



Mise au point d'une technologie innovante pour  
la désinfection et la décontamination des eaux  
et des effluents industriels et urbains

Laboratoire d'Électrotechnologies Environnementales et  
Procédés Oxydatifs  
(LEEPO)

Patrick DROGUI, Ph.D.  
Professeur INRS-ETE



Journée de la recherche,  
FQRNT, Février 2011

Centre - Eau Terre Environnement



INRS  
Université d'avant-garde

# Mission et Objectifs du LEEPO

## Objectif

Développement des Techniques Électrolytiques et Procédés Oxydatifs afin d'améliorer les systèmes existants de traitement des eaux usées.

## Équipements

Doté d'équipements ultramodernes pour concevoir, tester et optimiser différentes unités électrolytiques permettant de relever de nouveaux défis environnementaux.



## Applications

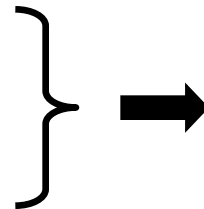
Remplacement des technologies conventionnelles peu efficaces pour l'enlèvement de contaminants réfractaires.



# Émergence des techniques électrolytiques

➤ **Traitement chimique des eaux et des effluents** → Augmentation de la salinité

- Développement de l'électricité
- Aspect non polluant de l'électricité
- Facilité d'automatisation



**Développement des techniques électrolytiques**

➤ **Techniques électrolytiques** → Gros avantages de ne pas nécessiter l'ajout de produits supplémentaires

➤ **Application du courant électrique au sein d'une eau polluée :**

- Action directe : exclusivement sur l'électrode
- Action indirecte : générer *in situ* un produit traitant en solution



## Systemes redox oxygénés

Degré d'oxydation	Formule	Composés	Remarque	Couple Redox	$E_h^0$ (v)
0	$O_3$	Ozone	Gaz généré par arc électrique	$O_3/O_2$	2.07
0	$O_2$	Oxygène moléculaire	Oxygène de l'air	$O_2/H_2O$	1.23
0	$O^\circ$	Oxygène atomique	Très réactif et instable	$O^\circ/H_2O$	2.42
-1/2	$O_2^{-\circ}$	Superoxyde	Très réactif et instable	$O_2^{-\circ}/H_2O_2$	0.89
-1	$O_2^{2-}$	Peroxyde	Généralement métastable	$H_2O_2/H_2O$	1.77
-1	$OH^\circ$	Radical hydroxyle	Très oxydant, très réactif et instable	$OH^\circ/H_2O$	2.72
-2	$O^{2-}$	Oxyde	Très stable	$O_2/O_2^-$	- 0.33

# Mode d'action des traitements électrochimiques

Action électrostatique

CHAMP NECESSAIRE : PLUSIEURS CENTAINES DE VOLT PAR CM



LA DISTANCE INTERELECTRODE DOIT ÊTRE FAIBLE

+



-

VARIATION DU pH AU VOISINAGE DES ELECTRODES



PRODUCTION D'OXYDANT BACTERICIDE



Action électrochimique



# Espèces oxygénées oxydantes et le traitement des eaux

Super-oxydes et peroxydes

- Inoffensif
- Bactéricide
- Rémanence

Potabilisation des eaux

- Désodorisation des eaux
- Décoloration des eaux

Traitement des effluents industriels

- Radicaux libres:  $\text{OH}^\circ; \text{HO}_2^\circ$

Action sur les microorganismes et la matière organique

## Objectif global du projet

- Mettre au point une nouvelle technique de désinfection et de décontamination électrochimique des eaux par électrooxygénation/superoxydation (EO-SO)
  - **Production *in situ* d'espèces oxygénées oxydantes (EOx)**
    - $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{HO}_2^\circ$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{OH}^\circ$ ,  $\text{O}_2^{-\circ}$ , etc.
  - **Élimination des microorganismes, des POPs et des PPSPs**
  - **Éviter la formation de sous-produits toxiques**
  - **Favoriser un effet rémanent**



## Objectifs spécifiques et techniques (Phase I)

1. Identifier les électrodes les plus aptes à la production d'oxydants qui sont des dérivés de l'oxygène
2. Mettre au point et optimiser à l'échelle laboratoire des cellules électrochimiques capables de produire *in situ* ces espèces oxygénées oxydantes (EOx)
3. Mettre clairement en évidence les espèces moléculaires et radicalaires oxydantes produites lors du procédé d'EO-SO
4. Démontrer l'efficacité épuratoire et l'effet rémanent du système électrolytique sur différents types d'eaux contaminées par des microorganismes et/ou des micropolluants organiques
5. Étude technico-économique





## Objectifs spécifiques et techniques (Phase II)

1. **Démonstration de la performance de la technologie à plus grande échelle dans les laboratoires de pilotage moderne de l'INRS-ETE**
2. **Fabrication d'un prototype préindustriel et démonstration commerciale (réalisation d'une vitrine technologique)**
3. **Essais sur le terrain: Intégration du procédé d'EO-SO dans une filière de traitement de l'eau potable (notamment en pré-oxydation ou comme traitement de désinfection).**
4. **Essais sur le terrain : Intégration du système d'EO-SO en tant que traitement tertiaire dans une usine de traitement des eaux usées municipales ou industrielles**
5. **Principalement axée sur le transfert technologique**



## Approche méthodologique

### ○ Étude voltamérométrique

- Étudier les réactions électrochimiques au voisinage des électrodes (Gr, CV, Ti, Ti/Pt, Ti/SnO<sub>2</sub>, Ta/PbO<sub>2</sub>, Ti/Pt-Ir, Ti/BDD, etc.)



### ○ Conception et montage des unités électrolytiques

- Déterminer la forme des électrodes (électrodes planes ou volumiques)
- Déterminer le type d'électrolyseur (cylindrique ou parallélépipédique).



### ○ Production électrolytique des EOx

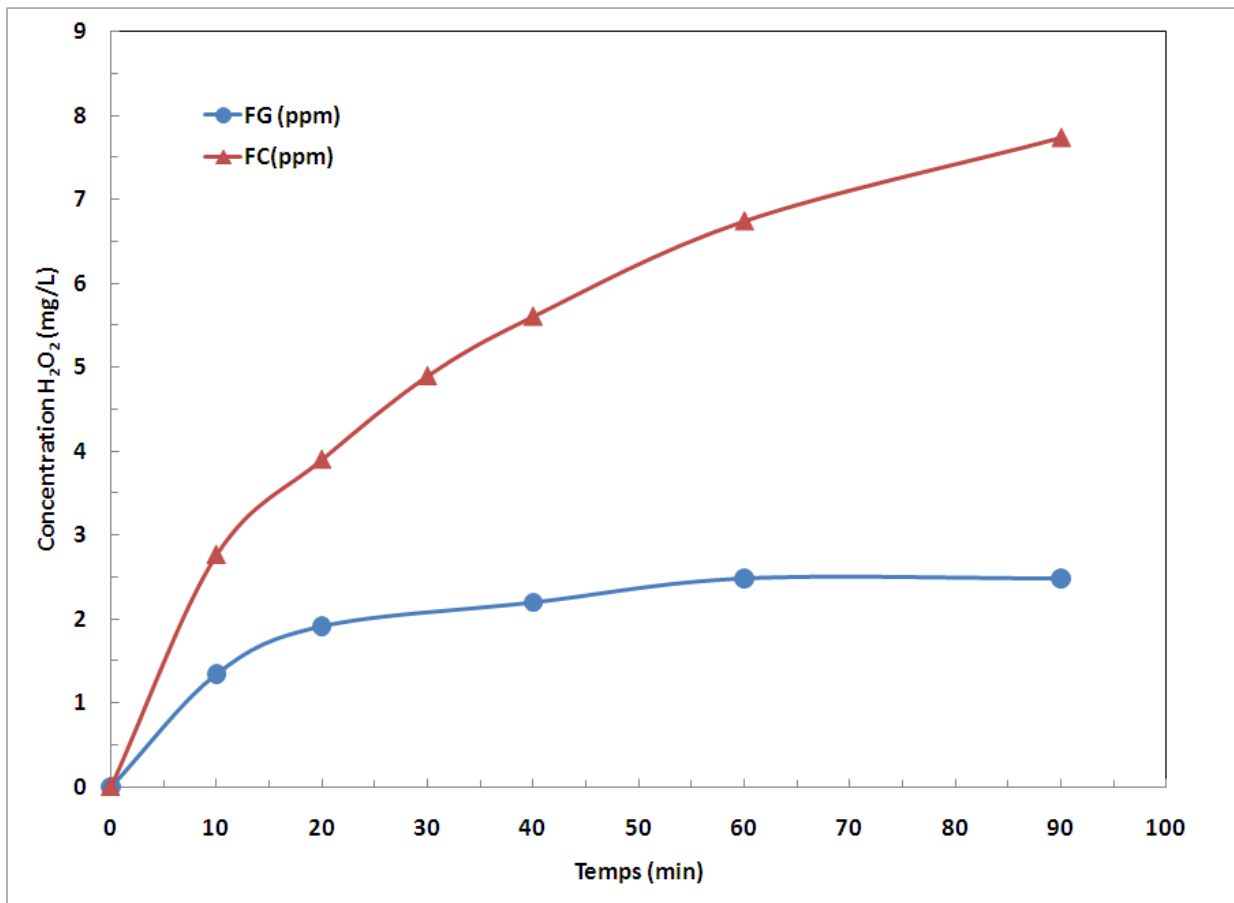
- Intensité de courant : [0.2- 3.0A]
- Temps d'électrolyse : [ 10 - 90min]
- Débit de recirculation : [ 1.0 – 4.0 L/min]
- Injection de O<sub>2</sub> ou non, etc.



### ○ Application à la désinfection et à l'oxydation des micropolluants

- Application sur des effluents de type fosse septique
- Application à la dégradation de la carbamazépine (CBZ)
- Application de la méthodologie de plan factoriel (PF) et plan central composite (PCC)

# Production des EOx : peroxyde d'hydrogène



production électrolytique de  $\text{H}_2\text{O}_2$  ( $I = 3.0 \text{ A}$ ;  $Q_R = 2 \text{ L/min}$ ;  
 $P_{\text{Hyd}} = 0.2 \text{ bar}$ ; Épaisseur électrode = 1.2 cm)

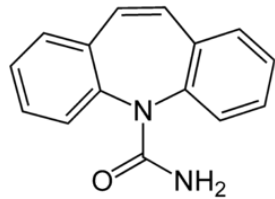


# Application au traitement d'effluent de type fosse septique

Paramètres	Effluent électrolysé		
	0.5 A	1.0 A	3.0 A
<b>Concentrations résiduelles CF (UFC/100 mL)</b>			
$N_0$ (t = 0 min)	1.20E+04	1.28E+04	1.24E+04
$N_t$ (t = 90 min)	4.00E+03	1.04E+03	9.00E+02
Abattement (%)	66.7	89.1	92.7
<b>Concentrations résiduelles DCO (mg/L)</b>			
$DCO_0$ (t = 0 min)	121	120	108
$DCO_t$ (t = 90 min)	24	10	6
Abattement (%)	80.2	91.7	94.4
<b>Concentrations résiduelles turbidité (NTU)</b>			
$Tb_0$ (t = 0 min)	54.5	54.5	48.4
$Tb_t$ (t = 90 min)	4.50	4.70	2.80
Abattement (%)	91.7	91.4	94.2



## Application au traitement d'effluent contaminé par la carbamazépine

Paramètre	Unité	Carbamazépine (CBZ)
Classe thérapeutique		Antiépileptique
Structure moléculaire		
Formule		$C_{15}H_{12}N_2O$
Masse molaire	(g/mol)	236.3
Solubilité dans l'eau (25°C) <sup>a</sup>	(mg/mL)	17.7

# Domaine expérimental et niveaux des variables indépendants lors du traitement d'effluent contaminé par la CBZ

- Plan factoriel (PF)
- Plan central composite (PCC)

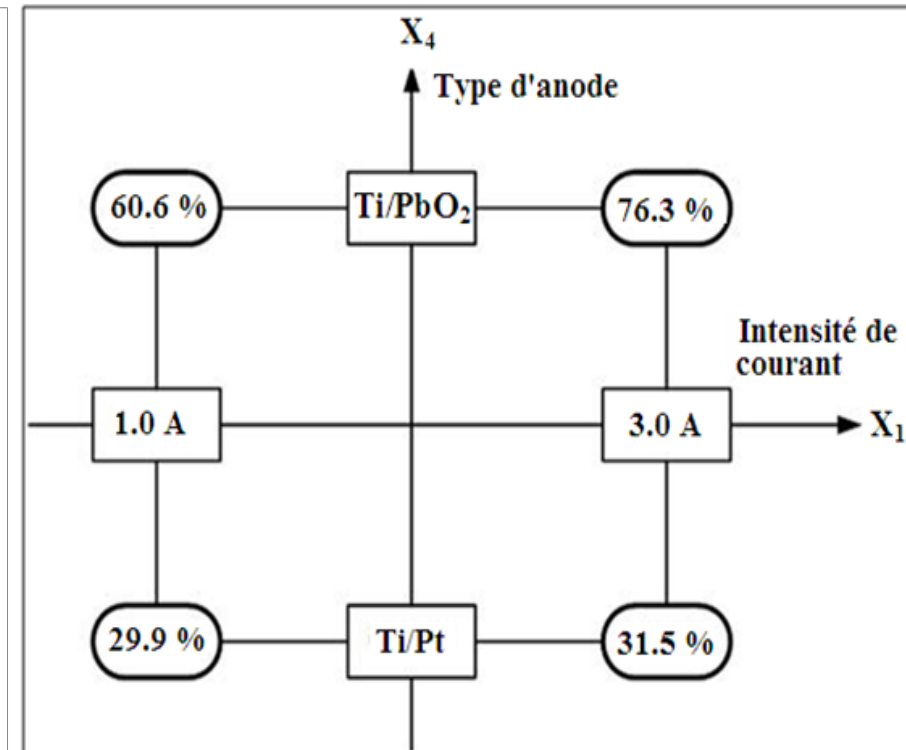
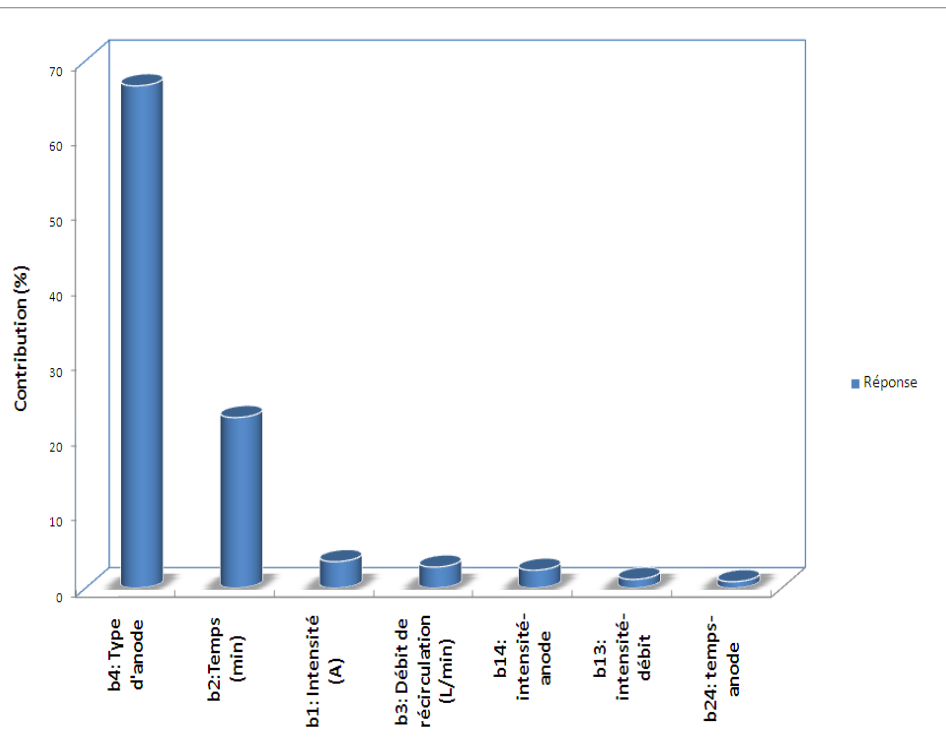
Variables codés ( $X_i$ )	Facteurs ( $U_i$ )	Domaine expérimental		$U_{i,0}$	$\Delta U_i$
		Valeur	Valeur		
		minimale	maximale		
		(-1)	(+1)		
$X_1$	$U_1$ : intensité de courant (A)	1.0	3.0	2.0	1.0
$X_2$	$U_2$ : Temps d'électrolyse (min)	40	100	70	30
$X_3$	$U_3$ : Débit (L/min)	1	3	2	1
$X_4$	$U_4$ : Type d'électrode	Ti/Pt	Ti/PbO <sub>2</sub>	-	-

## Plan factoriel et résultats expérimentaux enregistrés lors du traitement d'effluent synthétique contaminé par la CBZ

Essais	Intensité (A)	Temps (min)	Débit (L/min)	Type d'électrode	Dégradation actuelle (%)	Dégradation prédite (%)	Déviations relative
1	1.0	40	2.0	Ti/Pt	12.7	14.7	1.41
2	1.0	100	2.0	Ti/Pt	32	32.4	0.28
3	1.0	40	4.0	Ti/Pt	27.8	27.4	0.28
4	1.0	100	4.0	Ti/Pt	47.2	45.1	1.48
5	3.0	40	2.0	Ti/Pt	23.1	21.2	1.34
6	3.0	100	2.0	Ti/Pt	36.4	38.9	1.77
7	3.0	40	4.0	Ti/Pt	23.7	24	0.21
8	3.0	100	4.0	Ti/Pt	42.6	41.7	0.64
9	1.0	40	2.0°	Ti/PbO <sub>2</sub>	42.8	41.1	1.2
10	1.0	100	2.0°	Ti/PbO <sub>2</sub>	68	67.3	0.49
11	1.0	40	4.0	Ti/PbO <sub>2</sub>	50.9	53.8	2.08
12	1.0	100	4.0	Ti/PbO <sub>2</sub>	80.4	80	0.28
13	3.0	40	2.0	Ti/PbO <sub>2</sub>	64.5	61.8	1.91
14	3.0	100	2.0	Ti/PbO <sub>2</sub>	86	88	1.41
15	3.0	40	4.0	Ti/PbO <sub>2</sub>	63	64.6	1.13
16	3.0	100	4.0	Ti/PbO <sub>2</sub>	91.7	90.8	0.64

## Effet des paramètres expérimentaux sur la réponse

$$Y = 49.55 + 4.33X_1 + 10.99X_2 + 3.86X_3 + 18.86X_4 - 2.49X_1X_3 + 3.56X_1X_4 + 2.13X_2X_4$$





## Participants (Premier Tech Ltée)

Roger Lacasse, Ing., M.Sc.A.  
Directeur technique et scientifique  
Tél : (418) 867- 8883, Poste 6424  
Fax : (418) 862- 6642  
Email : [lacr@premiertech.com](mailto:lacr@premiertech.com)  
[www.premiertech.com](http://www.premiertech.com)



## Participants (INRS-ETE)

Patrick Drogui, Ph.D. (Professeur)  
Guy Mercier, Ph.D. (Professeur)  
Jean-François Blais, Ph.D. (Professeur )  
Léa Guitaya (étudiante au doctorat)

