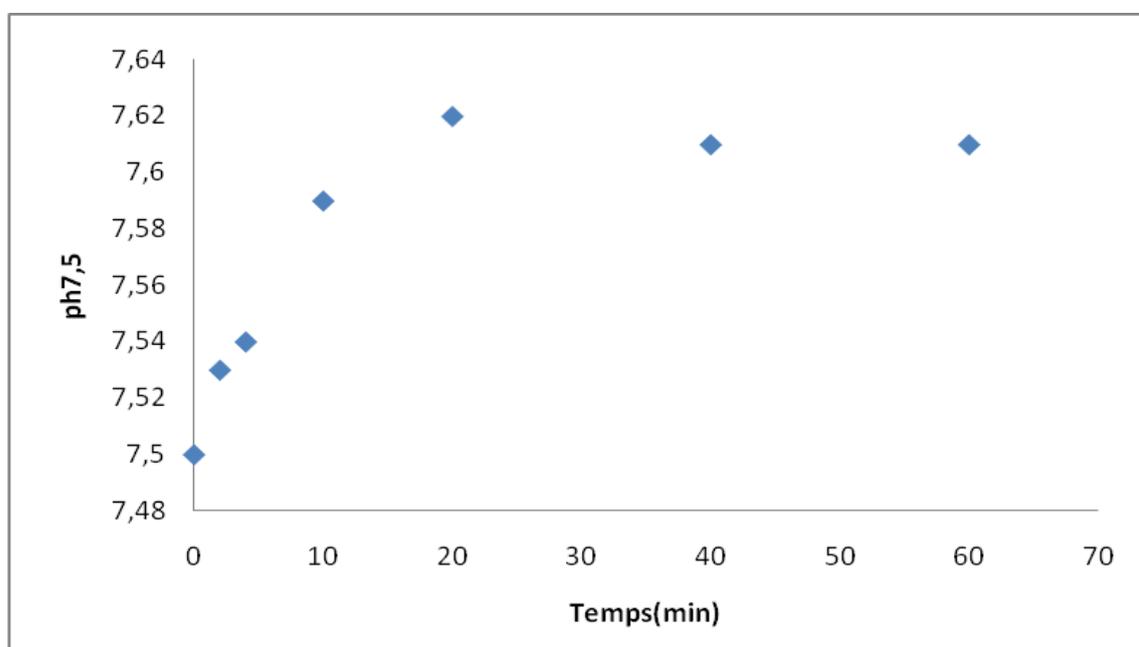


Figure 24: Variation du pH en fonction du temps au cours de l'EC, le $pH_i=7.5$.

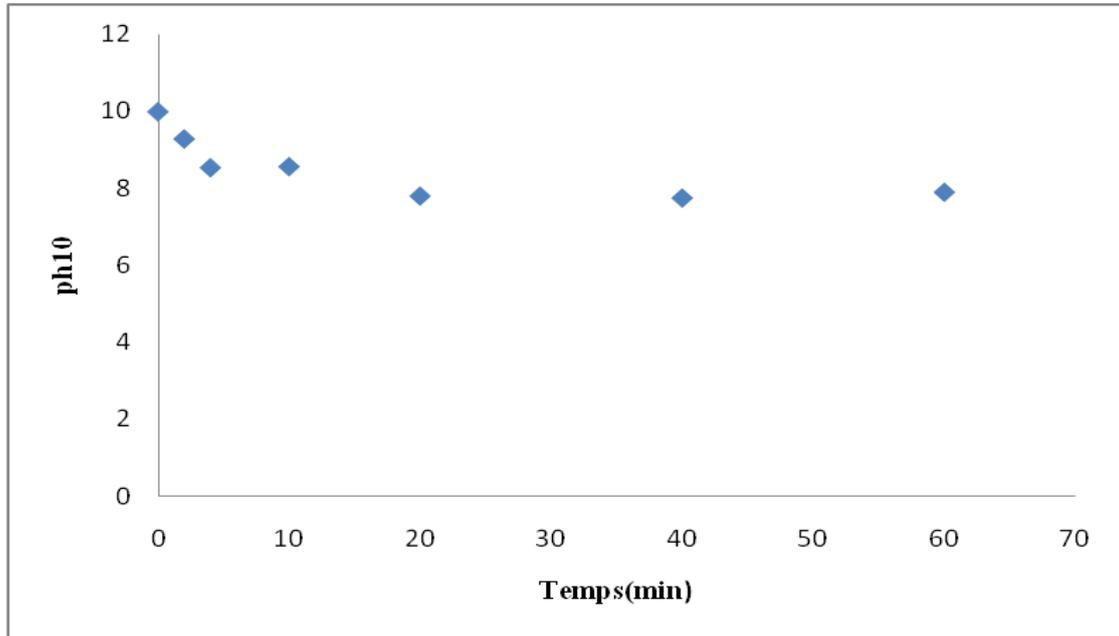


Figure 25: Variation du pH en fonction du temps au cours de l'EC, le $pH_i=10$.

Ces figures illustrent bien que le pH croît ou décroît selon que le pH initial utilisé est plus grand ou plus petit que 7.

La figure 26 montre bien cela ou nous remarquons la convergence des courbes à la fin du traitement par électrocoagulation.

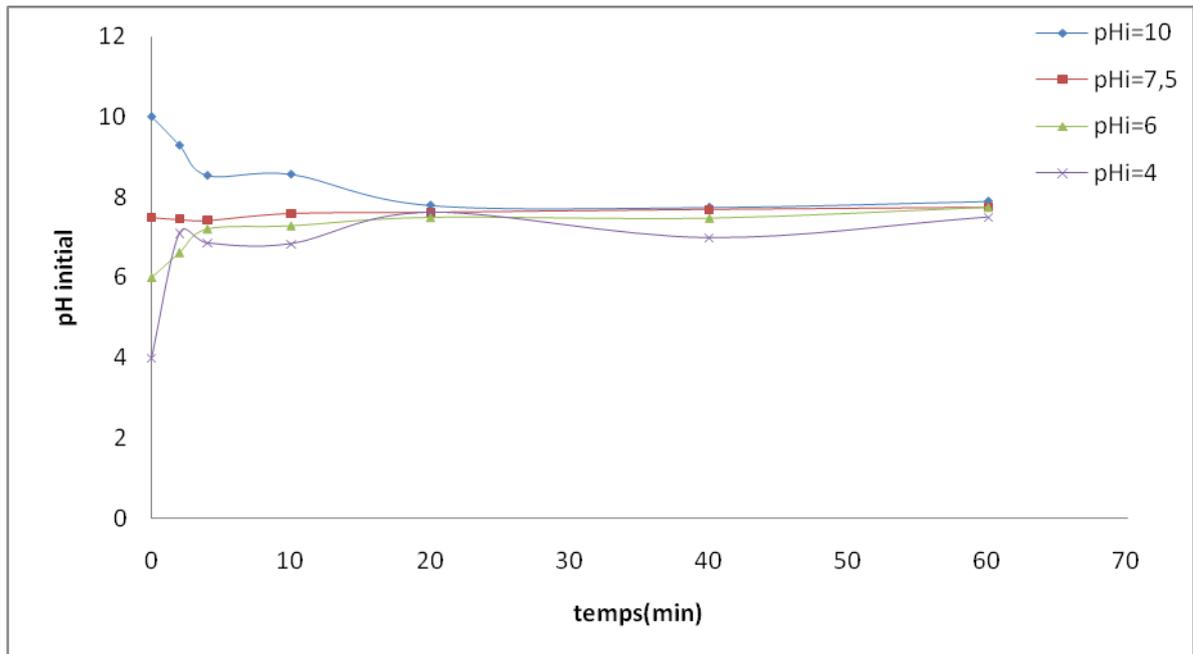


Figure n°26: Variation du pH en fonction du temps au cours de l'EC.

Comme prévu, au cours du temps le pH augmente ou diminue au cours de l'EC selon sa valeur initiale. Nous retrouvons la plus forte variation pour un pH initial de 4.

Ainsi, dans tous les cas, le pH tend à converger vers une valeur finale de pH voisine de 7 (entre 7,75 et 7,9).

Mise à part le pH de 10 où l'élimination se fait plus lentement, les autres pH donnent des cinétiques qui évoluent de manière assez rapide. Pour cela, nous avons tracé les pourcentages d'élimination du malathion en fonction des pH initialement réglés aux valeurs voulues pour un temps réactionnel de 60 minutes, comme le montre la figure n°27.

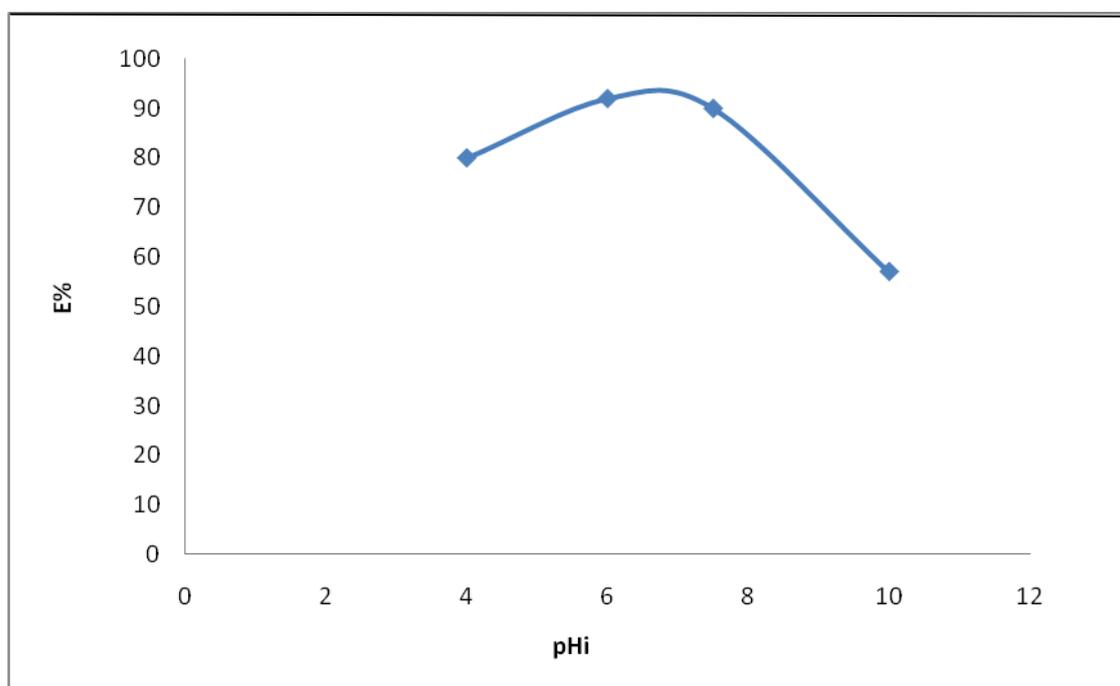


Figure n°27: Pourcentage d'élimination du malathion selon le pH initial Électrodes en Al, temps=60 min.

D'après la figure 27, la valeur du pH initial optimal assurant une meilleure efficacité d'élimination du malathion a été fixée à 6, donc nous ajusterons pour la suite des expériences le pH initial des solutions à 6. Cependant, Mameri *et coll.*, en 1998 et Hu *et coll.*, en 2007 ont obtenu un pH initial optimal égal de 5.

V.4- Effet de l'intensité de courant :

Pour établir l'effet du courant électrique appliqué sur l'élimination du malathion par le procédé d'ECM, nous avons répété le même essai avec différentes intensités (0.2 ,0.4, 0.6 ,0.85 et 1 A).

L'analyse des filtrats des échantillons prélevés au cours du traitement dans les différentes conditions, donnent les résultats qui sont représentés sur la figure 28 exprimés par les pourcentages d'élimination du malathion des solutions synthétiques en fonction du temps de traitement.

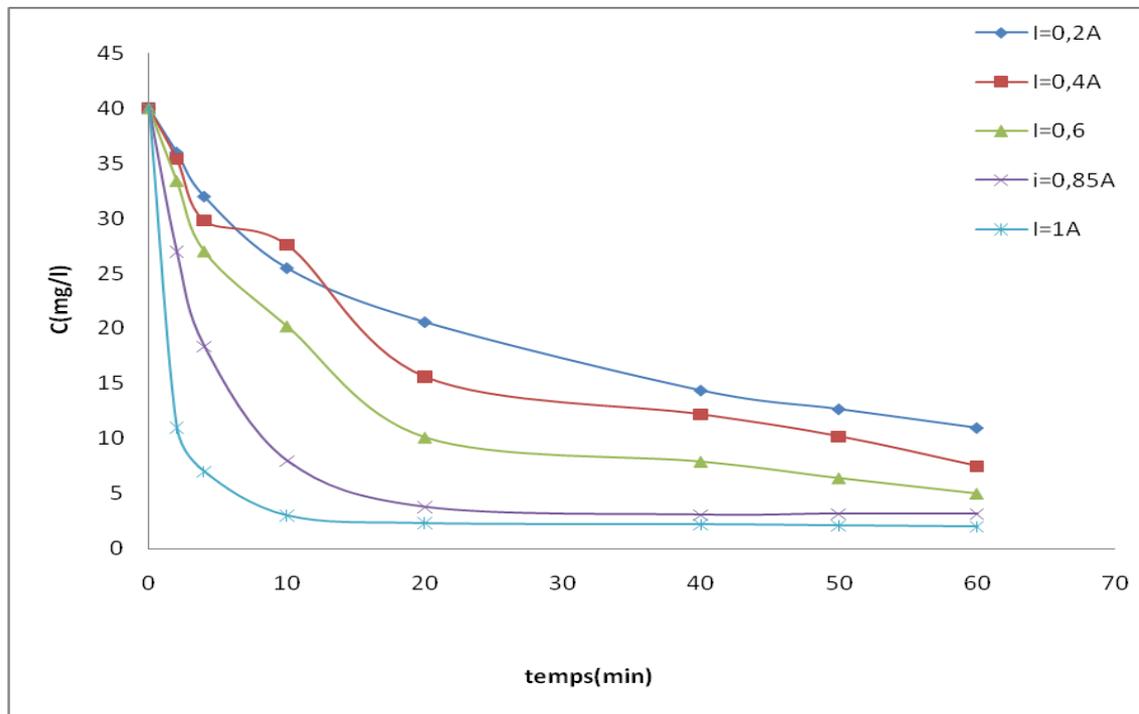


Figure n°28: Influence de l'intensité de courant sur l'élimination du malathion, $C_i=40\text{mg/L}$, pH_i de la solution=6, $N=2$, $d_i=2\text{cm}$, $\text{NaCl}=2,5\text{g/L}$.

D'après ces résultats, nous remarquons que l'application de valeurs d'intensité de courant ascendante améliore le taux et la cinétique d'élimination du malathion. Par exemple, en un temps réactionnel de 10 minutes, le taux d'élimination passe de 36% sous une intensité de 0,2A à 92% sous une intensité de 1A.

A des intensités de courant élevées, la dissolution anodique de l'aluminium augmente, entraînant un taux plus important de précipités nécessaires pour l'élimination des polluants [72].

Il est à noter que le niveau de production de bulles de gaz augmente, leurs tailles diminuent avec l'augmentation de l'intensité du courant appliqué, ce qui peut être bénéfique pour une grande performance d'élimination du polluant par flottation à l'hydrogène [73].

Sur la figure 29, nous avons porté l'évolution du temps $T_{80\%}$, au bout duquel 80% de la quantité de malathion initiale est traitée en fonction de l'intensité de courant appliquée, l'optima d'abattement est affecté pour l'intensité de courant la plus grande, c'est à dire, l'abattement est d'autant plus élevé que la densité de courant est élevée.

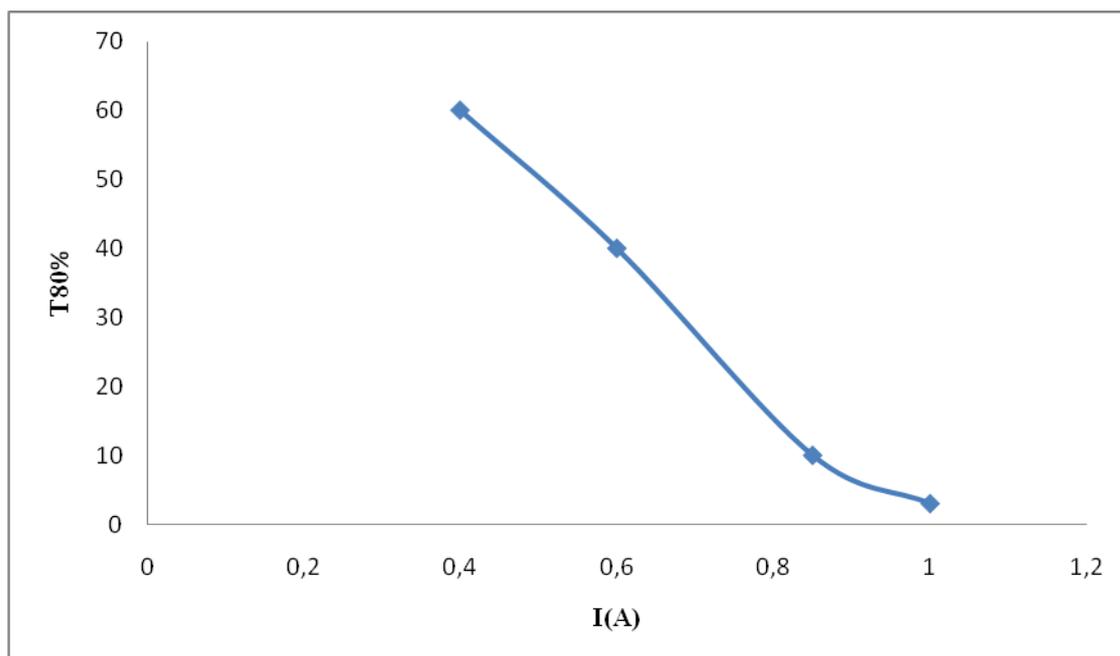


Figure 29: Evolution du temps nécessaire pour 80% d'élimination du malathion en fonction de l'intensité de courant.

Puisque l'intensité de courant affecte la quantité de coagulant produite au cours du temps, il est normal que l'enlèvement du malathion en fonction du temps soit plus rapide à plus forte intensité. Donc, d'après la figure 29, nous atteignons un abattement de 80% au bout de 3 minutes avec une intensité de 1A.

Par contre, nous atteignons cet abattement au bout de 60 minutes de traitement avec une intensité de 0,4 A . Il apparaît pertinent que l'enlèvement du malathion est fortement affecté. Ceci corrobore les résultats obtenus par d'autres chercheurs [62 ,64 ,74] . Ceci nous ramène à retenir le courant de 1 ampère pour la suite des travaux.

V.5- Effet de la distance inter- électrodes:

La distance entre les électrodes est l'un des paramètres les plus déterminants intervenant lors du traitement par la technique d'électrocoagulation et même dans tout procédé électrochimique.

Ce paramètre est également évalué par la répétition du même essai avec différentes distances entre les électrodes d'aluminium (1,2 et 3cm) tout en fixant les autres paramètres. Les résultats sont représentés sur la figure 30.

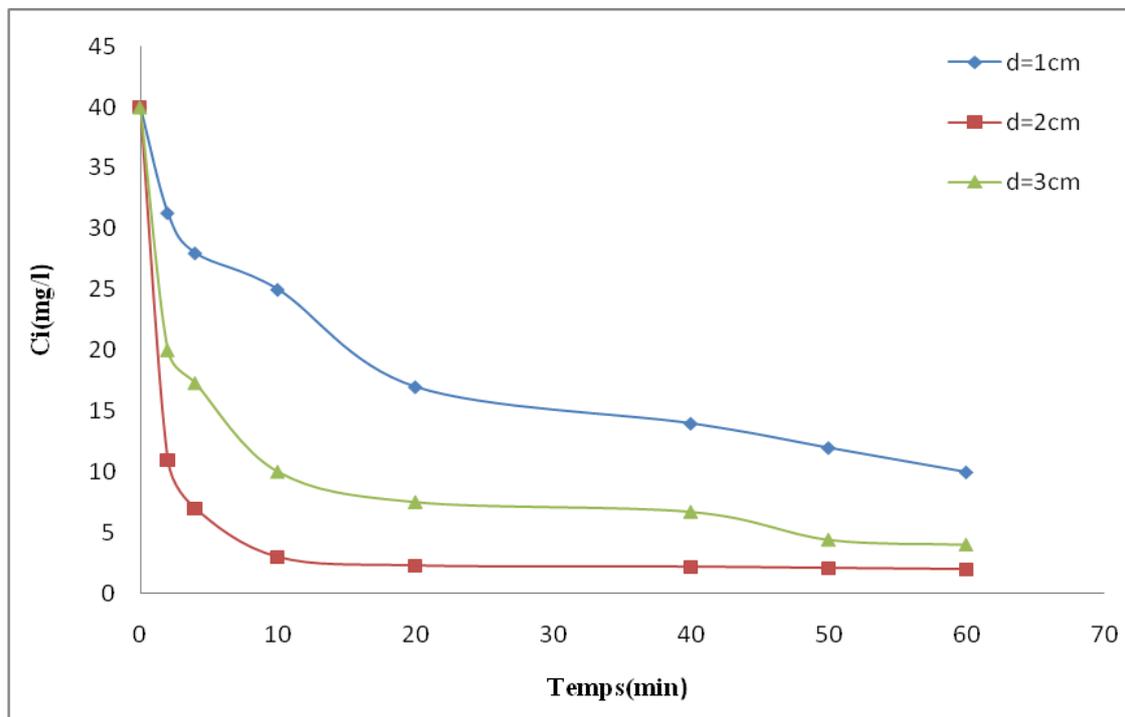


Figure n°30: Influence de la distance inter- électrodes sur l'élimination du malathion
 $C_i=40\text{mg/L}$, $N=2$, $\text{NaCl}=2,5\text{g/L}$, $I=1\text{A}$, $\text{pHi}=6$.

En observant les courbes illustrées sur la figure 30, nous remarquons que les distances supérieures ou inférieures à la distance inter- électrodes de 2 cm engendrent des variations négatives dans les cinétiques d'élimination du malathion. Il y a un ralentissement dans celles-ci mais aussi une diminution du taux maximal d'élimination du malathion, quand la distance est augmentée de 2 à 3cm.

Après seulement 10 minutes, la quantité de malathion décroît de 92% à 37%. De même, quand elle est diminuée de 2 à 1cm, nous remarquons qu'au bout de 5 minutes il y a diminution de 94% à 57% d'élimination du malathion.

En 2003, Daneshvar et *al.* Avancent l'hypothèse qu'avec l'augmentation de la distance inter-électrodes, il y aurait peu d'interactions possibles des ions avec les polymères hydroxydes [51].

Avec une distance inter-électrodes de 1 cm, les performances de notre système s'en trouvent affectées. Cependant, ce n'est pas un cas général, où plusieurs auteurs ont des performances plutôt accrues. [75 , 76]

Le tracé des figures 31 et 32 donnant respectivement les temps réactionnels nécessaires pour 75% d'élimination du malathion en fonction de la distance inter-électrodes (en cm), les taux d'élimination exprimés en pourcentages (E%) en fonction de la distance entre les électrodes pour un temps réactionnel de 40minutes. Permet une meilleure lecture des résultats obtenus :

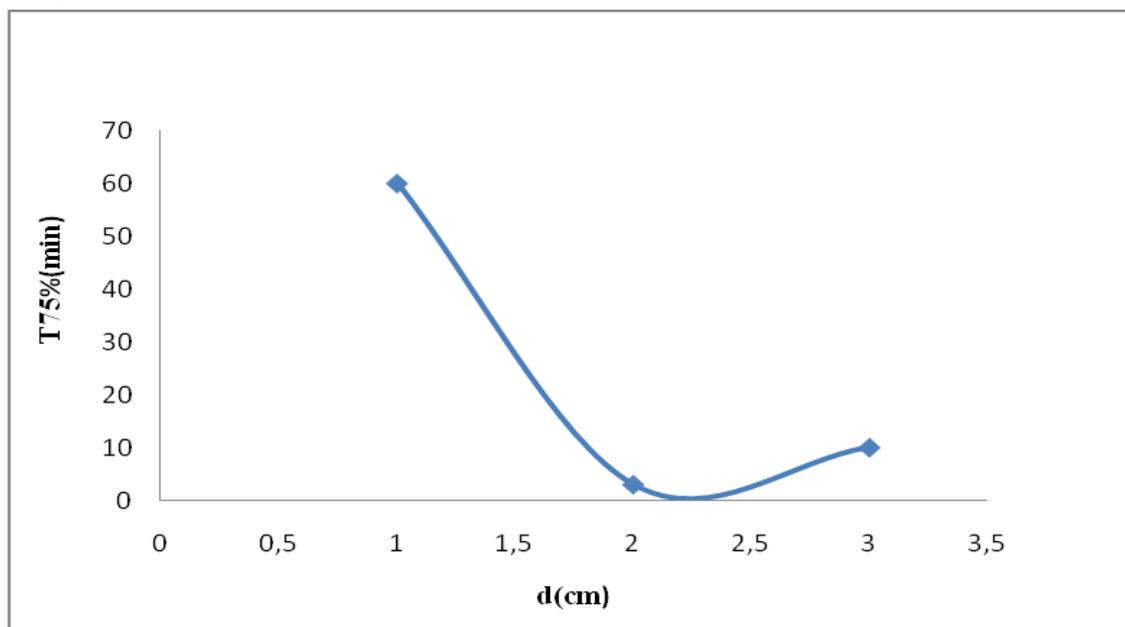


Figure n°31: Evolution du temps nécessaire pour 75% d'élimination du malathion en fonction de la distance inter-électrodes en Al.

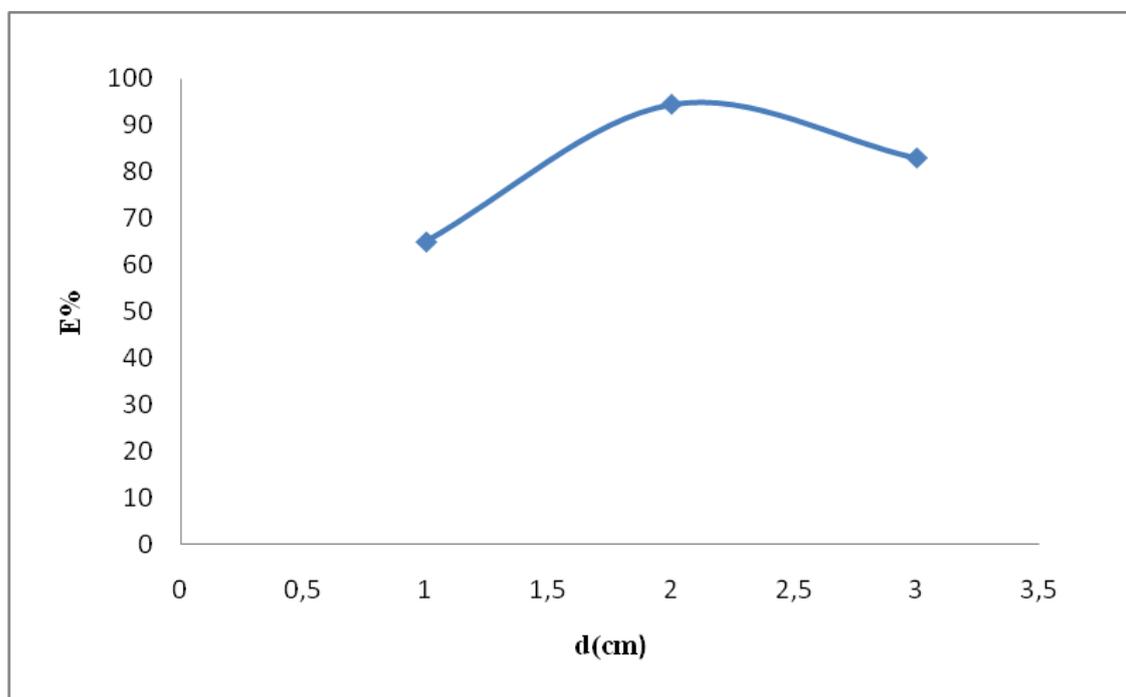


Figure n°32: Pourcentage d'élimination du malathion en fonction de la distance inter-électrodes. Temps=40min

Ces figures montrent bien que la plus faible distance (1cm) séparant l'anode et la cathode que nous avons utilisé, est défavorable pour l'élimination du malathion.

Mameri et *al.*, expliquent qu'au cours du procédé d'électrocoagulation, lorsque les distances inter- électrodes sont faibles, la densité de courant devient très élevée et pourrait causer un court- circuit. [53]

Il se trouve ainsi que la distance idéale dans notre cas soit de 2 cm entre l'anode et la cathode ; elle sera donc maintenue pour la suite de l'étude. Cette distance de 2 cm est celle qui est généralement recommandée par plusieurs auteurs [53 ,68].

V.6- Effet du nombre d'électrodes, EC bipolaire :

Après l'optimisation des paramètres les plus importants influençant le bon fonctionnement de l'électrocoagulation monopolaire ECM (deux électrodes seulement), nous avons retenu les optima des différentes conditions opératoires précédemment étudiées et nous avons essayé d'améliorer d'avantage l'efficacité du traitement par une augmentation du nombre d'électrodes sacrificielles en connectant celles-ci à la manière bipolaire et ceci dans le but de réduire la consommation du courant électrique.

En effet, un même essai est répété en faisant varier le nombre d'électrodes de 2 à 3.

Nous rappelons que les électrodes sacrificielles supplémentaires sont placées entre les deux électrodes monopolaires et celles-ci se trouvent être les seules connectées à la source de courant. Nous parlons dans ce cas d'électrocoagulation bipolaire ECB.

Après prélèvements, filtrations et analyses des échantillons par spectrophotomètre, nous obtenons les résultats concernant cette expérience ; ils sont représentés sur la figure 33.

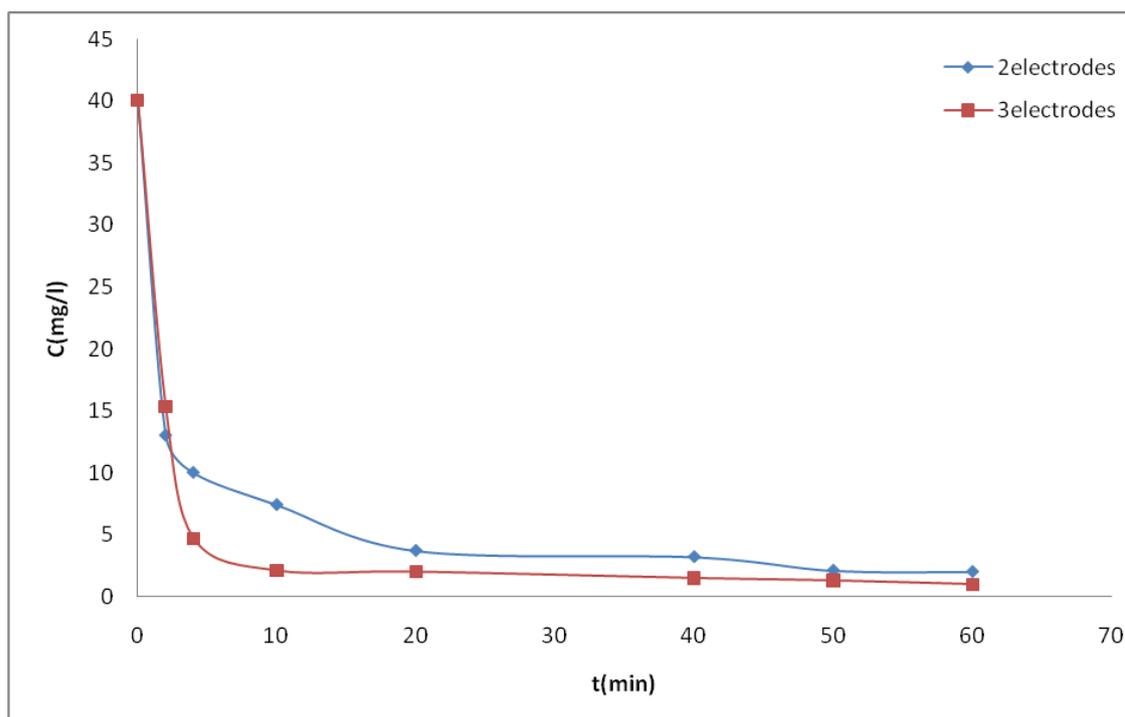


Figure n°33: Influence du nombre d'électrodes sur l'élimination du malathion.
 $C_i=40\text{mg/L}$, $d_i=2\text{cm}$, $\text{NaCl}=2,5\text{g/L}$, $I=1\text{A}$, $\text{pH}_i=6$.

D'après ces résultats, nous constatons une accélération de la cinétique d'élimination du malathion lorsque le nombre d'électrodes sacrificielles est augmenté. Par exemple, pour avoir un abattement de 92%, nous n'avons eu besoin que de 6 min avec 3 plaques (EC bipolaire) et plus de 40 min avec 2 plaques (EC monopolaire) dans les mêmes conditions opératoires mais surtout avec la même intensité du courant appliquée (1A).

Par utilisation de l'ECB, la surface des électrodes dissoutes est fortement augmentée [64].

Il y a une relation directe entre le taux d'élimination du malathion et la surface totale des électrodes. Quand celle-ci augmente, la distribution des agents coagulants est plus efficace [68].

CONCLUSION

CONCLUSION :

L'électrocoagulation est un procédé d'électrolyse à anodes solubles. En imposant un courant électrique entre les électrodes, des ions d'aluminium (Al^{3+}) sont libérés.

Cette technique s'adapte au traitement des effluents liquides chargés en métaux lourds, Colorants, matière organique et pesticides. L'avantage par rapport à la coagulation-floculation chimique est que les floccs sont plus compacts et par conséquent les boues produites sont en quantité plus faible.

Le but de ce projet, consiste à appliquer le procédé d'EC en utilisant un réacteur électrochimique (en batch) pour le traitement de solutions synthétiques de malathion ; ce pesticide appartient à la classe des pesticides organophosphorés, est doté d'une grande résistance à la biodégradabilité et d'une persistance dans l'environnement.

Dans la première étape, nous avons étudié l'influence de différents paramètres sur le taux d'élimination du malathion des solutions par traitement à électrocoagulation monopolaire (ECM). Nous avons déduit que des paramètres tels que : la salinité de la solution, l'intensité de courant appliquée, le pH initial du milieu, la charge initiale en malathion et la distance inter électrodes influençaient l'efficacité du traitement.

Après optimisation de ces paramètres, nous avons amélioré davantage l'efficacité du procédé par augmentation du nombre d'électrodes sacrificielles et leur connexion à la manière bipolaire.

Les résultats auxquels nous avons abouti nous permettent de tirer les conclusions principales suivantes :

- Quelque soit la concentration du pesticide utilisée (de 15 à 100mg/l en malathion), le traitement par électrocoagulation s'avère efficace où des taux d'élimination dépassant les 85% pour les fortes concentrations, et même des taux d'élimination atteignant les 91% d'élimination sont obtenus pour les moyennes et faibles concentrations.
- Pour assurer une bonne conductivité électrolytique de notre solution synthétique du pesticide, nous avons établi des essais expérimentaux pour différentes concentrations en NaCl (1g/l, 2g/l, 2.5g/l et 3g/l). La concentration de 2.5g/l a suscité une meilleure cinétique de dégradation avec un rendement de 95%.
- Le pH est un paramètre jouant un rôle important dans l'électrocoagulation. Les résultats obtenus montrent qu'à pH légèrement acide (pH=6) une meilleure électrocoagulation est réalisée.
- Le pH de la solution synthétique au cours du traitement, que ce soit avec l'ECM ou l'EB, tend rapidement à devenir alcalin (entre 7,5 et 7,9) quelque soit l'acidité ou l'alcalinité de la solution initiale.
- Une intensité de courant de l'ordre de 1 A permet d'avoir un rendement d'élimination optimal par rapport à nos conditions de travail.
- Les distances supérieures ou inférieures à la distance inter-électrodes de 2 cm engendrent des variations négatives dans les cinétiques d'élimination du malathion.
- Enfin, l'électrocoagulation bipolaire (ECB) nous a permis d'augmenter la surface dissoute des électrodes sacrificielles pour une meilleure élimination et de réduire l'intensité du courant appliqué.

Comme suite de ce travail, nous proposons d'appliquer ce système pour le traitement d'un rejet réel.

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1]. **P. Servais. Pesticides et cancer** : Dossier réalisé par l'Association belge contre le cancer; Belgique 1999.
- [2]. **IPI.Institut de pasteur de L'île**; Produits phytosanitaires dans les eaux de pluie de la Région Nord – Pas-de-Calais. France 2003.
- [3]. **Maison de la Consommation et de l'Environnement**. Pesticides; réglementation et effets sur la santé et l'environnement. Edition MCE; Rennes 2003.
- [4]. **OMS**.L'utilisation des pesticides en Agriculture et conséquences pour la santé publique.Genève, 1991.
- [5]. **B. Deymie, J. Multon, et D. Simon**. Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaires. Vol n° 4, Technique et Documentation, Paris, 1981.
- [6]. **G. André et al**. Ecolochimie. Chimie appliquée à l'environnement. Association cultures et techniques, Nantes, 1994.
- [7]. **F. Ramade**. Eléments d'écologie, écologie appliquée.3^{eme} Édition, Macgraw-Hill Paris, 1982.
- [8]. **H. Martin**; Classes et modes d'action des herbicides ; Agriculture et affaires rurales; Ontario Canada 2000.
- [9]. **Corpen**. Programme d'action contre la pollution des eaux par les produits phytosanitaires provenant des activités agricoles. 1993, pp 1-63.
- [10]. **P. Sculhof**. Les problèmes posés par les pollutions organiques diffuses. L'exemple des pesticides. TSM, n° 2, 1999, pp 35-36.
- [11]. **Corpen**.Technique d'application et de manipulation des produits phytosanitaires utilisés en agriculture, élément pour prévenir les risques de pollution des eaux,1996, pp 1-82.
- [12]. **H. M. G. Van Der Werf**. Évaluer l'impact des pesticides sur l'environnement.Courrier de l'INRA, n ° 31, 1997, pp 5-22.

- [13]. **D. W. Kolpin, B. K. Nation et A. Goolsby.** Acetochlor in hydrologic system in the Midwestern United States. *Environmental Science and Technology*, Vol 30, n° 5, 1996, pp1459-1464.
- [14]. **E. Charizopoulos et E. Papadopoulou-Mourkidou.** Occurrence of Pesticides in Rain of the Axios River Basin, Greece. *Environmental Science & Technology*, Vol 33, n° 14, 1999, pp 2363-2368.
- [15]. **Afee, Association Française pour L'étude des Eaux.** Les pesticides organiques et les autres. Rapport n° 2, Paris 1981.
- [16]. **F. Ramade.** *Eco toxicologie*; 2^{ème} Edition Masson ; Paris 1979.
- [17]. **R. Darrache.** *Toxicité et Sécurité des Aliments.* Librairie Lavoisier, Paris 1986.
- [18]. **ACTA.** *Index Phytosanitaire.* 35^{ème} édition, 1999.
- [19]. **R. Lauwergs.** *Toxicologie Industrielle et intoxication professionnelle.* 3^{ème} édition, Masson, Paris 1992, pp 547-606.
- [20]. **IOCCC. International Obfuscated Code Contest.**
www.caobisco.com/french/pdf/pesticides.pdf
- [21]. **Mémotec n° 8.** L'élimination des pesticides pour la production d'eau potable; pp 1-2, 2002.
- [22]. **Journal Officiel de la République Algérienne.** Réglementant les rejets d'effluents liquides décret exécutif n° 93 – 160.
- [23]. **Dr. Mustapha Bouziani - Epidémiologiste,** L'usage immodéré des pesticides : Degraves conséquences sanitaires. Faculté De Médecine d'Oran ; Le 26 juin 2007.
- [24]. **E.R. Clark and I.A. Qazi.** Evaluation of the modified colourimetric method for the determination of malathion. Department of Chemistry, University of Aston in Birmingham (November 1979).
- [25]. **M.V. Norris, E.W. Easter, L.T. Fuller, and E.J. Kuchar.** Colorimetric estimation of malathion residues in animal products.

- [26]. **M.V. Norris ,W.A. Vail and P.R.Averell.** Colorimetric estimation of malathion residues.
- [27].**Journal officiel de la république française .**Malathion - Retrait de l'autorisation de mise sur marché.
- [28]. Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire(ARLA)de santé .Canada .
- [29].**Tomlin, C.D.S.** The Pesticide Manual, a World Compendium, The British Crop Protection Council, Farnham, Surrey, UK, 1997. 1606 p.
- [30]. **HSDB : Hazardous Substances Data Bank.** US NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE . In CHEM Source/ Référence CHIMIE(CD-ROM). Adresse : CCHST(Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail), Hamilton, Ontario.(Décembre 1998).
- [31]. **MOBYDAL .berraki.ALGER** 2010.
- [32].**RS & ML : Remote Sensing&Modeling Laboratory.**The ARS Pesticide Properties Databases, (En ligne). Adresse URL :<http://www.arsusda.gov/rsml/ppdb3>.
- [33]. **Malathion,** fiche de sécurité du Programme International sur la Sécurité des Substances Chimiques, consultée le 9 mai 2009.
- [34]. **FAO/OMS.** Fiches techniques sur le pesticide n° 29 — Malathion. Organisation mondiale de la santé, Genève (1977).
- [35]. Environnement Canada/Agriculture Canada. Sondage auprès des fabricants de pesticides enregistrés. Direction des produits chimiques commerciaux, Conservation et Protection, Environnement Canada. rapport de 1986.
- [36].**Ministère de l'Agriculture et de la pêche.** Malathion - ACTION SUR LES ORGANISMES UTILES
- [37]. **N.Jaquin & K.Bittner .**Mesure et traitement des pesticides dans l'eau destinée à la consommation humaine, Environnement et Technique, N°177 pp. 45-52 (1998).
- [38]. **G.M. Serdar** Strategies for National Competitiveness" "BIOTECHNOLOGY" N°7; pp.1151-1155.1989.

- [39]. **W.Chen, Mulchandani.** La détoxification des pesticides; Biofutur N° 187; pp. 41-43; Mars (1999).
- [40]. **D.Cleret** "L'élimination des pesticides"; T.S.M. N°2; pp.152-155, (1999).
- [41]. **P.Bottomley; P.G.Baker** Determination of résidues of synthetic pyrethroids in fruits and vegetables by gaz. liquid and high performance liquid chromatography, Analyst, 107, pp.206.212; (1982) .
- [42]. **K. Agbedodo, B.LegubeET S.Darde** "Performance de la nanofiltration pour l'élimination des composés organiques". Revue des sciences de l'eau 7. pp 2535-2542. (1998).
- [43]. **Cardot .C.** Les traitements de l'eau. Génie de l'environnement. Edition Marketing S.A. Ellypse Paris, 1999.
- [44]. **Des Jardins R.** Le traitement des eaux. Edition école polytechnique de Montréal, Canada, 1988.
- [45]. **Chinatec**« Coagulation et flocculation bed for treatment of wastewater ». site : www.chinatech.com.com/flocbed1.htm (Oct. 2003) .
- [46]. **Pravarini**Site électronique Titre de la page consultée « La coagulation » site: <http://pravarini.free.fr/coagulation.htm> .
- [47]. **MollahM.Y.A., SchennachR., PargaJ.R., CockeD.L.**. Electrocoagulation - science and applications. Journal of Hazardous Materials, 2001, 29-41.
- [48]. **HOIT P.K., Barton G.W., Mitchell C.A.** The future of electrocoagulation as a localized,water treatment technology. Chemosphere, 2005, 355-367.
- [49]. **SavasKoparalA., OgutverenU.B.** Removal of nitrate from water by electro reduction and electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials, 2002, 83-94.
- [50]. **SzpyrkowiczL.** Hydrodynamic effets on the performance of electro-coagulation/electro- flotation for the removal of dyes from textile wastewater. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2005, 7844-7853.

- [51]. **Daneshvar N., Khataee A.R., Djafarzadeh N.** The use of artificial neural networks (ANN) for modelling of decolourization of textile dye solution containing C.I. Basic Yellow 28 by electrocoagulation process. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, 1788-1795.
- [52]. **Gurses A., Yalcin M., Dogar C.** Electrocoagulation of some reactive dyes: a statistical investigation of some electrochemical variables. *Waste Management*, 2002, 491-499.
- [53]. **Mameri N., Yeddou A.R., Lounici H., Belhocine D., Grib H., Bariou B.** Defluoridation of septentrional Sahara water of north Africa by electrocoagulation process using bipolar aluminium electrodes. *Water research*, 1998, 1604-1612.
- [54]. **Irdemez S., Demircioglu N., Yildiz Y.S.** The effects of pH on phosphate removal from wastewater by electrocoagulation with iron plate electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, 1231-1235.
- [55]. **Chen L.L., Sheng H.L.** Electrocoagulation of chemical polishing (CMP) wastewater from semiconductor fabrication. *Chemical Engineering Journal*, 2003, 205-211.
- [56]. **Jumpatong K., Phutdhawong W., Buddhasukh D.** Dechlorophyllation by Electrocoagulation. *Molecules*, 2006, 156-162.
- [57]. **Khoufi S., Feki F., Sayadi S.** Detoxification of olive mill wastewater by electrocoagulation and sedimentation processes. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 58-67.
- [58]. **Mollah M.Y.A., Pathak S.R., Patil P.K., Vayuvegula M., Agrawal T.S., Gomes J.A., Kesmez M., Cocke D.L.** Treatment of orange II azo-dye by electrocoagulation (EC) technique in a continuous flow cell using sacrificial iron electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 2004, 165-171.
- [59]. **Bouhezila F.** Traitement des eaux polluées à l'aide d'un nouveau type de réacteurs électrochimiques. Mémoire de magister. ENP ALGER .2006 .
- [60]. **Holt P. K., Geoffrey W. B., Cynthia A.** The future for electrocoagulation as a localised Water Treatment Technology, *Chemosphere*, 59 355-367, 2005.
- [61]. **Jiang Q. J., Nigel G.** Laboratory study of electrocoagulation-flotation for water treatment, *Water Research*, 36 4064-4078, 2002.

- [62]. **Mameri N., Lounici H., Belhocine D., Grib H., Piron D.L., Yahiat Y.** Defluoridation of Sahara water by small plant electrocoagulation using bipolar aluminium electrodes, *Separation and Purification Technology*, 24 113-119, 2000.
- [63]. **Zaroual Z., Azzi M., Saib N., Chain et E.** Contribution to the study of electrocoagulation mechanism in basic textile effluent, *Journal of Hazardous Materials*, 131 73-78, 2006.
- [64]. **Benchaita S.** Contribution au traitement des effluents textiles par Electrocoagulation Monopolaire et Bipolaire. Mémoire de magister .ENP ALGER 2007.
- [65]. **Bayramoglu M., Kobya M., Can O.T., Sozbir M.** Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. *Separation and Purification Technology*, 2004, 117-125.
- [66]. **Can O.T., Bayramoglu M., Kobya M.** Decolourisation of reactive dye solutions by electrocoagulation using aluminium electrodes. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2003, 3391-3396.
- [67]. **Mollah M.Y.A., Morkovsky P., Gomes J.A.G., Kesmez M., Parga J., Cocke D.L.** Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 2004, 199-210.
- [68]. **Daneschvar N., Ashassi-Sorkhabi H., Tizpar A.** Decolourization of orange II by electrocoagulation method. *Separation and Purification Technology*, 2003, 153-162.
- [69]. **Gurses A., Yalcin M., Dogar C.** Electrocoagulation of some reactive dyes: a statistical investigation of some electrochemical variables. *Waste Management*, 2002, 491-499.
- [70]. **Edeline F.** L'épuration physico- chimique des eaux. Editions Cebedoc, Liège, 1996.
- [71]. **Chen G.** Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 2004, 11-41.

- [72]. **Koby M., Demirbas E., Can O.T., Bayramoglu M.** Treatment of levafix orange textile dye solution by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 2006, 183-188.
- [73]. **Adhoum N., Monser L., Bellakhal N., Belgaied J.E.** Treatment of electropolating wastewater containing Cu 2+, Zn 2+ and Cr 3+ by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 2004, 207-213
- [74]. **Aizel Lies.** traitement des eaux contaminées par la metribuzine par couplage :électrocoagulation –rayon UV .mémoire de magister .ENP.ALGER 2004.
- [75]. **Kim T.H, Park C., Shin E.B, Kim S.** Decolourization of disperse and reactive dyes by continuous electrocoagulation process. *Desalination*, 2002, 165- 175.
- [76]. **Koby M., Can O.T., Bayramoglu M.** Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminum electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 2003, 163-178.

ANNEXE

ANNEXE

Chiffres de production de malathion :

USA	1978	14 000 t	(OMS, 1983)
Inde	1980/81	1 264 t	(OMS, 1983)

Consommation de malathion :

Mexique	1982	1 800 t	(OMS, 1986)
USA	1982	1 500 t	(OMS, 1986)
Inde	1982	800 t	(OMS, 1986)
Italie	1981	552 t	(OMS, 1986)
Jordanie	1982	450 t	(OMS, 1986)
Hongrie	1982	313 t	(OMS, 1986)
Argentine	1982	235 t	(OMS, 1986)
Egypte	1981	208 t	(OMS, 1986)
Pologne	1982	104 t	(OMS, 1986)
Niger	1981	69 t	(OMS, 1986)
Pakistan	1982	68 t	(OMS, 1986)
Turquie	1982	58 t	(OMS, 1986)

1-Caractéristiques toxicologiques du malathion:

Toxicité aiguë

DL 50 voie orale sur rat : 1375-5500 mg/kg

DL 50 cutanée sur rat : > 2000 mg/kg

CL 50 inhalation /rat : >5,2 mg/l(4h)

Irritation :

Irritation cutanée (lapin) : non irritant

Irritation oculaire (lapin) : non irritant

2-Caractéristiques écotoxicologiques :

CL 50(96h) sur truite arc en ciel : 100mg/l

CL 50(48h) sur Daphnée : 1µg/l

CE 50(72h) sur algues : 13mg/l

DL 50voie orale sur abeilles : toxique

3-Utilisation :

Le malathion (organophosphoré) possède un large spectre d'efficacité.il agit par contact et ingestion sur la plupart des insectes volants (moustiques, mouches..)

Et sur les insectes rampants (blattes, fourmis, punaises, puces...).

Le malathion est rémanent, selon l'utilisation, la cible insecte et le support traité. L'efficacité du produit varie de quelques jours à quelques mois.

4-La dose d'emploi :

Le malathion peut être utilisé à différentes concentrations selon les formulations, les insectes visés et le type d'applications souhaitées.

5-Précaution d'utilisation :

Il y'a lieu de ne pas manger, boire ou fumer pendant les manipulations, et de porter un vêtement de protection approprié et des gants afin d'éviter tout contact avec le produit.

6-Précautions de stockage :

- Conserver hors de la portée des enfants.
- Conserver uniquement dans le récipient d'origine et dans un endroit frais et ventilé à l'écart des aliments et boissons y compris ceux pour animaux.

7-Etiquetage :

Le malathion est classé :Xn R22

8-le dosage du malathion :

Réactifs utilisés :

- tétrachlorure de carbone (CCl₄)
- une solution de NaC₂H₅OH.
- une solution de molybdène .
- une solution de HCl 0,5N .

• **Calcul de la concentration du malathion :**

La densité du malathion est égale à 1,23 et sa pureté est de 95%.

Donc :

$$\rho_{\text{malathion}} = \rho_{\text{H}_2\text{O}} * d = 1,23 * 1000 = 1230 \text{ g/l}$$

$$\rho = m / V$$

$$m_{(\text{malathion})} = \rho_{\text{malathion}} * V$$

sachant que : $V=1\text{L}$

$$m_{(\text{malathion})} = 1230\text{g}$$

Nous avons:

$$100\text{g de malathion} \longrightarrow 95\text{g de produit pur}$$

$$1230 \text{ g} \longrightarrow \text{mp} = ??$$

$$\text{mp} = 1230 * 95 / 100 = 1168,5\text{g}$$

$$\text{mp} = 1168,5\text{g}$$

$$\text{la concentration } C = n/v = m / (M * v) = 1168,5 / (330,4 * 1)$$

$$C = 3,536 \text{ M}$$

Le volume prélevé pour préparer une solution de 100mg/l de malathion

Nous avons:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$1168,2944 * V_1 = (100\text{mg/l}) * (2\text{L})$$

$$V_1 = 0,171\text{ml}$$

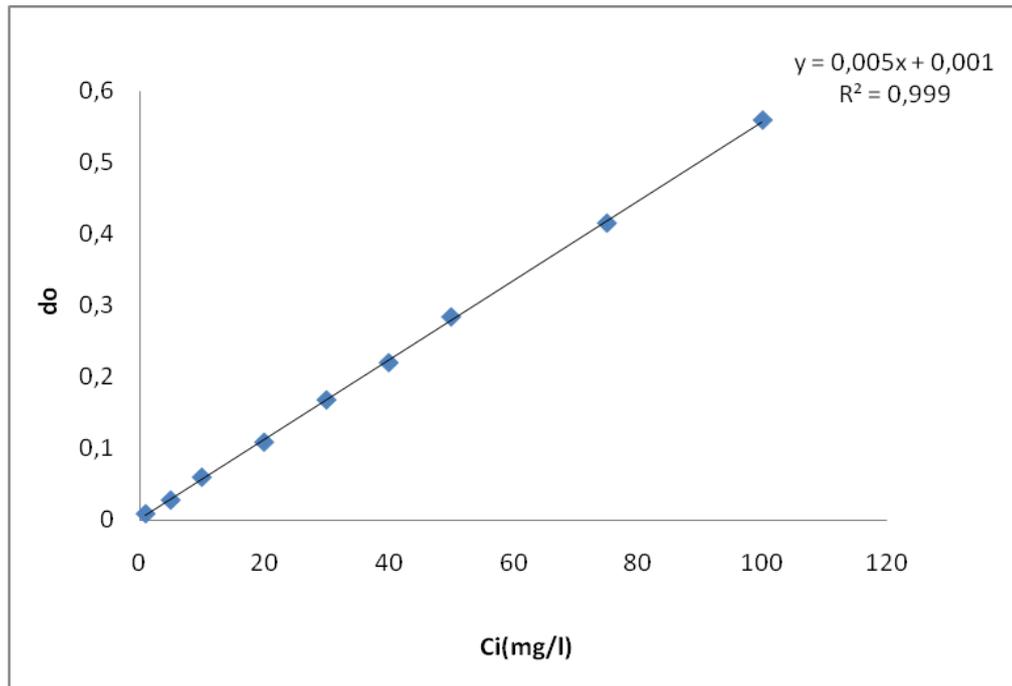
Nous devons prélever 0,17mL pour préparer 2L d'une solution de malathion

Pour la solution de HCl (0,5N)

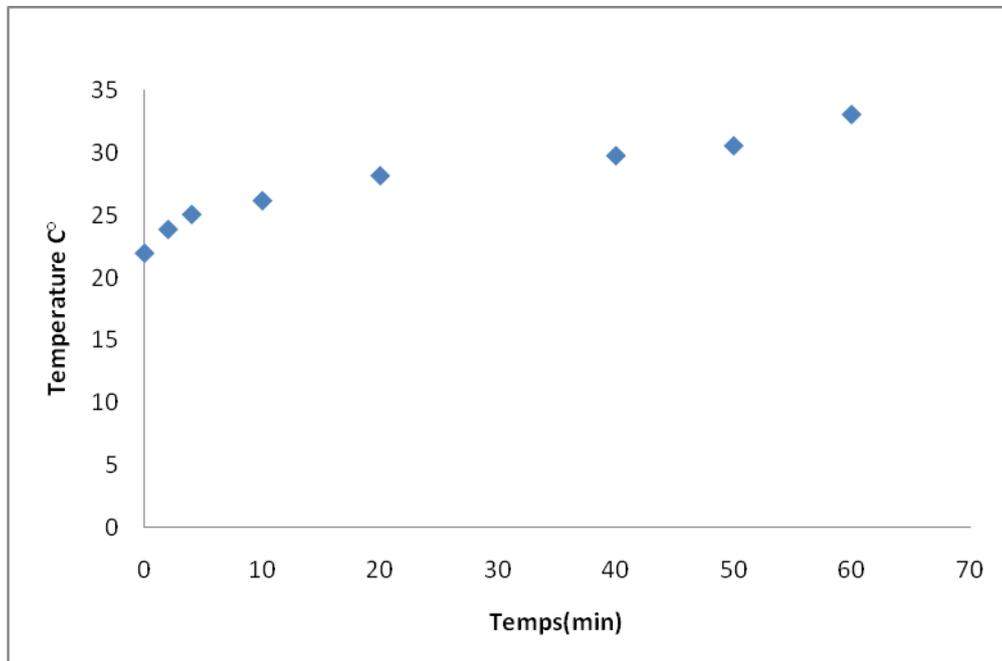
Nous avons :

$$V = (M * C * V * 100) / (P * d) \\ = (36,5 * 0,5 * 1 * 100) / (37 * 1,18)$$

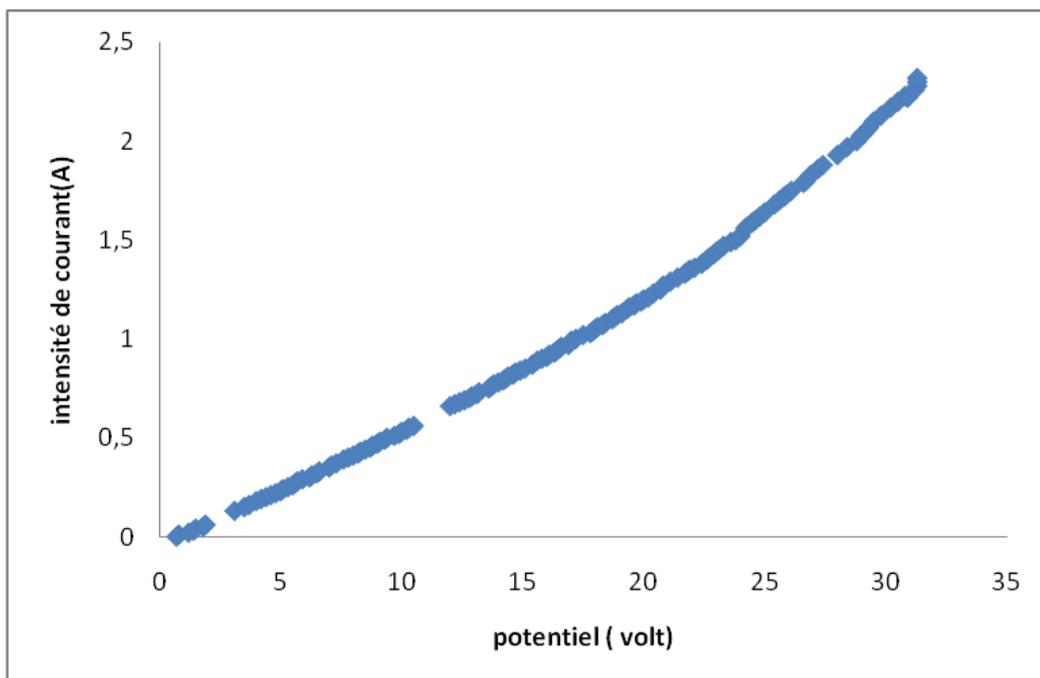
$V = 41,8 \text{ ml}$. Donc on doit prélever **41,8 ml de HCl** pour préparer 1L d'une solution 0,5N.



La courbe d'étalonnage du malathion



Evolution de la température au cours de l'électrocoagulation



La courbe de polarisation

ملخص :

مثل التشغيلية المعلمات تأثير. الملاثيون حلول على تحتوي التي الاصطناعية لعلاج طريقة طبقنا ، دراستنا في بين والمسافة الملاثيون للدرس الأولي التركيز وكان ، الأولي الحموضة ودرجة ، الحالية وكثافة ، الحل من التوصيل النسب تحديد وتم. الألمنيوم : الكهربائي القطب من ولنوع القطب التخثير الكهربائي أحادي حالة في الكهربائية الأقطاب من عدد متنوعة نعمل التي التخثير الكهربائي القطبين في واستخدامها القضاء معدلات جميع في للمعلمات المثلى حاليا تطبق التي كثافة خفض الأوروبية المفوضية القطبين أن النتائج وأظهرت. التبديل الذبيحة الكهربائية الأقطاب قصيرة فعل رد وقت في إزالة من عالية مستويات على للحصول.

والألمنيوم الكهربائية الأقطاب ، الملاثيون التخثير الكهربائي، : البحث كلمات

Résumé :

Dans notre étude, nous avons appliqué le procédé d'électrocoagulation pour traiter des solutions synthétiques contenant le malathion . L'effet des paramètres opérationnels tels que : conductivité de la solution, l'intensité de courant, pH initial, concentration initiale en malathion et distance entre les électrodes a été étudié dans le cas d'électrocoagulation monopolaire et ce pour un type d'électrodes: l'Aluminium. Les optima de tous les paramètres permettant d'atteindre les pourcentages d'élimination les plus élevés ont été déterminés et utilisés dans l'électrocoagulation bipolaire au cours de laquelle nous avons fait varier le nombre d'électrodes sacrificielles. Les résultats ont montré que l'EC bipolaire a permis de réduire l'intensité de courant appliqué pour obtenir de hauts niveaux d'élimination en un temps réactionnel court.

Mots clés : électrocoagulation, malathion , électrodes, aluminium.

Abstract:

In our study we have applied the process of electrocoagulation for the treatment of synthetic solutions containing malathion. The effect of parameters such as: solution conductivity, current intensity, initial pH, malathion initial concentration and distance between electrodes has been studied in the case of monopolar electrocoagulation this for one kind of electrodes: Aluminium. The optima of all the parameters allowing the achievement of the highest removal efficiencies were determined and used in the bipolar electrocoagulation during which we have varied sacrificial electrodes number ; the results showed that bipolar EC has allowed the reducing in current intensity used for the obtention of high levels of elimination in a short time.

Key words: electrocoagulation, malathion , electrodes, aluminium.