

# EFFET BACTÉRICIDE ET ÉPURATOIRE DE TRAITEMENT ÉLECTROCHIMIQUE SUR L'EFFLUENT D'ABATTOIR DE VIANDE ROUGE

***Khennoussi Abdelaziz, Docteur en sciences***

Laboratoire de chimie physique, protection de l'environnement et modélisation, Faculté des sciences Dhar El Mehraz, Fès, Maroc

***Ameziane Nour-eddine, Docteur en sciences***

Laboratoire de Géoressources et Environnement,  
Faculté des Sciences et Techniques, Route d'Imouzzer, Fès, Maroc

***Chahlaoui Abdelkader, Professeur de l'enseignement supérieur***

Laboratoire de chimie-biologie, groupe de Gestion et valorisation des ressources hydrique, Faculté des sciences de Meknès,

Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc

***Chaouch Mehdi, Professeur de l'enseignement supérieur***

Laboratoire de chimie physique, protection de l'environnement et modélisation, Faculté des sciences Dhar El Mehraz, Fès, Maroc

---

## Abstract

Effluent from red meat slaughter are characterized by a significant microbiological and organic load; coliform indicators of faecal contamination, pathogenic bacteria, and parasites. The spread of pathogens from the effluent and sludge resulting from their treatment, are a potential microbiological risk to the receiving environment and public health.

Treatment by electrocoagulation with iron electrodes and aluminum allows a reduction of 5 logarithmic units of coliforms, the elimination of bacteria up to 100% (total disinfection) with the increase of the voltage and the addition of sodium chloride.

---

**Keywords:** Waste, slaughterhouse, traitement, electrocoagulation, bactericidal

---

## Résumé

Les effluents d'abattoirs de viande rouge sont caractérisés par une charge microbiologique et organique importante ; les coliformes indicateurs de la contamination fécale, les bactéries pathogènes, et les parasites. La dissémination d'agents pathogènes à partir de ces effluents et éventuellement

les boues qui résultent de leur traitement, constitue un risque microbiologique potentiel pour le milieu récepteur et la santé publique. La charge organique est caractérisée par un DCO qui peut dépasser les 3000 mg d'O<sub>2</sub>/L.

Le traitement par électrocoagulation avec des électrodes de fer et d'aluminium permet un abattement de 5 unités logarithmique sur les bactéries. Cet abattement peut aller jusqu'à 100% (désinfection total) avec l'augmentation de la tension électrique au bornes de la cellule électrolytique, et l'ajout de Chlorure de sodium.

---

**Motsclés:** Effluents, abattoir, traitement, électrocoagulation, bactéricide

## 1. Introduction

Les rejets liquides issus de traitement des carcasses des bovins sont des vecteurs potentiels de micro-organismes pathogènes et de la matière organique. La présence d'*E.coli* producteurs de Shiga-like chez les bovins a été démontrée dans le monde entier (Loukiadis 2007). Ces pathogènes sont responsables de la colite hémorragique qui peut être mortelle pour l'homme, Selon des études faites par Leclerc et Oger (1975), d'autre microorganismes pathogènes comme les salmonelles sont souvent trouvées sur les effluents bruts, prétraités et traités biologiquement. Le traitement de ces effluents par coagulation floculation chimique au chlorure ferrique dans ses conditions optimales ne peut éliminer que 50 % des coliformes (Khenoussi *et al.*, 2011).

Quelques auteurs ont travaillé sur l'effet bactéricide des systèmes électrolytiques, nous citons : (Bureau, 2004) a travaillé sur la stabilisation des boues municipales et de papeterie, par électrolyse avec des électrodes de titane, dont l'anode est recouverte d'oxyde de ruthénium (RuO<sub>2</sub>), ses résultats montrent une désinfection totale des boues à partir de 20 Ampère avec 0,6 g/l de NaCl. Patermarakis et Fountoukis (1990), ont travaillé sur la désinfection de l'eau par traitement électrochimique, et ils ont confirmé l'effet bactéricide de ce système. Lambie (2007), a réalisé un brevet pour désinfecter l'eau de surface destinée à la consommation par une série de cuves électrolytiques qui endommage la coque extérieur des oocyste de *Cryptosporidium parvum*, et génère de l'oxygène et l'hypochlorite pour désinfecter l'eau brute. D'autres auteurs ont travaillé sur les pathogènes émergents que peut générer les effluents d'abattoir, mais le problème de risque microbiologique persiste par l'existence des souches d'*E. coli* pathogènes dans les effluents à tous les stades d'épuration ( Loukiadis 2007).

L'objectif de ce travail est de mettre en exergue les potentialités bactéricides de système électrolytique de traitement par électrocoagulation appliquée aux effluents d'abattoir de viande rouge, en utilisant des électrodes

de fer et d'aluminium et l'ajout de chlorure de sodium. Ce procédé électrochimique sera comparé avec le traitement par coagulation chimique en terme d'abattement des bactéries et de DCO.

## **2. Matériel et méthodes.**

### **2.1 Analyses microbiologiques**

Des échantillons d'un litre d'effluent d'abattoir ont été prélevés dans des flacons stériles, les analyses microbiologiques sont effectuées sur des échantillons bruts dilués au 1/10, 1/100, et 1/1000, et des échantillons traités par les deux procédés, ces analyses portent sur les coliformes totaux et fécaux, les *Clostridium* sulfito-réductrices, et les staphylocoques.

#### **Coliformes totaux et fécaux**

La détection et le dénombrement des coliformes a été réalisée sur milieu gélosé au desoxycholate lactose (DL), les suspensions sont étalées directement sur la gélose dans des boîtes de pétri stériles, les inocula sont incubés à 37°C pour les coliformes totaux, et 44°C pour les coliformes fécaux pendant 24 heures.

#### **Clostridium sulfito-réducteurs**

Le dénombrement de *Clostridium* sulfito-réducteurs est réalisé selon la méthode d'incorporation en gélose en tubes profonds, sur la gélose SPS régénérée, les inocula sont incubés à 37 °C pendant 24 heures.

#### **Staphylocoques**

Des prises de 0.1 ml des échantillons sont étalées par une micropipette sur la surface du milieu Chapman préparé 24 heures avant, les boîtes sont ensuite incubées à 37°C pendant 48 heures.

### **2.2 Analyses physico-chimiques**

Pour ces analyses, nous avons mesuré le pH par un pH-mètre GPHR 1400 Digital-pH /mv-mètre. La conductivité est mesurée par un conductimètre CONSORT K 912 à électrode combinée. La concentration des chlorures a été déterminée par un dosage volumétrique (Rodier *et al.*,1996). La DCO est mesurée par un DCO-mètre ((ISCO record 19).

### **2.3 Traitement par coagulation-floculation au chlorure ferrique et au sulfate d'alumine**

L'optimisation de traitement par coagulation-floculation a été obtenue après des essais de jar-test effectués avec différentes concentrations de sulfate d'alumine et de chlorure ferrique. Les taux de traitement de ces

derniers ont été arrêté à 0,6 g / L. Les échantillons sont choisis de forte charge (2600 mg d'O<sub>2</sub>/L de DCO).

## 2.4 Traitement par électrocoagulation

Le test d'électrocoagulation est fait par des essais avec des électrodes d'aluminium et de fer dans une cellule électrolytique en verre de capacité 21,75 dm<sup>3</sup>. Le courant est généré par un générateur LW labor GMBH à alimentation variable allant de 1 à 30 volts. Les échantillons utilisés sont de 1 litre, et de même DCO (2600 mg/L) que ceux traités par coagulation-floculation. La connexion est de mode monopolaire parallèle (Prétorius *et al.*, 1991). Les électrodes sont des plaques lamellaires de fer et d'aluminium placées de façon parallèle espacé de 2 cm. La surface active des électrodes est de 80 cm<sup>2</sup>, la densité de courant varie, en fonction de la tension aux bornes, entre 15 et 52,5 mA /cm<sup>2</sup>.



**Figure 1: Montage d'électrocoagulation, (a) début de traitement, (b) fin de traitement**

## 2.5 Effet bactéricide et épuratoire de l'électrocoagulation

Pour comprendre et mettre en évidence les mécanismes et les conditions d'élimination des micro-organismes, nous avons effectué deux essais :

- Dans le premier essai, nous avons effectué des tests de traitement avec des tensions variables de 6V, 10V, 12V, 15V, et 20V, le temps de rétention a été optimisé par des tests préliminaires effectués sur des échantillons, puis fixé à 30 min, temps de rétention utilisé aussi par Hillis (1970).

- Dans le deuxième essai, nous avons repris les mêmes tests du premier essai, mais avec ajout de 0,5g de NaCl, pour activer le démarrage de procédé, et mettre en évidence les transformations et les effets des chlorures dans l'élimination des bactéries, et le comparer avec le test à blanc, et le test de traitement par coagulation-floculation.

Il faut noter qu'entre deux tests, la cellule électrolytique a été rincée et remplie d'une solution de HCl 10% pour une période minimum de 30 min pour nettoyer les électrodes (Bureau, 2004).

### 3. Résultats et discussions

Les résultats des essais de traitement et d'analyses sont illustrés dans les tableaux 1, 2, 3 et 4.

Tableau 1 : Comparaison des abattements des bactéries et DCO entre les traitements par le sulfate d'alumine et par des électrodes d'aluminium sans ajout de NaCl.

Paramètres de pollution	Effluent brut sans NaCl	Effluent traité par des électrodes d'aluminium avec différentes tension aux bornes en 30 min sans NaCl					Après traitement avec 0,6 g /l de sulfate d'alumine
		0 V	6 V	10 V	12 V	15 V	
pH	6,9	7,1	7,2	7,3	7,2	7,6	6
Conductivité	1144	980	975	959	754	615	959
DCO (mg/L)	2600	540	320	140	123	95	1800
Chlorure (mg/L)	390,5	322	290	275	252	233	319,5
Coliformes totaux (ufc /100ml)	$10^8$	$5.10^4$	$10^3$	$10^2$	0	0	$10^6$
Coliformes fécaux (ufc /100ml)	$4.10^7$	$3.10^4$	$10^3$	$6.10^2$	0	0	$15.10^4$
Clostridium sulfito-réductrice (ufc /100ml)	$13.10^3$	$6.10^3$	$8.10^2$	$5.10^2$	0	0	$6.10^3$
Staphylocoques (ufc /100ml)	$2.10^5$	$9.10^3$	$10^2$	10	0	0	$10^4$

Tableau 2: Comparaison des abattements des bactéries et DCO entre les traitements par le chlorure ferrique et par des électrodes de fer sans ajout de NaCl.

Paramètres de pollution	Effluent brut sans NaCl	Effluent traité par des électrodes de fer en différentes tensions aux bornes en 30 min Sans NaCl					Après traitement avec 0,6 g /l de chlorure ferrique
		0 V	6 V	10 V	12 V	15 V	
pH	6,9	7,0	7,1	7,3	7,6	7,7	5
Conductivité ( $\mu$ s/cm)	1144	930	865	854	811	786	1394
DCO (mg/l d'O <sub>2</sub> )	2600	209	180	120	95	87	
Chlorures (mg/l)	390,5	312	285	250	230	231	912
Coliformes totaux (ufc /100ml)	$10^8$	$5.10^3$	$10^2$	$2.10^2$	0	0	$10^6$
Coliformes fécaux (ufc /100ml)	$4.10^7$	$3.10^3$	$10^2$	$10^2$	0	0	$15.10^5$
Clostridium sulfito-réductrice (ufc /100ml)	$13.10^3$	$5.10^3$	$10^2$	$2.10^2$	0	0	$6.10^2$
Staphylocoques (ufc /100ml)	$2.10^5$	$7.10^3$	10	$10^2$	0	0	$10^3$

Les tableaux 1 et 2 montrent que dans le traitement par électrocoagulation en 30 min avec des électrodes d'aluminium et de fer sans ajout de NaCl l'abattement des bactéries augmente avec la tension d'électrolyse, nous pouvons dire qu'il est linéaire avec l'intensité du courant. Les mêmes résultats sont trouvés par Bureau (2004). Mais à partir de 15 volts nous avons noté une disparition totale des coliformes et diminution importante des Clostridiiums sulfito-réductrices et des staphylocoques. Cette diminution peut être attribuée au courant électrique imposé dans la solution qui est supérieur à celui existant au niveau de la membrane bactérienne, et qui peut avoir un effet bactéricide (Eynard et *al.*,1999) ; (Vernhes, 1999) cité par Bureau (2004). Ces résultats convergent aussi avec l'étude réalisée par Garnerone (1979), qui montre que l'électrolyse d'une suspension concentrée d'*Escherichia coli*, entraînerait une désactivation des bactéries.

En outre, l'augmentation d'abattement des bactéries avec la tension s'accompagne d'une élimination ascendante de la DCO, jusqu'à ce qu'elle atteigne les 96 % à 20 V avec les deux types d'électrodes.

Le traitement par les doses optimales (0.6 g/l) de sulfate d'aluminium et de chlorure ferrique aboutit à une élimination des bactéries qui varie entre 1 et 2 unités décimales. Cela signifie que le traitement par coagulation-floculation n'a pas d'effet bactéricide sur les microorganismes, et ce faible abattement des bactéries pourrait s'interpréter, d'une part, par leur adsorption sur les floes, étant donné leurs charges négatives favorisées par un pH supérieur à 4 (Block, 1989), et par une augmentation de la concentration en chlorures dans la solution en cas de traitement par le chlorure ferrique.

D'autre part les ions chlorures ont probablement réagi avec la matière azotée pour donner des chloramines, qui peuvent participer à l'élimination de certaines bactéries (Block 1989). Néanmoins ces deux phénomènes semblent insuffisants pour abattre la charge microbiologique importante caractérisant l'effluent d'abattoir.

Dans l'essai avec ajout de 0,5 g de NaCl, nous avons réduit le temps de contact à 20 minutes. Les résultats du tableau 3, montrent qu'à partir de 10 volts nous avons une réduction des bactéries de plus de 7 unités logarithmiques avec les électrodes d'aluminium. Une disparition totale des coliformes totaux et fécaux est observée pour le traitement avec des électrodes de fer à partir de 10 V (tableau 4). Alors que dans l'essai à blanc (sans Ajout de NaCl) la désinfection exige une tension qui varie entre 15 et 20 V et un temps de contact de 30 min.

Tableau 3: Comparaison des abattements des bactéries et de la DCO entre les traitements par le sulfate d'alumine et par les électrodes d'aluminium avec ajout de NaCl.

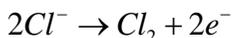
Paramètres de pollution	Effluent brut + 0,5 g de NaCl	effluent traité avec différentes tension aux bornes en volts en 20 min avec 0,5g NaCl					Après traitement avec 0,6 g /l de sulfate d'alumine	
		0 V	6 V	10	12 V	15 V		20 V
pH	6,9	7			7,2	7,5	7,5	6
Conductivité (µs/cm)	2050	1854	1854		1825	1635	1615	959
Chlorures (mg/l)	890,5	711	520		48	468	454	319,5
DCO (mg d'O <sub>2</sub> /L)	2600	190	120		90	6	55	1800
Coliformes totaux (ufc /100ml)	10 <sup>8</sup>	5.10 <sup>3</sup>	10		0	0	0	10 <sup>6</sup>
Coliformes fécaux (ufc /100ml)	4.10 <sup>7</sup>	10 <sup>2</sup>	10		0	0	0	15.10 <sup>4</sup>
Clostridium sulfito-réductrice (ufc /100ml)	13.10 <sup>3</sup>	7.10 <sup>2</sup>	10		0	0	0	6.10 <sup>3</sup>
Staphylocoques (ufc /100ml)	2.10 <sup>5</sup>	5.10 <sup>2</sup>	10		0	0	0	10 <sup>4</sup>

Tableau 4: Comparaison des abattements des bactéries et de la DCO entre les traitements par le chlorure ferrique et par des électrodes de fer avec ajout de NaCl.

Paramètres de pollution	Effluent brut avec 0,5 g NaCl	Effluent traité avec différentes tension aux bornes en volts en 30 min Avec 0,5g NaCl					Après traitement avec 0,6 g /l de chlorure ferrique
		0 V	6 V	10 V	12 V	15 V	
pH	6,9	7	7,2	7,4	7,2	7,3	5,4
Conductivité(µs/cm)	2050	1778	1650	1607	1470	1311	867
DCO (mg /l d'O <sub>2</sub> )	2600	170	90	75	45	40	1350
Chlorures (mg /l)	890,5	765	480	431	418	404	912
Coliformes totaux (ufc /100ml)	10 <sup>8</sup>	5.10 <sup>2</sup>	0	0	0	0	10 <sup>6</sup>
Coliformes fécaux (ufc /100ml)	4.10 <sup>7</sup>	10 <sup>2</sup>	0	0	0	0	15.10 <sup>5</sup>
Clostridium sulfito-réductrice (ufc /100ml)	13.10 <sup>3</sup>	17.10 <sup>2</sup>	9	0	0	0	6.10 <sup>2</sup>
Staphylocoques (ufc /100ml)	2.10 <sup>5</sup>	9.10 <sup>2</sup>	10	0	0	0	10 <sup>4</sup>

Ces résultats sont proches de ceux de Bureau (2004) dans le cas de la stabilisation des boues. L'efficacité de l'électrocoagulation avec ajout de NaCl serait probablement imputée à deux effets : le premier consiste probablement à la modification de la charge ionique de la solution provoquée par l'augmentation de la conductivité suite à l'ajout de 0,5 g/l de NaCl. Cette dernière active le démarrage de l'électrocoagulation, ce qui accélère le passage de courant électrique et les réactions électrochimiques du milieu, et

c'est pour cette raison nous avons réduit le temps de contact à 20 min. Le deuxième effet est la conversion des ions chlorures existants et ajoutés dans la solution en chlore actif, tels l'acide hypochlorique (HClO) et l'ion hypochlorite (ClO<sup>-</sup>). En effet la concentration des ions chlorures augmente au début après ajout de 0,5g de NaCl, puis diminue de façon proportionnelle avec l'augmentation de la tension de la cellule électrolytique (tableaux 3 et 4). Ceci coïncide avec les résultats de Ge *et al.*, (2004). Ce dernier, rapporte que pour un grand nombre d'effluents contenant des ions chlorures, l'oxydation anodique de ces ions peut conduire à la production d'hypochlorite par les réactions suivantes :



La formation de l'acide hypochlorique est favorisée par le pH de l'effluent d'abattoir qui se situe entre 5 et 9, cette zone de pH favorise un effet bactéricide maximal par l'existence de la forme la plus active du chlore, qui est la plus pénétrable dans les membranes bactériennes (Bunce, 1990) cité par Bureau (2004).

Les mêmes résultats sont vérifiés par (Drogui *et al.*, 2001), sur l'effet combiné du courant électrique et d'oxydants chimiques, montrant que les bactéries initialement soumises à un courant électrique deviennent plus sensibles aux oxydants chimiques et sont plus rapidement éliminées. Cette propriété d'oxydant fort, permet à l'acide hypochlorique d'attaquer la paroi cellulaire des bactéries, et de réagir aussi avec les molécules organiques afin de les éliminer (Bureau, 2004).

Les tableaux 1, 2, 3 et 4 montrent que la concentration des ions chlorures diminue en fonction de l'augmentation de la tension aux bornes. A 10 V elle diminue de 46 % et 41,6% avec respectivement des électrodes de fer et d'aluminium pour l'essai à NaCl. Alors que dans le test sans NaCl, elle diminue de 27 % en cas de traitement par des électrodes de fer, et de 25,7 % en cas de traitement par des électrodes d'aluminium. De tels résultats expliquent que la formation des oxydants bactéricides est facilitée par l'augmentation de la concentration en chlorures. Les tableaux 3 et 4 montrent qu'à partir de 10 V, l'abattement de la DCO obtenue avec ajout de 0,5 NaCl dépasse les 90 %, avec une décontamination totale de l'effluent traité. Donc la tension de 10 V, la concentration de 0,5 g/l et le temps de contact de 20 min semblent être les conditions optimales d'électrocoagulation par les deux électrodes pour désinfecter et épurer cet effluent. Dans le cas de la coagulation chimique par le sulfate d'alumine les chlorures diminuent de 18 %, la DCO de 30 % et les bactéries d'une unité logarithmique. Ces résultats

soulignent l'absence des phénomènes d'oxydation de la matière organique et des chlorures dans le procédé de coagulation chimique.

#### 4. Conclusion

Les résultats de cette étude ont montré que les échantillons traités par électrocoagulation soit avec des électrodes de fer ou d'aluminium sous la tension variant entre 10 et 15 volts, et 0,5g/l de NaCl, donne un effluent traité caractérisé par un pH qui varie entre 7,2 et 7,8, un abattement des bactéries de 100% ( désinfection total ), la conductivité de l'effluent après traitement ne dépassant pas 1ms/cm. Ces conditions réalisent l'optimum de traitement par électrocoagulation par le fer et l'aluminium, ce qui fait penser que ce procédé paraît plus adapté que la coagulation chimique, en raison des ses potentialités bactéricides permettant de vaincre le risque microbiologique des effluents d'abattoir, qui sont considérés vecteur de germes pathogènes menaçant l'environnement et la santé publique.

#### References:

- Block J.C. Technique d'analyse des eaux de boisson ; Rappels généraux sur l'élimination des microorganismes par le Chlore. Séminaire organisé par le Ministère de la santé publique marocaine en collaboration avec l'organisation mondiale de la santé, 1989.
- Bunce N.J. Environmental Chemistry. Wuerz Publishing, Winnipeg, Manitoba, Canada. 376 p, 1990.
- Bureau M.A. Stabilisation et traitement électrochimique des boues d'épuration municipales et industrielles, mémoire de maitre es sciences, Université de Québec, 123 p, 2004.
- Drogui P, Elmaleh S, Rumeau M, Bernard C, et Rambaud A. Oxidising and disinfecting by hydrogen peroxide produced in a two-electrode cell. *wat. Res* 35(13), 3235-3241, 2001.
- Eynard N, B.Gueguen A, Benichou P, Cabanese T.J et Teissié J. Éradication de légionnelles par champs électrique. Journée d'Électrochimie, Toulouse, France, 1-4 juin 1999, 1999.
- Ge J, Qu J, Lei P et Liu H. New bipolar electrocoagulation-electroflotation process for the treatment of laundry wastewater. *Sep. Purif. Technol.*, 36(1), 33-39, 2004.
- Garnerone A. Contribution à l'étude des mécanismes d'action des agents antiseptiques dans les eaux: Application à la désinfection électrochimique indirecte. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, 165 p, 1979.
- Hillis M.R. Treatment of effluents by electrolytic methods in Britain. *l'at. Pollut. Control* 108(12), 2 2-27, 1970.
- Khenoussi A, Chaouch M, Chahlaoui A et Merzouki M. Traitement des

effluents d'abattoir par le Chlorure ferrique, *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*, 150, 69-80, 2011.

Labanowski J. Matière organique naturelle et anthropique : vers une meilleure compréhension de sa réactivité et de sa caractérisation, thèse de Doctorat, Université de Limoges, 209 p, 2004.

Lambie J.M. Method for electrolytic of disinfection of water, brevet publié sous numéro N° US20070131556A1, 14 juin 2007.

Leclerc H et Oger C. (1975). Les eaux usées des abattoirs et leur importance épidémiologique. *Rev. Epidém., Méd. Soc. Et Santé Publ.*, 23, 7-8, 429-444, 1975.

Loukiadis E. Facteurs de virulence et dissémination dans l'environnement *via* les effluents d'abattoirs d'animaux de boucherie d'*Escherichia coli* entérohémorragiques (EHEC), thèse Doct microbiologie Université Toulouse III France, 225p, 2007.

Patemarakis G et Fountoukis E. Disinfection of water by electrochemical treatment, *Wat. Res.*, 24, 1496, 1990.

Prétorius W.A., Johannes W G et Lempert G.G. Electrolytic iron in flocculant production with bipolar electrode in series arrangement. *Water S.A.* Vol. 17, N°2, 133, 1991.

Vernhes M.C, Benichou A et Pemin P. Éradication des amibes libres par l'utilisation de champs électriques pulsés. Journée d'Électrochimie, Toulouse, France, 1-4 juin, 1999.