



## Electrolyse simultanée sel + eau

- Qui sommes-nous ?
- Expérience acquise
- Description et originalité du procédé
- Principaux avantages
- Conclusions / discussions



## Electrolyse simultanée sel + eau

- Vermandis
- Développement en étroite collaboration avec Aquapro



## Electrolyse simultanée sel + eau

- Adaptation de l'électrolyse du sel aux piscines publiques
- Répondre aux normes en vigueur
- Satisfaire les besoins des utilisateurs
  - ⇒ Sécurité
  - ⇒ Efficacité
  - ⇒ Coûts
  - ⇒ Respect de l'environnement



## Expériences diverses

- Centres de bien-être, spas, jacuzzis
- Hôtels
- Ecoles
- Instituts médico-pédagogiques
- Aquagym, aquabike
- Bébés nageurs, hydro-biophilie
- Piscines communales
- Piscines privées, etc ...



## Idée de base

- Production des principes actifs in situ
- Procédé au chlore optimisé dans son mode d'introduction et de gestion: « **uniquement ce qu'il faut, quand il faut, là où il faut** »
- **L'efficacité du chlore**, base du traitement de l'eau, **sans les inconvénients**



## Originalité du procédé

- Très basse concentration en sel (NaCl) :  
**1,0 à 1,3 gr NaCl / l : 600 à 800 ppm Cl<sup>-</sup>**
- Electrolyse simultanée du sel et de l'eau
- Production simultanée de chlore actif, à partir du sel, ainsi que de radicaux oxygènes, à partir de l'eau



## Réactions de base

- Electrolyse du sel



- Electrolyse de l'eau



**Electrolyse du sel**

$\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{NaClO} + \text{H}_2$  (1)

**Hypochlorite de sodium**  
Pas de chlore gazeux

$\text{NaClO} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^- + \text{H}^+ + \text{ClO}^-$  (2)

**Réaction d'oxydation (désinfection)**

$\text{HClO} \Rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{O}^\bullet$  (3)

**Réactions globales**


$\text{NaClO} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{O}^\bullet$  (2) + (3)

**Recyclage NaCl**

$\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{O}^\bullet + \text{H}_2$  (1) + (2) + (3)

**Oxygène atomique naissant ou oxygène radicalaire**


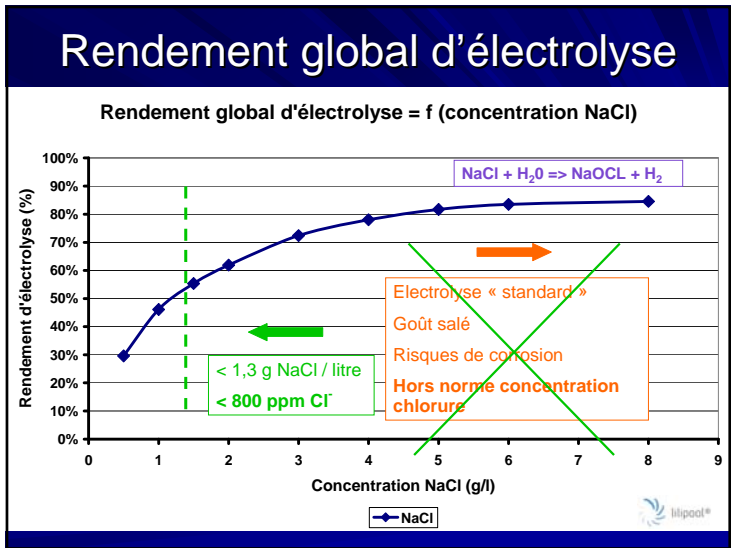
**Acide hypochloreux**



## Electrolyse du sel

- L'oxydation des micro-organismes est réalisée par apport d'énergie électrique, transformée en énergie chimique, en utilisant l'atome de chlore en tant que vecteur (effet rémanent)
- Pas de consommation intrinsèque de sel
- Neutre point de vue pH

➔ Par rapport à l'hypochlorite : suppression des transports, stockages, apports sel externe, stabilisant pH basique donc neutralisation


## Réactions de base

- Electrolyse du sel

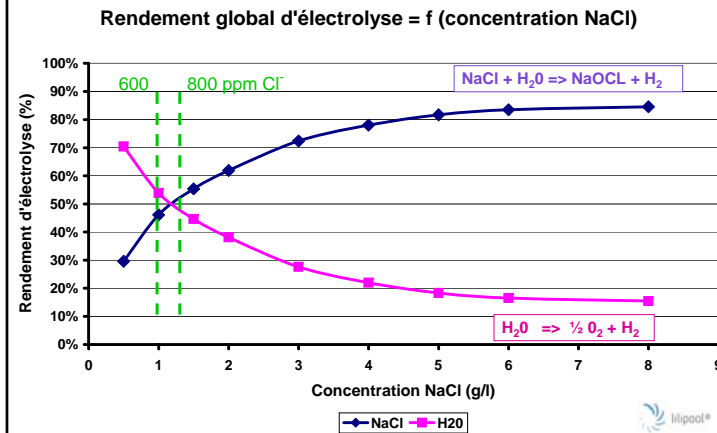
$\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{NaClO} + \text{H}_2$

- Electrolyse de l'eau

$\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2$



## Rendement global d'électrolyse



## Réactions Secondaires

- Formation d'oxygène radicalaire
- Formation de radicaux hydroxyles
- Formation de dioxyde de chlore

## Réactions Secondaires

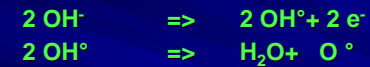
- Formation d'oxygène radicalaire



- ⇒ Oxydation directe par l'atome oxygène naissant
- ⇒ Décomposition des chloramines, soit directement soit via la formation de co-produits et autres radicaux peroxydés ( $\text{OH}^\bullet$ ,  $\text{HO}_2^\bullet$ )

## Réactions Secondaires

- Formation de radicaux hydroxyles



- ⇒ procédé de désinfection connu sous le nom d'oxydation anodique

## Réactions Secondaires

### ■ Formation de dioxyde de chlore



⇒ biocide et virucide puissant utilisé en traitement des eaux potables

⇒ incapable de se lier aux ions ammonium en solution (élimination des odeurs)

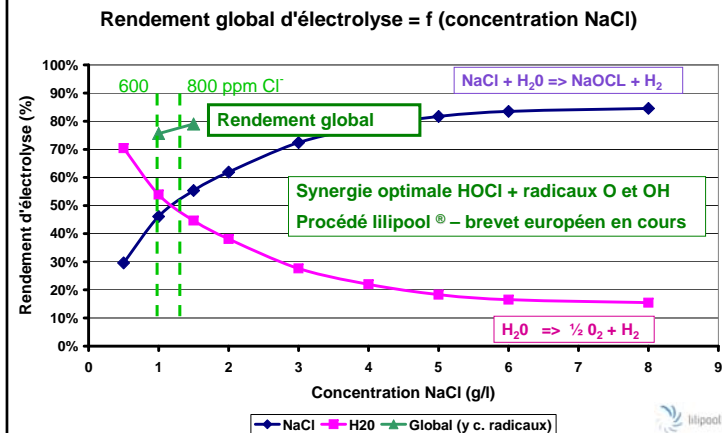


## Potentiel d'oxydation chimique (EOP)

Agent oxydant	EOP (Volt)	EOP par rapport au chlore
Radical hydroxyle OH <sup>°</sup>	2,78	2,05
Radical oxygène atomique O <sup>°</sup>	2,42	1,78
Ozone	2,08	1,52
Peroxyde d'hydrogène	1,78	1,30
Chlore	1,36	1,00
Dioxyde de chlore	1,27	0,93
Oxygène moléculaire O <sub>2</sub>	1,23	0,90



## Rendement global d'électrolyse



En pratique ...



- Intérêt/nécessité de faire passer l'eau entre les électrodes pour profiter des radicaux O et OH participant à la désinfection de l'eau
- Pas de formation de chlore gazeux
- Electrolyse in situ "réelle"  
(≠ électrolyse à membrane)



- Systèmes modulaires
- Modèles disponibles pour tout type et tout volume de piscine
- Réserves installées en ligne, activables en cas de demande de chlore exceptionnelle
- Systèmes redondants => sécurité dans la continuité de la production



## Exemple 1 : Aqualasnes

- Piscine de 80m3
  - ⇒ bébés nageurs
  - ⇒ aquagym, cours collectifs
  - ⇒ problèmes de chlorures rencontrés avec hypochlorite
  - ⇒ conversion hypochlorite => électrolyse (Aquapro 2006)
  - ⇒ modèle 60 Ampères





## Exemple 2 : Burenville

### ■ Piscine de 140 m<sup>3</sup>

- ⇒ école communale
- ⇒ cours collectifs
- ⇒ rénovation complète => électrolyse (Aquapro 2006)
- ⇒ **modèle 100 Ampères**



## Ex 3 : De Tongelreep - Eindhoven

### ■ Piscine de 700 m<sup>3</sup>

- ⇒ 2150 élèves par semaine de 9h00 à 15h00 (5 j.)
- ⇒ pointes journalières à 685 élèves
- ⇒ fréquentation libre après 15h00
- ⇒ « 2 à 3 fois plus » le weekend + vacances
- ⇒ 150 000 à 200 000 baigneurs par an
- ⇒ **Système modulaire : 3 x 200 Ampères (Lotec 2008)**





## Principaux avantages



## Sécurité

- Production HCIO in situ **réelle**
  - ⇒ pas de formation de chlore gazeux
  - ⇒ pas de stockage ni de manipulation de dérivés chlorés
  - ⇒ pas de risques de mélange
  - ⇒ pas de pompes doseuses ni d'injecteurs d'hypochlorite, donc pas de risque lors des interventions (pas de cristallisation, ...)



## Facilité d'utilisation et d'entretien

- Entretien simplifié, limité à la réactivation des électrodes
- Manipulations limitées au sel alimentaire
- Pas de cristallisation des injecteurs d'hypochlorite

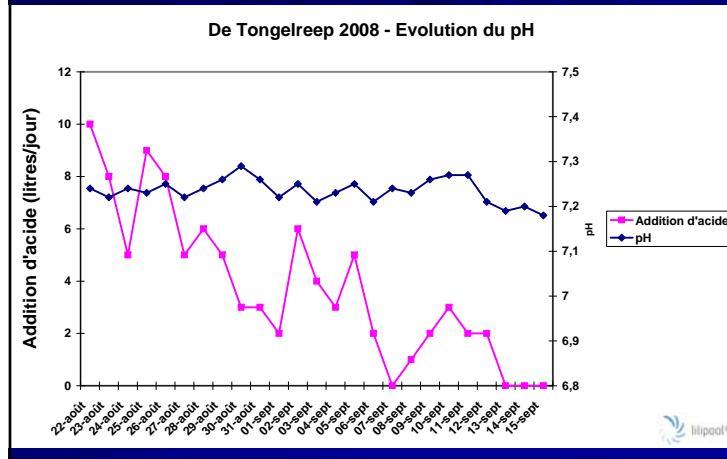


## Impact sur les consommations de réactifs

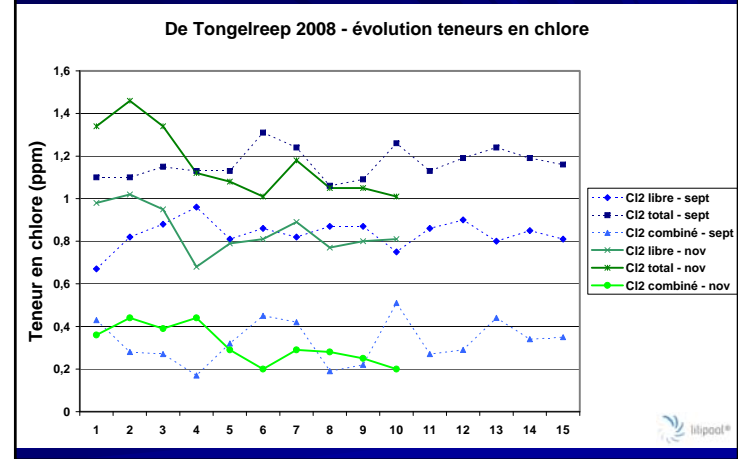
- Aucune consommation de chlore ni de dérivés chlorés
- Recyclage du sel : pas de consommation intrinsèque au procédé
- Le sel à ajouter correspond uniquement au sel sortant de la piscine (eau de contre-lavage des filtres, ...)
- **Réduction significative de la consommation d'acide**



## Impact sur la consommation d'acide



## Impact sur les teneurs en chlore



## Qualité de l'air ambiant (1)

### ■ Expérience De Tongelreep

- ⇒ 500 à 700 baigneurs par jour
- ⇒ Consommation d'acide réduite pratiquement à zéro
- ⇒ Appoint d'eau venant d'autres bassins : 9 à 10 m<sup>3</sup> / jour en moyenne, soit **15 à 20 litres / baigneur**
- ⇒ Chlore libre : 0,8 à 1 ppm
- ⇒ Chlore total : 1 à 1,3 ppm
- ⇒ **Chlore combiné : 0,2 à 0,3 ppm** (nov. 2008)
- ⇒ Bilan en cours d'évaluation (appoint d'eau/purges)



## Qualité de l'air ambiant (2)

- Selon expérience générale : impact significatif sur la réduction, voire **disparition des odeurs de chlore.**
- Formation secondaire de chlore combiné existante mais réduite :
  - ⇒ consommation d'acide fortement réduite : **pas de zone localement suracidifiée**
  - ⇒ chloration répartie sur toute la surface des électrodes : **pas de zone localement surchlorée**
  - ⇒ Elimination partielle des chloramines par la présence de **radicaux** provenant des réactions secondaires



## Respect de l'environnement

- Emploi exclusif de produits naturels : sel et eau
- Pas de consommation de métaux lourds, donc pas d'émissions dans les effluents (contre-lavage des filtres, ...)
- Recyclage du sel : pas de consommation intrinsèque au procédé
- Réduction drastique des transports de réactifs, limité au sel solide
- Possibilité de réduire la consommation d'eau

➡ **Potentiel d'économies d'eau chauffée, donc à la fois économie des ressources eau + énergie**

➡ **Développement durable**



## Coûts (1)

### ■ Frais d'exploitation : exemple De Tongelreep

- ⇒ 500 à 700 baigneurs par jour
- ⇒ 25 kWh/jour x 0,16 €/kWh = 4 €/jour
- ⇒ 5 kg NaCl/jour x 0,2 €/kg = 1 €/jour

⇒ **Coût < 0,01 €/baigneur**

⇒ 1500 €/ an pour 150 000 baigneurs

### ■ Potentiel de réduction de la consommation d'eau

➡ **Economies d'eau chauffée, donc d'énergie**



## Coûts (2)

### ■ Frais d'entretien limités au frais de réactivation des électrodes, à comparer à :

- ⇒ remplacement électrodes consommables Cu-Ag
- ⇒ entretien/remplacement membranes
- ⇒ remplacement des lampes UV
- ⇒ nettoyages injecteurs, pompes doseuses, réservoirs de stockage, ...

### ■ Projets à considérer dans leurs ensembles

- ⇒ réduction des coûts d'aménagement de locaux séparés pour entreposer les réactifs



## Conclusions

- Efficacité du chlore
- Facilité d'exploitation
- Bon rapport efficacité/prix
- Respect de l'environnement

➡ **Les avantages du chlore sans les inconvénients**



