

35^{emes}

● LYMPIADES
NATIONALES
DE LA CHIMIE
Chimie dans la ville



Épreuve collaborative 2019

Traitement, par électrolyse, de l'eau d'une piscine municipale

1. En référence aux documents fournis, et à l'aide d'équations de réactions, expliquer le fonctionnement des procédés physico-chimiques mis en œuvre dans le traitement de l'eau d'une « piscine à électrolyse».
(Exposé de 5 min maximum)
2. Estimer la durée d'amortissement du dispositif d'électrolyse mis en place à la piscine de Billère. Commenter le choix opéré par la municipalité.

DOCUMENT 1 La piscine de Billère est la première piscine municipale à électrolyse de Nouvelle Aquitaine

« La piscine municipale de Billère vient d'installer un électrolyseur pour désinfecter l'eau de baignade de ses bassins, à l'intérieur et à l'extérieur. Il n'y a plus de produits toxiques à stocker et à manipuler, c'est plus confortable pour les baigneurs et c'est une économie pour la commune. L'électrolyseur de la piscine de Billère, installé par la société Syclope, représente un investissement de 25 000 euros et évite le stockage de produits toxiques. »

Par Marie-Line Napias, France Bleu Béarn (Mardi 4 juillet 2017)



Photo n° 1 : piscine de Billère

**PISCINE MUNICIPALE
DE LA VILLE DE BILLÈRE**

SYCLOPE
Electronique

Génération de chlore sur site par électrolyse de sel



Photo n° 2 : électrolyseur Syclope

Au cours d'une année, c'est un volume total d'environ 100 000 m³ d'eau de piscine qui est traité.

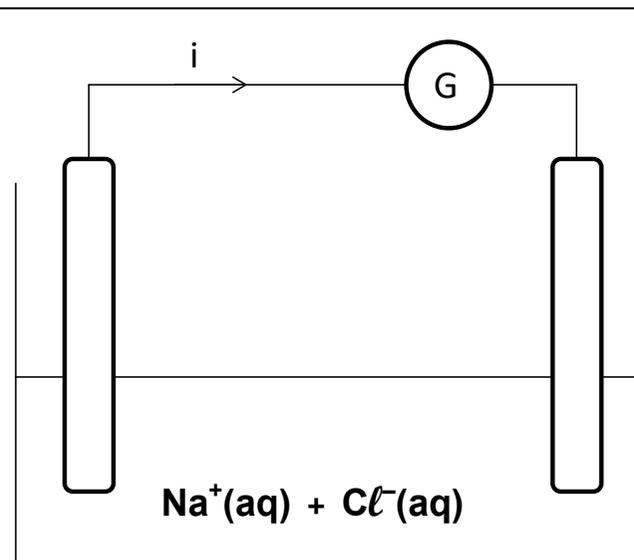
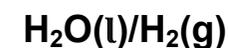


Figure n° 1 : principe de l'électrolyseur

Couples oxydant/réducteur :

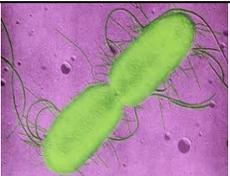
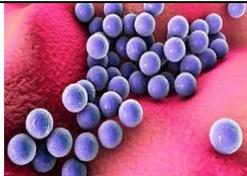


DOCUMENT 2 Matières organiques et germes présents dans l'eau d'une piscine

Les baigneurs sont à la fois à l'origine et la cible des contaminations. Ils introduisent une pollution par les cheveux, les squames, la salive, les crachats, la sueur, l'urine... Les risques de contamination dépendent de la nature des microorganismes présents et de leur nombre.

Document 2a Les différents types de microorganismes

• les bactéries :

aéro-revivifiables	coliformes	<i>Escherichia coli</i>	staphylocoques pathogènes
bactéries d'origines humaine et environnementale	bactéries d'origines humaine et environnementale, indicatrices d'une contamination fécale récente	bactéries pathogènes induisant des gastroentérites et des infections urinaires	bactéries à l'origine d'infections urinaires, cutanées, oculaires et d'otites
			

- les virus (hépatite A, papillomavirus) à l'origine des affections telles que les verrues plantaires ;
- les champignons à l'origine d'affections cutanées superficielles (mycoses, eczéma, ...) ;
- les protozoaires à l'origine de méningite amibienne ou de dysenterie.

Document 2b La membrane cellulaire

Dans la membrane d'une cellule vivante, les phospholipides constituent une bicouche dans laquelle leur pôle hydrophile (groupement phosphate) se dirige vers l'eau.

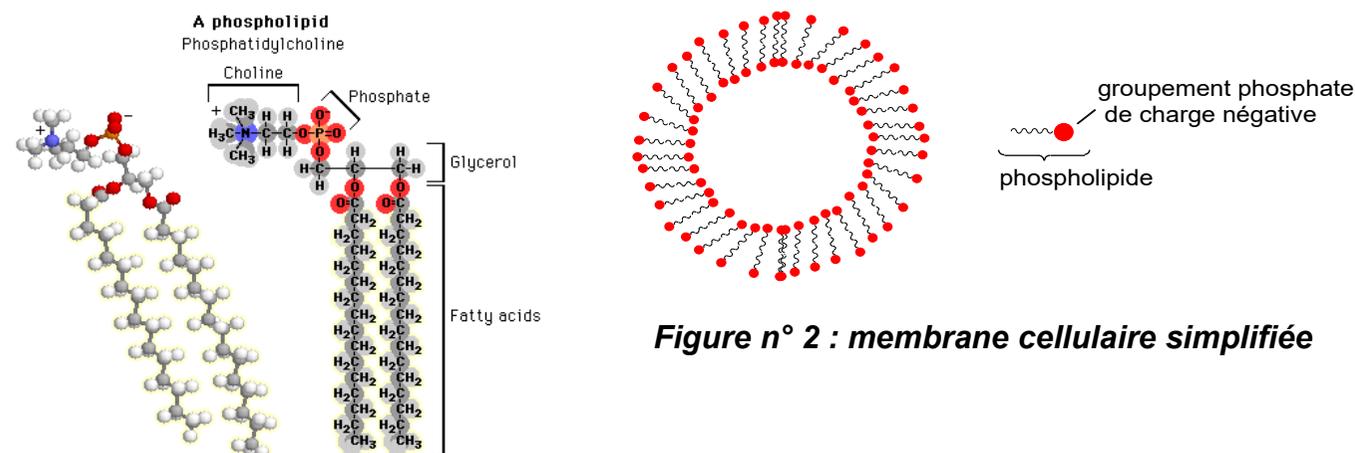


Figure n° 2 : membrane cellulaire simplifiée

Pour détruire un microorganisme, un agent actif doit traverser la membrane cellulaire.

Document 2c

Le traitement de l'eau d'une piscine est obligatoire et a pour objectif de :

- maintenir la transparence de l'eau ;
- éliminer les impuretés et les particules contenues dans l'eau ;
- détruire les microorganismes par l'utilisation de produits de désinfection (dichlore, dibrome ou ozone O₃) ;
- limiter le caractère irritant de l'eau ;
- empêcher le développement d'algues dans l'eau et sur les parois ;
- maintenir l'eau à une température satisfaisante.

DOCUMENT 3 L'élément chlore et la désinfection des eaux de piscine

Les produits germicides utilisés pour traiter l'eau sont des oxydants dont le rôle est, en premier lieu, de tuer les microorganismes ou d'en réduire la quantité.

La chloration est la méthode de désinfection de l'eau la plus fréquemment utilisée. On utilise donc des espèces chimiques chlorées oxydantes, appelées « chlore actif introduit » et dont la teneur est exprimée en milligramme d'élément chlore par litre de solution.

Pour cela, on introduit dans l'eau de la piscine :

- soit du dichlore Cl_2 obtenu par électrolyse *in situ* d'une solution de chlorure de sodium ou à l'aide de bouteille de dichlore sous pression,
- soit l'espèce ionique hypochlorite ClO^-
 - sous forme de composés solides comme l'hypochlorite de calcium $Ca(ClO)_2(s)$;
 - ou en solution aqueuse comme dans l'eau de Javel ;

Cette dernière technique présente toutefois certains inconvénients (transport coûteux, stockage volumineux, dégradation rapide surtout à la chaleur ou à la lumière, produit caustique et non utilisable comme antiseptique sans modification du pH).

Une partie du chlore actif introduit réagit avec les polluants organiques. Les espèces chlorées oxydantes résiduelles, dites chlore libre, correspondent, dans une eau de piscine, aux espèces : acide hypochloreux $HClO$ (noté aussi $ClOH$) et ion hypochlorite ClO^- .

Les ions chlorure Cl^- ne font pas partie des espèces chlorées oxydantes.

Le pH d'une eau de piscine doit être compris entre 7,0 et 7,4.

En solution aqueuse, le dichlore réagit avec l'eau selon l'équation de réaction suivante :



L'acide hypochloreux $HClO$, acide faible, est en équilibre avec sa base conjuguée ClO^- (ion hypochlorite).

La teneur en « chlore libre » est, elle aussi, exprimée en milligramme d'élément chlore par litre de solution.

Des pastilles de « pH moins » (hydrogénosulfate de sodium : $NaHSO_4$) sont utilisées pour ajuster le pH de l'eau de piscine.

$$pK_a(HSO_4^-/SO_4^{2-}) = 1,9$$



Photo n° 3 : pastilles de « pH moins »

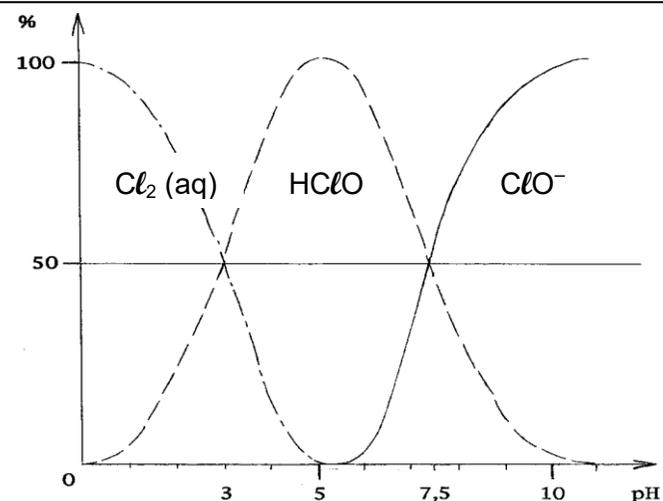
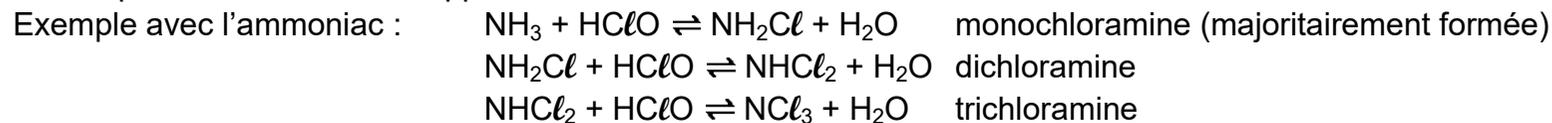


Figure n° 3 : équilibre entre les formes Cl_2 , $HClO$ et ClO^- en fonction du pH

Document 4 Dosage du chlore actif dans une eau de piscine

L'acide hypochloreux et l'ion hypochlorite réagissent avec les matières organiques apportées par les nageurs : on observe la formation de composés de substitution appelés chloramines.



Ces chloramines sont lacrymogènes et ont une odeur marquée. Il est donc nécessaire d'apporter davantage d'oxydant afin de transformer les chloramines (chlore combiné) en diazote :

$$2 \text{NH}_2\text{Cl} + \text{HClO} \rightleftharpoons \text{N}_2 + 3 \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$$

La dose de chlore introduite correspondant à la dose stœchiométrique pour détruire les chloramines est appelée **point de rupture** ou **break-point**. Dans une eau de piscine, il est nécessaire de dépasser légèrement ce point pour maintenir une teneur en chlore libre suffisante.

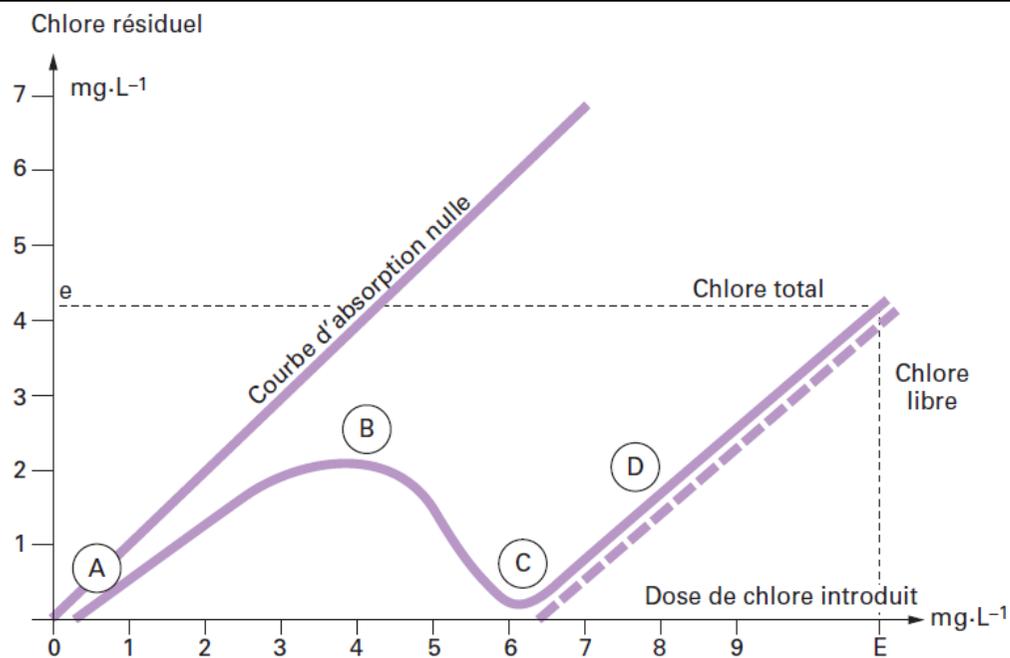


Figure n° 4 : courbe d'absorption du chlore actif
<https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites>

Sur la courbe d'absorption du chlore actif ci-contre, on distingue :

- la zone de formation des chloramines de A à B ;
- la zone de destruction des chloramines formées de B à C ;
- le point C correspondant au break-point ;
- l'apparition de chlore libre à partir de C et au delà de D.

Document 4 (suite)

Détermination de la teneur en chlore libre et en chlore actif introduit dans la piscine de Billère : méthode colorimétrique à la DPD (N,N-diéthylphénylène-1,4-diamine).

La DPD réagit avec le chlore libre pour former un composé de couleur rose. L'intensité de la coloration est fonction de la teneur en chlore libre. On prépare une série de 12 tubes à essai contenant chacun 1 mL de solution de DPD et 10 mL d'une solution contenant la même concentration en élément azote (similaire à celle de l'eau de la piscine) et des concentrations croissantes de chlore actif introduit.

Numéro du tube à essai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Concentration massique en élément N (en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Concentration massique en élément Cl (en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12

Un autre tube à essai a été préparé en ajoutant 1 mL de solution de DPD à 10 mL d'eau de la piscine de Billère.



Photo n° 4 de la série des tubes à essai 1 à 12



Photo n° 5 du tube piscine de Billère

Document 5 Traitement de l'eau par l'hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ dans la piscine de Billère avant 2017

L'hypochlorite de calcium (de masse molaire $M = 143 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) est un solide très soluble dans l'eau.

Son prix est voisin de 2,7 euros par kg.

$M(\text{Cl}) = 35,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$



Document 6 Traitement de l'eau par électrolyse dans la piscine de Billère après 2017

Le coût de l'électricité pour un utilisateur professionnel est le suivant :

- abonnement annuel : 125 euros
- prix du kilowattheure : 0,105 euro

La consommation annuelle de chlorure de sodium est de 3 tonnes pour un coût total de 1000 euros.

En fonctionnement, l'électrolyseur présente les caractéristiques suivantes :

- ❖ consommation de sel (NaCl) : $1,44 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$;
- ❖ puissance électrique consommée : 2400 W.

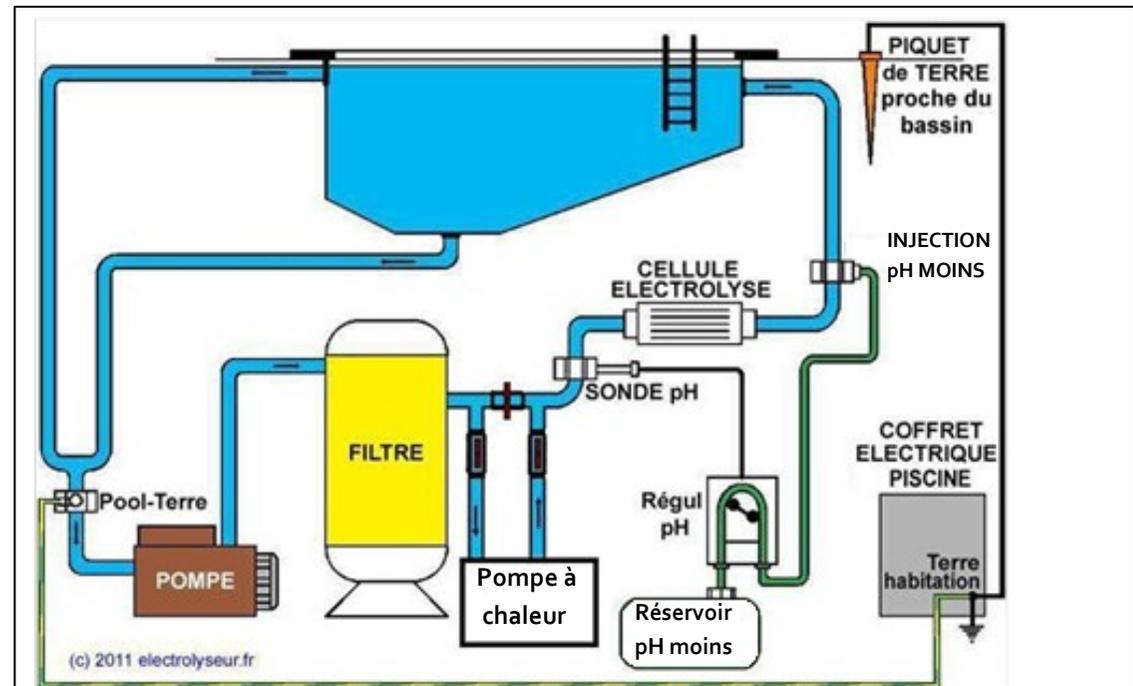


Figure n° 5 : schéma de principe d'un électrolyseur de piscine au sel
http://electrolyseur.fr/JPG/schema_piscine_au_sel.jpg