

Purification / Désinfection de l'eau par Électrolyse : synthèse d'hypochlorite

Salut à tous !

Le sujet de **purification** de l'eau est traité dans un autre topic.

Mais afin de ne pas interférer avec les autres méthodes, j'en crée un nouveau, spécifique à **l'électrolyse**.

Beaucoup disent que c'est irréalisable sans un labo et ses produits, et compliqué...mais il en est tout autre !

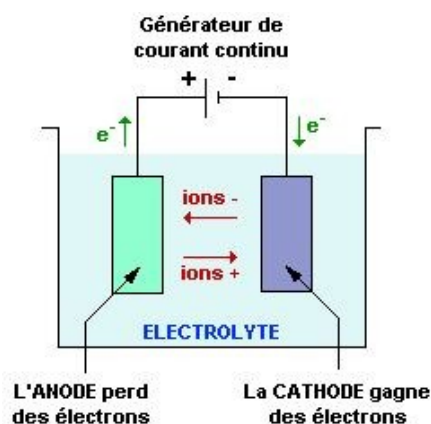
Je vais montrer ici qu'on peut la réaliser uniquement avec une boîte de tac-tac (grand format), une pile, un crayon de papier et un peu de sel.

J'aurais dû avoir un retour d'expérience, mais je décrirai plus bas pourquoi il va falloir attendre un tout petit peu. Pardonnez d'avance la mise en page et les éventuelles erreurs, j'ai beaucoup de mal avec la nouvelle formule de forumactif qui déconne tout le temps (format, indices, exposants, liens, etc..).

Pour ceux qui débutent en chimie, très sommairement, une électrolyse est le fait de produire des réactions chimiques dans un liquide grâce à un courant électrique. Nous avons donc deux électrodes qui plongent dans une solution conductrice (car elle contient des ions). Je ferai quelques petits rappels superflus, mais qui peuvent consolider quelques connaissances qui auraient un peu rouillé.

Je ne décrirai que le cas sous courant continu ici, mais certaines électrolyses s'effectuent tout aussi bien sous courant alternatif.

L'électrode reliée à la borne est appelée (comme toujours) l'anode, et l'autre, reliée à la borne – est la cathode.



L'expérience en question est déjà largement éprouvée. Globalement, on va produire à partir de l'eau salée des **ions hypochlorite** (de sodium en solution), c'est à dire de l'eau de **Javel**, à une concentration suffisante pour pouvoir désinfecter quelques litres d'eau.

Ce biocide désinfecte grâce à son pouvoir oxydant, il est : bactéricide (bactéries gram et gram– dont la legionella), fongicide, sporicide, prionicide, et virucide (dont l'hépatite).

Cependant, le processus est moins efficace contre les parasites giardia lamblia et cryptosporidium parvum (principalement). Mais ce cas se situe à proximité des déjections animales et humaines (dont le principal symptôme est une bonne diarrhée), qui sont des réservoirs de ces parasites. et qui limite donc les régions endémiques. Par ailleurs, les animaux sont contaminés par des génotypes qui sont en général non infectants pour l'homme.

Ce procédé est déjà en œuvre avec les piscines, et vient d'être mis en place afin de rendre potable l'eau de mer dans les pays du tiers monde. Je ne retrouve plus l'article, mais c'est exactement le même principe que je vais suivre ici.

Le processus doit donc être vu sous un angle de survie et non d'utilisation quotidienne si d'autres méthodes de **purification** à meilleur rendement peuvent être employées.

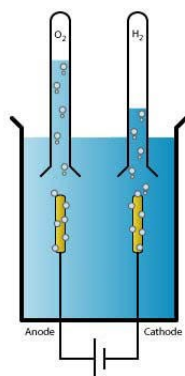
La production de javel permet en outre de stériliser une eau qui l'a déjà été, mais qui a reposé longtemps dans une cuve.

Électrolyse de l'eau :

L'eau pure est légèrement conductrice d'électricité car elle contient des ions (2 molécules d'eau H_2O se dissocient constamment en H_3O^+ (oxonium) et HO^- (hydroxyde)). Cependant, l'eau présente naturellement dans notre environnement n'est jamais pure et contient en plus beaucoup d'ions (calcium, chlore, etc..) qui assurent une meilleure conductivité.

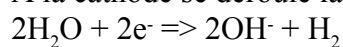
Dans une électrolyse simple, avec uniquement de l'eau dans la cuve, nous pouvons recréer deux gaz communs : le **dioxygène** et le **dihydrogène**.

En effet, quand on fait passer un courant électrique dans l'eau, on casse la molécule H_2O en $2H^+$ et O^- . Ces ions se recombinent en O_2 (à l'anode) et H_2 (à la cathode) : les deux gaz qui se forment aux électrodes.

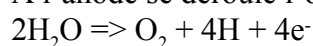


Selon l'équation globale $2H_2O \Rightarrow O_2 + H_2$

À la cathode se déroule la réduction de l'eau :



À l'anode se déroule l'oxydation de l'eau :



L'électrolyse de l'eau démarre sous une tension de 1,3V, mais pour s'amorcer idéalement, on choisit une **tension entre 1,5V et 2V**. Le fait d'utiliser une tension supérieure est totalement inutile car ce courant sera entièrement dissipé par effet joule, donc en pure perte. C'est pour cette raison que l'on réalise plutôt des électrolyse avec 2V sous 100A en multipliant les électrodes (rendement 98%, risque d'électrisation quasi nul) que sous 220V avec 1A (rendement 1%, risque d'électrocution important car $I = U / R_{\text{humain}}$)

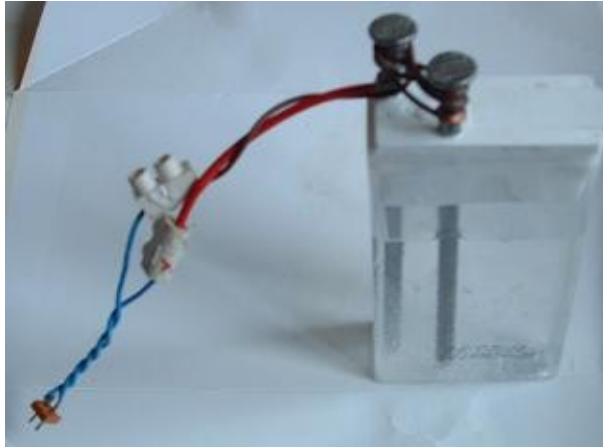
Pour ma part, comme toujours, je vais utiliser la tension fournie par ma **lampe à dynamo**. Elle est continue, et avoisine 5V avec le condensateur, et 3,6V avec l'accumulateur au lithium. On peut obtenir un résultat bien plus prononcé en moulinant la dynamo (on augmente l'intensité) en même temps. Mais rien n'empêche d'utiliser de simples piles 1,5V que l'on aura sorti d'une lampe torche.

Je vais d'abord montrer le b.a.-ba d'une électrolyse : les électrodes sont métalliques : deux clous inox.



On ajoute une cuillère à café de sel.

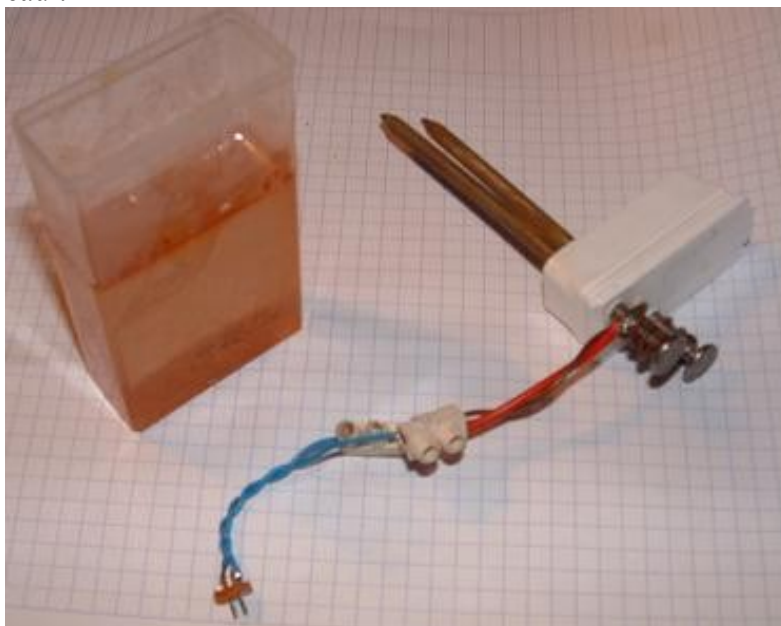




On met sous tension : on voit un dégagement de bulles : on a de l'hydrogène, et la solution commence à sentir un peu la javel.



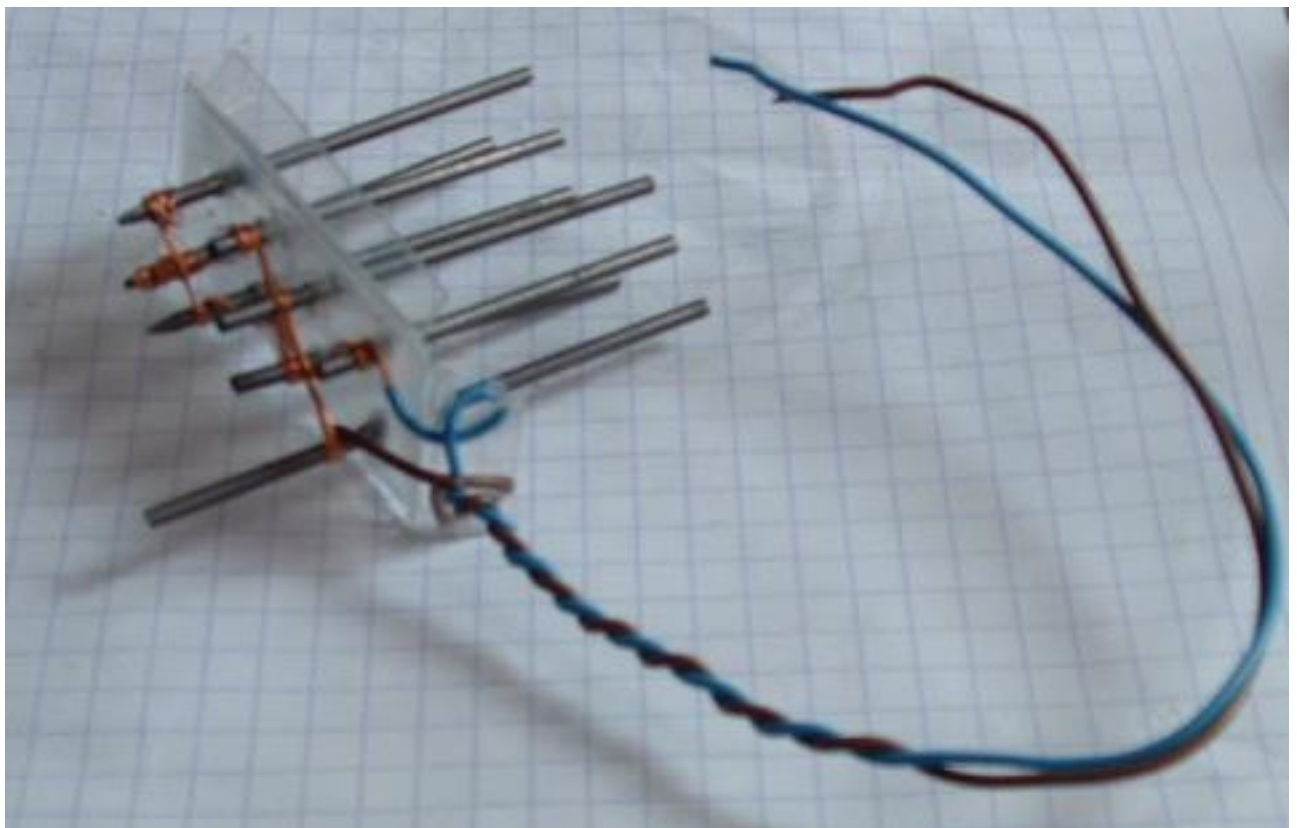
Mais on remarque vite qu'il se produit une réaction parallèle : les clous en inox sont rongés (🤔) et il se forme de l'**hydroxyde de fer**... Hum, pas très intéressant pour désinfecter notre eau !



Cependant, cet oxyde se précipite rapidement et on pourrait à la limite l'éliminer par filtrage.

Il convient donc d'utiliser des **électrodes qui seront inertes** pour notre réaction. En usage professionnel, on utilise plutôt du platine, mais perdu dans la nature, on risque d'avoir du mal à en trouver. La seconde solution est bien entendu d'utiliser **des électrodes de graphite**; dans une limite extrême, on pourrait utiliser du charbon de bois.

Dans le cas de notre expérience, j'utilise des mines de crayon. Elles **n'interviendront pas dans la réaction** (le carbone et la bentonite ne réagissent pas).



J'ai sacrifié trois crayons bas de gamme afin de réaliser ces électrodes en parallèle. En effet, si le graphite est intéressant, sa résistance électrique est plus élevée que les autres matériaux utilisés.

Afin de la diminuer, on en relie donc plusieurs en parallèle. J'ai interverti chaque électrode au fur et à mesure, afin d'avoir une solution relativement homogène, mais ce n'est pas obligatoire. On refait la même préparation, à ceci près que j'ai mis moins de sel (1/4 de cc ~1g)

On mesure la résistance de la solution :



205 Ohms, c'est pas mal avec une quart de cuillère à café de sel, mais on peut faire mieux (en

rapprochant les électrodes et en augmentant leur surface).

On relie le tout à la dynamo :



Sur le condensateur (1F) chargé, l'électrolyse dure à peu près 1 minute. On commence à sentir un petit peu l'eau de javel.

Cependant, en utilisant l'accu chargé (1 minute de manivelle), l'électrolyse dure plus de 15 minutes, en bullant 'beaucoup'.

L'odeur se fait sentir au bout de 30 secondes, et s'intensifie autour de 2 minute. En dix minutes, la solution semble assez concentrée et la réaction ralenti. A quinze minutes, la solution sent vraiment fort.

L'électrolyse du sel produit une solution concentrée à 1,5% environ. Donc pour 10mL à 1% que l'on va diluer dans un litre d'eau, nous aurons sensiblement 1mL concentré à 10%.

En suivant la [recommandation](#) canadienne, on dépasse largement les 1mL (1cm³) à 5% pour de l'eau claire.

Donc au niveau du dosage, 10mL doivent assurer une désinfection complète, 5mL une simple **purification** d'eau claire. Il conviendrait évidemment d'adapter ces quantités en fonction du degré initial de pureté de l'eau (l'hypochlorite réagit avec les particules en suspension) et de sa température (il faut augmenter alors la quantité). En toutes circonstances, la concentration requise en hypochlorite de sodium dépend de la concentration de ces polluants. Spécialement, la quantité de matière organique polluante détermine la concentration en hypochlorite requise. Si l'eau est filtrée avant l'adjonction, moins d'hypochlorite est nécessaire.

Avant de consommer l'eau, il convient bien entendu de laisser 'reposer' l'eau désinfectée. En effet, la javel se désintègre ici un peu moins vite qu'elle a été produite; mais d'autant plus rapidement que la solution est exposée à la lumière et à la chaleur, et au chlore en solution. L'étude préconise de laisser reposer 30 minutes avant consommation, mais au moins une heure serait un minimum. Au bout de deux heures, l'odeur se fait encore légèrement sentir : il reste de l'hypochlorite.

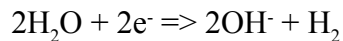
Aperçu final :

La boîte est graduée par 5mL (10mL pour les grands traits). l'élastique est là pour étanchéifier le tout. j'ai mis des dominos afin de pouvoir rallonger le fil si on veut mouliner en même temps...

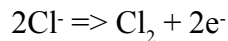


La réaction globale de l'électrolyse est décrite par l'équation :

À la cathode se déroule la réduction de l'eau :

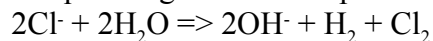


À l'anode se déroule l'oxydation des ions chlorure :

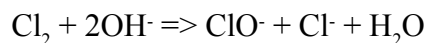


(en plus de la $2\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$)

L'équation globale correspondante est :



Comme l'électrolyse est effectuée de manière à ce que les produits formés ne soient pas séparés, l'**hydroxyde** (de sodium) et le **dichlore** réagissent pour former de l'**hypochlorite** (de sodium aqueux) selon la réaction suivante :



Le chlore est à la fois oxydant et réducteur, on a donc une **dismutation**.

(HClO n'existe pas en milieu basique, et se transforme en ion ClO⁻)

Afin de tester de manière plus poussée cette expérience, j'ai préparé six pots de verre stérilisés, avec un bouillon de culture : l'eau de récup d'une forêt le bouillon (jus de viande et bouillon cube) 1 mL de la solution à divers moment. Une sert de témoin envers l'eau récupérée, et une autre sert de témoin pour le bouillon de culture.

Malheureusement, absolument rien ne s'est développé dans les boîtes testées avec cette solution, donc le seuil de désinfection était déjà largement dépassé. J'ai recommencé l'expérience hier avec des doses moindres et posterai les résultats ici d'ici une petite semaine.

Pour être parfaite, cette étude devrait ajouter un test viral, et un test cryptogamique, afin d'en connaître le degré de désinfection.

Dégradation de l'eau de Javel :

En abandonnant l'eau de Javel à l'air, l'hypochlorite se décompose à la suite de plusieurs phénomènes simultanés :

- Il réagit avec le gaz carbonique de l'air selon :

$\text{NaClO} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{NaHCO}_3 + \text{HClO}$: l'hydrogénocarbonate de sodium (**bicarbonate de soude**)

- à la lumière, HClO se décompose selon :

$2 \text{HClO} \Rightarrow 2 \text{HCl} + \text{O}_2$ et le HCl formé est neutralisé par l'hydroxyde en solution (le NaOH), ce qui reforme du sel (NaCl) et de l'eau.

En résumé, l'eau de Javel a tendance à redevenir du sel, et du bicarbonate.

L'action désinfectante de l'Eau de Javel

Citation:

L'action désinfectante de l'Eau de Javel en milieu aqueux est principalement liée à l'action de l'acide hypochloreux (HOCl). Cette forme peu ionisée du chlore dans l'eau pénètre facilement au travers des parois et des membranes cellulaires des entités microscopiques : virus, bactéries, spores, champignons, parasites. Dans certaines situations, la forme chlore gazeux (Cl_2) peut même exister lorsque des pH inférieurs à 4 existent localement; elle pénètre très facilement les membranes cellulaires.

Le chlore actif libre présent dans la solution agira de 2 façons : par un caractère oxydant général et par l'action immédiate et spécifique de chloration des fonctions aminées des protéines.


Dans un environnement contenant des matières azotées (ammonium ou amines), le chlore actif sera consommé avec formation de monochloramines. Les monochloramines sont elles-mêmes légèrement désinfectantes. Suivant la concentration en acide hypochloreux et les temps de contact avec les micro-organismes, l'action pourra être majoritairement inhibitrice ou destructrice ou une combinaison des deux.

La forme la plus évidente de l'efficacité destructrice de ce produit est l'éclatement des bactéries. Certaines molécules de HOCl peuvent en effet pénétrer jusqu'au cytoplasme de la bactérie et agir sur les protéines dirigeant les fonctions vitales de la bactérie. Par contre en face des prions, des virus ou des membranes des bactéries gram et gram -, l'action de l'acide hypochloreux sur les fonctions aminées inhibera l'action de ces prions, virus ou bactéries. Pour les autres micro-organismes : champignons, parasites et spores, une combinaison de ces différents modes d'action aura lieu. Pour chacun des micro-organismes, on peut déterminer la combinaison d'une concentration en chlore résiduel et d'un temps de contact spécifique en vue de l'inhiber ou de le détruire plus ou moins totalement.

Pour aller plus loin, on peut réaliser un traitement plus important. Idéalement, on devrait utiliser un générateur prévu pour (2V, sous plusieurs ampères) afin de minimiser les pertes, mais certains ont utilisé des **alims de PC** (attention, on rigole plus avec les tensions et la puissance délivrée) sur la prise 3,3V sous 30 ampères.

LLBSV, cela peut être relativement intéressant vis à vis de la **purification** de l'eau, aussi bien pour consommation humaine qu'animale, et enfin pour la désinfection d'outils.

Voilà, j'espère qu'il n'y a pas trop d'erreurs. Cette expérience est ridiculement facile à réaliser,

avec des moyens du bord relativement accessibles en plein cambrousse. 

Tarsonis, le 01/02/2010, Forum Olduvai