



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO
DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE



*Polytechnique
Premier
Partenaire des
Professionnels*

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention
du Diplôme d'Etudes Approfondies en Chimie Appliquée à l'Industrie et à
l'Environnement**



Présenté par : RABEMANANJARA FenoFanambinana

Soutenu le 24 Mars 2014



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
D'ANTANANARIVO
DEPARTEMENT GENIE CHIMIQUE



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention
du Diplôme d'Etudes Approfondies en Chimie Appliquée à l'Industrie et à
l'Environnement

CONTRIBUTION À L'ÉTUDE RÉSÉDA DE
PRODUCTION D'EAU DE JAVEL À
L'ÉCHELLE ARTISANALE

Présenté par : RABEMANANJARA FenoFanambinana

Soutenu : 24 Mars 2014

Membres du jury

Président : Professeur Titulaire ANDRIANARY Philippe Antoine

Rapporteur : Docteur RAKOTOARIVONIZAKA Ignace

Examineurs : Docteur RAKOTONDRAMANANA Samuel

Docteur RAKOTOMAMONJY Pierre

Docteur RANDRIANA Nambinina Richard Fortuné

Docteur RAKOTOSAONA Rijalalaina

REMERCIEMENT

La réalisation de cet ouvrage n'aurait jamais eu lieu sans la présence et l'aide précieuse des personnes dont nous tenons à remercier, notamment :

Monsieur le **Professeur Titulaire ANDRIANARY Philippe Antoine**, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, qui nous a permis d'effectuer nos études au sein de l'Etablissement et nous faisant l'honneur de présider le jury de ce mémoire

Monsieur le **Docteur RAKOTONDRAMANANA Samuel**, Enseignant chercheur au sein de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo et Chef de Département Génie Chimique. Nous fait honneur de sa présence parmi les membres du jury.

Monsieur le **Docteur RAKOTOARIVONIZAKA Ignace**, Maître de Conférences et Enseignant chercheur au sein de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Rapporteur de mémoire, n'ayant ménagé ni son temps ni ses peines pour nous prodiguer tous les conseils afin de mener à bien la réalisation de notre travail.

Monsieur le **Docteur RANDRIANA Nambinina Richard Fortuné**, Maître de conférences à l'Ecole Supérieur Polytechnique, nous fait honneur de sa présence parmi les membres du jury.

Monsieur le **Docteur RAKOTOMAMONJY Pierre**, Maître de conférences à l'Ecole Supérieur Polytechnique d'Antananarivo et Chef de département du Premier Cycle qui malgré ses responsabilités, nous fait honneur de sa présence parmi les membres du jury.

Monsieur le **Docteur RAKOTOSAONA Rijalalaina**, Maître de conférences qui a aussi bien voulu siéger parmi les membres du jury.

Personnels Enseignants du Département Chimie Appliqué à l'industrie et à l'environnement.

Nous tenons enfin à vous remercier famille et amis pour vos encouragements ; soutien moral, matériel et financier ; sans compter votre aide. Une pensée plus

particulièrement à mes parents qui n'ont jamais cessé de m'épauler et de croire en moi tout au long de ces nombreuses années d'étude.

A tous ceux qui, par leur collaboration, par leur compétence, par leur effort, par leur amitié, ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce présent travail.

Nous adressons, nos sincères reconnaissances.

SOMMAIRE

REMERCIEMENT

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

GLOSSAIRE

NOTATION ET UNITE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES ANNEXES

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I. OBJECTIFS ET ORIENTATION DE LA RECHERCHE
DOCUMENTAIRE ET BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre II. PRESENTATION DE L'EAU DE JAVEL

Chapitre III. METHODE ELECTROCHIMIQUE POUR LA
PRODUCTION DE L'EAU DE JAVEL

Chapitre IV. ANALYSE DU TYPE D'APPAREILLAGE A ELABORER
POUR LA FABRICATION DE L'EAU DE JAVEL

Chapitre V. ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS A L'ECHELLE
LABORATOIRE

DEUXIEME PARTIE : ETUDES EXPERIMENTALES

Chapitre VI. METHODOLOGIE EXPERIMENTALES

Chapitre VII. ETUDE DES COMPOSANTES DE L'EQUIPEMENT
ELECTRIQUE DE L'ELECTROLYSEUR ET DE CES ACCESSOIRES

Chapitre VIII. REALISATION DES ESSAIS EXPERIMENTAUX A L'ECHELLE
PILOTE

TROISIEME PARTIE : ETUDE DE FAISABILITE ET APPROCHE ENVIRONNEMENTALE

Chapitre IX. ETUDE FINANCIERE ET FAISABILITE

Chapitre X. APPROCHE ENVIRONNEMENTALE

ANNEXES

TABLE DES MATIERES

GLOSSAIRE

Amalgame	:	alliage de mercure et d'un métal
Bactéricide	:	capable de tuer les bactéries
Biocide	:	produit détruisant les microorganismes
Chloroforme	:	liquide incolore, dérivé du chlore ayant un effet anesthésique à l'inspiration
Déphlogistiquée	:	ancienne qualification de l'air composé d'eau et de phlogistique
Phlogistique	:	ancien nom de l'azote
Disputation	:	réaction de cession d'électron libre, de catalyse enzymatique
Fongicide	:	propre à détruire des champignons parasites
In situ	:	expression latine signifiant dans son site naturel
Létale	:	qui apporte la mort
Organochloré	:	produit dérivé du chlore
Polymère	:	composé obtenu par polymérisation
Saumure	:	solution très concentrée de sel
Sporicide	:	ayant un pouvoir de destruction des spores, de désinfectant de haut niveau
Spore	:	cellule reproductrice de la plupart des végétaux
Virucide	:	substance apte à détruire les virus

ABREVIATION ET ACRONYMES

B :	Intensité de champ magnétique
c.a :	Chlore actif
CAF :	Cash flow
Cl⁻ :	Ion Chlore
Cl₂ :	Dichlore
D :	Durée de temps
d.d.p. :	Différence de potentiel
Do :	Durée de vie
DRCI :	Délai de récupération de capital investi
ESPA :	Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo
F :	Fréquence
GSM :	Genius System Multimedia
H₂O :	Eau
Hg :	Mercure

INRS : Institut National de Recherche Scientifique

Na : Sodium

Ion sodium

Na⁺ :

NaClO : Hypochlorite de sodium

NaOH : Soude

N_s : Nombre spire par volt

N₁ : Nombre spire primaire

N₂ : Nombre spire secondaire

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONG Organisation Non Gouvernementale

P_{a1} : puissance active primaire

P_{a2} : puissance active secondaire

PC : Personnel Computer

P_s : Puissance apparente

PVC : Poly VinyChloride

S_n : section du noyau magnétique

SNT	Situation nette de trésorerie
TRI :	Taux de rentabilité interne
U_c :	Tension redressée
U_{rn} :	Tension inverse
U₁ :	Tension efficace primaire
U₂ :	Tension efficace secondaire
UV :	Ultra Violet
VAN :	Valeur actuelle nette

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Aperçu comparatif des caractéristiques techniques et fonctionnelles des méthodes d'électrolyses moderne connues.....	13
Tableau 2. Les essais effectués [3]	33
Tableau 3. Diamètre de section des fils.....	44
Tableau 4. Donnée technique pour la réalisation pratique	45
Tableau 5. Les essais effectués	55
Tableau 6. Résultats des analyses	56
Tableau 7. Les matériaux techniques.....	63
Tableau 8. Capitaux nécessaire	64
Tableau 9. Les charges décaissables	66
Tableau 10. Les chiffres d'affaires prévus	66
Tableau 11. La situation nette de trésorerie	67

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Diagramme intensité-potentiel de l'électrolyse du chlorure de sodium sur cathode au mercure [29].....	6
Figure 2. Schéma de dispositif d'électrolyse à amalgame Na-Mg [1]	7
Figure 3. Diagramme intensité-potentiel de l'électrolyse du chlorure de sodium sur cathode en acier [29]	8
Figure 4. Schéma de dispositif à membrane [6]	9
Figure 5. Schéma de dispositif d'électrolyse à membrane échangeuse d'ion [6]	10
Figure 6. Fabrication industrielle d'eau de javel [7].....	11
Figure 7. Machine pour produire de l'eau de javel de RESEDA [28]	12
Figure 8. Composition d'une eau de Javel en fonction du pH [3].....	19
Figure 9. Orientation des molécules d'eau dans le champ électrostatique des ions du chlorure de sodium	24
Figure 10. Formation des liaisons entre les ions du chlorure de sodium	25
Figure 11. Détermination des paramètres de l'électrolyse de NaCl fondu avec anode de Pt et cathode de Ni sur les courbes intensité-potentiel du système électrochimique Na/Cl [29].....	26
Figure 12. Détermination des paramètres de l'électrolyse de solution aqueuse de NaCl avec anode et cathode de Pt platiné sur les courbes intensité-potentiel du système électrochimique Na /Cl [29]	27
Figure 13. Détermination des paramètres de l'électrolyse de NaCl fondu avec anode de graphite t et cathode de fer sur les courbes intensité-potentiel du système électrochimique Na /Cl [29].....	28
Figure 14. Schémas des 2 électrolyseurs industriels à anode de Carbone et à cathode de fer [27].....	28
Figure 15. Détermination des paramètres de l'électrolyse industrielle de NaCl avec anode de graphite et cathode de fer sur les courbes intensité-potentiel du système électrochimique Na /Cl [29].....	29
Figure 16. Processus de fabrication d'eau de javel	32
Figure 17. Structure de base d'un chargeur direct.....	43
Figure 18. L'appareil une fois confectionné	47
Figure 19. Le processus de dissolution du sel.....	54

LISTE DES PHOTOS

Photo. 1. Electrolyseur expérimental de laboratoire [3]	34
Photo. 2. L'appareillage confectionné et utilisé.....	48
Photo. 3. La valeur de la tension donnée par le multimètre du transformateur.....	48
Photo. 4. La tension donnée par les deux diodes.....	49
Photo. 5. Batterie expérimentale	49
Photo. 6. La résistivité du graphite expérimentale	50
Photo. 7. La résistivité de la saumure.....	51
Photo. 8. A la cathode (Cuve inoxydable) dégagement d'ions hydroxyde mis en évidence par coloration en rose de la phénolphtaléine.....	52
Photo. 9. A l'anode (le graphite dans le cuvette) dégagement de gaz chlore mis en évidence par les dégagement des bulles	53

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. MESURE DE LA CONDUCTIVITE D'UNE SOLUTION.....	A
Annexe 2.L'ELECTROLYSE ET LES LOIS DE FARADAY	B
Annexe 3. LA FICHE RAPPORTANT LE RESULTAT DE L'ANALYSE DE GROS SEL « AGENCE DE LA CONTROLE DE LA SECURITE SANITAIRE ET DE LA QUALITE DES DENREES ALIMENTAIRES ».....	E
Annexe 4. DETERMINATION DE DEGRE CHLOROMETRIQUE	F
Annexe 5. CONDUCTIVITES IONIQUES MOLAIRES, $\Lambda^\circ/(\text{mS m}^2 \text{ mol}^{-1})$	J

INTRODUCTION

Nombreuses technologies sont conçues pour produire de l'eau de javel pour désinfecter les sanitaires, les sols, l'eau des piscines et ainsi pour le blanchissement de la lessive.

A Madagascar, malgré la disposition de grandes réserves de matières premières pour la fabrication de l'eau de Javel, des appareils pour la production d'eau de javel sont peu nombreux. Nous pouvons citer comme matières premières locales disponibles le sel (NaCl) pour la fabrication de dichlore et de la soude caustique. De même le graphite, une matière première existant localement en quantité importante et facile d'accès, entre dans la décomposition du chlorure de sodium autant qu'anode de l'électrolyseur. Également, le fer joue le rôle de la cathode afin d'obtenir le chlore et la soude caustique.

Pour favoriser le développement industriel de notre pays, il nous est indispensable de contribuer à la valorisation de ces matières premières par de nouvelles techniques d'application plus performantes et moins onéreuses. Pour cette raison, dans le cadre de partenariat entre le département de Génie chimique de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo et la Société TafitaCompagny SARL, comme notre pays étant toujours dans l'obligation d'importer à des prix très coûteux en raison de la nécessité de l'eau de javel, incontournable pour les désinfections de bactéries et de virus. Il est intéressant de réaliser une étude de la fabrication d'un appareil pour produire de l'eau de javel.

Pour ce faire, le thème de notre mémoire de fin d'études pour l'obtention d'un diplôme de DEA se porte sur : " *CONTRIBUTION A L'ETUDE RESEDA DE PRODUCTION D'EAU DE JAVEL A L'ECHELLE ARTISANALE* "

Pour mieux organiser ce projet de mémoire, le travail se divise en trois grandes parties :

- Dans la première, nous effectuons les rappels bibliographiques et la partie théorique de notre travail.
- La deuxième concerne le volet expérimental pour le montage de l'appareil et la détermination expérimentale des paramètres opératoires à l'échelle pilote de la mise en marche de l'appareil conçu.
- La troisième partie nous rapporte l'étude économique d'une unité de production de petite taille et l'étude d'impacts environnementaux de ce dernier.

**PREMIÈRE PARTIE : ÉTUDE
BIBLIOGRAPHIQUE**

Dans cette recherche documentaire et bibliographique, il est nécessaire pour être méthodique, d'avoir une orientation bien définie afin de faire une étude bien ciblée, entièrement consacrée à la fabrication d'un appareil d'électrolyse apte et performant pour la fabrication locale d'eau de javel à l'échelle pilote. Ainsi, pour cette première partie, nous commencerons par la présentation des objectifs que nous devons atteindre dans cette recherche documentaire pour avoir les éléments nécessaires (connaissances, techniques, données, etc.) qui nous permettront de réaliser cette étude sur la conception d'un appareil d'électrolyse pour la fabrication d'eau de javel à l'échelle pilote.

Après des mûres réflexions sur le thème d'étude, pour aborder la recherche documentaire et bibliographique nécessaire à la réalisation de cette étude, nous nous posons la question : quels sont les objectifs à atteindre dans cette recherche documentaire et bibliographique et ensuite la méthodologie de cette recherche.

CHAPITRE 1. OBJECTIFS ET ORIENTATION DE LA RECHERCHE DOCUMENTAIRE ET BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Les objectifs

L'objectif global dans cette recherche documentaire est d'avoir une idée précise pour la réalisation d'un appareil pour la fabrication d'eau de javel à l'échelle pilote. Plus spécifiquement nous devrons être documenté pour avoir :

- des connaissances sur l'électronique
- des connaissances des techniques d'électrolyse
- des connaissances sur l'eau de javel

des connaissances de technique de fabrication de l'eau de javel.

1.2 L'orientation de la recherche

La recherche documentaire sera axée principalement sur le processus de montage d'un appareil pour la fabrication d'eau de javel. Elle sera orientée suivant les démarches suivantes :

- Documentation sur les différentes manières de produire de l'eau de javel. Il s'agit de réaliser une échelle pilote pour la production d'eau de javel. Cette étude bibliographique sera essentiellement axée sur les techniques de fabrication d'eau de javel. Nous pensons que la fabrication d'eau de javel pourrait être possible avec une technique plus ou moins simple, comme la technique par électrolyse,
- Documentation sur l'utilisation du sel et de l'eau comme matière première et plus particulièrement le processus et mécanismes de notre appareil pour la production d'eau de javel.

1.3 Problème de la mise en œuvre de l'appareil pour produire de l'eau de javel

Le développement des activités humaines concourt certainement à l'augmentation de la production de l'eau de javel pour préserver la santé humaine car il joue le rôle désinfectant, détachant, blanchissement et désodorisant. L'utilisation de l'eau de javel avec son rôle de désinfectant devient une nécessaire pour le monde

car elle détruit les bactéries, les moisissures, les spores et les virus. Des travaux de l'institut Pasteur (1989) ont permis de confirmer son activité bactéricide grâce à un microscope électronique : à une dilution au 1/100ème d'eau de javel à 3,6% de chlore actif, elle détruit les bactéries en 30 secondes.

1.4 La technique adoptée pour notre réalisation

Ils existent plusieurs méthodes pour la fabrication d'eau de javel, nous allons citer quelques-unes afin d'en tirer notre choix pour la réalisation de notre appareil.

L'électrolyse met en jeu des compétitions entre les couples du solvant (H_2O) et des ions provenant de la dissolution de NaCl , Na^+ et Cl^- :

Solvant : $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$ $E^\circ = 0\text{V}$ (à $\text{pH} = 0$), $E^* = 0,42\text{ V}$ (à $\text{pH} = 7$)

$\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ $E^\circ = 1,23\text{ V}$ (à $\text{pH} = 0$), $E^* = 0,81\text{ V}$ (à $\text{pH} = 7$)

Ions : Na^+/Na $E^\circ = -2,70\text{ V}$

Cl_2/Cl^- $E^\circ = 1,40\text{ V}$

E° : potentiel standard de référence (à $\text{pH}=0$ et par rapport à l'électrode normalisée à hydrogène).

E^* : potentiel redox standard apparent (à un pH donné).

Ainsi, théoriquement, l'électrolyse du solvant devrait commencer avant celle du sel.

Mais, en considérant les effets de surtension dus à la nature de l'anode, il est possible d'éviter l'électrolyse de l'eau en choisissant les bornes électrodes. Ainsi les courbes intensité- potentiel pour différentes anodes et cathodes données ci-dessous permettent de comprendre les réactions mises en jeu suivant l'installation utilisée.

1.1.1. L'électrolyse à mercure [1]

La plus ancienne technique pour la production du chlore a été construite pour la première fois en 1888.

La majorité des installations industrielles en Europe utilisait des installations avec anode au titane et cathode au mercure, ce qui permettait, comme on le voit sur le diagramme ci-dessous, d'éviter complètement l'électrolyse de l'eau. L'intérêt pour l'industriel était de récupérer, à partir de l'amalgame Na(Hg), du sodium sans impureté pour fabriquer de la soude de très bonne qualité [29] :

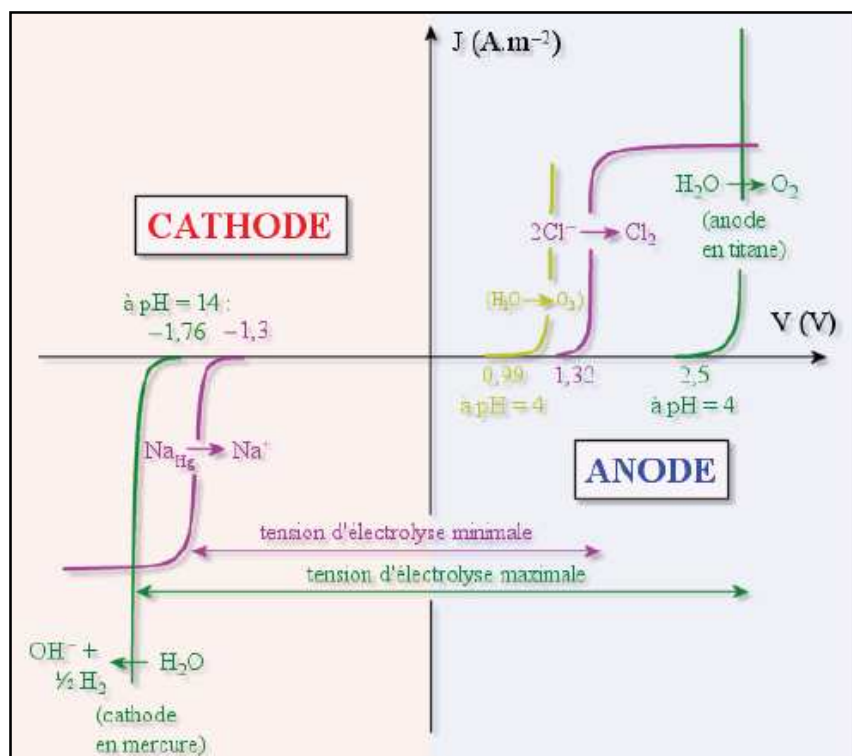


Figure 1. Diagramme intensité-potential de l'électrolyse du chlorure de sodium sur cathode au mercure [29]

Lors du processus industriel, on utilise une tension de 4,3 à 4,6 Volts avec une densité de courant entre 10 à 12,5 KA/m².

Sous l'effet du courant électrique continu, le chlorure de sodium se sépare et devient du chlore gazeux au niveau de l'anode. Le gaz sera refroidi, séché et ensuite liquéfié et réfrigéré. Le chlore stocké sera mélangé avec de la soude caustique

obtenue par la cathode de mercure afin de le dissoudre et le voir formé un amalgame. Après, l'amalgame sera envoyé dans un réacteur séparé où il réagit avec de l'eau déminéralisée pour donner de l'hydrogène et la soude caustique à 50%. Ainsi, le mercure est régénéré et peut être renvoyé dans l'électrolyseur. Ainsi on obtient la soude caustique et le chlore qui sont les matières premières pour la fabrication d'eau de Javel.

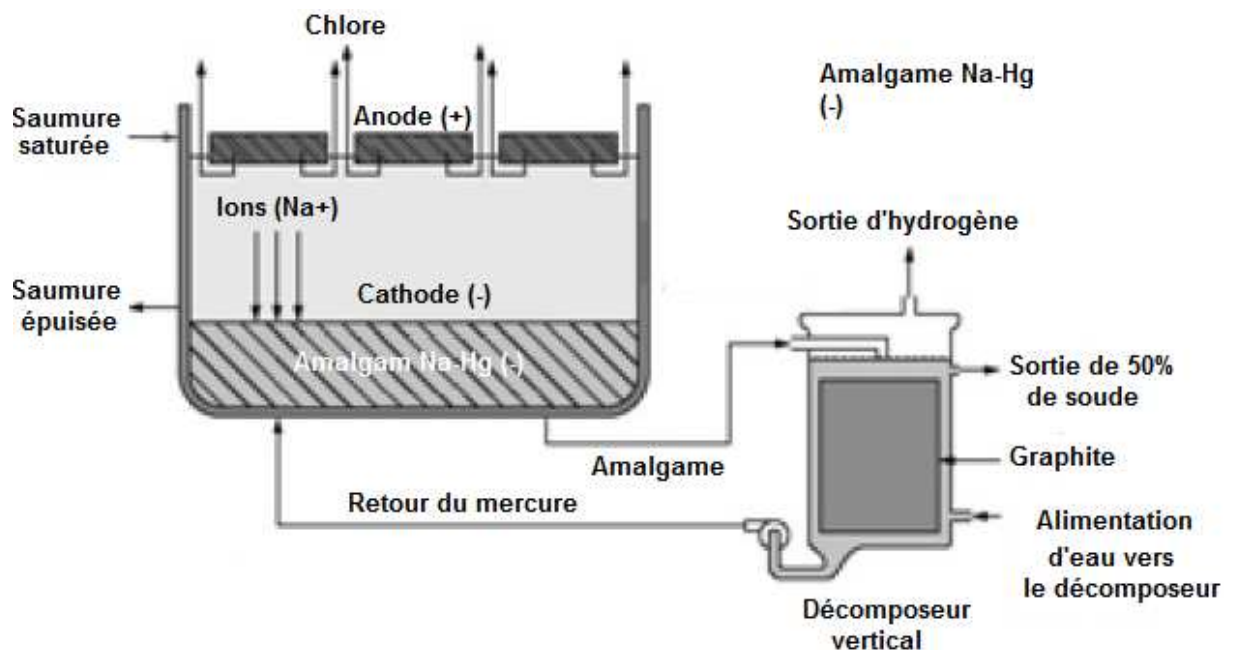


Figure 2. Schéma de dispositif d'électrolyse à amalgame Na-Mg [1]

1.1.2. Electrolyse à diaphragme [1]

Le développement de l'électrolyse à diaphragme se déroule aux Etats-Unis. Le procédé à diaphragme est pourvu d'une cellule comportant un diaphragme en amiante. Le diaphragme empêche le mélange entre le chlore et la soude caustique. Les systèmes qui sont et seront utilisés majoritairement utilisent une cathode en acier dans une enceinte séparée de celle qui contient l'anode par une membrane polymère sélective afin de récupérer les ions Na^+ sans présence de Cl^- et ainsi fabriquer de la soude de bonne pureté 50%. Avec une concentration de saumure de 310 g/dm^3 et avec une densité de courant entre $1,5$ à 3 KA/m^2 avec une tension à la borne entre $2,8\text{V}$ à $3,4 \text{ V}$ et une consommation énergétique entre 2000 à 2500 KWh/t de dichlore.

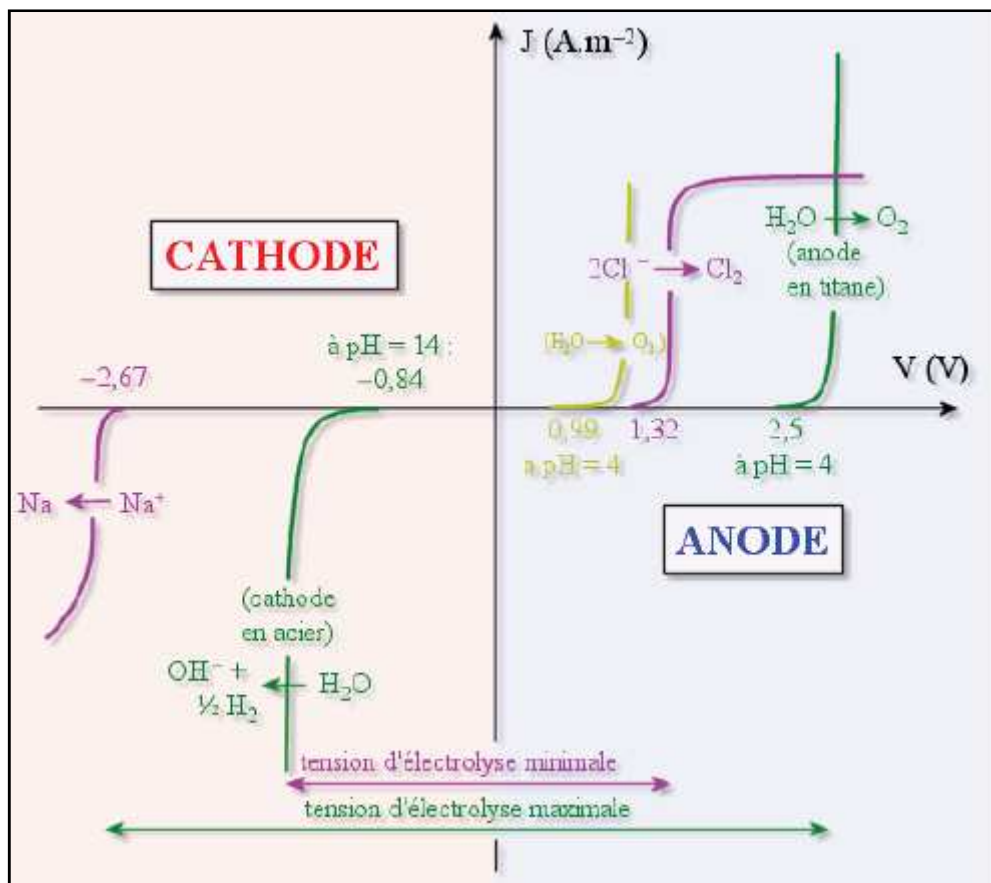


Figure 3. Diagramme intensité-potential de l'électrolyse du chlorure de sodium sur cathode en acier [29]

On observe donc d'après le diagramme les réactions suivantes :

A l'anode en $2\text{Cl}^-_{(\text{aq})} \longrightarrow \text{Cl}_{2(\text{g})} + 2e^-$ titane :

A la cathode en $2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + 2e^- \longrightarrow 2\text{OH}^-_{(\text{aq})} + \text{H}_{2(\text{g})}$ acier :

Après, la procédure du barbotage entre le Chlore et la soude caustique pourrait avoir lieu pour obtenir de l'eau de Javel.

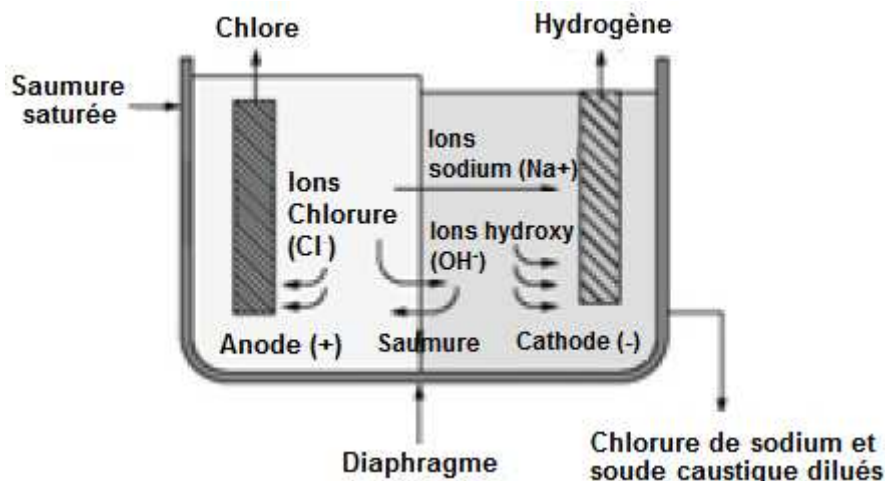


Figure 4. Schéma de dispositif à membrane [6]

1.1.3. L'électrolyse à membrane [6]

Elle se ressemble à l'électrolyse à diaphragme. Le développement de l'électrolyse à membrane avait eu lieu au début des années 70.

L'électrolyseur comporte deux compartiments qui sont séparés par une membrane poreuse. . Le tout fonctionne comme un échangeur d'ions : la membrane consiste en un squelette de polymère perfluoré des deux côtés. On greffe au-dessus de celle-ci les deux groupes d'échangeurs de cations : le sulfonique à l'anode, le carboxylique à la cathode.

Le procédé se déroule ainsi, on utilise une concentration de saumure entre 260 à 300 g/dm³. Avec une densité de courant de 3KA/m² et une tension à la borne de 3,2V. La consommation énergétique est entre 2600 à 2800 KWh/t de Cl_2 . Avec toutes ces conditions on obtient de la soude caustique de 30%.Ce procédé est utilisé pour la production de 33% du chlore en Europe.

A la fin, on procède au mélange de la soude caustique et du chlore obtenus par le procédé pour obtenir de l'eau de javel.

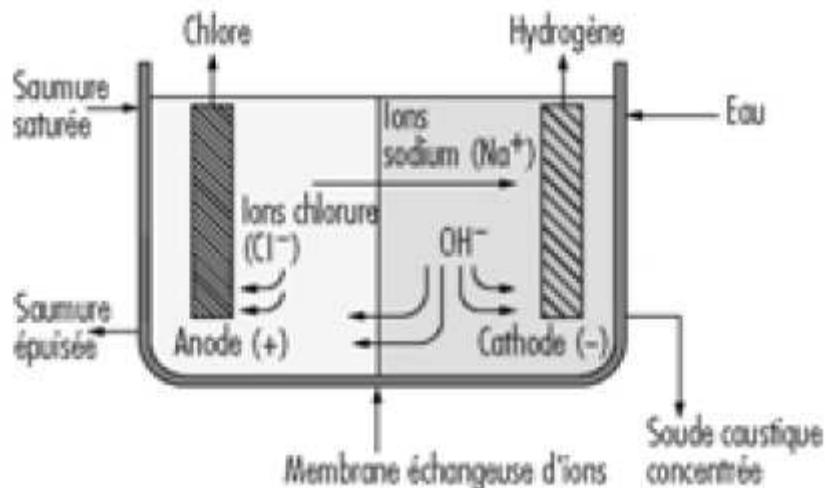


Figure 5. Schéma de dispositif d'électrolyse à membrane Equimolaire de NaClO et de NaCl [6]

1.1.4. Procédé standard de fabrication d'eau de javel [7]

Le procédé "haut titre" mis au point par Arkema consiste à dissoudre le dichlore dans une solution de soude à 50 %. L'eau de javel obtenue titre de 24 à 26 % de chlore actif. Lors de la dissolution, environ la moitié du chlorure de sodium formé précipite et est ainsi éliminée. Des solutions de concentration plus faibles sont ensuite préparées par dilution.

L'hypochlorite de sodium (NaOCl) est fabriqué par absorption de chlore (gaz = Cl_2) dans une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (soude caustique = NaOH). Cette réaction chimique est exothermique: elle génère de la chaleur et s'écrit :



La production d'hypochlorite de sodium (NaOCl) en solution est donc inévitablement liée à la production d'une quantité équimolaire de chlorure de sodium (NaCl = sel).

Le procédé industriel consiste à mettre en circulation de la soude caustique dans une colonne alimentée par du chlore à contre-courant. Dans cette colonne, la soude caustique se transforme peu à peu en hypochlorite de sodium. Afin d'éviter la décomposition de l'hypochlorite de sodium, la chaleur dégagée par la réaction est évacuée via un échangeur de chaleur.

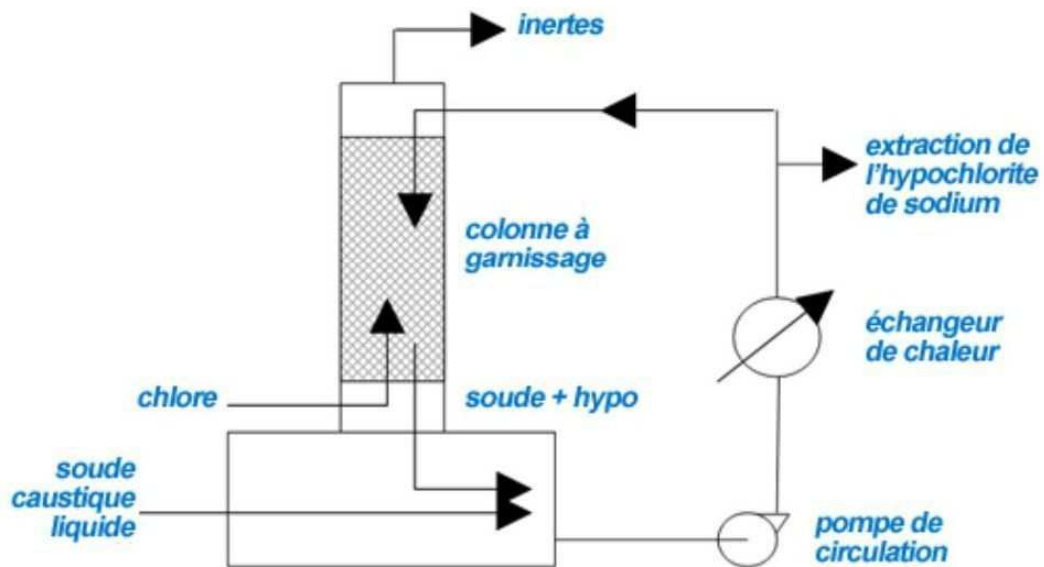


Figure 6. Fabrication industrielle d'eau de javel [7]

Ce procédé permet d'obtenir une solution d'hypochlorite de sodium. Un fabricant obtient une solution d'hypochlorite de sodium qui possède un chlore actif élevé si on arrive à bien gérer les taux de chlore et de soude caustique nécessaire à introduire dans l'appareil.

Sur des sites industriels, l'eau de Javel est obtenue directement par électrolyse de NaCl en solution, dont la cellule de séparation entre les compartiments anodiques et cathodiques, n'est pas présente.

RESEDA utilisé pour la fabrication de l'eau de Javel a été mis au point et breveté par ANTENNA, une ONG Suisse [28]

Afin de réduire le coût d'investissement de la technologie RESEDA a mis en place une machine qui pourrait être utilisé en ville et en campagne, afin de préserver la santé et l'hygiène.

Cet appareil est équipé :

- D'un petit appareil en bloc unique avec une anode et une cathode
- D'une batterie de 12Volts (40 A environ)
- Un bocal de 1litre (une bouteille d'eau minérale)

- D'un chargeur de batterie de 12 Volts
- De sel en poudre (25 grammes par chargement)
- D'un peson petite charge

Ce qui nous mène à la figure ci-contre

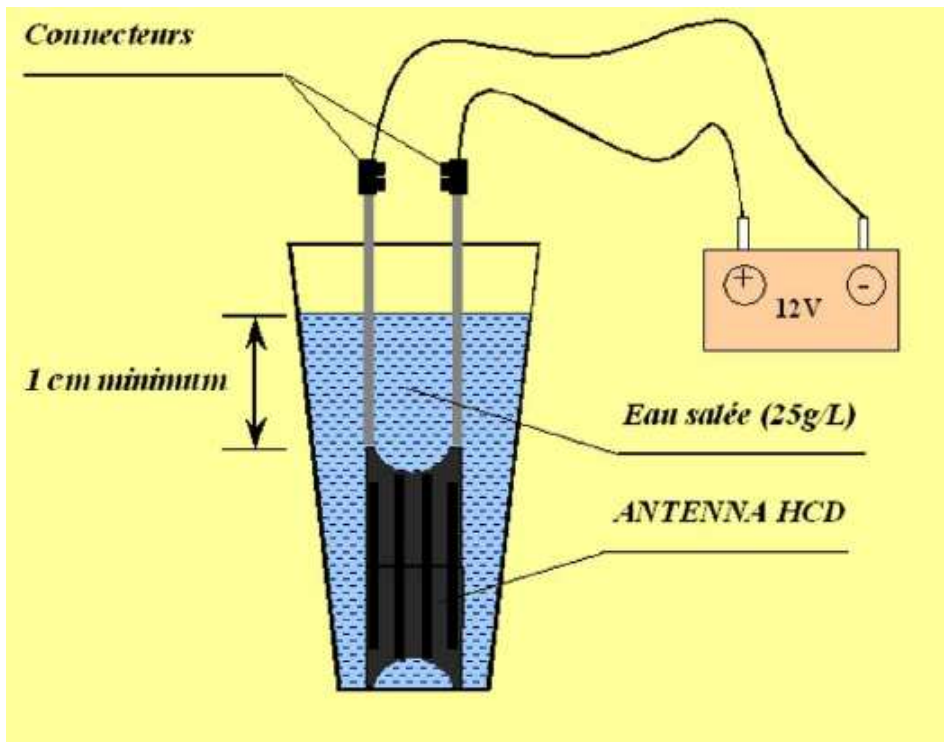


Figure 7. Machine pour produire de l'eau de javel de RESEDA [28]

A cause de la simplicité montrée par son schéma, la machine pourrait être applicable partout avec une facilité d'utilisation mais la capacité est limitée à un litre par heure.

1.5 Technique adopté pour notre réalisation

Après la considération et surtout l'analyse approfondie des caractéristiques techniques et opératoires des trois méthodes pour la fabrication de chlore et de soude caustique présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1. Aperçu comparatif des caractéristiques techniques et fonctionnelles des méthodes d'électrolyses moderne connues

Données	Procédé à mercure	Procédé à diaphragme	Procédé à membrane
Concentration saumure d'alimentation en g/dm^3	310	280	260 à 300
Densité de courant en KA/m^2	10 à 12.5	1.5 à 3	3
Tension au borne V	4.3 à 4.6	2.8 à 3.4	3.2
Consommation énergétique en KWh/t de Cl_2	3200 à 3400	2000 à 2500	2600 à 2800
Produits	NaOH (50%)	NaOH (50%)	NaOH (30%)
Particularité du procédé	1650 à 5000 Hg/cellule recyclables 24 à 54 anodes 9m*1.6m à 14.6m*2.1m de cathode	6 à 10m distance anode-cathode	Utilisation de membrane à échangeuse d'ion

Ainsi que la différente autre méthode afin d'obtenir de l'eau de javel, qui va nous permettre de réaliser une nouvelle technique plus efficace pour l'obtention d'eau de javel.

La première approche de notre travail consistera à déterminer les conditions optimales pour obtenir une bonne qualité de produit avec une quantité moyenne.

Et ensuite, les suivis de différentes méthodes permettant par la suite d'effectuer notre réalisation à l'échelle pilote de notre machine doivent refléter la maturité réelle. Cette réalisation devra aboutir à l'obtention d'un produit final dans des conditions optimales de performance.

CHAPITRE 2. Présentation de l'eau de javel

Après un historique bref et une définition concrète de l'eau de Javel selon le lexique de la chimie, la propriété et l'utilisation de celle-ci seront illustrées dans ce premier chapitre.

2.1 Historique

2.1.1. Origine du mot javel [16] [3]

L'Eau de Javel tire son nom de l'ancien village de Javel (aujourd'hui quartier du 15ème arrondissement de Paris) où s'était implantée, en 1784, une manufacture de produits chimiques, près du « moulin de Javelle ». Cette fabrique était la propriété, à l'origine, de nobles proches du Comte d'Artois, frère de Louis XVI et dirigée par Léonard Alban. Elle était destinée aux lavandières (blanchisseuses de l'époque) alors nombreuses sur les bords de Seine. La « javelle » du latin populaire gabella est un mot d'origine gauloise ; il désignait ce qu'on rassemble par poignées. Les lavandières, pendant le nettoyage, battait le linge avec une poignée de branches, pour extraire un maximum d'impuretés des textiles.

2.1.2. Découverte de l'action blanchissant de l'eau de javel

Jusqu'au 18ème siècle, on pratiquait généralement le blanchiment sur pré des tissus en lin, chanvre et coton, ce qui nécessitait beaucoup d'espace et de temps. Son succès dépendait de la température, du soleil.... Claude-Louis Berthollet (1748-1822), chimiste savoyard et médecin du duc d'Orléans, savait que le blanchiment du linge sur pré était dû à l'action de l'oxygène de l'air et il chercha à reproduire artificiellement ce que faisait la nature. Il y réussit grâce aux solutions chlorées (le chlore dénommé alors « esprit de sel déphlogistiqué » ayant été découvert par Scheele en 1774). Dans ce village de Javel, Berthollet utilisa l'eau de chlore, en 1785, pour ses propriétés blanchissantes. Les Directeurs de la Manufacture, MM. Alban et Vallet, décidèrent de dissoudre le chlore dans une solution de potasse particulièrement adaptée au blanchiment du linge et stabilisant le caractère oxydant du chlore. Ils avaient créé la « liqueur de Javel », qui devint ensuite l'Eau de Javel.

La manufacture travailla à plein rendement pendant la Révolution, s'agrandit et ne fabriqua plus que de l'Eau de Javel. En 1875, la « fabrique d'Eau de Javel »

occupait deux cents ouvriers. Elle disparut entre 1885 et 1889, remplacée par les aciéries de France et les entrepôts et magasins généraux de Paris, lesquels cédèrent la place aux usines Citroën en 1915.

2.1.3. Découverte de l'action désinfectante de l'eau de javel [3]

En 1793 le chirurgien Percy (1754-1825) utilisa les solutions d'eau de chlore pour lutter contre « la pourriture d'hôpital » à l'armée du Rhin.

En 1820, le pharmacien Antoine-Germain Labarraque (1777-1850) remplaça la potasse par la soude et étudia les utilisations médicales et pharmaceutiques de l'Eau de Javel. Il inventa le « Chlorure d'oxyde de soude et de chaux », variété d'Eau de Javel qui permit, entre autres choses, d'arrêter le processus de putréfaction des muqueuses. Il fit ainsi un grand pas dans le domaine de l'hygiène. La « liqueur de Labarraque » fut utilisée par les chirurgiens, les médecins, certaines usines, les égoutiers, les fossoyeurs... Elle fut largement distribuée lors d'une épidémie de choléra, en 1832. Il employa l'hypochlorite de sodium pour arrêter les gangrènes, accélérer les cicatrises, désinfecter les hôpitaux... Il obtint de nombreux prix, fut nommé à l'Académie de Médecine en 1824, au Conseil d'Hygiène Publique et de Salubrité du département de la Seine en 1836.

En 1793 le chirurgien Percy (1754-1825) utilisa les solutions d'eau de chlore pour lutter contre « la pourriture d'hôpital » à l'armée du Rhin.

En 1820, le pharmacien Antoine-Germain Labarraque (1777-1850) remplaça la potasse par la soude et étudia les utilisations médicales et pharmaceutiques de l'Eau de Javel. Il inventa le « Chlorure d'oxyde de soude et de chaux », variété d'Eau de Javel qui permit, entre autres choses, d'arrêter le processus de putréfaction des muqueuses. Il fit ainsi un grand pas dans le domaine de l'hygiène. La « liqueur de Labarraque » fut utilisée par les chirurgiens, les médecins, certaines usines, les égoutiers, les fossoyeurs... Elle fut largement distribuée lors d'une épidémie de choléra, en 1832. Il employa l'hypochlorite de sodium pour arrêter les gangrènes, accélérer les cicatrises, désinfecter les hôpitaux... Il obtint de nombreux prix, fut nommé à l'Académie de Médecine en 1824, au Conseil d'Hygiène Publique et de Salubrité du département de la Seine en 1836.

En 1845 Semmelweis, docteur en obstétrique à Vienne, fit tomber la mortalité par fièvre puerpérale de 27% à 0,23% grâce à l'utilisation des hypochlorites par les médecins pour le lavage des mains avant d'accoucher les femmes.

En 1892, Calmette découvrit que le bacille de Koch (tuberculose) était détruit par l'Eau de Javel. Les applications de l'Eau de Javel en désinfection se sont développées sous l'influence de plusieurs collaborateurs de Pasteur, notamment Chamberland et Fernbach.

Lors de la grande guerre, des progrès décisifs en hygiène furent accomplis par les médecins et les militaires :

Lors de la bataille de Verdun, l'Armée française encerclée, et ne disposant plus d'eau potable, le Colonel Bunau-Varilla, directeur du service des eaux de l'armée mélangea un petit stock d'Eau de Javel à l'eau de la Meuse pour alimenter les troupes en eau potable (d'où l'expression "verdunisation" synonyme de potabilisation à l'Eau de Javel).

Le Docteur Fernand Bezançon prouva le pouvoir bactéricide de l'Eau de Javel sur le linge contaminé.

Les solutions tamponnées d'Eau de Javel furent utilisées comme antiseptiques, d'abord par le Professeur Dakin, pour désinfecter les plaies des blessés, puis par le Docteur Carrel, dans les ambulances dont il avait la charge. Le procédé se généralisa ensuite très rapidement. Grâce à son spectre microbien le plus large connu à ce jour, l'Eau de Javel est utilisée pour lutter contre la propagation des maladies : fièvre typhoïde, choléra, hépatite virale, SIDA, grippe aviaire...

C'est également la raison pour laquelle, en Juillet 1969 la NASA sélectionna l'Eau de Javel pour désinfecter Apollo XI au départ et à son retour de la lune pour éviter toute contamination éventuelle Terre/Lune et vice-versa.

En 1989, pour la deuxième fois depuis sa découverte, l'effet bactéricide de l'Eau de Javel est mis en évidence par le Professeur Dodin de l'Institut Pasteur. Ses travaux révélèrent, à l'aide d'un microscope électronique, que les bactéries sont détruites en 30 secondes avec une solution d'Eau de Javel à 0,036 % de chlore actif.

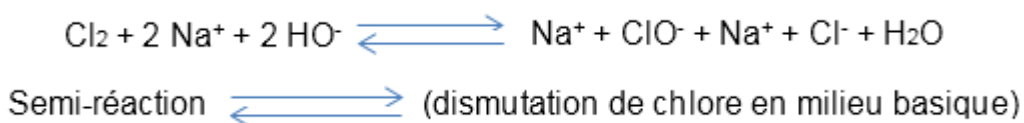
En 2008, l'activité virucide de l'Eau de Javel sur le virus Influenza virus A/H5N1 a été démontrée par l'Institut Pasteur de Lille.

Les médias livrent quotidiennement leur lot d'informations sur de nouvelles maladies et épidémies et les difficultés à les combattre. Pour en limiter la propagation, la prévention est plus que jamais nécessaire et passe par une hygiène irréprochable, renforcée par une désinfection régulière de notre environnement. Dans ce contexte l'eau de Javel, facile à utiliser et particulièrement efficace, est incontournable. C'est en effet un désinfectant universel, bactéricide, fongicide, sporicide et virucide [15], accessible à tous. Ce qui démontre l'intérêt de notre projet « CONTRIBUTION A L'ETUDE RESEDA DE PRODUCTION D'EAU DE JAVEL A L'ECHELLE ARTISANALE ».

2.2 Définition de l'eau de javel selon le lexique de chimie [3]

En tant que chimiste, nous devons faire des considérations sur le volet « chimie » de notre projet.

Par convention, l'agent actif de l'eau de Javel est l'anion hypochlorite, de formule ClO^- . L'eau de Javel est obtenue par action de la soude sur du dichlore. Il se produit une dismutation de l'élément chlore : à la fois oxydation, (obtention de l'anion hypochlorite), et réduction (obtention de l'anion chlorure), à partir de la molécule de dichlore. Il se forme alors de l'hypochlorite de sodium, de formule NaClO , et du chlorure de sodium NaCl en quantité égale selon la réaction suivante :



2.3 Propriété de l'eau de javel [3]

2.3.1. Propriété chimique

2.3.1.1. Réaction avec l'acide

L'eau de Javel mise en contact avec un acide va libérer des ions H^+ , l'équilibre chimique va être déplacé vers la droite. La réaction suivante va se produire :



Il se produit alors un dégagement de dichlore qui est un gaz très toxique. C'est pour cela que l'eau de javel ne doit jamais être en contact avec des acides, que l'on trouve par exemple dans les produits détartrants ou dans l'urine.

2.3.1.2. Réaction avec l'ammoniac

Lorsqu'ils sont mis en présence, l'acide hypochloreux (HClO) et l'ammoniac (NH₃) donnent des chloramines selon les réactions suivantes :



Puis :



Et ensuite :



Les chloramines gazeuses sont très irritantes. C'est pour cela qu'il ne faut pas mélanger l'eau de javel avec de l'ammoniac.

2.3.1.3. Propriété oxydante

L'eau de Javel possède des propriétés oxydantes dues à l'ion hypochlorite ClO⁻. L'ion ClO⁻ est un oxydant puissant. Cet agent actif est à l'origine du pouvoir blanchissant de l'eau de javel. L'ion Cl⁻ est son réducteur conjugué. On définit le couple redox ClO⁻ / Cl⁻. La réaction de réduction de l'ion hypochlorite ClO⁻ s'écrit :



Il faut noter que la décomposition de l'eau de javel en ion hypochlorite et acide hypochloreux dépend fortement du pH du milieu : à des pH supérieurs à 8, l'eau de javel perd de son activité désinfectante car elle ne libère plus que 25 % (environ) d'ion biocide ClO^- . Il faut alors avoir recours à un complément, le brome par exemple.

2.3.2. Stabilité de l'eau de javel [3]

L'eau de javel varie selon le pH d'après les équilibres suivants :

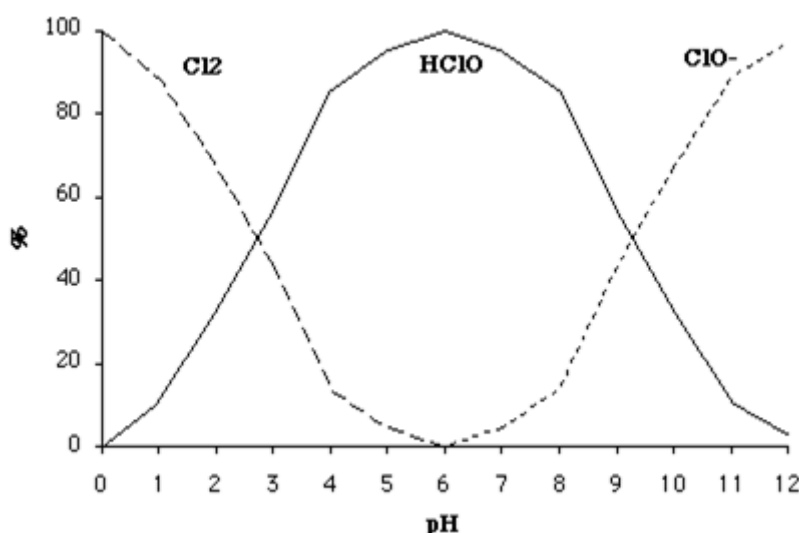
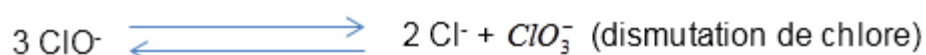


Figure 8. Composition d'une eau de Javel en fonction du pH [3]

A $\text{pH} < 5$ les équilibres ci-dessus sont déplacés avec libération de Cl_2 , d'où la nécessité de ne pas employer l'eau de javel en présence de produits acides et en particulier en présence de détartrant. La réaction de l'eau de javel avec un acide (HCl par exemple) est une méthode de préparation de Cl_2 au laboratoire.

L'ion hypochlorite se dismute avec une élévation de température en donnant des ions chlorates selon la réaction :



La dissolution du dioxyde de carbone de l'air (HClO à un $\text{pK}_\text{A} = 7,5$, celui de CO_2 en solution aqueuse est de 6,4), en diminuant le pH de l'eau de Javel, peut entraîner un déplacement des équilibres chimiques dans le sens de la formation d'acide hypochloreux, très peu stable. Pour cette raison, un excès d'ions OH^- (de 5 à 12 g/L exprimé en NaOH) est laissé pour neutraliser le CO_2 de l'air. En conséquence, le pH d'une eau de Javel est basique ($11,5 < \text{pH} < 12,5$). C'est cette présence de soude qui rend irritant un concentré de javel.

- L'ion hypochlorite, en solution dans l'eau, est fortement oxydant et il est, en particulier, susceptible d'oxyder l'eau. La réaction globale est la suivante :



Cette réaction est lente, c'est elle qui impose une limite de durée d'utilisation : un an pour l'eau de javel dont trois mois pour les concentrés.

La stabilité d'une eau de javel est régie par les lois de la cinétique chimique. Par exemple, la vitesse de décomposition double lorsque la température s'élève de 5°C , les extraits se décomposent plus rapidement que l'eau de javel diluée. Cette décomposition peut être accélérée par divers catalyseurs tels que :

- Les ions métalliques : pour cette raison, lors de sa fabrication et son stockage, elle ne devra pas être en contact avec des métaux, cuivre, zinc, fer, aciers courants, aciers inoxydables.
- La lumière et en particulier les rayonnements UV d'où la conservation de l'eau de Javel dans des récipients opaques non métalliques.

En conséquence, une eau de Javel sera conservée dans des récipients non métalliques, opaques. Elle sera stockée à l'abri de la chaleur et diluée par de l'eau froide non polluée par des ions métalliques. Sa durée d'utilisation est limitée : environ 3 mois pour les concentrés, un an pour l'eau de Javel (voir l'article du BUP dans la bibliographie).

2.4 Type d'eau de javel [12]

L'utilisation de l'eau de javel varie selon son pourcentage en chlore actif. On parlera de :

- L'extrait de javel pour un produit titrant 40° chlorométriques minimum.
- L'eau de javel si la concentration est comprise entre 9,6° et 35° chlorométriques.
- L'eau de Labarraque pour un produit titrant 2° chlorométriques.

La moitié de la production d'eau de javel dans le monde est destinée à usage domestique pour son action en désinfection (HClO est bactéricide, fongicide, virucide et sporicide) et son pouvoir blanchissant.

- En pharmacie

Les liqueurs de Labarraque sont utilisées pour l'antisepsie de la peau avant certains soins.

- En décontamination de matériels et de locaux

Dans les hôpitaux, l'eau de javel est employée dans l'entretien des locaux. C'est un désinfectant particulièrement recommandé pour des risques infectieux importants.

- Dans le traitement de l'eau potable

L'eau de javel ou le dichlore en solution donneront, au pH de l'eau, un mélange de HClO et de ClO^- . Lors du traitement il est préférable d'ajouter l'eau de javel après élimination des matières organiques afin d'éviter la formation de composés organochlorés tels que le chloroforme. Les désinfectants les plus utilisés sont dans l'ordre : l'eau de javel, l'ozone puis le dioxyde de chlore, l'eau de javel (ou l'hypochlorite de calcium) étant de loin les plus employés. L'ozone (O_3) très efficace lors du traitement de l'eau présente l'inconvénient de ne pas rester dans l'eau

distribuée et donc ne peut pas protéger d'une contamination ultérieure. Le dioxyde de chlore (ClO_2) est produit in situ à partir de chlorite de sodium.

Le goût d'eau de javel y étant considéré comme le gage d'une eau saine, la concentration maximale admissible fixée par l'OMS est de 5mg/L.

A des concentrations inférieures aux doses létales, l'eau de javel inhibe le développement des bactéries ce qui permet la protection de l'eau potable lors de son transport par canalisation. Elle est également utilisée pour désinfecter l'eau des piscines.

- dans les industries

L'eau de javel est utilisée, en particulier, pour éviter le développement des algues et des mollusques dans les canalisations des usines de dessalement de l'eau de mer et dans les circuits de refroidissement des centrales thermiques classiques ou nucléaires utilisant l'eau de mer. Par exemple, la centrale de Graveline utilise, lorsque la température de l'eau de mer dépasse 10°C , 0,8 mg de solution d'eau de javel par litre d'eau de mer, avec un débit d'eau de $41 \text{ m}^3/\text{s}$ par réacteur de 900 MW.

CHAPITRE 3. Méthode électrochimique pour la production

A partir d'une l'analyse des trois méthodes d'électrolyse de production de soude et de chlore, nous pouvons concevoir et élaborer une méthode de fabrication d'eau de javel, qui est celle qui nous paraît la plus avantageuse de ces trois méthodes d'électrolyse de production de soude et de chlore. Cette méthode choisie sera améliorée par une méthode de mise en mélange liquide-gaz pour obtenir de l'eau de javel. Mais tout d'abord, on va voir l'étude de l'électrolyte qui joue un rôle important dans l'électrolyseur.

3.1 Electrolyse [24]

Dans un électrolyte, le rôle de chaque espèce est bien défini, et nous pouvons les classer de la manière suivante :

- L'espèce électroactive : elle est introduite dans l'électrolyte sous forme de sels. Pour nos travaux, le sel utilisé est le chlorure de sodium (NaCl).

Les corps dont les solutions sont électrolytiques, se décomposent, au cours de leur dissolution, en fragments (ions) qui portent des charges positives et négatives.

La présence d'ions rend les solutions conductrices. Plus le nombre de particules dissociées en ions est élevé. Mieux elles conduisent le courant électrique (leur conductivité est d'autant meilleure). Au fur et à mesure qu'un électrolyte se dissocie en ions, le nombre total de particules se trouvant en solution croît, car là une particule donne naissance à deux ou plus. Les lois de Raoult et de Van'tHoff se vérifient donc, également, pour les solutions d'électrolytes si l'on tient compte des particules non dissociées comme des ions qui résultent de leur décomposition. On baptise cations les ions à charge positive et anions les ions à charge négative. Les ions positifs métalliques et l'ion hydrogène sont des cations. Les restes d'eau et acides sont des anions. La valeur de la charge d'un ion coïncide avec la valence de l'atome ou du reste acide. Le nombre des charges positives est égal à celui des charges négatives : la solution est donc électroneutre.

Pour considérer le mécanisme de la dissociation. Soit un cristal ionique (chlorure de sodium) introduit dans l'eau. Chaque ion de la surface du cristal forme autour de lui un champ électrostatique de signe positif autour de Na^+ et de signe négatif autour de Cl^- .

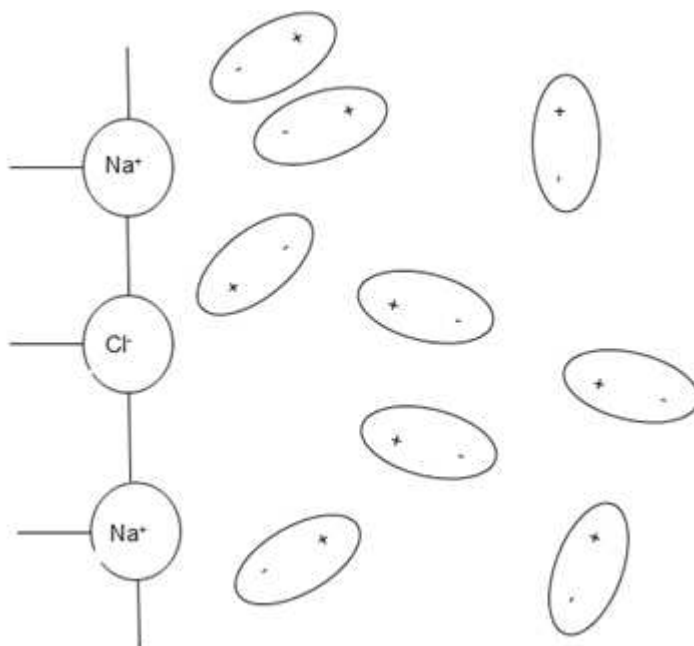


Figure 9. Orientation des molécules d'eau dans le champ électrostatique des ions du chlorure de sodium

L'effet de ses champs s'étend à une certaine distance du cristal. En solution, le cristal est entouré de molécules polaires d'eau agitées d'un mouvement désordonné. A proximité des ions électriquement chargés, la nature de ce mouvement moléculaire change (voir la figure ci-dessus) : les dipôles s'orientent de façon que leur extrémité positive se trouve dirigée vers l'ion chlore, de charge négative, tandis que leur extrémité négative fait face à l'ion sodium positif. Ce phénomène qui a lieu en champ électrostatique est dit orientation des molécules polaires. Les ions et les dipôles d'eau sont soumis aux forces coulombiennes d'attraction. Cette interaction ion dipôle dégage une énergie qui favorise la rupture des liaisons ioniques du cristal : les ions se détachent et passent en solution (dans la figure ci-après).

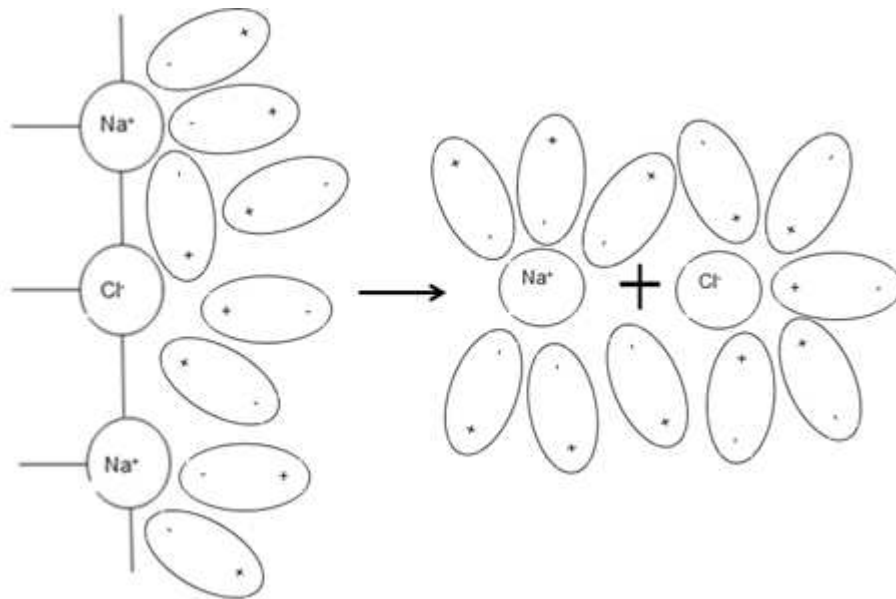


Figure 10. Formation des liaisons entre les ions du chlorure de sodium

Dès la rupture des liaisons ioniques, les ions détachés se trouvent recouverts d'une couche de molécules polaires d'eau : c'est le phénomène d'hydratation des ions. La chaleur dégagée au cours de ce processus est appelée chaleur d'hydratation. On l'exprime en joules par mole (J/mol). L'hydratation d'une mole d'ions de sodium dégage 422 kJ et celle d'une mole d'ion chlorure, 351 kJ. Les chaleurs d'hydratation des ions sont supérieures aux effets thermiques de nombreuses réactions chimiques.

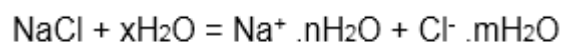
Les ions hydratés à charges opposées peuvent entrer en interaction. Mais la force de cette interaction se trouve affaiblie par la présence de la couche de molécules d'eau que ces ions sont obligés de traîner ; ils peuvent donc exister à l'état libre. La force d'intervention des ions hydratés est fonction de certaines propriétés de solvant, dont la perméabilité diélectrique.

La perméabilité diélectrique montre de combien de fois la force d'interaction entre deux charges dans un milieu donné est inférieure à celle qui s'exerce dans le vide.

La dissociation électrolyte est plus aisée dans les solvants de perméabilité diélectrique élevée : l'interaction des ions y est plus faible. Il est à noter que la perméabilité diélectrique élevée d'un solvant favorise la dissociation sans pour autant

la provoquer. Les molécules polaires du solvant jouent un rôle actif dans le processus de dissociation.

Compte tenu de l'hydratation des ions, les équations de dissociation électrolytique des électrolytes devraient s'écrire comme suit :



Pourtant, vue que la composition des ions hydratés n'est pas toujours constante et que la liaison correspondante n'est pas très résistante, on écrit ces équations sous une forme simplifiée :



En se plaçant sur le point de vue de la théorie de la dissociation électrolytique, on appelle sel neutre (normal) un électrolyte qui se scinde en solution aqueuse en ions métalliques positifs et en ions groupe acide à charge négative.

3.2 Electrolyse de NaCl [5]

Pour comprendre l'intérêt des diverses méthodes d'électrolyse, nous utiliserons les diagrammes intensité-potentiel.

3.2.1. Principe de l'électrolyse

3.2.1.1. Electrolyseur sur anode de platine et cathode de nickel du chlorure de sodium fondu

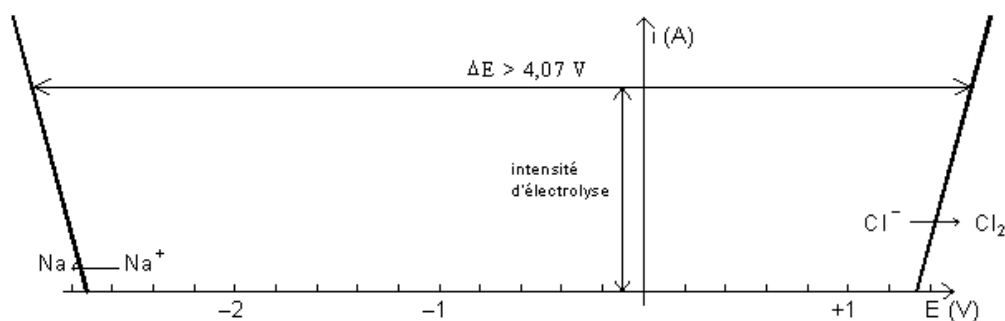


Figure 11. Détermination des paramètres de l'électrolyse de NaCl fondu avec anode de Pt et cathode de Ni sur les courbes intensité-potentiel du système électrochimique Na/Cl [29]

Les deux couples (Na^+/Na et Cl_2/Cl^-) sont des couples électrochimiquement rapides. Sur le diagramme i/E , leurs courbes ne se coupent pas. Pour que cela ait lieu, il faut donc porter, par exemple, le couple Na^+/Na à un potentiel bien plus élevé. C'est ce qui est obtenu en créant entre les deux électrodes une différence de potentiel plus élevée que celle existant entre les deux couples à l'équilibre (lorsque le courant ne passe pas). Puisque $E_{\text{Na}^+/\text{Na}} = -2,71 \text{ V}$ et $E_{\text{Cl}_2/\text{Cl}^-} = 1,36 \text{ V}$

On a : $|\Delta E| = |E_{\text{Na}^+/\text{Na}} - E_{\text{Cl}_2/\text{Cl}^-}| = 4,07 \text{ V}$

, il faut donc que la d.d.p. imposée aux bornes de l'électrolyseur soit supérieure à $4,07 \text{ V}$.

3.3.1.2. Electrolyse de chlorure de sodium dissout dans l'eau sur anode de platine et cathode identique

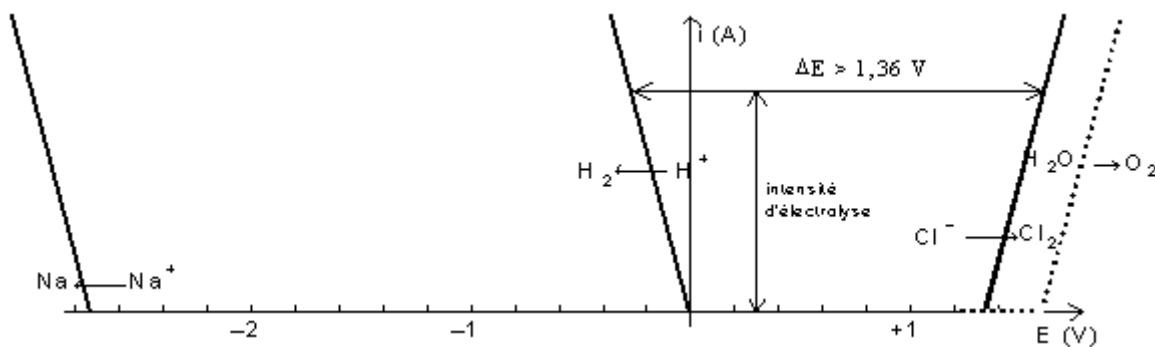


Figure 12. Détermination des paramètres de l'électrolyse de solution aqueuse de NaCl avec anode et cathode de Pt platiné sur les courbes intensité-potential du système électrochimique Na /Cl [29]

Les couples de l'eau interviennent également ici

$$E_3 = 0 \text{ V} ; \text{O}_2/\text{H}_2\text{O}, E_4 = 1,23 \text{ V}$$

Sur le platine platiné, la surtension du couple $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ vaut $0,37 \text{ V}$. On constate qu'à partir du moment où la d.d.p. imposée entre les électrodes vaut $1,36 \text{ V}$, l'électrolyse commence car H^+ et Cl^- se déchargent avant les autres ions de même nature. On récupère donc H_2 à la cathode et à l'anode.

N.B. : La surtension de H_2 est négligeable sur le platine.

Le platine étant trop cher, on utilise souvent une anode de graphite et une cathode en fer. La surtension de $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ sur le graphite vaut $1,6 \text{ V}$, celle de Cl_2/Cl^- sur le

graphite est nulle et celle de H^+/H_2 sur le fer vaut 0,09 V. L'électrolyse donne également de l'hydrogène et du chlore, en utilisant une d.d.p. à peine supérieure :

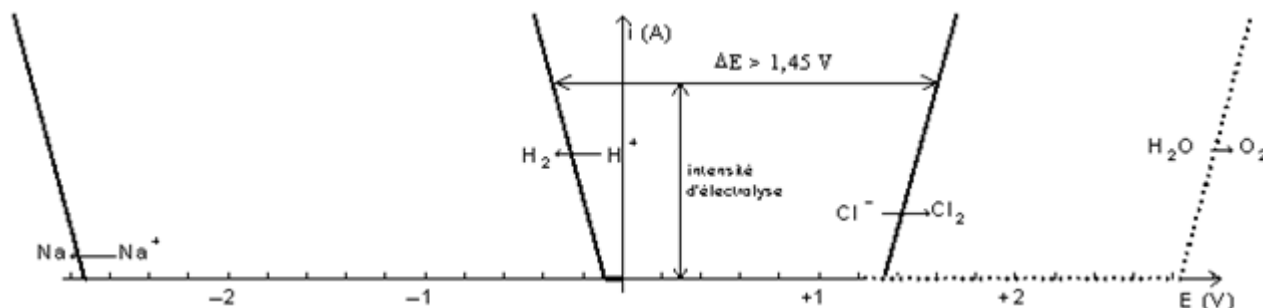


Figure 13. Détermination des paramètres de l'électrolyse de NaCl fondu avec anode de graphite et cathode de fer sur les courbes intensité-potentiel du système électrochimique Na /Cl [29]

3.2.2. Application industrielle

Il existe essentiellement deux types d'électrolyseurs ayant comme anode du carbone et comme cathode du fer

➤ Le premier présente un agitateur qui met en contact le chlore et la soude se formant à la cathode lors du dégagement d'hydrogène. Il y a donc dismutation du chlore en ions chlorure et hypochlorite : c'est une solution d'eau de javel :

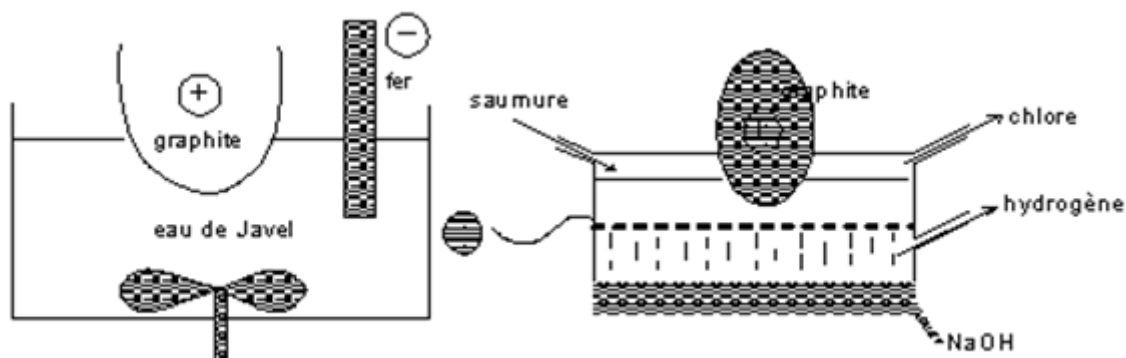


Figure 14. Schémas des 2 électrolyseurs industriels à anode de Carbone et à cathode de fer [27]

L'électrolyse à cathode filtrante permet de récupérer séparément le chlore (pour la synthèse des dérivés halogénés) et l'hydrogène (pour la synthèse de l'ammoniac).

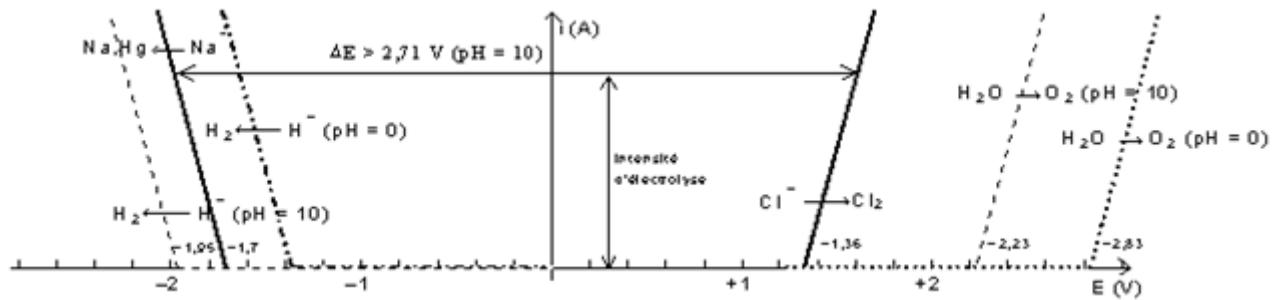


Figure 15. Détermination des paramètres de l'électrolyse industrielle de NaCl avec anode de graphite et cathode de fer sur les courbes intensité-potential du système électrochimique Na /Cl [29]

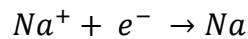
3.3 Tension de décomposition

Lorsque le courant électrique passe dans la solution, des corps dus au phénomène d'électrolyse apparaissent aux électrodes. Ces corps dont la présence est simultanée avec celle des ions qui leur ont donné naissance constituent des couples d'oxydo-réduction. Ainsi, lors de l'électrolyse de la solution de NaCl, il s'établit à la cathode un couple Na^+/Na à l'anode $\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-$.

Chaque couple possède un potentiel d'oxydation bien défini et constitue une demi-pile. Ces deux couples étant reliés par un conducteur, ils forment un élément galvanique doué de sa propre force électromotrice. Le sens de cette force est opposé à celle d'origine extérieure que l'on utilise pour l'électrolyse. En effet, dans le cas de l'électrolyse de la solution de 1M de NaCl, le potentiel du couple Na^+/Na , établi à la cathode, est égal à sa valeur normale égale à -2,71V. Tandis que le potentiel du couple $\text{Cl}_2/2\text{Cl}^-$ est égal à +1,36V. On sait que le couple disposant d'un potentiel moindre (Na^+/Na) joue dans la pile le rôle négatif, c'est-à-dire qu'il cède des électrons passant par le circuit. Donc, durant l'activité de l'élément galvanique s'établissant par suite de l'électrolyse, le phénomène suivant se réalise à la cathode :

Ce phénomène de même que le sens du courant dans le circuit est en opposition avec ceux qui naissent au cours de l'électrolyse sous l'influence de la f.é.m. opposée il y a dissolution du sodium s'oxydant en ions Na^+ . Pendant l'électrolyse les électrons se déplacent vers la cathode en venant de la pile ; par contre dans la situation étudiée, ils s'éloignent de la cathode en direction de la pile et, de là, passent vers l'anode. De même, des phénomènes de sens opposé à

l'électrolyse, naissance d'électrons et réduction du chlore libre en ions Cl^- se produisent à l'anode.



Ainsi, à la suite de l'apparition aux électrodes des produits d'électrolyse, il se crée dans le système une f.é.m. opposée à la f.é.m. extérieure provenant de la source du courant. Ce fait porte le nom de polarisation électrochimique ; la f.é.m. opposée qui apparaît s'appelle force électromotrice de polarisation.

La polarisation électrochimique ne dépend pas de la densité de courant ; elle se produit lorsqu'aux électrodes apparaissent des produits d'électrolyse qui sont différents de la matière avec laquelle a été fabriquée l'électrode.

La polarisation peut avoir pour cause non seulement l'apparition aux électrodes de nouveaux couples oxydo-réducteurs, mais aussi, comme dans l'exemple étudié, la modification des concentrations ioniques pendant l'électrolyse. Ainsi durant l'électrolyse d'une solution de NaCl si l'on utilise des électrodes en graphite et en acier inoxydable, il y aura à dépôt de sodium en contact de l'eau devient de la soude caustique à la cathode et à l'anode du dégagement de chlore gazeux

CHAPITRE 4. Analyse de type d'appareillage à élaborer pour la fabrication de l'eau de javel

Après les considérations et analyse des résultats des techniques d'électrolyses industrielles présentées précédemment et surtout de l'analyse des défauts constatés sur ces techniques et celle des problèmes rencontrés, nous envisageons de mettre en œuvre au cours de l'électrolyse un mélange liquide gaz

4.1 Méthode de mise en mélange de NaOH et de Cl_2 pour produire de l'eau de javel

Cette méthode peut être réalisée suivant deux techniques

4.1.1. Agitation [9]

Le rôle de l'agitateur est double: il crée une dispersion du point de vue physique et une absorption du point de vue chimique.

L'agitateur est en général constitué d'une turbine à n pales de formes variables selon l'utilisation.

Cette agitation permet les meilleures conditions de contact entre le gaz chlore et le liquide NaOH.

4.1.2. Mélangeur statique[9]

Ici, seul le gaz est en mouvement. Suivant le régime de son écoulement, le mélange gaz-liquide s'opère par fractionnement et déplacement transfert radial et par inertie

4.2 Schéma général d'appareillage adopté

Dans les paragraphes précédents, nous avons fait un choix de méthodes de production de chlore et de soude à partir du sel (NaCl) et la méthode de mise en mélange de ces deux matières pour obtenir de l'eau de javel. Pour la mise en œuvre de ces 2 méthodes choisies, nous avons conçu le schéma général du circuit électrique de notre montage montré par la figure suivante :

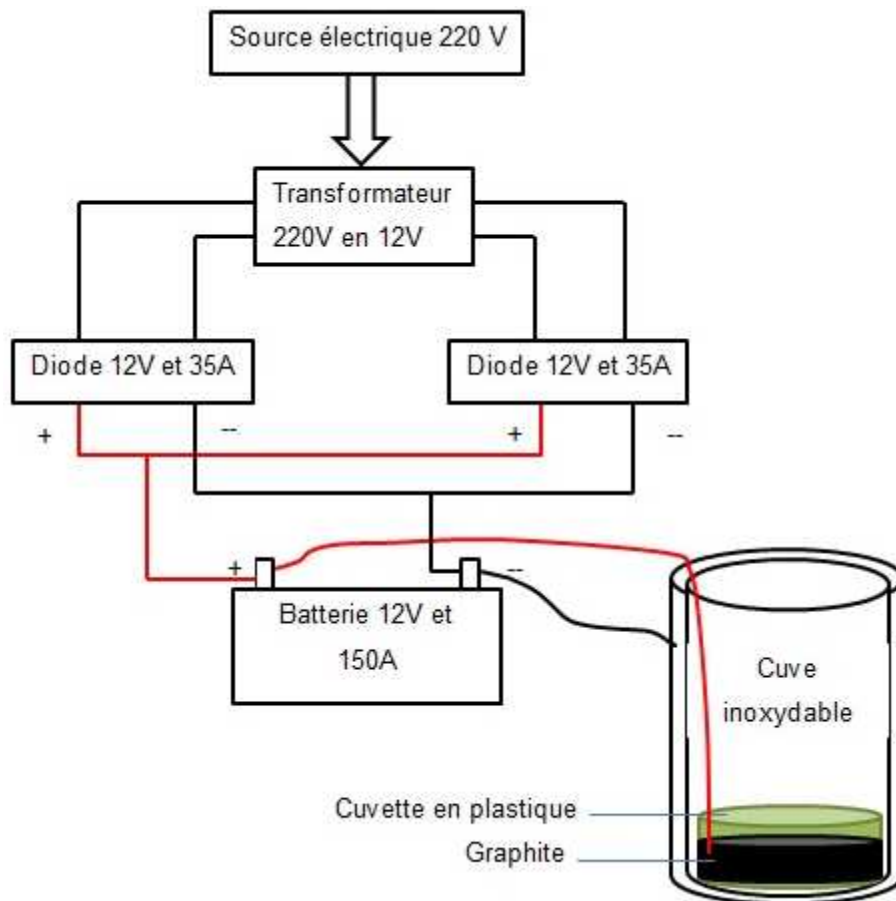


Figure 16. Processus de fabrication d'eau de javel

4.3 Avantage et utilisation de l'appareillage adopté

Les vertus apportées par la machine de production d'eau de Javel sont très nombreuses. Le système paraît moins coûteux, facile d'utilisation, applicable dans divers domaines. De plus, le chlore actif présent dans l'eau de Javel est élevé.

En particulier, non seulement cet appareil permet une production d'eau de Javel mais il permet aussi la production de NaOH et de Cl_2 . Ces productions sont des produits chimiques à usage très courant dans les industries.

4.4 Conclusion partielle

Dans cette première partie, nous avons vu l'origine de l'eau de javel, ses différentes propriétés, méthodes et appareillages permettant sa fabrication. Ses multiples vertus dans les domaines médicaux, industriels, sans énumérer son importance dans la vie quotidienne nous prouvent l'intérêt de concevoir un appareil permettant d'en produire en grande quantité.

CHAPITRE 5. Analyse des résultats obtenus à l'échelle de laboratoire

5.1 Historique

Par suite de la demande d'une Société industrielle de fabrication de détergents implantée à Antananarivo et par la suite d'une coopération entre ESPA et cette société, nous avons réalisé dans le cadre de notre mémoire d'ingénieur en Génie Chimique, des études au niveau de laboratoire sur « la conception d'un appareil pour l'obtention d'eau de javel ». (Année 2012) les résultats sont obtenus dans le laboratoire du département de Génie Chimique avec un encadreur enseignant de l'ESPA et d'un ingénieur chimiste responsable de la société.

Les résultats sont encourageants et permettent d'envisager une mise en application industrielle.

5.2 Rappel des résultats obtenus au laboratoire [3]

Pour la réalisation de la production d'eau de javel au laboratoire nous avons utilisé essentiellement des matériels de laboratoire. Seulement, l'équipement électrique était conçu par nous-même et il s'agit des composantes de petite taille comme :

- ✓ Un transformateur (12V et 7 A)
- ✓ Diode de faible puissance (12 V et 7 A)
- ✓ Batterie 12 V et 80 Ah

Tableau des résultats obtenus (Rappel)

Tableau 2. Les essais effectués [3]

N°essai	Quantité de taux	Coloration de l'eau de Javel	Degré chlorométrique obtenue	Durée	pH
1	1 litre	Trouble	60	1h: 30	11,5
2	1 litre	Trouble	80	2h: 15	11,3
3	1 litre	Trouble	76	2h:00	11,1
4	1 litre	Trouble	79	2h: 07	11,2
5	1 litre	Trouble	77	1h: 56	11.0
Moyenne	1 litre	Trouble	74,4	1h: 58	11,2

Ce tableau présente les caractéristiques de l'eau de javel obtenue

Nous constatons que durant les essais expérimentaux au laboratoire, le dégagement de Cl_2 au niveau de l'anode en graphite est constaté effectivement. Le mélange liquide gaz est obtenu par l'évacuation du gaz Cl_2 par un tuyau en PVC vers une cuve contenant de $\text{NaOH}_{\text{liquide}}$ de $\text{pH} = 11,5$.

L'eau de javel est obtenue après 1h:30 d'électrolyse

La cathode utilisée est en acier sous forme d'un boulon de 3cm transperçant le fond de l'électrolyseur qui est une petite cuvette en plastique.



Photo. 1. Electrolyseur expérimental de laboratoire [3]

5.3 Analyse des résultats

En vue de l'utilisation de ces résultats à l'échelle pilote notre analyse de ces résultats nous conduit à des considérations suivantes:

Le transformateur utilisé au labo libérant 7A doit être remplacé par un autre capable de libérerA à l'échelle pilote.

Les diodes de redressement utilisées au laboratoire libérant 7A doivent être remplacé par des diodes capables de libérer 70 A.

Concernant les électrodes pour permettre une production importante de l'ordre 30 Litres par phase d'électrolyse, elles doivent avoir une surface beaucoup plus importante. Ainsi nous avons envisagé d'utiliser une cuve électrolyseur de très grande capacité utile (30 Litres) pour les études à l'échelle pilote.

DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDES EXPÉRIMENTALES

CHAPITRE 6. Méthodologie expérimentale

Après la partie 1, qui a mis en exergue l'intégrée sur notre projet de fabrication de l'eau de javel par la méthode d'électrolyse de NaCl couplé à notre méthode de mélange liquide gaz. Nous avons dans cette partie présentée des différents résultats de notre recherche bibliographique pour permettre une élaboration d'un appareillage d'électrolyse de moindre coût. Cette partie 2 est axée sur la recherche expérimentale des données techniques, technologiques et fonctionnelles à l'échelle pilote

6.1 Contexte

Le contexte de notre étude expérimentale est le désir de monter un projet de réalisation industriel. On sait que ce type de projet peut se présenter sous forme d'élaboration et de montage d'un appareil nouveau.

Ou sous forme d'une production d'un nouveau produit industriel

Ou sous forme de création de produit industriel nouveau.

Ce projet de réalisation industriel quel que soit sa forme nécessite des études techniques, technologiques et financière et surtout étude de simulation.

Ces études se fait généralement en quatre étapes :

1^{ère} étape : étude au niveau de laboratoire pour avoir les premières données de faisabilité

2^{ème} étape : étude à l'échelle pilote, il s'agit de la mise en application des résultats obtenus au niveau de laboratoire mais à une échelle supérieure (échelle pilote). Cette étape servira aussi à la recherche d'autres données nécessaires.

Ces 2 premières étapes constituent une phase de projet communément appelé « avant-projet d'identification »

3^{ème} étape : étude de faisabilité technico-financière du projet de la réalisation industrielle. Cette phase constitue un avant-projet financière. On utilise dans cette phase les données à l'échelle de donnée technique et technologique à l'échelle pilote pour voir le rendement financier du projet.

4^{ème} étape : réalisation proprement dite du projet à l'échelle vraie grandeur.

6.2 Objectifs expérimentaux de la mise en œuvre des matériels d'électrolyses

Ces objectifs sont :

- Analyse des résultats de laboratoire effectués
- Finalisation de la forme des techniques d'électrolyses à adoptées
- Elaboration du schéma de l'appareillage d'électrolyse à adopter : étude et calcul sur les composantes de l'appareillage
- Réalisation pratique des composantes de l'appareillage
- Réalisation des essais à vide des composantes de l'appareillage avec des mesures
- Réalisation des essais de fabrication de l'eau de javel avec des mesures de caractéristiques fonctionnelles et en utilisant l'appareil conçu et monté

6.3 Démarche expérimentale de la conduite de la réalisation de l'étude expérimentale

Cette démarche cherche à obtenir le maximum des données expérimentales pour une production à l'échelle pilote. Elle tiendra compte des analyses des résultats obtenus à l'échelle de laboratoire.

Les différentes étapes dans cette démarche expérimentale sont celles pour atteindre les objectifs présentés précédemment

CHAPITRE 7. Etude des composantes de l'équipement électrique de l'électrolyseur et de ses accessoires

7.1 Objectifs de l'étude

Le principal objectif de l'étude des composantes de l'équipement électrique et de l'électrolyseur et de ses accessoires est d'avoir des données techniques et technologiques de l'appareillage. Ces données touchent le volet structurel, fonctionnel, dimensionnel de ses composantes de l'appareillage à l'échelle pilote.

7.2 Etude et calcul des composants de l'appareillage d'électrolyse expérimentales

7.2.1. Matériaux nécessaires pour la confection de l'appareillage expérimental

Les composantes de l'appareillage expérimental d'électrolyse nécessaires sont :

- Une cuve cylindrique inoxydable de 40 cm de Diamètre et de 60 cm de hauteur
- L'anode qui est un mélange de 2/3 de graphite et 1/3 de ciment
- Une batterie de 12 V et 150 Ah
- Une alimentation de 12V et 70 A formé d'un transformateur de grand modèle et de deux diodes de grande puissance
- Fil électrique pour relier le tout 5m

7.2.2. Calcul de densité de courant à utiliser

Théoriquement, la production de l'eau de Javel avec un électrolyseur dépend surtout de l'intensité du courant et de la surface de la cuve d'où la densité du courant.

On sait que la densité du courant : $= I/S$

Avec l'intensité du courant donnée par la batterie et l'alimentation qui vont être montés en parallèle, on obtient $220 \text{ A} = 0,220 \text{ KA}$

La surface de la cuve cylindrique inoxydable est de

$$S = \pi R^2$$

Alors on a: $R = 0,2 \text{ m}$

Donc on obtient

$$S = \pi . 0,2^2 = 0,125 \text{ m}^2$$

Ainsi la densité du courant de l'électrolyseur est

Avec les valeurs des données, on obtient une densité de courant 17.600 KA qui pourrait bien favoriser notre expérience.

7.2.3. Etude et calcul concernât les électrodes

➤ L'anode à utiliser est en forme d'une couche de graphite recouvrant le fond de la cuve électrolyseur. Sa surface utile effective est :

Diamètre de la cuve électrolyseur $D = 40 \text{ cm}$

SU utile de l'anode = 4

Volume de l'anode en graphite.

Epaisseur de l'anode (en couche) : 7cm

Volume de $S_v . e = 8796,48 \text{ cm}^3$ l'anode =

Ce volume de l'anode est confectionné avec un mélange de ciment (1/3 en volume) et de graphite (2/3 en volume).

Le graphite utilisé est graphite sous forme de paillette. Ce matériau est très abondant à Madagascar (société Gallois SirakamboBrickaville). Il contient un pourcentage en masse de carbone 90% à 95%. Cette caractéristique le rend excellent conducteur de courant.

Pour avoir un aspect compact de l'anode, le graphite devrait être mélangé avec du ciment.

Afin de garder la conductivité électrique nécessaire de l'anode, nous avons opté la composition suivante : ciment = 1/3 en volume et graphite = 2/3 en volume. Pour cela, bien mélanger le tout et ajouter un peu d'eau et mélanger à nouveau afin que notre anode soit uniforme. Mettre dans une cuvette en plastique qui servira comme moule et presser le tout pour qu'il ne puisse pas y avoir des bulles d'air et pour que le graphite et le ciment se collent bien.

➤ Les parois interne de la cuve électrolyseur (H = 30 cm, $\phi=40$ cm) constituent la cathode.

Surface utile et effective de la $\pi D.H = 3769,91cm^2$ cathode S =

7.2.4. Etude et calcul de la boite d'alimentation

La boîte d'alimentation électrique est composée de :

- Transformateur
- Redresseur monophasé (diode)
- Refroidisseur en aluminium accompagné d'un ventilateur

Fil électrique de connexion

7.2.4.1. Calcul sur le transformateur

Comme le transformateur à utiliser est de type abaisseur de tension, on doit avoir pour les besoins de notre étude expérimentale à l'échelle pilote :

Une tension d'entrée 220V efficace

Une tension de sortie 12V efficace pour alimenter une batterie électrique. La confection de ce transformateur doit tenir compte de ces données (problème de bobinage de circuit primaire et secondaire du transformateur)

On a :

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1}$$

N_1 = nombre de spire de bobine primaire

N_2 = nombre de spire de bobine secondaire

U_2 = tension efficace à la sortie

U_1 = tension efficace à la rentrée

Pour un nombre 147 spires primaires,

Pour un nombre N_2 de 8 spires secondaire permettant une tension de sortie $U_2 = 12V$ efficace

Nous devons avoir un nombre N_1 de 147 spires primaires sous $U_1 = 220V$ efficace

7.2.4.2. Calcul sur les diodes

Leur principal rôle est de faire le redressement du courant alternatif d'alimentation dans le but d'avoir un courant continu nécessaire à l'électrolyse. Les diodes doivent avoir les caractéristiques électroniques suivantes :

- Tension : 12 V
- Courant : de l'ordre de 35 A

Pour obtenir un courant de sortie de diode de 70A nécessaire pour notre étude expérimentale nous choisissons un montage en parallèle de ces 2 diodes , car pour ce genre de montage de diodes, on a :

$$I = I_1 + I_2 = 2 \times 35 = 70 \text{ A}$$

I_1 courant de sortie de la première diode

I_2 courant de sortie de la deuxième diode

Il faut tenir compte de prévoir un système de refroidissement du fait d'une possibilité d'un dégagement important de chaleur par les diodes lors de leur

redressement du courant. Ce système de refroidissement des deux diodes est constitué

- d'une plaque en aluminium vissée au corps des diodes de dimensions
- d'un ventilateur de type amplificateur

Nous devons faire remarquer que ce dispositif de diodes redresseuses (voir figure)

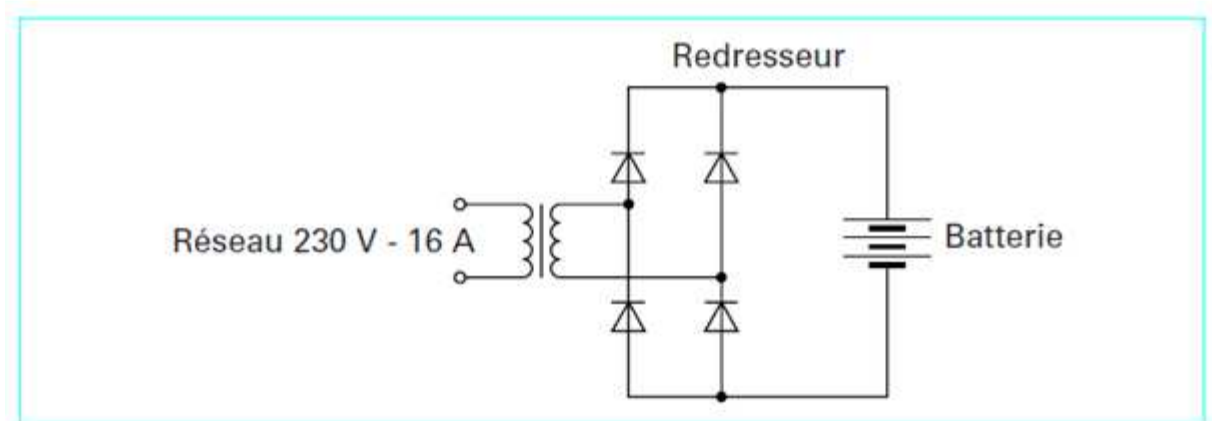


Figure 17. Structure de base d'un chargeur direct

Relié à la batterie électrique est original car il permet non seulement d'obtenir un courant continu mais aussi de charger la batterie

7.2.5. Calcul sur le câblage électrique de câblage

Dans la pratique de montage électrique la section de fil électrique de connexion varie selon son utilisation.

Tableau 3. Diamètre de section des fils

Connexion	Diamètre de section du fil Selon les normes
- transformateur-diode - transformateur-diode - batterie-électrolyseur	3 mm
- transformateur - ventilateur	0,5 mm

7.2.6. Calcul sur la cuve électrolyseur

A l'échelle pilote nous envisageons une production de 30 litres d'eau de javel par phase d'électrolyse. Pour cela, nous avons choisi une cuve cylindrique en acier inox de type industriel ayant les dimensions suivantes :

Diamètre= 40 cm

Hauteur = 60 cm

Cette cuve est de type à double enveloppe.

Le volume utile d'électrolyse correspond au demi de volume interne de cuve c'est-à-dire de hauteur utile 30 cm

$$V_v = \frac{\pi D^2}{4} H = 37499 \text{ cm}^3 = 37,5 \text{ dm}^3$$

7.3 Réalisation pratique des composantes de l'appareillage

7.3.1. Données techniques pour la réalisation pratique

Nous résumons dans le tableau suivant les données pour la réalisation pratique des composantes de l'appareillage expérimentale

Tableau 4. Donné technique pour la réalisation pratique

Composantes	Quantité	Caractéristiques prévus
transformateur	1	Nombre de spires primaires = 147 Nombre de spires secondaires = 8 Tension efficace à l'entrée = 220V Tension efficace à la sortie = 12V
Diodes	2	Tension = 12V Intensité = 35 A par diode Montage en parallèle
Batterie	1	Tension = 12V Intensité = 150 A Puissance = 1800 Wh Type solaire
Refroidisseur des diodes avec ventilateur	1	Plaque en aluminium L = 15 cm l = 8 cm e = 2 cm Ventilateur modèle type amplificateur
Câblage électrique de connexion	4m�tres 1m�tre	Φ section= 3 mm Φ section = 0,5 mm
Cuve �lectrolyseur	1	Forme cylindrique à double enveloppe Dimensions Φ = 40cm Hauteur = 60 cm Matériau : acier inox

		Volume utile d'électrolyse = 30 litres par phase d'électrolyse
Electrode		✓ <u>Anode</u> : 2 couches de graphite moulées sur le fond de la cuve électrolyse $\Phi = 40\text{cm}$ Epaisseur = 7 cm Surface utile = 1256 cm^2 ✓ <u>Cathode</u> : paroi latérale interne de la cuve électrolyseur Surface utile = 3768cm^2

7.3.2. Remarque

Nous avons effectué quelques adaptations techniques sur ces données.

7.3.2.1. Concernant le transformateur

Le transformateur utilisé est une pièce d'occasion. D'abord, nous avons fait des mesures sur cette pièce :

147 spires primaires et 17 spires secondaires ont été dénombrées sur cette pièce. Ce qui donne après les mesures de tension de sortie : 26V efficaces.

Or nous avons besoin 12V efficace comme sortie. Alors, nous avons fait un réajustement de cette tension en supprimant 9 spires secondaires.

7.3.2.2. Concernant l'anode

Après le séchage de l'anode moulé, nous avons pris une grille en acier que nous l'avons intercalé entre les deux couches de graphite pour que le courant dans l'anode soit uniforme.

CHAPITRE 8. Réalisation des essais expérimentaux à l'échelle pilote

Les données présentées et détaillées dans le tableau donné technique pour la réalisation pratique avec le montage d'appareillage dont la représentation photographique sera présentée ultérieurement, nous servirons pour avoir des données de fonctionnement essentielles à l'échelle pilote. Ces données seront encore complétées au cours des essais expérimentaux que nous réaliserons avec ces montages.

8.1 Montage de l'appareillage confectionné

L'appareillage effectivement confectionné selon les données présentées et détaillées dans les paragraphes précédents peut être schématisé dans l'ensemble comme dans la figure suivante

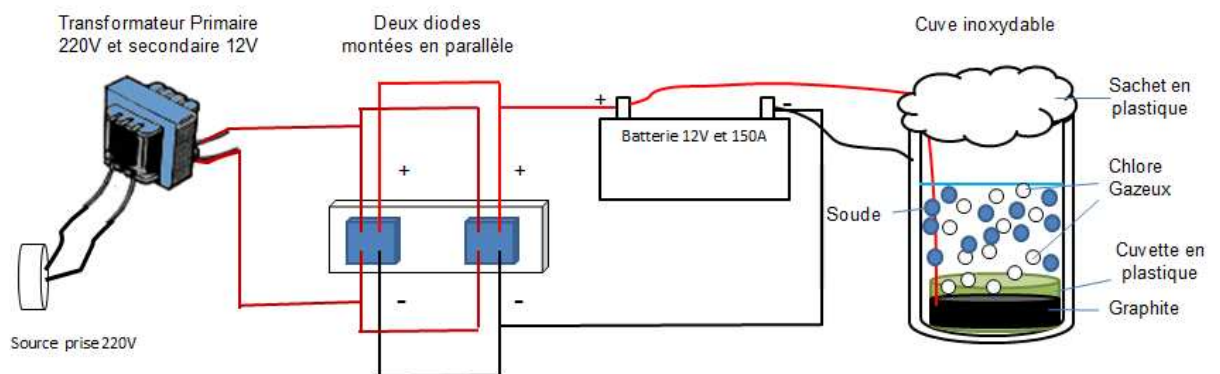


Figure 18. L'appareil une fois confectionné

Aux cours de nos essais expérimentaux, ce montage est installé comme montre la photo suivante.



Photo. 2. L'appareillage confectionné et utilisé

8.2 Essais à vide du montage de l'appareillage

Pour vérifier l'opérationnalité du montage à utiliser pour l'étude expérimentale, nous avons procédé à des essais à vides de chaque composante du montage.

8.2.1. Essai à vide du transformateur

Pour vérifier que la transformateur fonctionne bien nous avons mis le secteur du transformateur sur le prise de 220V et on a bien vérifié sur le multimètre qu'il fonctionne très bien. Le chiffre indiqué sur le multimètre est de 12,8 V.



Photo. 3. La valeur de la tension donnée par le multimètre du transformateur

8.2.2. Essai à vide des deux diodes

Nous avons mis en place les deux diodes en parallèle et nous avons mis les circuits en marche et on a obtenu une tension de 13,67V. Ainsi nous pouvons dire que les deux diodes fonctionnent.



Photo. 4. La tension donnée par les deux diodes

8.2.3. Essais à vide de la batterie

La batterie joue le rôle d'accumulateur dans notre expérience donc elle est nécessaire de bien vérifier que la batterie donne la tension nécessaire.



Photo. 5. Batterie expérimentale

Notre batterie donne une tension de 12,8 V indiqué sur le multimètre.

8.2.4. Essai à vide e l'anode

Puisque la résistivité donnée par le multimètre est égale à 0 Ω .cm, soit une conductivité infinie donc l'anode (le graphite) est donc très conductrice de courant. Equivalent court-circuit.



Photo. 6. La résistivité du graphite expérimentale

La photo nous montre que le graphite utilisé est un conducteur électrique. Varie en fonction de la surface de l'électrode.

8.2.5. Essai à vide de saumures utilisées

Il s'agit de vérification si les saumures (eau + NaCl) avec une certaine concentration bien définie peuvent constituer un excellent électrolyte.

Après le mélange du sel et de l'eau, nous avons mesurés la résistivité avec le multimètre.



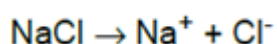
Photo. 7. La résistivité de la saumure

Le multimètre indique une valeur de 3 Ω .cm. Nous pouvons dire que notre solution est conductrice

8.2.6. Essais à vide de l'ensemble du montage

Pour cet essai à vide nous utilisons du saumure de concentration 300g/litre comme électrolyte.

On sait que la solution la solution ionique de chlorure de sodium NaCl (sel de cuisine) se décompose en :

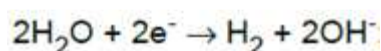


Avec des électrodes inertes utilisées (comme le graphite par exemple), les espèces chimiques en présence dans la solution sont l'eau H_2O , les ions sodium Na^+ et les ions chlorures Cl^- ; les réactions d'oxydoréduction y sont alors :

➤ Réductions à la cathode :

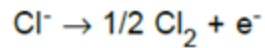


Le couple redox Na^+/Na a un potentiel standard $E^0_1 = -2,71 \text{ V}$



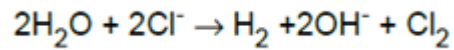
Le couple redox $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$ a un potentiel standard $E^0_2 = 0 \text{ V}$ plus élevé que E^0_1 , c'est donc cette réaction qui aura lieu à la cathode.

➤ Oxydation à l'anode (dégagement de dichlore) :



Potentiel standard du couple Cl^-/Cl_2 $E^0 = 1,36 \text{ V}$

La réaction bilan est par conséquent :



On a un dégagement de dihydrogène et d'ions hydroxyde OH^- à la cathode et dégagement de dichlore à l'anode.



Photo. 8. A la cathode (Cuve inoxydable) dégagement d'ions hydroxyde mis en évidence par coloration en rose de la phénolphtaléine

A la cathode on met en évidence les ions hydroxyde en introduisant quelques gouttes de phénolphtaléine qui vire au rose à leur contact.



Photo. 9. A l'anode (le graphite dans le cuvette) dégagement de gaz chlore mis en évidence par les dégagement des bulles

La photo nous montre le dégagement du chlore au niveau de l'anode, ce qui implique que l'anode en graphite pourrait être utilisée dans notre expérience.

8.2.7. Interprétations des résultats obtenus

Les analyses des résultats obtenus montrent que dans l'ensemble que les paramètres opératoires d'opérationnalité des différentes composantes de l'appareillage expérimental sont satisfaisants et permettent un bon fonctionnement de l'appareillage : diverses tensions, ampérages, dégagement effectif du chlore gazeux, formation des ions OH⁻.

Nous avons constaté au cours de ces essais à vide, surtout concernant la batterie, une courte durée de charge de la batterie dans le cas de son épuisement. (Durée 30 minutes). Ce qui permet d'envisager la réalisation d'une production presque continue de l'eau de javel et des autres sous-produits comme la soude et le chlore gazeux.

8.3 Essais de l'utilisation de l'appareillage confectionné dans la fabrication de l'eau de javel

8.3.1. Procédure de la mise en œuvre des essais

Pour chaque essai, nous procédons comme suit :

8.3.1.1. Préparation de la saumure

Cette saumure doit avoir une concentration de 300g de NaCl par litre d'eau. On utilise des gros sels vendus dans le commerce.

- Mettre du sel dans la cuve cylindrique inoxydable (9 kg de sel)
- Ajouter de l'eau déminéralisée dans la cuve cylindrique inoxydable (30 kg d'eau déminéralisé)
- Mélanger pour bien dissoudre le sel

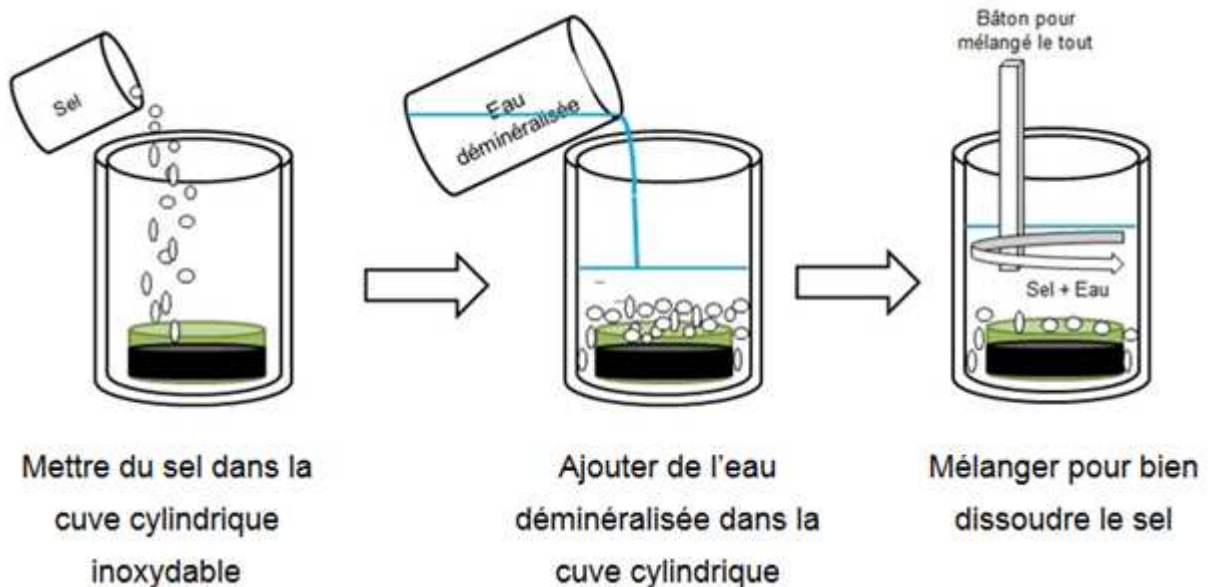


Figure 19. Le processus de dissolution du sel

8.3.1.2. Assemblage de l'appareillage

Nous insistons surtout à la vérification de l'état de connexions dans l'appareillage monté.

8.3.1.3. Réalisation proprement dite des essais de fabrication de l'eau de javel

L'objectif pour chaque essai est de produire 30 litres par phase d'électrolyse et l'eau de javel à obtenir doit avoir la même caractéristique en degré chlorométrique et en pH que les produits commerciaux.

Tableau des résultats obtenus

Tableau 5. Les essais effectués

Essai	Date de réalisation	Objectif	Condition de réalisation	Résultat	
		Recherche de la durée de production	I = 220 A U = 12,8 V C = 30 dm ³	Durée de l'électrolyse En moyenne 1h 50mn	Prélèvement échantillons d'eau de javel
1	04/12/13			1h : 30mn	Echantillon 1
2	06/12/13			1h : 40mn	Echantillon 2
3	10/12/13			1h : 50mn	Echantillon 3
4	12/12/13			2h : 00mn	Echantillon 4
5	14/12/13			2h : 10mn	Echantillon 5

Pour caractériser l'eau de javel obtenue, nous avons procédé à des analyses au laboratoire des échantillons des produits prélevés.

Tableau des résultats des échantillons d'eau de javel

Tableau 6. Résultats des analyses

N° échantillon	% chlore actif	Degré chlorométrique	pH
1	16,8	56	11 ,0
2	18,5	61	11,2
3	19,3	64	11,1
4	19,7	65	11,3
5	19,6	65	11,3

8.4 Interprétation

Sur le plan duré de l'électrolyse de l'électrolyse, les résultats indiquent une certaine performance du dispositif expérimental conçu, confectionné et utilisé. Cette performance est satisfaisante : l'électrolyse est assez rapide et tellement quantitative.

Sur le plan de la qualité de l'eau de javel si nous faisons une comparaison avec des valeurs de degré chlorométrique de référence : 30° degré chlorométrique pour l'eau de javel commerciale. Donc, on peut obtenir une eau de javel commerciale par dilution deux fois de l'eau de javel expérimentale.

CHAPITRE 9. Perspective de l'utilisation de l'appareillage de l'électrolyse étudié

9.1 Avantage et inconvénient de l'appareillage d'électrolyse

Notre étude bibliographique et les essais expérimentaux à l'échelle pilote de l'utilisation de notre appareil d'électrolyse en vue d'une production locale de l'eau de javel nous permettent de conclure :

- ✓ Appareil est d'une conception simple et utilise une méthode assez performante et valorisante : production assez rapide de l'eau de javel et des sous-produits d'importance économique avérée comme la soude et le chlore gazeux.
- ✓ Les matériaux de confections de l'appareil sont facilement trouvables sur place : graphite pour l'anode et les composants électriques (transformateur, diode), cuve électrolyseur.
- ✓ La méthode d'électrolyse utilise comme matière première principale les gros sels marins dont les coûts sont très modiques.
- ✓ Comme source d'énergie nous pouvons utiliser avantageusement le système du panneau solaire.

Toute fois malgré la simplicité dans sa conception et dans la méthode d'électrolyse appliquée, nous avons constaté des inconvénients :

- ✓ Il faut charger la batterie avant l'expérience, la charge prend un peu de temps (environ 1h) ;
- ✓ Il y a un peu de résidu (sel) si tout le sel utilisé n'est pas entièrement dissout.

9.2 Perspective d'utilisation pour une production industrielle

Les essais expérimentaux à l'échelle pilote réalisé montre que la capacité effective d'électrolyse est de 30 litres d'eau de javel produit par phase d'électrolyse, nous n'avons pu effectuer qu'une phase d'électrolyse par demi-journée. Car nous avons encore réalisé des préparations préliminaires : préparation des sels et la

saumure, préparation des composantes de l'appareillage, l'assemblage de l'appareillage.

Si on envisage une production industrielle ou semi industrielle de l'eau de javel, nous pouvons démontrer par calcul à partir des résultats que nous avons obtenus par échelle pilote :

- Durée moyenne d'une phase d'électrolyse 110 minutes
- Durée d'une phase de charge de la batterie utilisée : 60 minutes
- Capacité effective d'électrolyse 30 litres par phase d'électrolyse

Durée totale phase électrolyse + phase charge de batterie $110 + 60 = 170$ minutes.

- Durée (en minutes) d'une journée de production $8\text{heures} \times 60 = 480$ minutes

Soit avec l'appareil étudié, on peut réaliser un nombre de phase électrolyse + charge batterie

$$480 / 170 = 2 \text{ phases.}$$

Soit, l'appareil a une capacité de production de $30 \text{ litres /phase} \times 2 \text{ phases} = 60 \text{ litres par jour.}$

Une production industrielle de 1000 litres par jour (production minimal) selon le norme habituel nécessite l'utilisation d'un nombre d'appareillage expérimental égal à $1000 \text{ litres} / 60 \text{ litres} = 17$ appareils

Donc un projet industriel doit tenir compte de ces considérations et aussi de l'étude de l'impact environnemental que nous présentons dans la prochaine partie III.

9.3 Conclusion partielle

Les essais expérimentaux nous montrent, en présence de plusieurs installations, qu'une échelle industrielle sera envisageable. Notre appareil donne la possibilité de profit, car le résultat est bon même si la préparation prend un peu de temps. Notre appareil pour la fabrication d'eau de Javel pourra être réalisé partout car les matières premières nécessaires sont présentes sur le territoire. Même l'entretien de notre appareil ne nécessite pas beaucoup de financement.

**TROISIÈME PARTIE : ÉTUDE
FINANCIÈRE DE FAISABILITÉ ET
APPROCHE ENVIRONNEMENTALE**

CHAPITRE 10. Etude financière et faisabilité

Après les essais d'expérimentation , il est intéressant de faire une étude financière de faisabilité même si elle est sommaire Cette étude permet de faire une évaluation des d'investissements que nous devons entreprendre pour la confection de montage d'électrolyseur testé et la mise en œuvre de cette appareillage dans un projet de fabrication locale de l'eau de Javel par une petite unité semi-industrielle

10.1 Brève description du projet d'utilisation de l'apprentissage d'électrolyse de production d'eau de javel

Pour nous permettre de faire des estimations assez sommaires financières de l'utilisation de notre appareillage d'électrolyse, nous pensons à mettre en œuvre un projet de production locale d'eau de javel commercial (détergent) à l'échelle artisanal. Ce projet utilise un petit atelier hangar en bois et un personnel réduit composé d'un gérant propriétaire et deux ouvriers journaliers. La capacité de production est fixée à 120 litres d'eau de javel commercial (30° chlorométrique) par jour.

10.2 Evaluation de l'investissement

L'investissement est une décision nécessaire au développement de l'atelier et l'engagement des ressources durables et non durables. Il dépend des ressources à mettre en place afin d'en tirer des bénéfices pendant une longue période future, aussi la capacité d'investir.

10.2.1. Les infrastructures

Dans cette sous-section, il s'agit des coûts des matériels pour le fonctionnement de la recherche.

10.2.2. Terrain

Pour la concrétisation, il faudra acquérir 200 m² de terrains au prix unitaire de 40 000 ariary /m². Pour garantir la rentabilité, nous avons choisi des terrains dans les zones périphériques de la ville pour mieux accès aux voitures et de préférence ceux de la JIRAMA. Le coût total du terrain s'élève à 8 000000ariary.

10.2.2.1. Construction

La construction prévue est un bâtiment de type hangar construit en bois dur pour établir l'atelier. Le montant total de constructions se monte à 3 500 000 Ariary.

10.2.2.2. Installation technique

Les installations techniques comprennent les équipements, électricité et matériels nécessaires à l'exploitation et à la commercialisation. Leurs coûts s'élèvent à 1 463 000 Ariary

10.2.3. Matériels techniques

Nous allons détailler les matériels techniques comme suit :

- Cuve cylindrique inoxydable de 40cm de diamètre et de 60cm de hauteur
- L'anode 2/3 graphite et 1/3 de ciment,
- Une batterie de 12v et 150 A,
- Une alimentation 12V et 70A,
- Fil électrique tout les 4m
- 10 Bidons de 20L
- Tuyau de 4m.

Voici le tableau récapitulatif des matériels techniques :

Tableau 7. Les matériaux techniques

ELEMENTS		Nombre s	prix	Montant
Cuve cylindrique inoxydable de 40cm de diamètre et de 60cm de hauteur		1	400 000,00	400 000,00
L'anode 2/3 graphite et 1/3 de ciment,	Graphite	5kg	600	3 000,00
	Ciment			2 000,00
Une batterie de 12v et 150 A,				500 000,00
Une alimentation 12V et 70A,	Transfo			120 000,00
	Diode			10 000,00
Fil électrique tout les 4m		4m	6000	24 000,00
10 Bidons de 20L		10	1000	10 000,00
Tuyau 4m.		4m	3000	12 000,00
TOTAL				1 081 000,00

Enfin, nous allons résumer sous forme de tableau le montant des investissements de cet atelier

10.3 Total des investissements

Tableau 8. Capitaux nécessaire

ELEMENTS	VALEUR [Ar]
Terrain	8 000 000
Constructions	3 500 000
Installations techniques	1 463 000
Matériels techniques	1 081 000,
TOTAL	14044000

Le montant d'investissement s'élève à 6 844 000 Ar, cette somme est toute disponible dans la caisse du concepteur.

10.3 Plan de financement

Le plan de financement est un état financier prévisionnel à moyen terme. Il consiste à déterminer :

Le montant et l'origine des ressources ou capitaux, qui seront nécessaires pour couvrir les besoins de financement à moyen terme, seront constitués essentiellement par les investissements et le besoin en fonds de roulement

Tous les apports et le fonds de roulement sont des initiatives propres du concepteur. Aucune dette ne se relie à la réalisation de ce projet. Cette somme monte de 6 844 000 Ar.

10.4 Le compte de trésorerie

Il s'agit de deux éléments à savoir : l'encaissement et le décaissement.

10.4.1. Le décaissement

10.4.1.1. Les achats de matière première

Ce sont des charges nécessaires pour assurer le fonctionnement de l'atelier. Ils concernent les achats des intrants, c'est-à-dire des achats Eau Déminéralisé, Sel (NaCl) et d'autres matières utilisables.

10.4.1.2. Eau et électricité

C'est la consommation en Eau et Electricité de l'Atelier durant l'exploitation mesurée en Kwh.

10.4.1.3. Les charges du personnel

Notre recherche adopte sa politique salariale en se basant sur les lois en vigueur à Madagascar d'une part, et le système de motivation des personnels, d'autre part. Mais ce projet propose de salarié journalier en respectant le salaire minimum en vigueur et adopte le principe de motivation pour éviter la tentation au vol qui pourra freiner les activités. Le personnel est composé outre le gérant propriétaire de deux ouvriers journalier touchant un salaire de 1000 Ar /heure.

10.4.1.4. Autres charge à décaisser

Il s'agit d'achat d'emballage et des étiquettes pour les produits finis, ce sont de charge décaissable durant l'activité.

10.4.1.5. Récapitulation des charges

Tableau 9. Les charges décaissables

DECAISSEMENT	ANNEE	ANNEE + 1	ANNEE + 2
Les achats matières premières	2 265 600,00	2 492 160,00	2 741 376,00
Les charges du personnel	3 186 000,00	3 504 600,00	3 855 060,00
Eau et électricité	495 600,00	545 160,00	599 676,00
Autres charges à décaisser	3 776 000,00	4 153 600,00	4 568 960,00
TOTAL	9 723 200,00	10 695 520,00	11 765 072,00

Nous constatons qu'il y a une augmentation des charges dès la deuxième année. Cette situation est due à l'évolution de notre activité.

10.4.2. L'encaissement

Les encaissements sont les revenus dus à la vente de produits ou d'autres produits liés à l'activité. Ce sont aussi le chiffre d'affaire annuel effectué par une société ou entreprise.

10.4.3. Les prévisions des chiffres d'affaires

Cet atelier prévoit de produire 78 kg d'Eau de Javel par jour par un prix de 1000Ar/L avec un taux de vente 100%. C'est-à-dire taux d'invendue 0%. Donc ci-après le tableau prévisionnel récapitulant cet effet dans une année.

Tableau 10. Les chiffres d'affaires prévus

ENCAISSEMENT	ANNEE	ANNEE + 1	ANNEE + 2
Chiffre d'Affaire	18 408 000,00	20 248 800,00	20 248 800,00
TOTAL	18 408 000,00	20 248 800,00	20 248 800,00

D'après ce tableau, le montant des chiffres d'affaires augmente de temps en temps. Ils varient de 18 408 000,00 ariary à 20 248 800.00 ariary.

10.4.4. La situation nette de trésorerie

La situation nette de trésorerie est le résultat des activités financières d'une entité ou société.

Tableau 11. La situation nette de trésorerie

ELEMENTS	ANNEE	ANNEE + 1	ANNEE + 2
Vente d'Eau de Javel	18 408 000	20 248 800	20 248 800
ENCAISSEMENT	18 408 000	20 248 800	20 248 800
Les achats matières premières	2 265 600	2 492 160	2 741 376
Les charges du personnel	3 186 000	3 504 600	3 855 060
Eau et électricité	495 600	545 160	599 676
Autres charges à décaisser	3 776 000	4 153 600	4 568 960
DECAISSEMENT	9 723 200	10 695 520	11 765 072
Encaissements	18 408 000	20 248 800	20 248 800
Décaissements	9 723 200	10 695 520	11 765 072
Trésorerie net de période	8 684 800	9 553 280	8 483 728

D'après ce tableau de SNT, nous constatons que le résultat est positif dès que la première année d'activité donc ce projet est profitable et rentable.

CHAPITRE 11. Approche environnementale

11.1 Impact sur le milieu humain

11.1.1. Toxicologie

L'eau de javel est toxique et corrosive. Elle provoque des brûlures sur la peau, les muqueuses (les yeux notamment), surtout sous forme concentrée.

Son inhalation peut provoquer une réaction respiratoire (irritation bronchique, avec œdème dans les cas graves accompagné d'une baisse de la pression partielle de l'oxygène dans le sang) se manifestant par une dyspnée (manque de souffle, sensation d'étouffement) et une toux (qui peut persister plusieurs années).

L'hypochlorite de sodium réagit avec l'azote et les substances azotées, dont celles émises par l'Homme dans les piscines (nitrates d'origine agricole dissous dans l'eau, sueur et traces d'urine...) comme elle peut réagir avec les protéines animales et végétales lors des opérations de désinfection de locaux ou des végétaux, ou dans les égouts ou bondes d'évier. Elle produit alors des dérivés chlorés dont certains sont susceptibles de dégazer dans l'air.

11.1.2. Toxicocinétique et métabolisation

Les voies d'absorption classiques sont l'ingestion, le passage transcutané et l'inhalation.

Chez l'animal, l'ingestion orale induit un taux plasmatique maximal 2 heures après (chez le rat à jeun, et après 4 heures chez un animal nourri).

Demi-vie :

Il faut 44 heures pour diviser par deux le taux sanguin chez le rat à jeun et 88,5 heures s'il est nourri.

11.1.3. Métabolisation

Une solution aqueuse de ^{36}Cl -hypochlorite de sodium est métabolisée par le rat en ions chlorures retrouvés (96 heures après en plus grande quantité dans le plasma, puis dans le sang total, mais aussi dans la moelle osseuse, les testicules, les reins et le poumon).

Une heure seulement après ingestion d'hypochlorite de sodium, le plasma et le contenu intestinal de rats (nourris ou à jeune) contenait de l'acide trichloracétique, de l'acide dichloroacétique et du dichloroacétonitrile. Après 96 heures, 51,2 % de la dose initiale seulement était éliminée (à 36,4 % dans l'urine et 14,8 % dans les excréments). Après 120 heures, on trouvait encore chez ces rats des traces significatives du produit (36Cl-hypochlorite de sodium).

11.2 Impact sur le milieu naturel

11.2.1. Toxicité aigue

La toxicité aigüe est d'abord liée au caractère corrosif de l'hypochlorite de sodium

DL50 orale : 5 800 mg/kg chez la souris.

DL50 cutanée : supérieure à 10 000 mg/kg chez le lapin.

CL50 par inhalation : supérieure à 10,5 mg/l pour une exposition d'une heure chez le rat.

11.2.1.1. Inhalation

Chez la souris, la RD50 (dose induisant une diminution de 50 % de la fréquence respiratoire) est de 4,1 ppm pour une atmosphère d'hypochlorite mesurée en chlore libre (chiffre est proche de la RD50 du chlore pur (6,7 ppm).

11.2.1.2. Ingestion

Des brûlures oropharyngées, œsophagiennes et gastriques sont constatées chez le chien pour 100 ml d'une solution à 5,25 %. Au-dessus de 5 ml/kg, des lésions corrosives apparaissent.

11.2.1.3. Exposition cutané

Elle induit un épaissement de la peau chez la souris (pour un dosage d'1 g/l, appliquée 10minutes par jour durant 4 jours). Les cellules basales de l'épiderme sont moins viables chez le cobaye (pour une solution à 0,5 % appliquée sur la peau durant 2 semaines).

La peau du lapin est corrodée après 15 à 30 mn d'application d'une solution à 3,5 %. L'irritation augmente avec la dose.

Les muqueuses y sont naturellement plus sensibles ; chez le lapin, une solution à 0,5 % provoque une vive douleur sur l'œil, avec une irritation réversible en 24 heures. À 5 % on constate un obscurcissement passager de la cornée, un œdème de la conjonctive [6], qui sont réversibles en 24 heures si l'œil a été rincé à l'eau dans les 30 secondes (sinon, les lésions persistent une semaine). Chez le singe, la lésion – à dose identique – est plus rapidement réversible. À 15 %, la douleur est aiguë et - sans lavage oculaire immédiat - s'accompagne d'une hémorragie de la conjonctive et du nez, d'un œdème de la conjonctive. La cornée devient vitreuse (+ léger hématome) ; la lésion est partiellement réversible en 2 à 3 semaines (séquelles).

11.2.1.4. Exposition chronique

Jusqu'à 4 000 mg/l, l'hypochlorite de sodium ingérée via l'eau de boisson n'influe pas sur la survie de rats, de souris (jusqu'à 2 754 mg/l) ou de cobaye (50 mg/l) expérimentalement exposés, mais des effets génotoxiques semblent possibles (démontrés chez la souris). Une étude montre aussi que les rats boivent moins d'eau quand elle est assez fortement javellisée, les plus jeunes grossissant légèrement.

11.2.2. Eventuel effet sur la fertilité des animaux [3]

On n'a mesuré aucun chez le rat mâle ou femelle, mais chez la souris, à forte dose, il induit des anomalies spermatiques (Génotoxicité envisagée chez l'Homme [7,4]). Des rats exposés durant 2,5 mois (avant et lors de la gestation) via 100 mg/l dans leur eau de boisson, ont produit des fœtus légèrement moins lourds, et présentent une légère augmentation d'anomalies (squelette et tissus mous), mais une exposition sur 7 générations n'a pas prouvé d'effet sur la croissance ni sur la survie.

- Eco toxicologie

L'eau de javel est un puissant biocide, nécessitant des précautions pour sa manipulation et pour éviter les rejets de ce produit dans la nature. Les eaux javellisées et extraits concentrés de javel oxydent la matière organique qu'elles

rencontrent en étant susceptible de produire des organochlorés toxiques et de nombreux produits de dégradation (chlorures) et métabolites lorsqu'elle a été ingérée par des animaux ou autres organismes aquatiques.

L'effet toxique sur la faune est donc persistant en se transmettant via la chaîne alimentaire. Ces transformations seraient cancérogènes et mutagènes. L'eau de javel, au contact de l'air se décompose lentement (à température ambiante, plus rapidement au soleil et/ou exposée à la chaleur, ou en contact avec des métaux) en formant des chlorates et du chlorure de sodium, en libérant du dioxygène selon les réactions :

De nombreux métaux (dont le cuivre (souvent utilisé pour les tuyauteries), le nickel et leurs alliages) peuvent avoir un effet catalytique et accélérer sa décomposition de l'eau de javel.

L'eau de javel utilisée pour la désinfection des sols ou des WC est présente via les effluents domestiques, des bâtiments tertiaires ou industriels dans les égouts et dans certaines stations d'épuration, où elle perd rapidement son pouvoir oxydant en raison de la grande quantité de matière oxydable qui y est présente, mais elle pourrait contribuer à y sélectionner des organismes chlororésistants ou produire des métabolites indésirables.

En raison de son action corrosive et super-oxydante, tout rejet accidentel ou chronique direct en milieu naturel peut avoir des conséquences éco toxicologiques locales (Le plancton est par exemple très sensible à de faibles doses de chlore). L'incinération de matières organiques contenant de l'eau de javel active devrait être évitée en raison du risque de production d'organochlorés stables tels que furanes et dioxines.

11.3 Les mesures à prendre pour la fabrication de chlore et de la soude caustique [3]

Utilisation de systèmes de gestion pour réduire les risques pour l'environnement, la santé et la sécurité, liée à l'exploitation d'une usine de chlore. Le niveau de risque doit tendre vers zéro. Les systèmes de gestion comprennent :

- Formation du personnel
- Identification et évaluation des principaux dangers
- Instructions pour la sécurité d'exploitation
- Planification pour la gestion des situations d'urgence et relevé des accidents et des "quasi-accidents"
- Perfectionnement continu incluant retour d'informations et apprentissage par l'expérience.

Existence d'une unité d'absorption du chlore, conçue pour pouvoir absorber la production de toute la cellule d'électrolyse en cas de dérèglement du processus, avant mise à l'arrêt de l'usine. L'unité d'absorption du chlore évite les émissions de chlore gazeux en cas d'urgence et/ou de fonctionnement anormal de l'installation.

L'unité d'absorption doit permettre d'abaisser la teneur en chlore du gaz émis à moins de 5mg/m³ dans le pire des cas.

Tous les effluents gazeux contenant du chlore doivent être dirigés vers l'unité d'absorption du chlore. En exploitation normale, le niveau des émissions de chlore dans l'air, associé à la meilleure technique disponible est inférieur à 1 mg/m³ en cas de liquéfaction partielle, et inférieur à 3 mg/m³ en cas de liquéfaction totale.

Il ne doit pas y avoir de rejet systématique d'hypochlorite de sodium dans l'eau à partir de l'unité d'absorption du chlore.

Réduire le plus possible la consommation/éviter les déversements d'acide sulfurique par une ou plusieurs des options suivantes ou à l'aide de systèmes équivalents:

- Reconcentration sur place dans des évaporateurs en circuit fermé
- Utilisation de l'acide utilisé pour réguler le pH dans les flux de fabrication et les eaux résiduelles. Si l'acide sulfurique est reconcentré sur place dans des évaporateurs en circuit fermé, la consommation d'acide peut être ramenée à 0,1 kg par tonne de chlore produite.

- Réduire le plus possible les rejets d'oxydants non liés dans l'eau par :

- Réduction catalytique en lit fixe
- Réduction chimique

Toute autre méthode d'une efficacité comparable. Le niveau d'émission des oxydants non liés dans l'eau, associé à la meilleure technique disponible est inférieur à 10 mg/l. Il y a lieu de tenir compte de l'impact global sur l'environnement si la méthode de destruction est retenue.

- Recours à des procédés de liquéfaction et de purification du chlore n'utilisant pas de tétrachlorure de carbone.
- Utilisation de l'hydrogène en tant que produit chimique ou en tant que combustible afin de préserver les ressources.

11.4 Précaution d'emploi de l'hypochlorite de sodium afin de préserver la sécurité

En cas de projection, rincer longuement et abondamment à l'eau claire.

Les accidents les plus fréquents sont liés à l'ingestion volontaire (tentative de suicide) ou involontaire, et aux mélanges avec d'autres produits (Elle doit surtout ne pas être mélangée aux acides qui provoquent un violent dégagement gazeux de dichlore, très toxique).

Les pastilles doivent être tenues hors de portée des enfants, parce qu'elles risquent d'être confondues avec des bonbons.

L'eau de javel doit être conservée en emballage opaque et au frais, car les ions hypochlorite sont dégradés par les UV solaires et la chaleur. Elle ne doit pas être mélangée à de l'eau chaude, ni mélangée à d'autres biocides ou agents nettoyants (émanations toxiques possibles). Combinée à l'ammoniaque (présent dans certains produits de nettoyage), elle produit des chloramines (avec éventuel

dégagement d'azote). Combinée à des acides, par exemple des acides chlorhydrique ou sulfurique ou même des acides doux présents dans certains produits de nettoyage ou décapants elle réagit violemment, en émettant de la vapeur de chlore, très toxique (du vinaigre ou du jus de citron suffisent à produire ce type de réaction).

L'INRS rapporte aussi qu'appliquer sur des matériaux finement divisés (fibre textiles, papier ou poussière de bois), l'extrait de javel peut dégager de la vapeur d'eau contenant un peu de chlore. Ces matériaux devenant ensuite plus inflammables à l'état sec.

Pour la désinfection des surfaces, elle doit être correctement diluée et uniquement utilisée après nettoyage complet par un détergent suivi d'un rinçage, pour une désinfection efficace, et pour ne pas favoriser d'apparition de phénomène de résistance au chlore chez certains microbes et parasites, dont les cryptosporidies (et notamment *Cryptosporidium parvum* ; parasite (protozoaire) qui peut se développer dans les piscines, et qui développe rapidement des résistances à de nombreux biocides).

Certaines bactéries se sont montrées également capables après phénomène de sélection naturelle de développer des résistances à des concentrations importantes de chlore. Des tapis de bactéries dites chlororésistantes ont ainsi été trouvés dans l'Aa durant plusieurs années, sur plusieurs kilomètres, suite à l'usage de quantités importantes de désinfectants chlorés dans le processus d'une usine riveraine de la rivière.

Pour être efficace, une dose ouverte doit être rapidement utilisée, et il convient de respecter la date limite d'utilisation du produit.

CONCLUSION

Après maintes démonstrations et explications, nous concluons au bout de l'expérience la faisabilité de l'appareil. De plus, tous les matériaux nécessaires à la confection de l'appareil à savoir le graphite et la cuve faite en acier inoxydable sont disponibles au niveau local. Les critiques condamnent, nous autres les chercheurs, d'opter à des technologies étrangères inconcevables. Cet appareil est la preuve d'une possible autonomie de nos productions. Cet appareil a été conçu pour l'hygiène, ne l'oublions pas. Dans ce dessein, nous pouvons également contribuer à un problème que font face les pays sous-développés notamment Madagascar. Dans la course incessante de la technologie moderne, notre essai dans une vision d'amélioration répond au mieux à nos soucis d'un coût trop onéreux. Notre appareil après analyse de l'étude financière sommaire se présente moins coûteux. Notre appareil après analyse de l'étude financière sommaire se présente moins coûteux car que serait une conception sans possibilité de réalisation ; qui dit réalisation suppose un financement et la pérennité des ressources financières ne peut se faire sans rentabilité. Cependant le problème rencontré durant notre étude expérimentale est celui posé par le dégagement du dichlore observé. Celui-ci reste néfaste à l'environnement. Seulement un procédé de recyclage du dichlore peut faire obtenir de l'acide chlorhydrique. Celui-ci servira pour le nettoyage de l'appareil lui-même. L'environnement faisant l'objet d'une protection spéciale au niveau mondial actuel, tous les produits nouveaux passent une licence assurant l'effet non dévastateur à celui-ci. L'environnement est fragile. Il devient une question mondiale non seulement pour cette génération mais celle du futur. On ne peut avancer sans s'assurer que la génération pour laquelle la technologie nouvelle a été conçue n'en sera pas détruite. Il sera donc inconcevable voire même proscrit de lancer une industrialisation dans la fabrication d'appareil nuisant l'environnement. Ce recyclage se justifie ainsi par la recherche d'une solution concrète pour la réalisation de l'expérience sur une échelle plus vaste.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) UNIVERSITE NICE SOPHIA ANTIPOLIS, Travaux pratiques Chimie Physique- thermochimie-électrochimie (licence 3 de chimie Année 2012-2013)
- 2) Thèse soutenue publiquement le 25 Février 2011 par Benoît CLAUD « Etude de la réduction électrochimique d'oxydes d'actinides en milieu de sels fondus »
 - a. Mémoire d'ingénieur soutenue publiquement le 30 Août 2012 par RABEMANANJARA FenoFanambinana « CONCEPTION ET REALISATION D'UN APPAREIL POUR L'OBTENTION D'EAU DE JAVEL »
- 3) Thèse d'Augustin « Prédiction des cinétiques de propagation de défauts de corrosion affectant les structures en alliage d'aluminium 2024. Détermination des lois d'endommagement prenant en compte l'influence du milieu agressif »
- 4) Frédéric Elie, novembre 2009 « Electrolyse d'une solution de chlore de sodium »
- 5) Hayoz Guillaume & Combépine Lionel date de l'expérience 12 Avril 1999 « Fabrication de l'eau de javel et de la soude caustique par électrolyse »
- 6) D. PLETCHER & F. C. WALSH, Industrial Electrochemistry, Blackie Academic & Professional Londres, 2e éd. 1993
- 7) G. LUCENET, « Le Sodium, un métal apprivoisé », in Revue française de l'électricité, no 279, Paris, 1983
- 8) J. BESSON, La Chimie minérale, coll. Que sais-je ?, P.U.F., Paris, 1976
- 9) J. BRENET, Introduction à l'électrochimie de l'équilibre et du non-équilibre, Masson, 1980
- 10) J. O'M. BOCKRIS, B. E. CONWAY, E. YEAGER & R. E. WHITE, Comprehensive Treatise of Electrochemistry , vol. 11, Electrochemical Processing, Plenum Press, New York, 1981
- 11) J. T. STOCK & M. V. ORNA, Electrochemistry, Past and Present, American Chemical Society, Washington, 1989
- 12) L. KISS, Kinetics of Electrochemical Dissolution, Elsevier, Amsterdam, 1988
 - a. M. BERNARD, Cours de chimie minérale, Dunod, Paris, 1990
 - b. M. I. ISMAIL dir., Electrochemical Reactors, Elsevier Science Publ., 1989

- 13) M. SALMON, « Sodium », in Techniques de l'ingénieur. Génie des procédés J4, Paris, 1990.
- 14) O. J. FOUST, Sodium-Na K Engineering Handbook, 4 vol., Gordon and Breach Science, New York, 1972-1979
- 15) R. PERRIN & J. P. SCHARFF, Chimie industrielle, Masson, Paris, 1993
- 16) TALLEC, Électrochimie organique, Masson, 1985.

WEBOGRAPHIE

- 17) <http://www.lemm.univlille1.fr/pcsm/chimie/elements/p1/apprendre/content/access.htm>
- 18) <http://souspression.canalblog.com/archives/2011/01/27/19960028.html>
- 19) <http://pelectro.voila.net/electroTet/cours3.pdf>
- 20) <http://www.cpge-brizeux.fr/casiers/francoise/TD/TDtransfo.pdf>
- 21) http://fred.elie.free.fr/electrolyse_NaCl.pdf
- 22) http://www.assoetud.unige.ch/aecb/rapports/2eme/electrochimie_chafou.pdf
- 23) <http://www.esi.umontreal.ca/~badiaa/CHM1995/Electrochimie-1.pdf>
- 24) <http://www.techniques-ingenieur.fr/ressources-documentaires/download/extract/357023a5eb918ad48436c601d4f7062f62d60429e8d45a9608a9f8c54c116336>
- 25) <http://www.electrochimie.net/fichier/22-1.pdf>
- 26) http://alainrobichon.free.fr/cours/Chimie/Courbes_I_V.pdf
- 27) <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000783/02/augustin2.pdf>
- 28) http://nathalie.rion.free.fr/capes_internet/externe_montages_chimie/Nath19.pdf
- 29) <http://ressources.univlemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/diode.pdf>
- 30) http://www.javel.la_chimie_de_l'eau_de_javel.htm
- 31) http://emmanuel.hourdequin.free.fr/Cours_GC_avril_2008_redressement.pdf

ANNEXES

Annexe 1. MESURE DE LA CONDUCTIVITE D'UNE SOLUTION

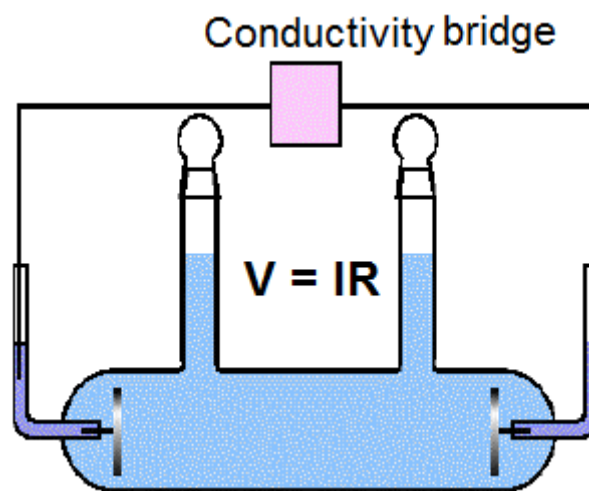
La conductivité d'une solution est une mesure de la capacité d'un soluté à transporter une charge.

La conductivité d'un électrolyte résulte de la mobilité des ions à l'intérieur de la solution.

La conductivité d'une solution est déterminée en mesurant sa résistance électrique, R

Unité ohm (Ω) $\longrightarrow 1 \Omega = 1V/A$ de R :

La conductivité d'une solution peut, en principe, être obtenue à partir de la valeur mesurée de R .



Où ρ est la résistance spécifique (résistivité) de la solution

$$R_x = \rho \frac{l}{A} \quad \begin{array}{l} l : m \\ A : m^2 \\ \rho : \Omega m \end{array}$$

Annexe 2.L'ELECTROLYSE ET LES LOIS DE FARADAY

L'électrolyse est une réaction chimique résultant d'une différence de potentiel appliquée aux électrodes.

Exemple : électrodéposition (plaquage Ag ou Au) électrodissolution (des électrodes) formation de gaz.

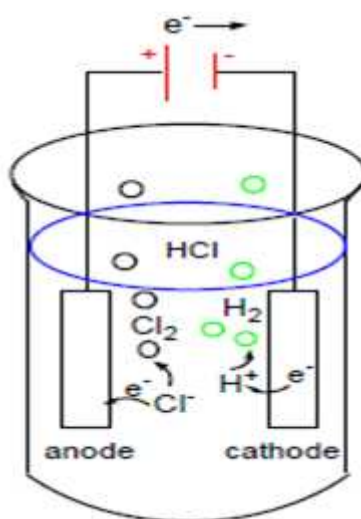
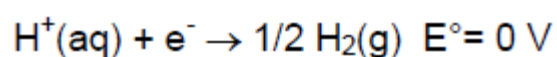
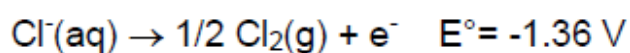


Figure 1.01 : La formation de gaz par électrolyse

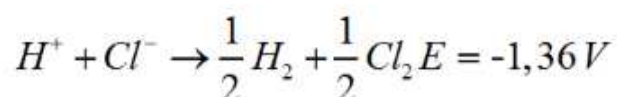
Cathode :



Anode :



Bilan :



Potentiel appliqué > 1,36V pour qu'il y ait une réaction et la circulation d'un courant électrique.

Michael Faraday (1834) a établi la relation entre la quantité d'espèces chimiques formées à l'électrode (produit obtenu) et la quantité de charge (ou d'électrons) passée durant une électrolyse.

Courant, I, mesuré

- nombre d'électrons transférés par seconde
- équivalent à une vitesse de réaction
- ✓ l'unité de courant est l'Ampère (A)
- ✓ l'unité charge est le coulomb (C)

$$Q = I t$$

Charge = courant + temps

Coulomb = Ampère + secondes

$$C = A \cdot s$$

1ère Loi de Faraday

Pour un Faraday (F) de charges, 1 mole de produit est obtenu

$$F = N A e$$

$$F = 6,022 \times 10^{23} \text{ électrons/ moi} \times 1,602 \times 10^{-19} \text{ C/e-}$$

$$1F = 96\,485 \text{ C/mol}$$

2ème Loi de Faraday

Cette loi relie la masse de produit formée à une électrode avec charge passée

$$m = \frac{MQ}{nF} = \frac{MIt}{nF}$$

Où m = masse de produit formée à l'électrode

M = masse moléculaire molaire

$$Q = I * t$$

n = nombre d'électrons par mole de produit formé

F = 96 485 C/mol

**Annexe 3. LA FICHE RAPPORTANT LE RESULTAT DE L'ANALYSE DE GROS SEL «
AGENCE DE LA CONTROLE DE LA SECURITE SANITAIRE ET DE LA QUALITE DES
DENREES ALIMENTAIRES »**

REPUBLIQUE MALAGASY
Fianarana - Fianarana - Fianarana

MINISTRE DE LA SANTE PUBLIQUE
SECRÉTARIAT GÉNÉRAL
AGENCE DE CONTRÔLE DE LA SÉCURITÉ
SANITAIRE ET DE LA QUALITÉ DES DENRÉES
ALIMENTAIRES

RABEMANANJARA Feno Fanambinana

BULLETIN D'ANALYSE N°2849/12

DENOMINATION ET IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON

Echantillon de Sel, adressé par RABEMANANJARA Feno Fanambinana, enregistré au laboratoire sous le N° 2849/12 du 11/12/13.

DESCRIPTION ET CARACTÈRES ORGANOLEPTIQUES

- Aspect :	Solide	- Quantité :	1Kg
- Texture :	Gros cristaux	- Date de fabrication :	-
- Couleur :	Blanche	- Date de consommation :	-
- Saveur :	Salée	- Lot :	-
- Odeur :	Caractéristique	- Origine :	Locale
- Emballage :	Non conforme	- Scellage :	-
- Dénomination :	Sel de cuisine		

CARACTÈRES PHYSICO-CHIMIQUES

Humidité %	0,95
Chlorure de sodium %	98,86
Teneur en Iode (ppm)	0
Matières insolubles %	0,08

INTERPRÉTATION ET CONCLUSION

Echantillon de produit satisfaisant par ses caractères déterminés.
Echantillon de produit propre et sain à la consommation humaine.

Communiqué le : 13/12/13.

Le Chef de Division

Le Chef de Service d'Analyse et de Surveillance des Aliments

AKUINATY
Rabemananjara Feno Fanambinana

Annexe 4. DETERMINATION DE DEGRE CHLOROMETRIQUE

On veut calculer la concentration $[\text{OCl}^-]$ dans notre eau de Javel pour en déduire son degré chlorométrique.

Pour cela il nous est proposé une série de manipulations.

Pour établir la manipulation nous avons besoin de :

Matériels et produits utilisés :

Matériel :

Erlenmeyer de 250 ml

Une burette graduée

Eprouvette de 250 ml

Produits :

50 ml l'eau distillée

10 ml d'une solution de l'eau de javel

50 ml d'une solution de H_2SO_4 (1M)

20 ml d'une solution de KI (0.2M)

une solution de phénolphthaléine

une solution de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (0.1N).

Montage et réalisation :

On met dans un erlenmeyer sec de 250 ml : 10 ml d'une solution d'eau de Javel, 50 ml de l'eau distillée, 50 ml de l'acide sulfurique [H_2SO_4 (1M)] et de 20 ml d'une solution de iodure de potassium [KI (0.2M)].

Remplir la burette par une solution de thiosulfate de sodium [$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (0.1N)], doser goutte à goutte jusqu'à apparition de la couleur brun-rouge, noter le volume de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Après avoir une coloration brun-rouge on ajoute à l'erlenmeyer deux à trois gouttes de l'amidon. On continue à doser goutte à goutte jusqu'à apparition de la couleur transparente. On note le volume de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ [Total consommé], Analyse volumétrique.

Schéma ci-contre :

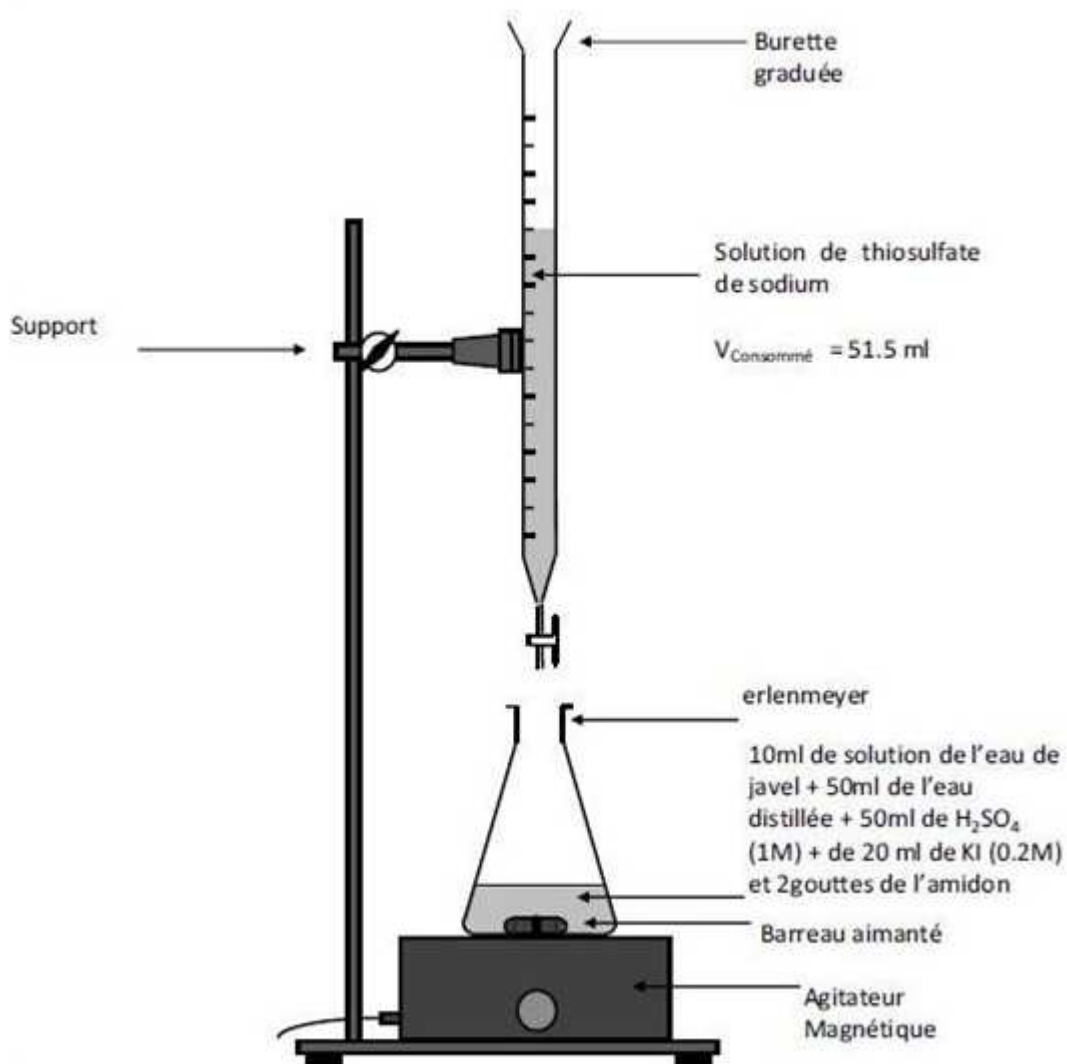


Figure 1.02 : Dosage en chlore

Les changements de couleurs :

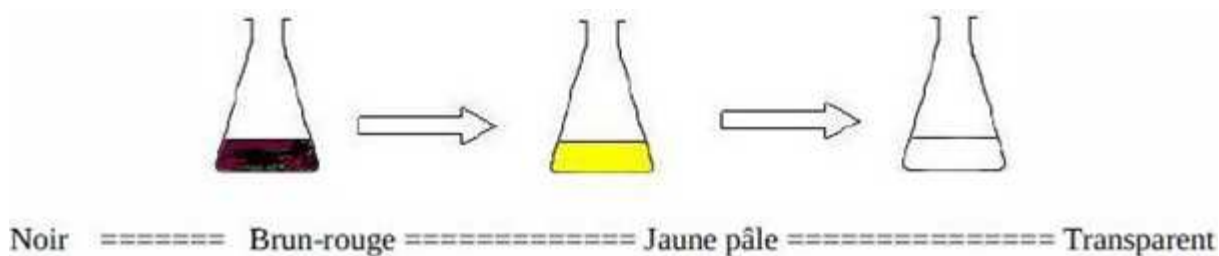


Figure 1.03 : Virage de couleur suivant le $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

Interprétations des résultats :

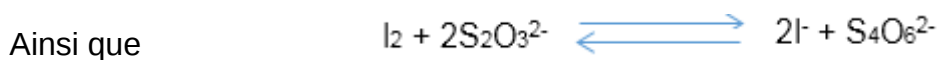
On connaît la concentration de l'agent titrant $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, le volume V_a de celui-ci utilisé et le volume d'eau de Javel utilisé V_j .

C'est-à-dire : $[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}] = 0.1\text{N} = 0.2\text{ M}$ $V_a = 357,2\text{ ml}$
 $V_j = 10\text{ ml}$

A partir de ces données, on veut établir une formule pour calculer la concentration $[\text{OCl}^-]$ de l'eau de Javel.

On pourra calculer le degré chlorométrique de l'eau de Javel :

On a les réactions :



Si on utilise un mol de OCl^- , on obtiendra une mol de I_2 . Pour titrer ce mol, on aura besoin de 2mol de $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$.

On peut donc écrire : 1 mol $\text{OCl}^- \sim 2\text{ mol de } \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$

Et en une relation entre les nombres de mol respectifs :

Nombre de mol de OCl^- = nombre de mol de

Or, le nombre de mol d'un soluté est $\frac{S_2O_3^{2-}}{2}$ égal à sa concentration multipliée par le volume de la solution. On a donc :

$$[\text{OCl}^-] * V_J = \frac{S_2O_3^{2-} * V_a}{2}$$

D'où la formule:

$$[\text{ClO}^-] = \frac{[S_2O_3^{2-}] \cdot V_{S_2O_3^{2-}}}{2 \cdot V_{\text{eau de Javel}}}$$

$$[\text{OCl}^-] = 3,57 \text{ M}$$

Concentration molaire de l'eau de Javel est 3,57 M

On a alors pour notre eau de Javel un degré chlorométrique de : $3,57 \text{ mol Cl}_2 / \text{L} = 80^\circ\text{ChL}$.

Les réactions mise en jeu :

Pour la première $\text{OCl}^- + 2\text{I}^- + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{I}_2 + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ réaction :

Et pour la deuxième $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons 2\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ réaction :

Le rôle de la phénolphtaléine :

La phénolphtaléine joue le rôle d'un indicateur de fin de réaction.

L'emploi de la phénolphtaléine, qui n'est ajouté qu'en fin de titrage, permet de mieux apprécier le changement de couleur qui accompagne le passage par le point d'équivalence de la transformation chimique de titrage, au moment où le diiode devient le réactif limitant.

Annexe 5. CONDUCTIVITES IONIQUES MOLAIRES, $\Lambda^\circ/(\text{mS m}^2 \text{ mol}^{-1})$

Cations		Anions	
$\text{H}^+ (\text{H}_3\text{O})^+$	34.96	OH^-	19.91
Li^+	3.87	F^-	5.54
Na^+	5.01	Cl^-	7.64
K^+	7.35	Br^-	7.81
Rb^+	7.78	I^-	7.68
Cs^+	7.72	CO_3^{2-}	13.86
Mg^{2+}	10.60	NO_3^-	7.15
Ca^{2+}	11.90	SO_4^{2-}	16.00
Sr^{2+}	11.89	CH_3CO_2^-	4.09
NH_4^+	7.35	HCO_2^-	5.46
$[\text{N}(\text{CH}_3)_4]^+$	4.49		
$[\text{N}(\text{C}_2\text{H}_5)_4]^+$	3.26		

Tableau 1.01: Conductivité ioniques molaires

La loi de migration indépendante des ions

A dilution infinie, les ions migrent indépendamment, de sorte que la conductivité molaire limite (ou à dilution infinie), Λ_m° est égale à la somme des conductivités molaires limitées des cations λ_+° , et de anion λ_-° :

$$\Lambda_m^\circ = \nu_+ \lambda_+^\circ + \nu_- \lambda_-^\circ$$

Où ν_+ et ν_- sont respectivement les nombres de cations et d'anions par molécule d'électrolyte

Par exemple,

$$\begin{aligned} \nu_+ = \nu_- = 1 & \text{ pour HCl, NaCl, CuSO}_4 \\ \nu_+ = 1, \nu_- = 2 & \text{ pour MgCl}_2 \end{aligned}$$

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT	i
SOMMAIRE	iii
GLOSSAIRE	iv
ABREVIATION ET ACRONYMES	v
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES PHOTOS	x
LISTE DES ANNEXES	xi
INTRODUCTION	1
Première partie : Étude bibliographique	2
CHAPITRE 1. OBJECTIFS ET ORIENTATION DE LA RECHERCHE DOCUMENTAIRE ET BIBLIOGRAPHIQUE	4
1.1 Les objectifs	4
1.2 L'orientation de la recherche	4
1.3 Problème de la mise en œuvre de l'appareil pour produire de l'eau de javel	4
1.4 La technique adoptée pour notre réalisation	5
1.1.1. L'électrolyse à mercure	6
1.1.2. Electrolyse à diaphragme	7
1.1.3. L'électrolyse à membrane	9
1.1.4. Procédé standard de fabrication d'eau de javel	10
1.5 Technique adopté pour notre réalisation	12
CHAPITRE 2. Présentation de l'eau de javel	14
2.1 Historique	14
2.1.1. Origine du mot javel [16] [3]	14
2.1.2. Découverte de l'action blanchissant de l'eau de javel	14

2.1.3. Découverte de l'action désinfectante de l'eau de javel [3]	15
2.2 Définition de l'eau de javel selon le lexique de chimie [3].....	17
2.3 Propriété de l'eau de javel [3]	17
2.3.1. Propriété chimique	17
2.3.2. Stabilité de l'eau de javel [3]	19
2.4 Type d'eau de javel [12]	21
CHAPITRE 3. Méthode électrochimique pour la production.....	23
3.1 Electrolyse [24].....	23
3.2 Electrolyse de NaCl [5]	26
3.2.1. Principe de l'électrolyse	26
3.2.2. Application industrielle	28
3.3 Tension de décomposition.....	29
CHAPITRE 4. Analyse de type d'appareillage à élaborer pour la fabrication de l'eau de javel 31	
4.1 Méthode de mise en mélange de NaOH et de Cl ₂ pour produire de l'eau de javel 31	
4.1.1. Agitation.....	31
4.1.2. Mélangeur statique	31
4.2 Schéma général d'appareillage adopté	31
4.3 Avantage et utilisation de l'appareillage adopté	32
4.4 Conclusion partielle	32
CHAPITRE 5. Analyse des résultats obtenus à l'échelle de laboratoire	33
5.1 Historique	33
5.2 Rappel des résultats obtenus au laboratoire [3]	33
5.3 Analyse des résultats	34
Deuxième partie : Études expérimentales	36
CHAPITRE 6. Méthodologie expérimentale	37
6.1 Contexte	37

6.2	Objectifs expérimentaux de la mise en œuvre des matériels d'électrolyses	38
6.3	Démarche expérimentale de la conduite de la réalisation de l'étude expérimentale	38
CHAPITRE 7. Etude des composantes de l'équipement électrique de l'électrolyseur et de ses accessoires		
7.1	Objectifs de l'étude	39
7.2	Etude et calcul des composants de l'appareillage d'électrolyses expérimentales.....	39
7.2.1.	Matériaux nécessaires pour la confection de l'appareillage expérimental	39
7.2.2.	Calcul de densité de courant à utiliser	39
7.2.3.	Etude et calcul concernât les électrodes.....	40
7.2.4.	Etude et calcul de la boîte d'alimentation	41
7.2.5.	Calcul sur le câblage électrique de câblage.....	43
7.2.6.	Calcul sur la cuve électrolyseur	44
7.3	Réalisation pratique des composantes de l'appareillage	44
7.3.1.	Donné technique pour la réalisation pratique.....	44
7.3.2.	Remarque	46
CHAPITRE 8. Réalisation des essais expérimentaux à l'échelle pilote.....		
8.1	Montage de l'appareillage confectionné	47
8.2	Essais à vide du montage de l'appareillage	48
8.2.1.	Essai à vide du transformateur	48
8.2.2.	Essai à vide des deux diodes.....	49
8.2.3.	Essais à vide de la batterie	49
8.2.4.	Essai à vide e l'anode	50
8.2.5.	Essai à vide de saumures utilisées	50
8.2.6.	Essais à vide de l'ensemble du montage	51
8.2.7.	Interprétations des résultats obtenus	53

8.3	Essais de l'utilisation de l'appareillage confectionné dans la fabrication de l'eau de javel	54
8.3.1.	Procédure de la mise en œuvre des essais	54
8.4	Interprétation	56
CHAPITRE 9.	Perspective de l'utilisation de l'appareillage de l'électrolyse étudié	57
9.1	Avantage et inconvénient de l'appareillage d'électrolyse	57
9.2	Perspective d'utilisation pour une production industrielle	57
9.3	Conclusion partielle	59
Troisième partie : Étude financière de faisabilité et approche environnementale		60
CHAPITRE 10.	Etude financière et faisabilité.....	61
10.1	Brève description du projet d'utilisation de l'apprentissage d'électrolyse de production d'eau de javel	61
10.2	Evaluation de l'investissement	61
10.2.1.	Les infrastructures	61
10.2.2.	Terrain	61
10.2.3.	Matériels techniques.....	62
10.3	Plan de financement.....	64
10.4	Le compte de trésorerie	65
10.4.1.	Le décaissement.....	65
10.4.2.	L'encaissement.....	66
10.4.3.	Les prévisions des chiffres d'affaires	66
10.4.4.	La situation nette de trésorerie	67
CHAPITRE 11.	Approche environnementale.....	68
11.1	Impact sur le milieu humain.....	68
11.1.1.	Toxicologie	68
11.1.2.	Toxicocinetique et métabolisation.....	68
11.1.3.	Métabolisation	68
11.2	Impact sur le milieu naturel	69

11.2.1. Toxicité aigue	69
11.2.2. Eventuel effet sur la fertilité des animaux [3]	70
11.3 Les mesures à prendre pour la fabrication de chlore et de la soude caustique [3].....	71
11.4 Précaution d'emploi de l'hypochlorite de sodium afin de préserver la sécurité	73
CONCLUSION.....	75
BIBLIOGRAPHIE.....	76
WEBOGRAPHIE	78
Annexes.....	79
TABLE DES MATIERES.....	90

TITRE : " CONTRIBUTION A L'ETUDE RESEDA DE PRODUCTION D'EAU DE JAVEL A L'ECHELLE ARTISANALE "

Auteur : RABEMANANJARA FenoFanambinana

Nombre de page : 75

Nombre de tableau : 11

Nombre de figure : 19

Nombre de photo : 9

RESUME

Cette étude s'est focalisée sur la conception d'un appareil à l'échelle pilote pour obtenir de l'eau de Javel.

En effet, les études et essais expérimentaux auxquels nous nous sommes livrés permettent de conclure qu'avec une cuve inoxydable comme cathode, on peut obtenir une surface de contact très grande pour la formation de soude. En outre, l'intérêt des performances de notre appareil nous permettent de fabriquer de l'eau de Javel avec un degré chlorométriques assez élevée ; l'avantage économique de l'utilisation de l'appareil s'avère rentable.

L'intérêt de l'utilisation de l'eau de Javel dans le domaine de la santé et de l'hygiène est aussi dans d'autre domaine nous a donné l'idée de travailler sur les techniques de fabrication d'eau de Javel pour avoir un technique nouvel à l'échelle pilote.

Mots clés : Hypochlorite, chlore, soude, électrolyte.

ABSTRACT

This study focused on designing a pilot scale unit for the bleach.

Indeed, experimental studies and trials which we are delivered allow us to conclude with a stainless tank as the cathode, one can obtain a very large surface contact for the formation of soda. In addition, the interest of performance of our device allows us to manufacture bleach with a fairly high degree chlorometric, the economic advantage of using the device is cost effective.

The advantage of using bleach in the field of health and hygiene is also in another area gave us the idea of working on techniques to manufacture bleach to water having a new technical pilot scale. Keywords: hypochlorite, chlorine, sodium, and electrolyte.

Directeur de mémoire : **Docteur RAKOTOARIVONIZAKA Ignace**

Adresse : Lot 0708 E 652 Ambohimena – 110 – ANTSIRABE

Courriel : phenofanambinana@gmail.com