



Universidad de
Castilla~La Mancha



Étude comparative des matériaux dans le procédé d'électrocoagulation pour le traitement des eaux salines destinées à l'irrigation agricole

Khawla KHALLAL¹, Mourad ADDICH¹, Brahim SAMIR², Rachid TIHMMOU¹, Mohamed ERRAMI²,
Houda TAIMOURYA³, Rachid SALGHI^{1,*}

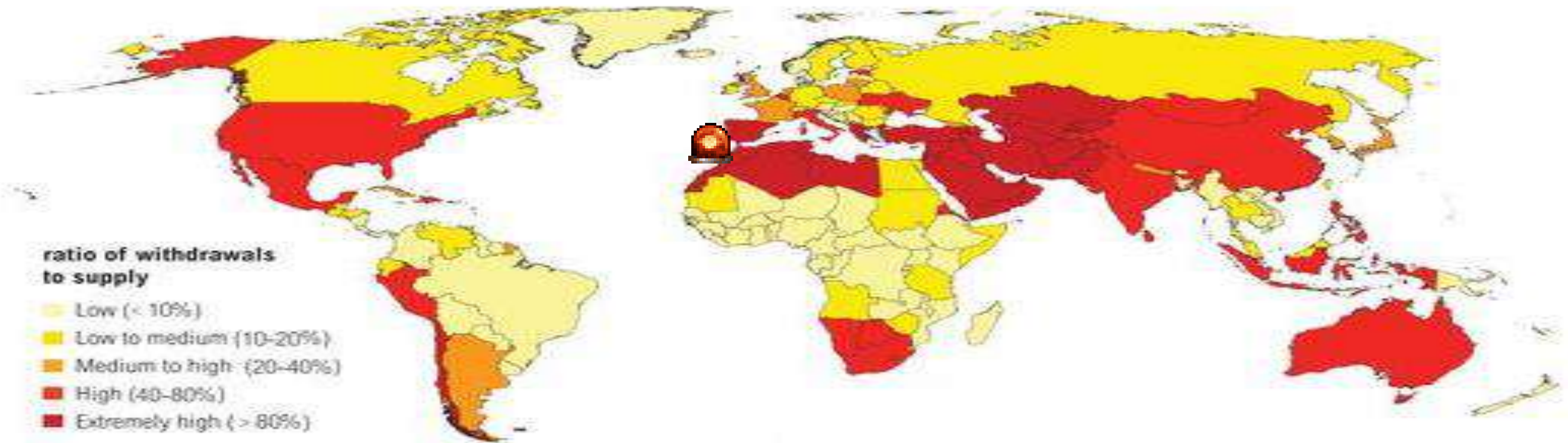
¹ Équipe Chimie Appliquées & Environnement, École Nationale des Sciences Appliquées, Université
Ibn Zohr, B.P :1136 Agadir, Maroc.

² Laboratoire de Chimie Physique Appliquée, Faculté des Sciences, Université Ibn Zohr, B.P : 8106,
Agadir, Maroc

³ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P : 6202, Rabat

Introduction

- Climate change is a major challenge for Morocco and the Souss-Massa Region
- Rainfall is becoming increasingly rare, with < 170 mm/year. Moreover, the country's resources are under increasing pressure.

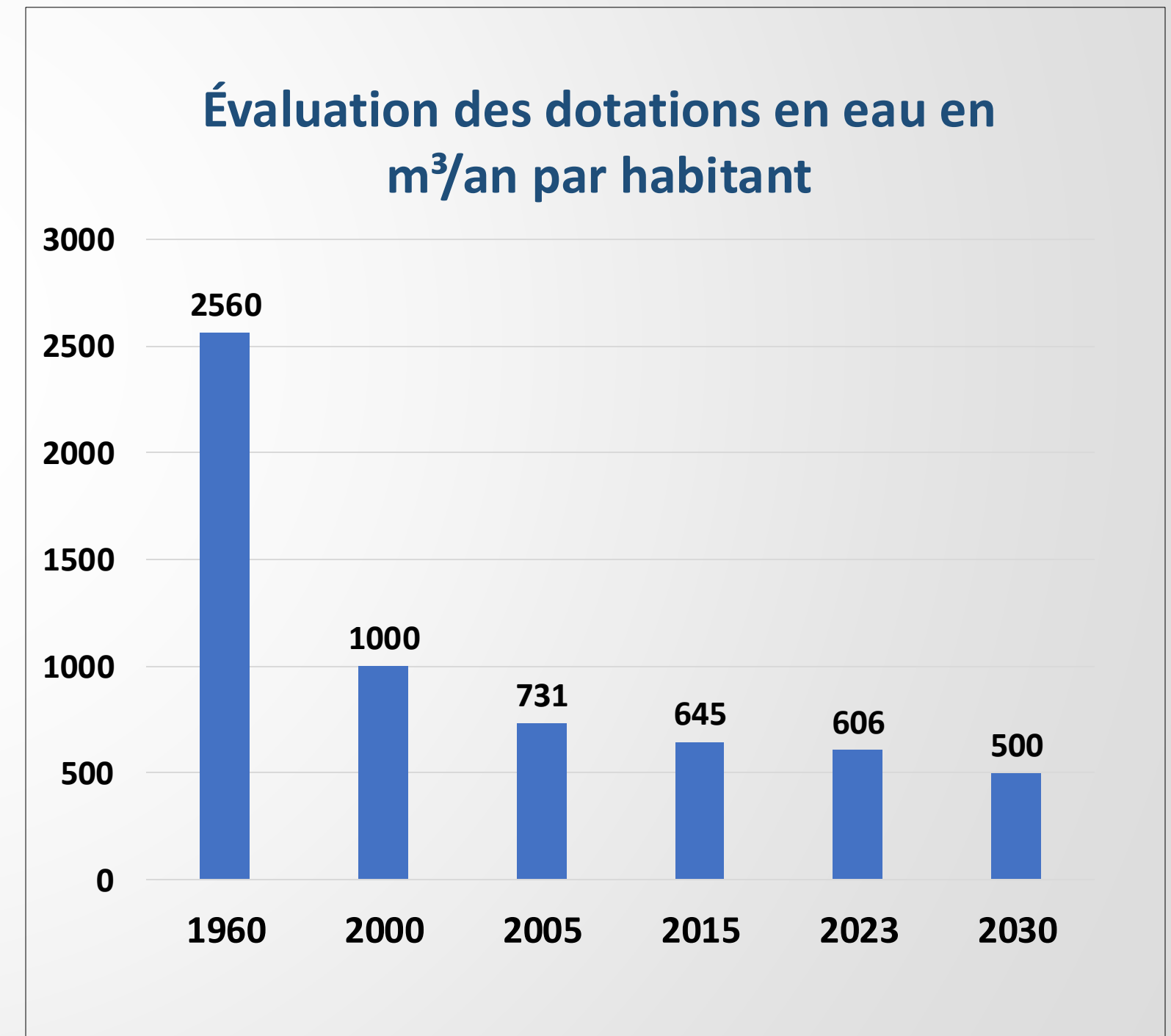


NOTE: Projections are based on a business-as-usual scenario using SSP2 and RCP8.5.

Contraintes sur les ressources en eau

L'agriculture irriguée consomme 90 % de l'eau mobilisée

- Rareté des ressources en eau et multiplication des phénomènes extrêmes liés au changement climatique ;
- Faibles taux de remplissage des barrages et surexploitation des nappes phréatiques ;
- 51 % des ressources en eau du pays sont concentrées sur 7 % de la superficie du territoire national ;
- Développement côtier intense et expansion des activités industrielles et touristiques.



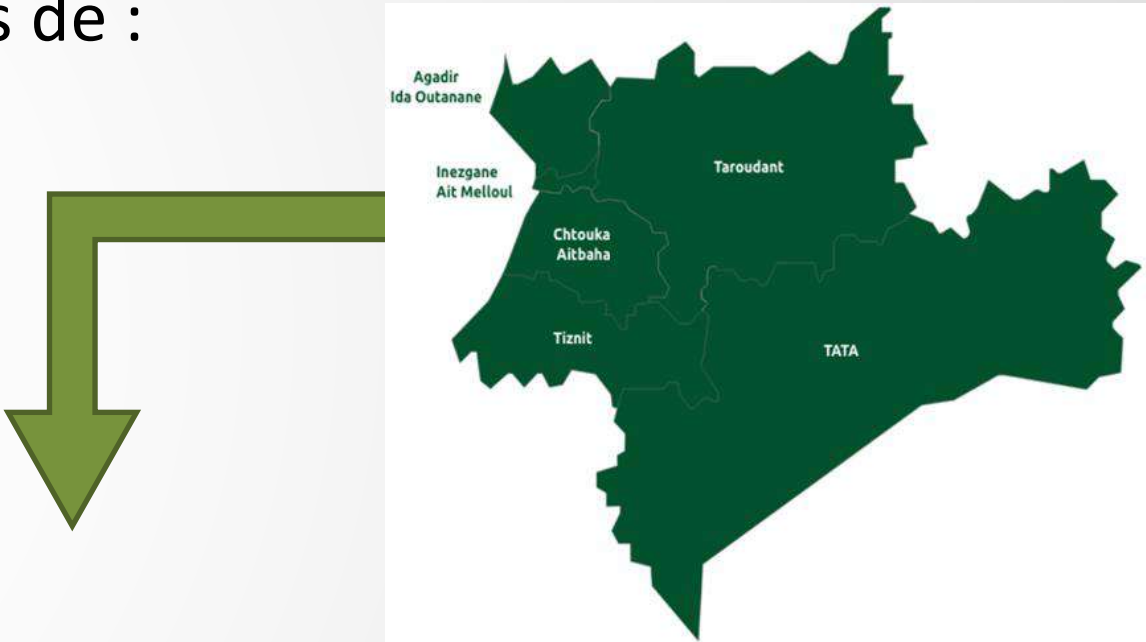
-
- A close-up photograph of a weathered wooden post or pole. The bark is heavily peeling and flaking, revealing a lighter, fibrous inner wood. The post is set against a background of rough, textured ground, possibly concrete or stone, which is also visible in the foreground. The lighting is bright, highlighting the textures of the wood and the ground.



Introduction

Le changement climatique est un défi majeur pour le Maroc et la région du Souss-Massa. Les précipitations deviennent de plus en plus rares, avec moins de 170 mm par an. De plus, les ressources du pays sont soumises à une pression croissante. La région du Souss-Massa, située au sud du Maroc, est connue pour son activité agricole intensive, qui repose en grande partie sur l'utilisation de l'eau. Cependant, cette eau se caractérise souvent par des niveaux élevés de :

- Conductivité (800 to 6400 uS/cm) **Normal < 1500 uS/cm**
- Salinité (512 to 4096) **Normal < 92 mg/L**
- Sodium (200 to 1800 mg/L) **Normal < 142 mg/L**
- Chlorure (200 to 1800 mg/L)



Client: MAHA INTAU

Domicile: Propriete Trik Al Had Secteur Irrigue Souss Massa
Khmiss Ait Amira Agadir 80000

AUTRES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUE

Paramètre	Résultat	Unités	Très bas	Bas	Normal	Haut	Très haut	Technique	PNT
Conductivité électrique	2.398	µS/cm à 25°C		750		1.500		Electrométrie	PEC-002
pH	8.63			6,50		7,50		Potenciometrie pH	PEC-001

COMPOSITION CHIMIQUE CATIONS

Paramètre	mg/L	meq/L	Très bas	Bas	Normal	Haut	Très haut	Technique	PNT
Calcium	71,1	3,55		2,00		6,00		Spect ICP-OES	PEC-009
Magnésium	70,9	5,84		0,50		2,50		Spect ICP-OES	PEC-009
Potassium	2,67	0,07		0,00		0,25		Spect ICP-OES	PEC-009
Sodium	281	12,2		0,00		4,00		Spect ICP-OES	PEC-009

COMPOSITION CHIMIQUE - ANIONS

Paramètre	mg/L CO3H-	meq/L	Très bas	Bas	Normal	Haut	Très haut	Technique	PNT
Alcalinité (CO3+HCO3-)	384	6,30		0,50		3,00		Titration	PEC-011
Chlorure	414	11,7		0,00		4,00		Analizador de Flujo Cont	PE-336
Nitrates (TON)	37,7	0,61		0,00		0,80		Analiz Flujo Segmentadac	PE-336
Sulfates	131	2,73		0,00		6,00		Spect ICP-OES	PEC-009



Introduction

Soil conductivity tolerance level (mS/cm) for different crops Irrigation water conductivity tolerance levels (mS/cm) for different crops

Cultures	potentiel de rendement				Maximum EC (mS/cm)
	100%	90%	75%	50%	
Cultures des champs					
Orge	8.0	10.0	13.0	18.0	28
Haricot	1.0	1.5	2.3	3.6	7
Fève	1.6	2.6	4.2	6.8	12
Blé	1.7	2.5	3.8	5.9	10
Coton	7.7	9.6	13.0	17.0	27
niébé	1.3	2.0	3.1	4.9	9
lin	1.7	2.5	3.8	5.9	10
Arachide	3.2	3.5	4.1	4.9	7
Riz	3.0	3.8	5.1	7.2	12
Carthame	5.3	6.2	7.6	9.9	15
Sesbania	2.3	3.7	5.9	9.4	17
Sorgho	4.0	5.1	7.2	11.0	18
Soja	5.0	5.5	6.2	7.5	10
Bettrave à sucre	7.0	8.7	11.0	15.0	24
Blé	6.0	7.4	9.5	13.0	20
Cultures Maraichères					
Haricot	1.0	1.5	2.3	3.6	7
Bettrave	4.0	5.1	6.8	9.6	15
Brocoli	2.8	3.9	5.5	8.2	14
Chou	1.8	2.8	4.4	7.0	12
Cantaloup	2.2	3.6	5.7	9.1	16
Carotte	1.0	1.7	2.8	4.6	8
Concombre	2.5	3.3	4.4	6.3	10
Laitue	1.3	2.1	3.2	5.2	9
Oignon	1.2	1.8	2.8	4.3	8
Poivron	1.5	2.2	3.3	5.1	9
Pomme de terre	1.7	2.5	3.8	5.9	10
Radis	1.2	2.0	3.1	5.0	9
Epinard	2.0	3.3	5.3	8.6	15
Mais sucré	1.7	2.5	3.8	5.9	10
Patate douce	1.5	2.4	3.8	6.0	11
Tomate	2.5	3.5	5.0	7.6	13
Cultures fourragères					
Luzerne	2.0	3.4	5.4	8.8	16
Foin d'orge	6.0	7.4	9.5	13.0	20
Herbe des Bermudes	6.9	8.5	10.8	14.7	23
Trèfle, berseem	1.5	3.2	5.9	10.3	19
Mais (fourrage)	1.8	3.2	5.2	8.6	16
Herbe dure	4.6	5.9	7.9	11.1	18
Herbe de verger	1.5	3.1	5.5	9.6	18
Seigle vivace	5.6	6.9	8.9	12.2	19
Herbe du Sudan	2.8	5.1	8.6	14.4	26
Grande féтуque	3.9	5.8	8.61	3.3	23
Herbe de blé haute	7.5	9.9	13.3	19.4	32
Trèfle Grand	2.3	2.8	3.6	4.9	8
Trèfle petit	5.0	6.0	7.5	10.0	15
Herbe de blé	7.5	9.0	11.0	15.0	22

Cultures	potentiel de rendement			
	100%	90%	75%	50%
<u>Cultures des champs</u>				
Orge	5.0	6.7	8.7	12.0
Haricot	0.7	1.0	1.5	2.4
Fève	1.1	1.8	2.0	4.5
Blé	1.1	1.7	2.5	3.9
Coton	5.1	6.4	8.4	12.0
niébé	0.9	1.3	2.1	3.2
lin	1.1	1.7	2.5	3.9
Arachide	2.1	2.4	2.7	3.3
Riz	2.0	2.6	3.4	4.8
Carthame	3.5	4.1	5.0	6.6
Sesbania	1.5	2.5	3.9	6.3
Sorgho	2.7	3.4	4.8	7.2
Soja	3.3	3.7	4.2	5.0
Bettrave à sucre	4.7	5.8	7.5	10.0
Blé	4.0	4.9	6.4	8.7
<u>Cultures Maraichères</u>				
Haricot	0.7	1.0	1.5	2.4
Bettrave	2.7	3.4	4.5	6.4
Brocoli	1.9	2.6	3.7	5.5
Chou	1.2	1.9	2.9	4.6
Cantaloup	1.5	2.4	3.8	6.1
Carotte	0.7	1.1	1.9	3.1
Concombre	1.7	2.2	2.9	4.2
Laitue	0.9	1.4	2.1	3.4
Oignon	0.8	1.2	1.8	2.9
Poivron	1.0	1.5	2.2	3.4
Pomme de terre	1.1	1.7	2.5	3.9
Radis	0.8	1.3	2.1	3.4
Epinard	1.3	2.2	3.5	5.7
Mais sucré	1.1	1.7	2.5	3.9
Patate douce	1.0	1.6	2.5	4.0
Tomate	1.7	2.3	3.4	5.0
<u>Cultures fourragères</u>				
Luzerne	1.3	2.2	3.6	5.9
Foin d'orge	4.0	4.9	6.3	8.7
Herbe des Bermudes	4.6	5.7	7.2	9.8
Trèfle, berseem	1.0	2.1	3.9	6.8
Mais (fourrage)	1.2	2.1	3.5	5.7
Herbe dure	3.1	3.9	5.3	7.4
Herbe de verger	1.0	2.1	3.7	6.4
Seigle vivace	3.7	4.6	5.9	8.1
Herbe du Sudán	1.9	3.4	5.7	9.6
Grande féтуque	2.6	3.9	5.7	8.9
Herbe de blé haute	5.0	6.6	9.0	13.0
Trèfle Grand	1.5	1.9	2.4	3.3
Trèfle petit	3.3	4.0	5.0	6.7
Herbe de blé	5.0	6.0	7.4	9.8

Problématique

Face à cette problématique, il est devenu urgent de développer des solutions de traitement efficaces afin de réduire la teneur en chlorures dans l'eau d'irrigation jusqu'à **142 mg/L**.



Deux solutions que nous proposons pour répondre à cette problématique.

(1) Traitement magnétique de l'eau couplé à l'électrocoagulation.

- Simplicité
- Faible coût

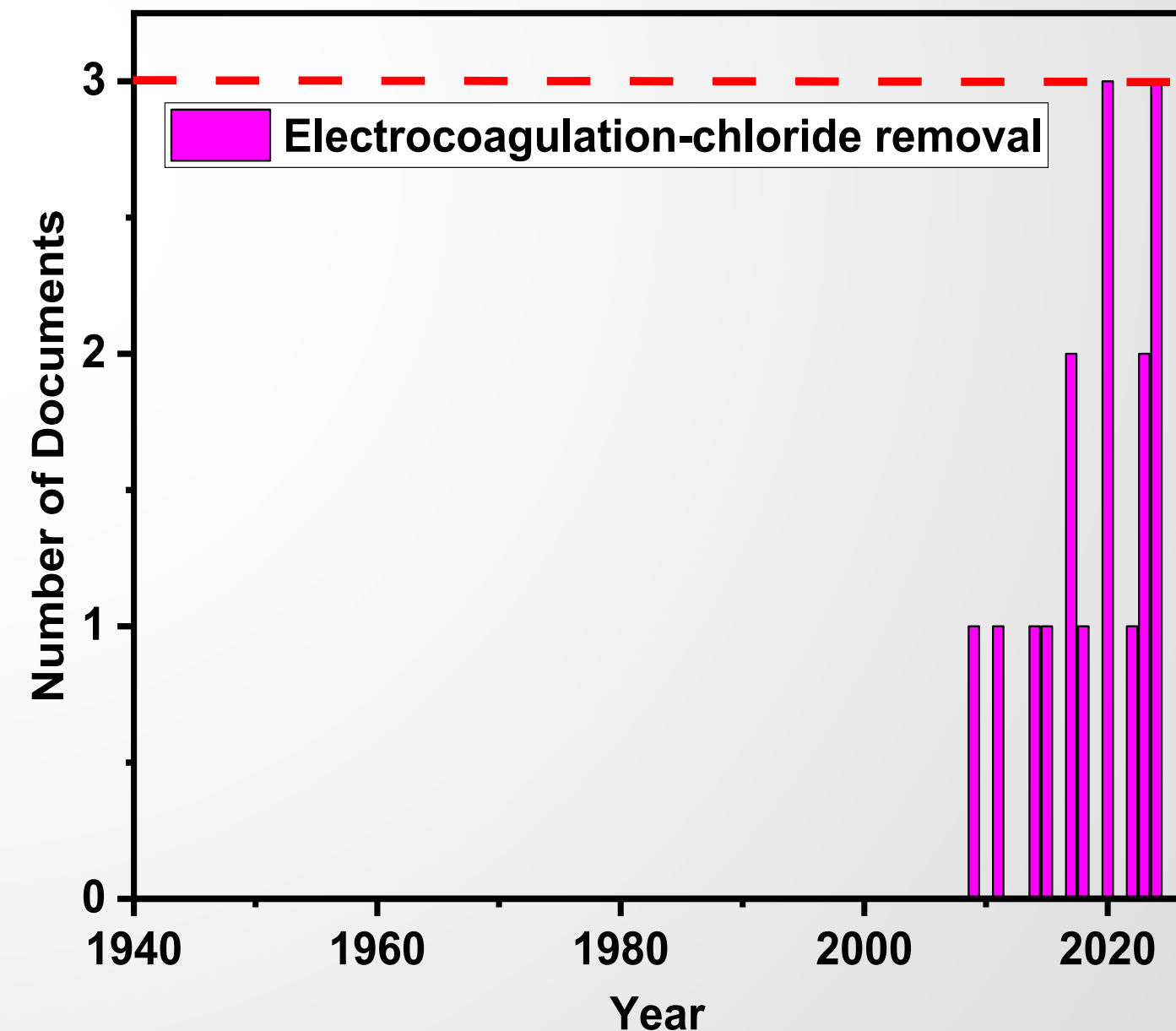
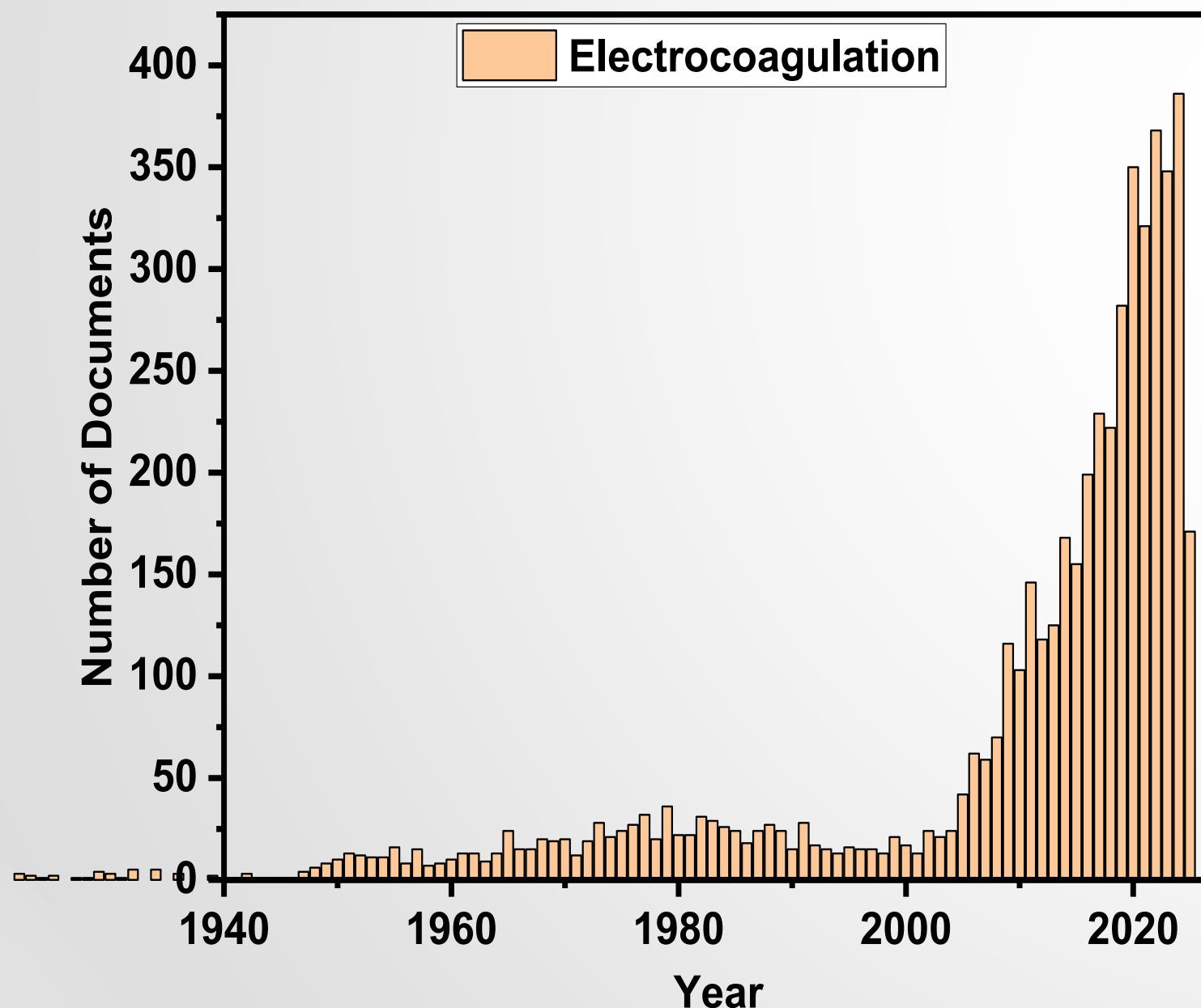
(2) osmose inverse

- Très efficace pour éliminer les chlorures
- Coûts d'exploitation élevés (**6 Dh/m³**)
- Maintenance complexe

Problématique

Face à cette problématique, il est devenu urgent de développer des solutions de traitement efficaces afin de réduire la teneur en chlorures dans l'eau d'irrigation jusqu'à **142 mg/L**.

(1) Traitement magnétique de l'eau couplé à l'électrocoagulation.-

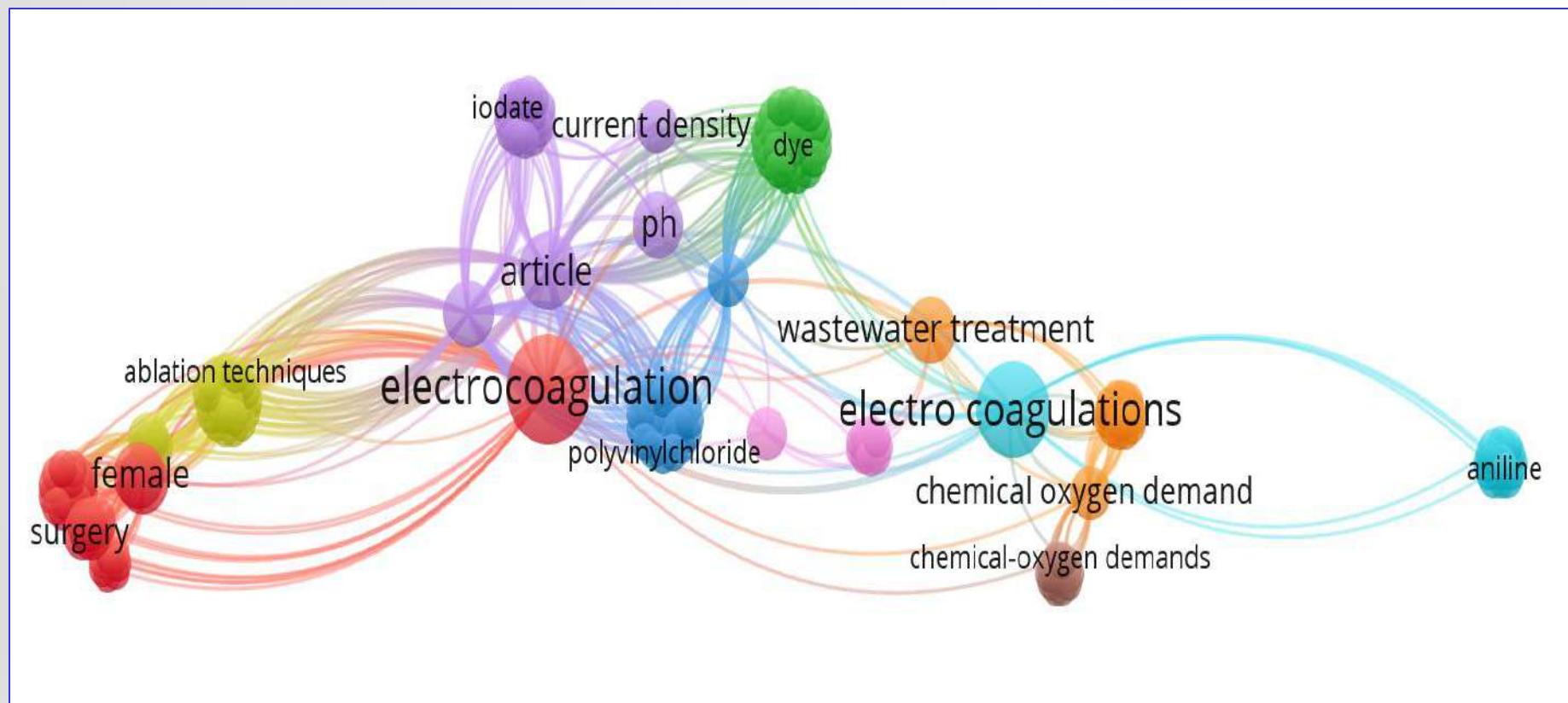


Problématique

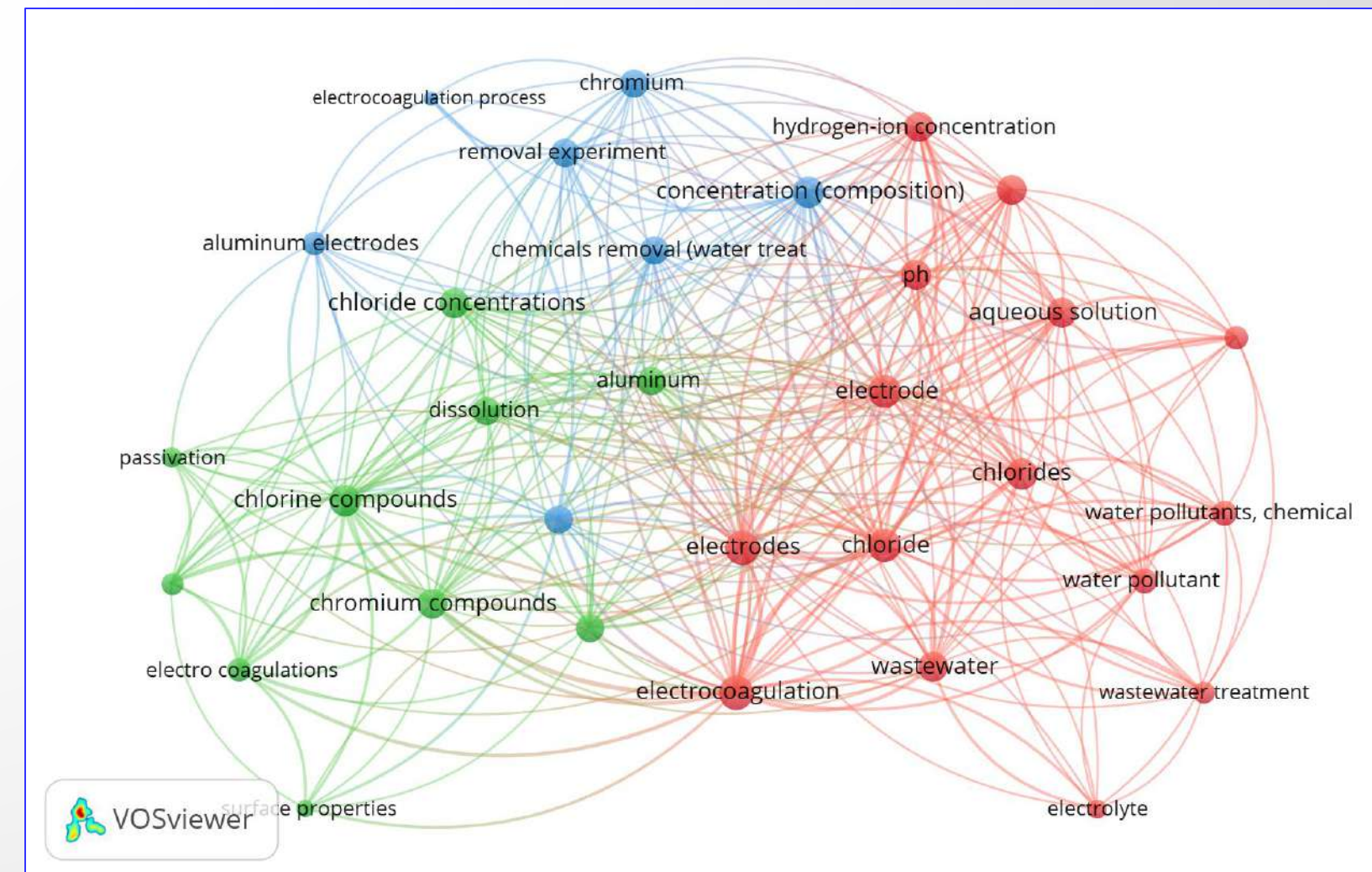
Face à cette problématique, il est devenu urgent de développer des solutions de traitement efficaces afin de réduire la teneur en chlorures dans l'eau d'irrigation jusqu'à **142 mg/L**.

(1) Traitement magnétique de l'eau couplé à l'électrocoagulation.-

electrocoagulation

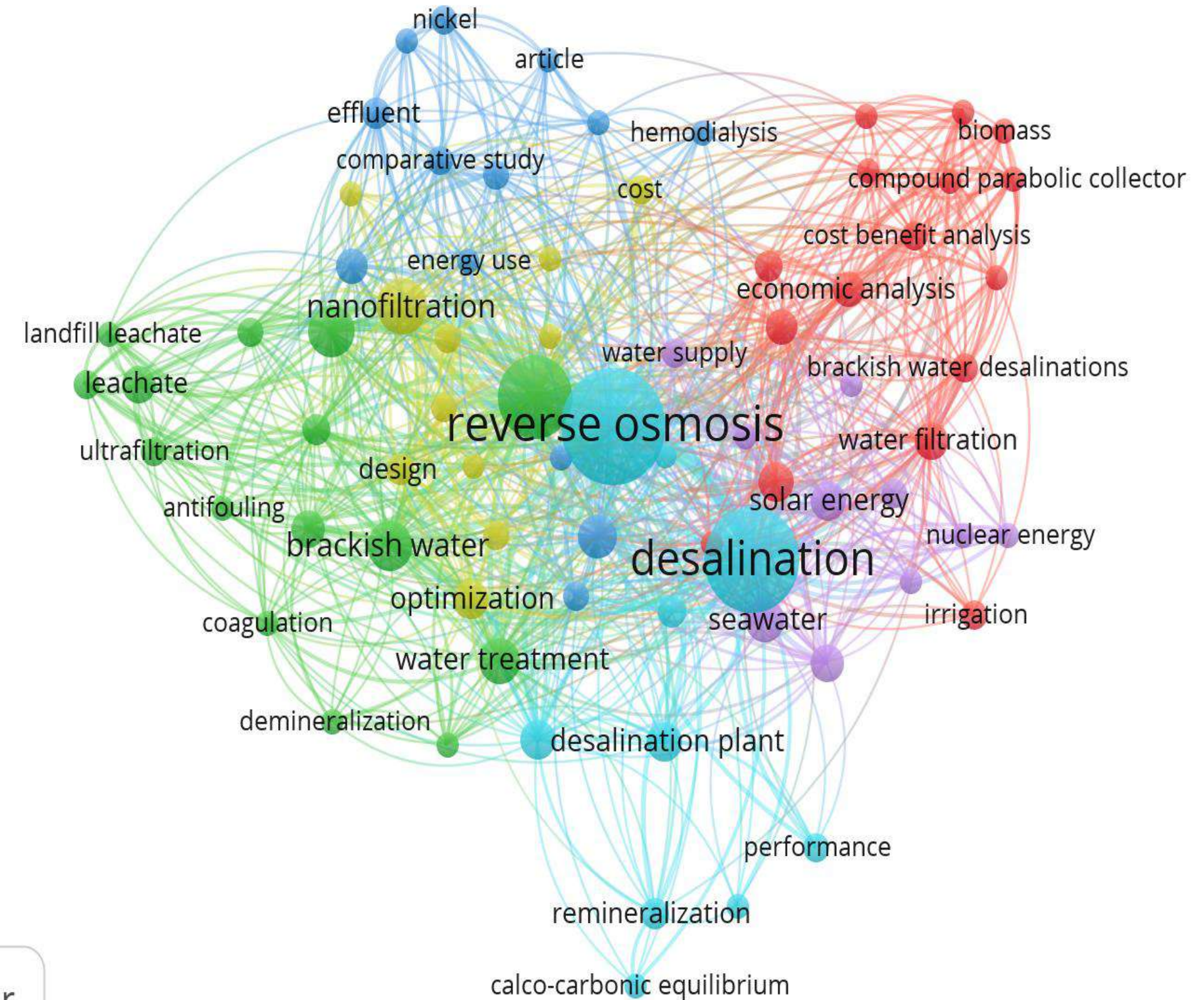
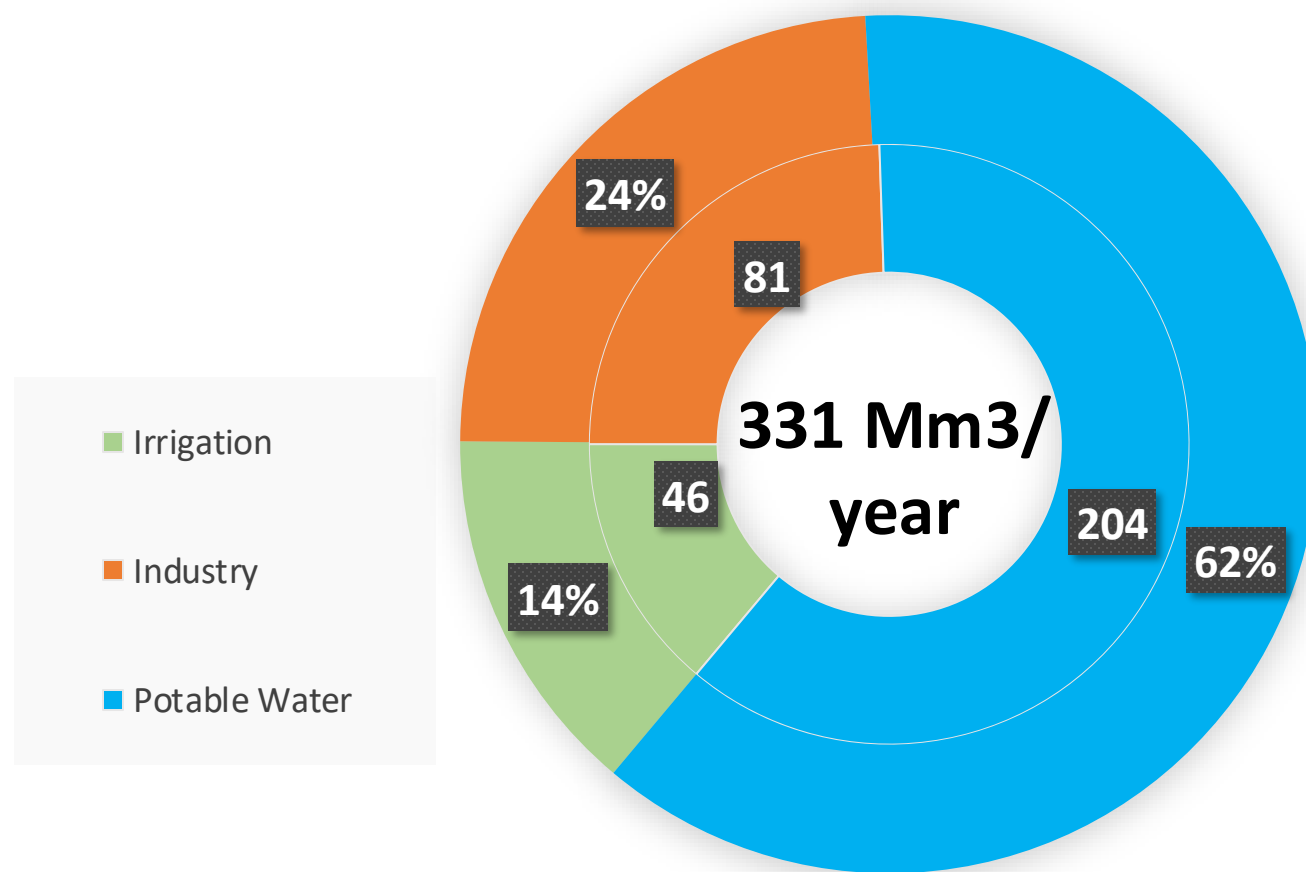


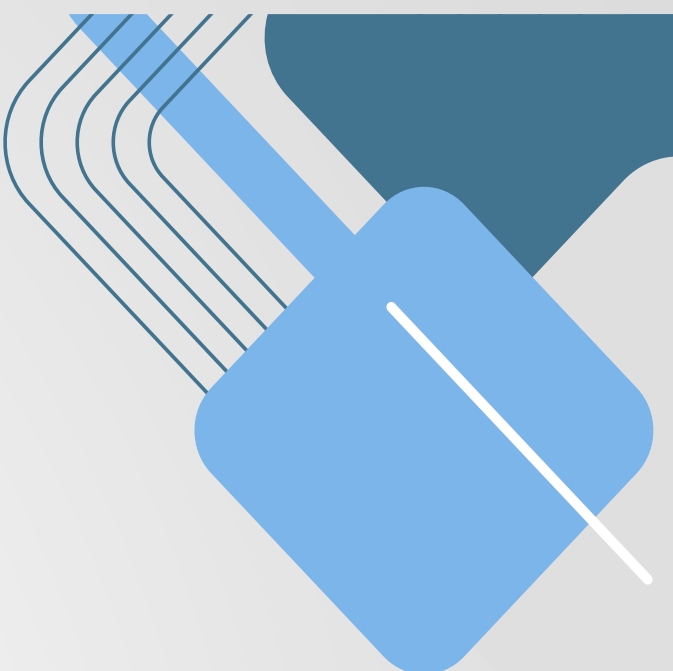
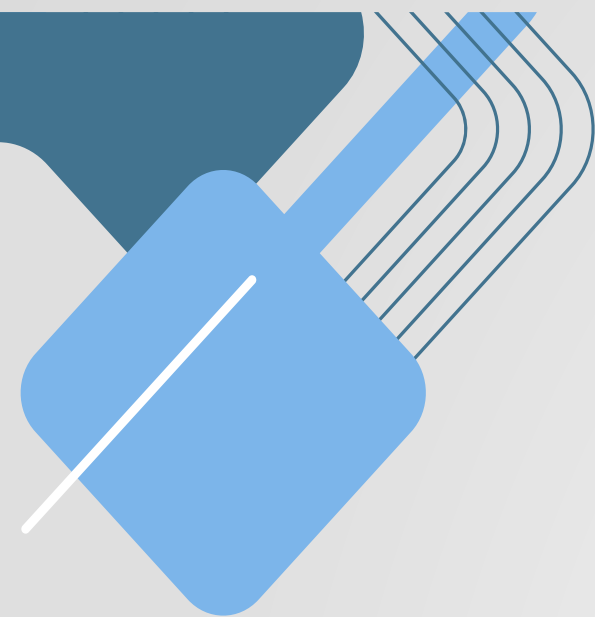
Electrocoagulation- chloride removal



Solution 2

Desalination

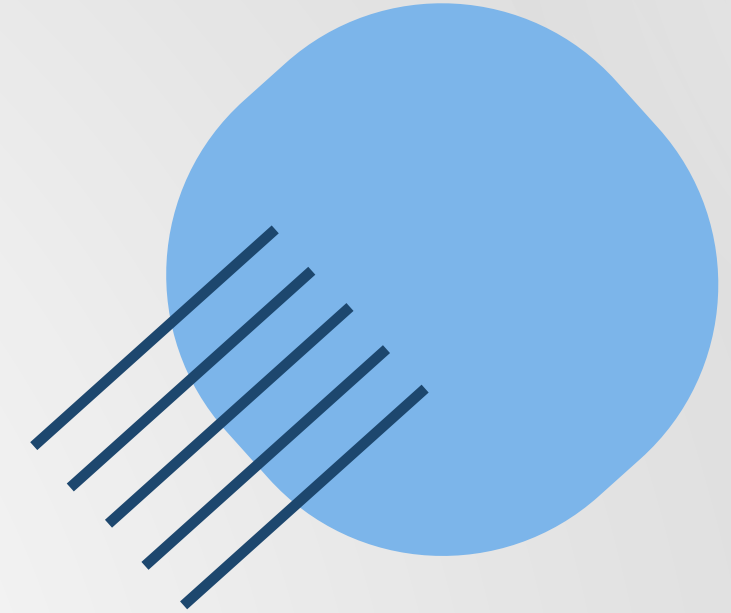




Objectif

Évaluer l'efficacité du traitement par électrocoagulation en utilisant du graphite (et d'autres matériaux) pour réduire les ions chlorure d'une eau saline.

Matériels et Méthodes



EQUIPEMENT

- **Determination des ions chlorures dans l'eau (Méthode AFNOR)**
- **Procedé d'électrocoagulation**



Matériels et Méthodes

Electrodes testés



•Graphite (anode and cathode)



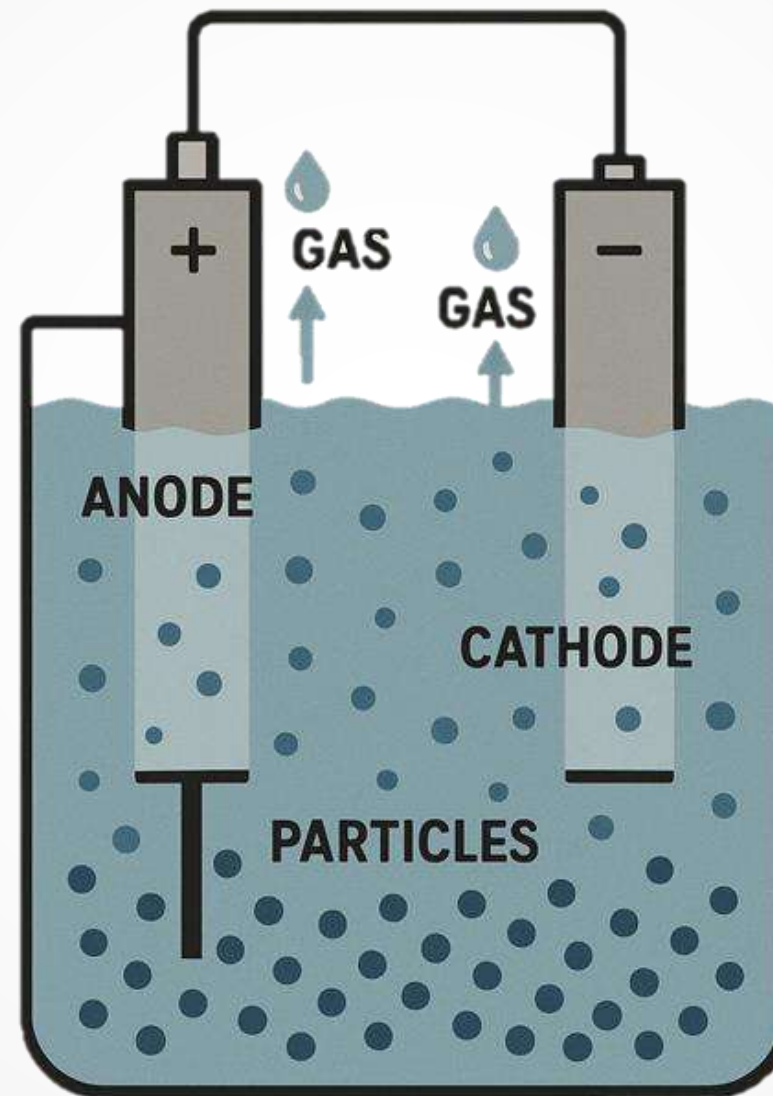
•Aluminium (anode and cathode)



•RuO₂/IrO₂ (anode and cathode)



•Iron (anode and cathode)



•Aluminium anode / Graphite cathode



•RuO₂/IrO₂ anode / Graphite cathode



•RuO₂/IrO₂ anode / Aluminium cathode

Matériels et Méthodes

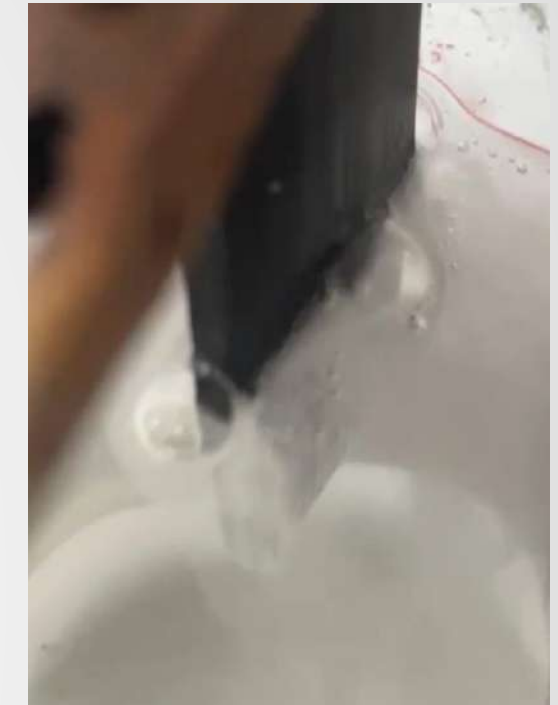
Volume d'eau **150 mL**.



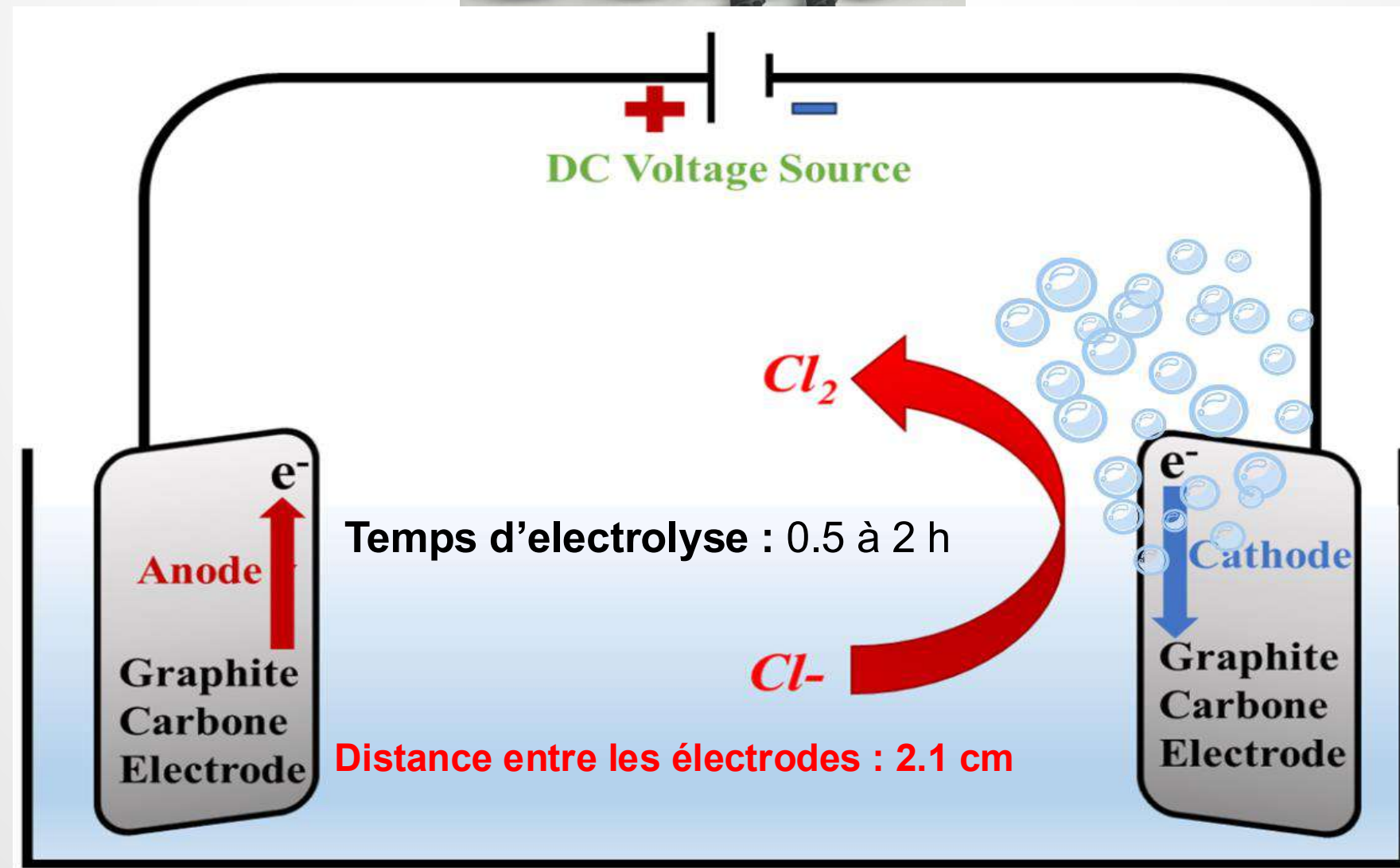
Surface immergée : **12 cm²**



•Nombres des électrodes : **2**



Concentration des ions
chlorures : **422 mg/L**



Résultats et discussion

Ces résultats ont montré que le courant appliqué optimal est de 2 A.

Figure 1 : Influence du courant appliqué sur l'évolution du pourcentage de concentration des ions chlorure par électrolyse ($C_0 = 422 \text{ mg/L}$) à l'aide d'une électrode en graphite. $T = 25^\circ \text{C}$

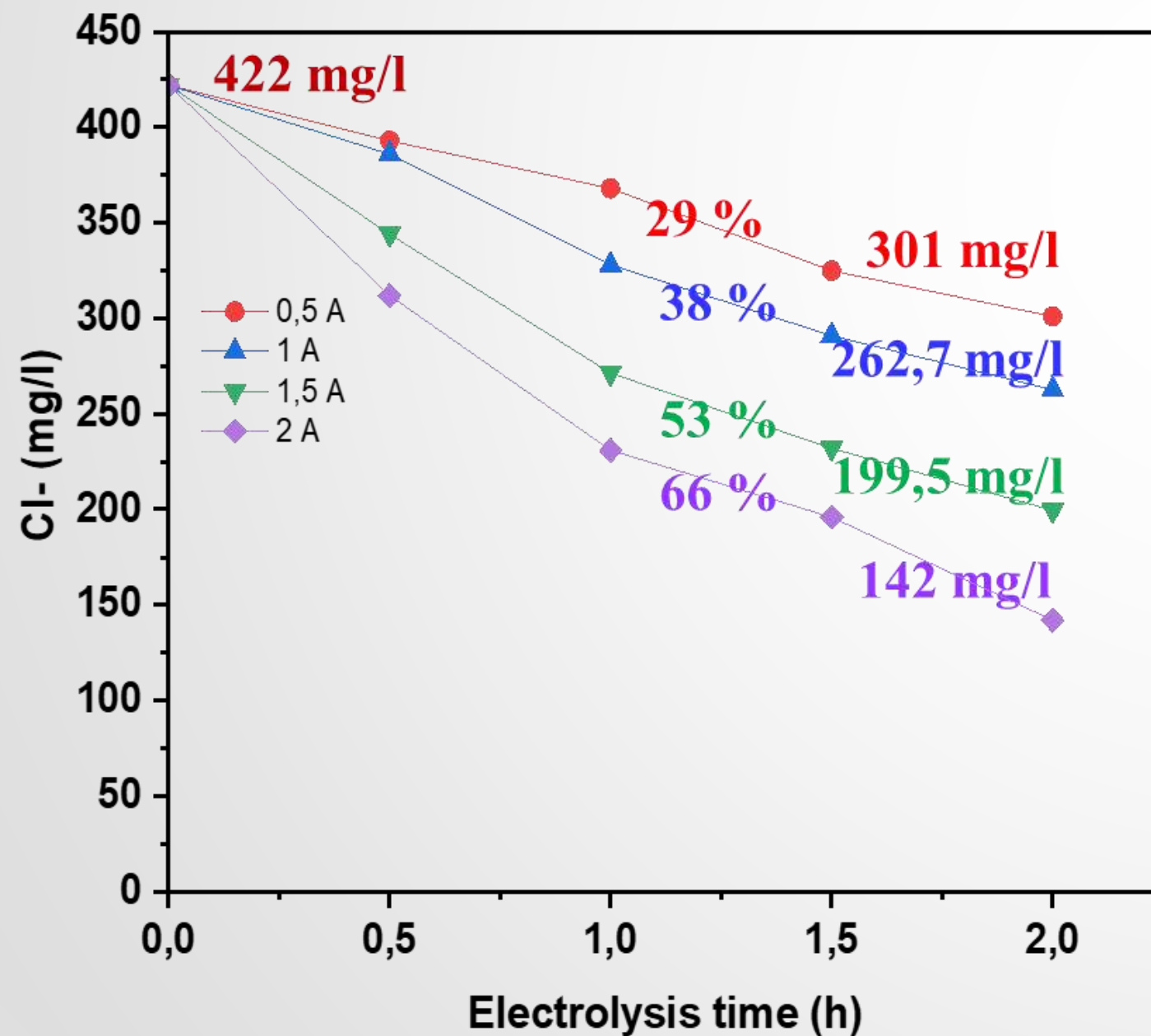
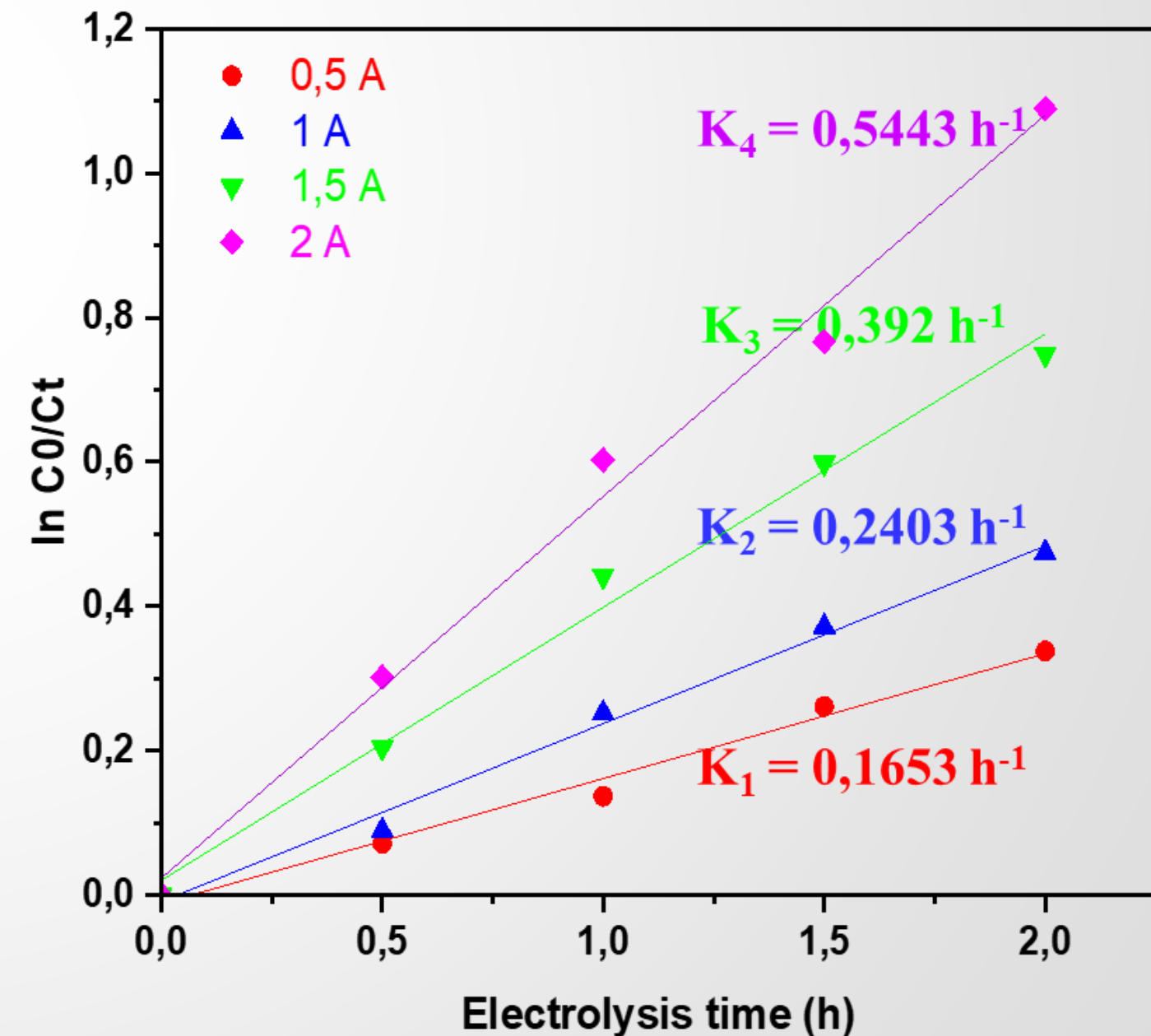
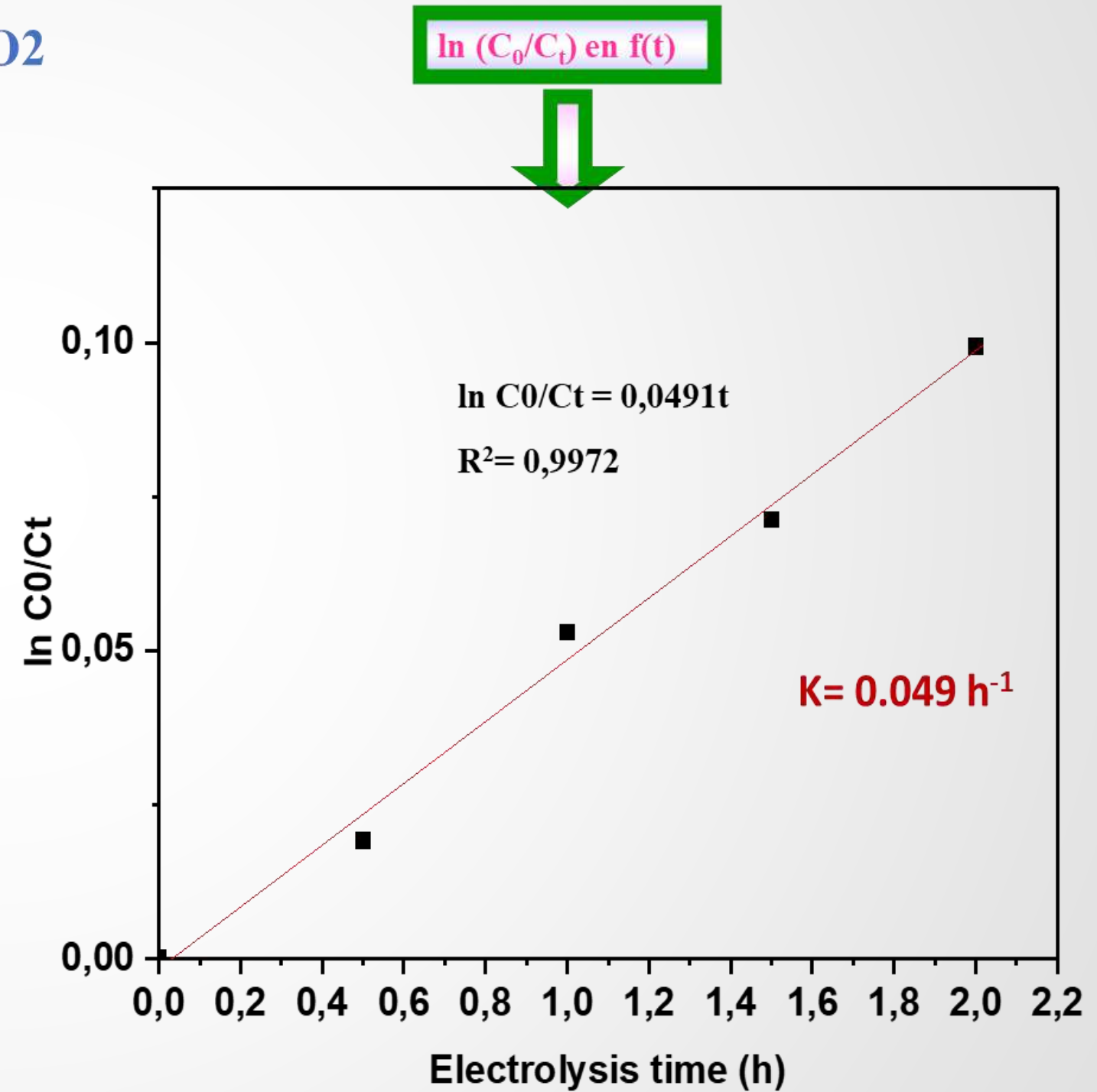
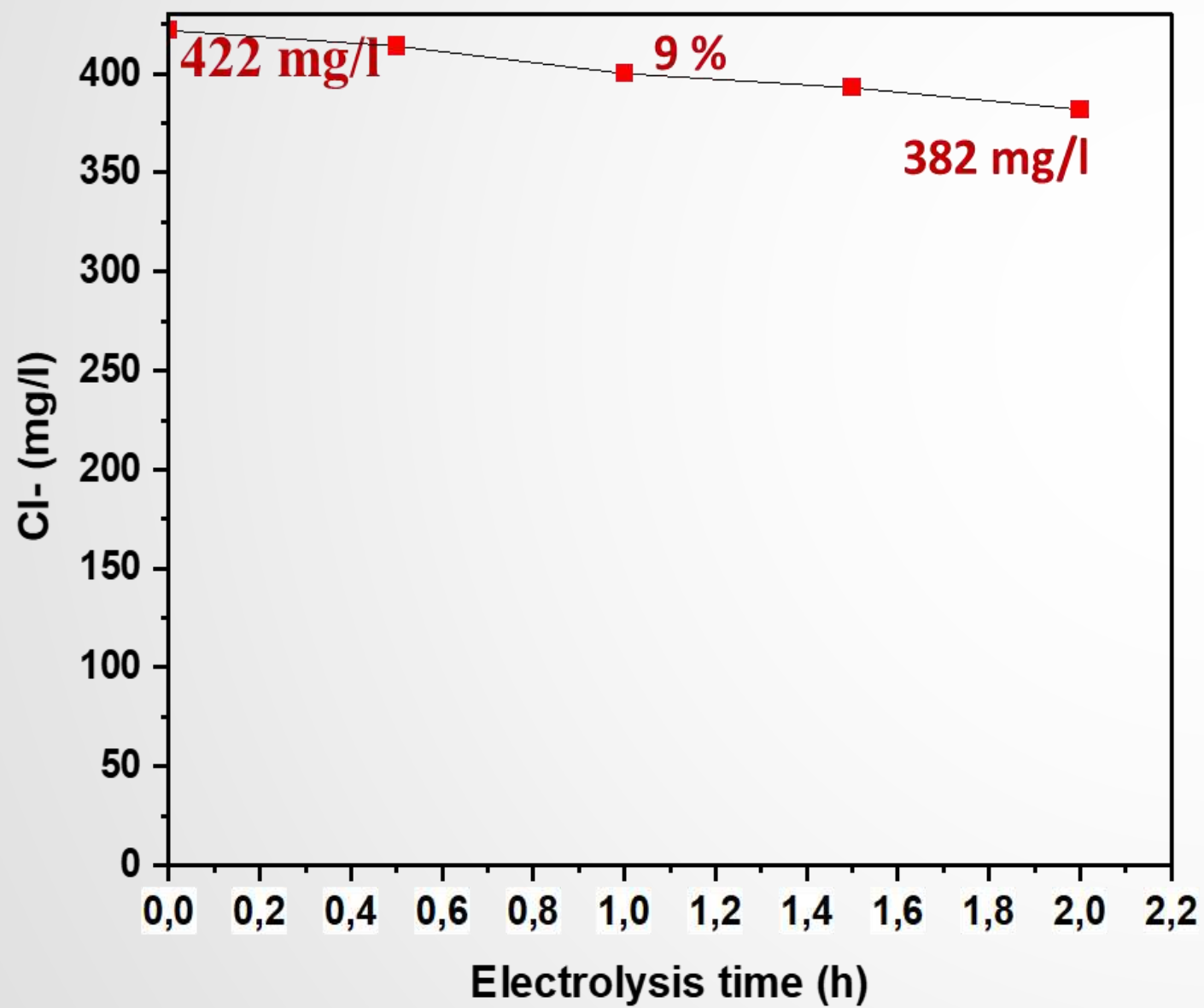


Figure 2 : Courbe pseudo cinétique d'ordre 1 de l'oxydation des ions chlorure ($C_0 = 422 \text{ mg/L}$) à différents courants appliqués



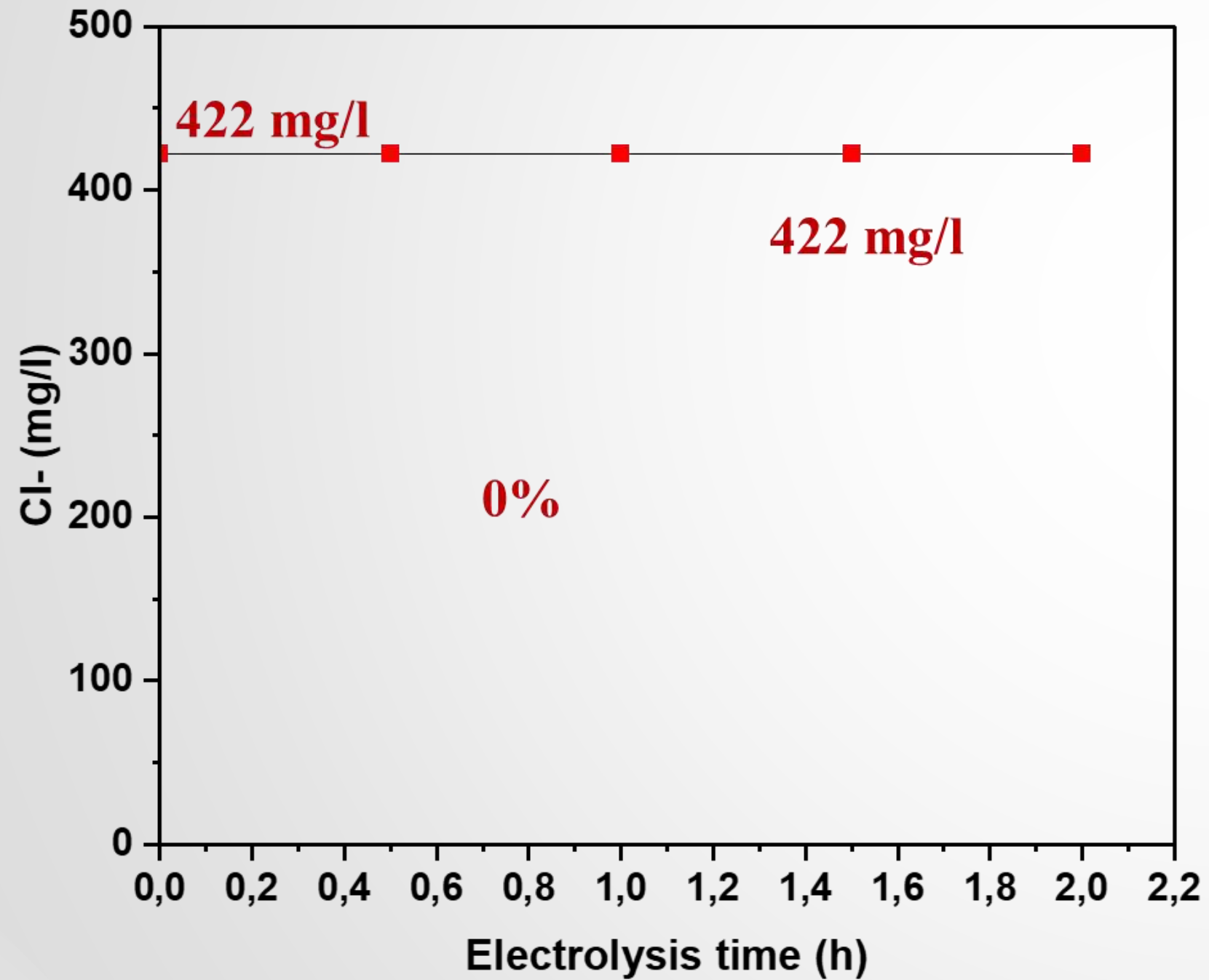
Résultats et discussion

RuO₂/IrO₂

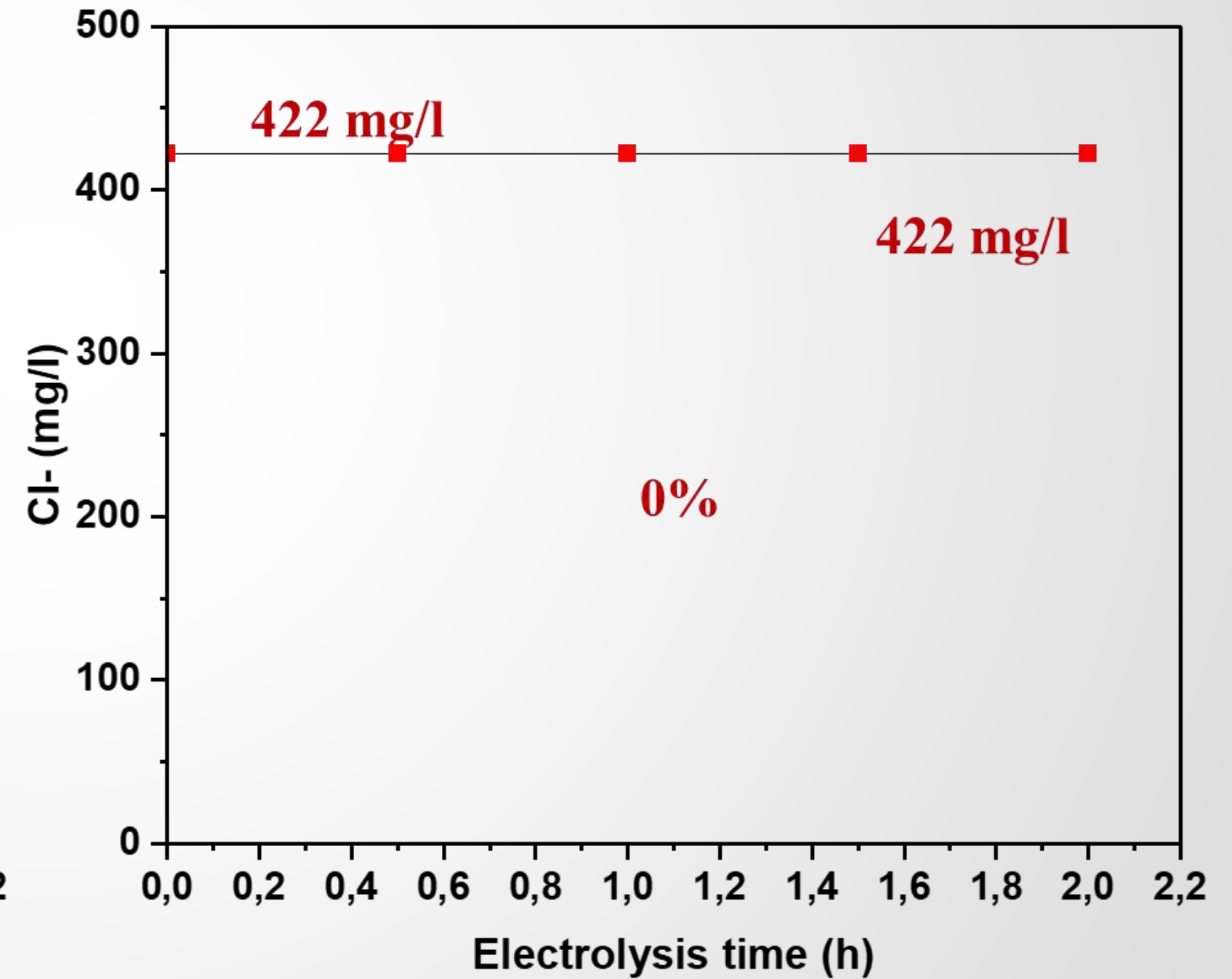


Résultats et discussion

Aluminium



Fer



Conclusion

Les meilleurs résultats ont été obtenus lorsque l'électrolyse a été réalisée à 2 A avec une anode en graphite.

Après 2 heures d'électrolyse, le taux d'élimination des chlorures a atteint 66 %.

Les coûts d'exploitation et de maintenance sont très faibles.

Génération immédiate de coagulant grâce à l'utilisation d'anodes solubles, sans nécessité de réguler le pH.

Thank you for your attention



Acknowledgment

The authors would like to thank the Prima sm@wa-Med program for the financial support.