



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Amar Telidji- Laghouat

FACULTE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GÉNIE DES PROCÉDÉS

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Kharef Djaber

Nahi Mohamed Habib Allah

DOMAINE : Sciences et Technologies

FILIERE : Génie pétrochimie

OPTION : Génie pétrochimique

Thème

**Synthèse et caractérisation d'un photocatalyseur
pour la génération d'hydrogène à partir de l'eau**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mabrouk Djdid	PROF	Président
Machraoui Omar	MCA	Examineur
Brahimi Djamila	MCB	Rapporteur

Année Universitaire : 2022-2023

Remerciements

Remerciements Avant tout nous remercions Allah le tout puissant, de

Nous avoir guidé tout au long de nos années d'études et

De nous avoir donné la volonté, la patience et le courage

Pour achever ce travail.

Nous tenons à exprimer nos remerciements les plus

Cordiaux et notre vive reconnaissance à notre encadreur

Brahimi Djamila, et nous n'oublions pas non plus les

membres du comité de discussion représentés par son

président, le professeur **Mabrouk Djdid**

et le Dr **Machraoui Omar** Examineur,

qui a bien voulu accepter

De diriger ce travail, pour son encouragement, ses

Conseils précieux, sa disponibilité, ses suggestions pertinentes, ses Critiques constructives et
pour sa patience tout au long

De ce projet et sans lesquels, ce travail n'aurait pu aboutir.

Nous remercions les jurys d'avoir accepté et d'évaluer notre travail.

Nous adressons nos remerciements à l'ensemble des techniciens de laboratoire de la Biologie de
l'université d'AMMAR-TELIDJI. Mes remerciements vont Également à tous ceux qui m'ont
aidé, à un titre ou un autre,

Qu'il s'agisse de la fourniture d'informations précieuses, où

Du conseil. Notre remerciement s'adresse également

À toutes les personnes qui ont contribué de près où

De loin à la réalisation de ce travail, et de leurs

Encouragements. Un grand merci à tous

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A la mémoire de mon cher père

A ma très chère mère

Les mots sont faibles pour exprimer la force de mes sentiments

et la reconnaissance que je vous porte.

ma famille et mes amis

Merci pour tous ce que vous avais fait pour moi

إهداء

إلى من أفضّلها على نفسي، ولمّ لا؛ فقد ضحّت من أجلي
ولم تدّخر جهداً في سبيل إسعادي على الدوام

(أمّي الحبيبة)

إلى من سهر من أجلي وقدم حياته فداءً في مسيرة تعليمي قدم لي كل شيء من أجمل مواصلة تعليمي وشجعني على الاستمرار حتى
وصلت إلى ما أنا فيه الآن، شكراً جزيلاً لك وأهديك تخرجي ونجاحي هذا
(والدي العزيز)

من كان له بالغ الأثر في كثير من العقبات والصعاب
إلى من أعتد عليه في كل كبيرة وصغيرة.
(خالي ميلود)

إلى شمعات الحياة ودرتها المؤنسات الغاليات
(خواتي)

إلى أصدقائي، وجميع من وقفوا بجواري وساعدوني بكل ما يملكون،

إلى استاذتي في الجامعة
أُقدّم لكم هذا البحث، وأتمنى أن يحوز على رضاكم

Liste des figure

Chapitre II		Étude bibliographique
Les Figures	La page	
Figure I.1 : Schéma de l'électrolyse	2	
Figure I.2 : Schéma de réactions cathode et l'anode.	3	
Figure I.3 : Schéma d'électrolyse de haute température.	4	
Figure I.4 : processus de l'adsorption de la lumière.	7	
Figure I.5 : Schéma de génération de paires électron-trou.	8	
Figure I.6 : Schéma de photocatalyseur (réactions redox).	8	
Figure I.7 : Principe de photocatalyseur	9	
Chapitre II		Procédures expérimental
Les Figures	La page	
Figure II.1 : Procédé de lavage à l'eau distillée chaude au charbon actif dans le processus de régénération chimique	15	
Figure II.2 : Four à moufle utilisé pour la régénération thermique	16	
Figure II.3 : Synthèse des photo catalyseurs	18	
Figure II.4 : Figure II.4 : Schéma de Méthode de préparation du catalyseur	18	
Figure II.5 : Image du montage expérimental utilisé pour la décomposition de l'eau (l'électrolyseur).	20	

Chapitre II		Résultats et discussion
Les Figures	La page	
Figure III.1 : Effet de la masse de NaOH sur l'activité électrolytique	23	
Figure III.2 : Effet de différents sels sur l'activité électrolytique.	25	
Figure III.3 : Activité photocatalytique de différents photocatalyseurs	27	
Figure III.4 : Effets de la lumière	29	
Figure III.5 : Comparaison entre (3/5 PC)et (3/5'PC)	32	

Liste des tableaux**Chapitre I****Étude bibliographique**

Les Tableaux	La page
Tableau II.1: Propriétés de charbon actif saturé (CAS).	13
Tableau II.2: Description des conditions expérimentales de la régénération.	17
Tableau II.3: Conditions opératoires du synthèse des photo catalyseurs	19
Tableau II.4: Conditions opératoires du processus de l'électrolyse de l'eau.	21

TABLE DES MATIERES

Liste des figure	
Liste des tableaux	
Table des matières	
Introduction générale	
Introduction générale:	1
Chapitre I Étude bibliographique	
I.1 Hydrogène :	2
I.1.1 Utilisation d'hydrogène :	2
I.1.2 Les procédés de production d'hydrogène :	3
I.1.3 Méthodes de décomposition de l'eau :	5
I.1.4 Catalyseurs pour l'électrolyse de l'eau :	6
I.1.5 aspects thermodynamiques de l'électrolyse :	6
I.1.6 Paramètres influant sur l'électrolyse :	7
I.2 Photocatalyse :	8
I.2.1 Etapes de le processus de photocatalyse :	8
I.2.2 Principe photocatalyse :	10
I.2.3 Paramètres affectant le procédé photocatalytique :	11
I.3 Oxyde de zinc :	11
<u>I.3.1</u> Informations générales sur l'oxyde de zinc :	11
Chapitre II Procédures expérimentales	
Introduction :	13
II.1 Produits chimiques utilisés:	13
II.1.2 L'acétate de zinc :	13
II.1.2.1 Propriétés de l'acétate de zinc :	13
II.2 Procédure expérimentale :	14
II.3 Synthèse des photo catalyseurs :	17
II.4 Évaluation de photocatalytique :	19
II.4.1 Production d'hydrogène :	19
II.5 Étude de l'effet de quelques paramètres sur les performances del'électrolyseur : ...	20
Chapitre III Résultats et discussion	
III.1 Effet de différents paramètres sur l'activité photo catalytique :sur les performances de l'électrolyseur :	22
III.1.2 Effet de différents sels sur l'activité électrolytique :	24
III.2 Activité de différentes photocatalyseurs:	26
III.3 Effets de la lumière :	28
III.4 Comparaison entre 3/5 PC et 3/5'PC :	30
Conclusion général	
Conclusion général:	33
Références bibliographique	34

Introduction générale

Introduction générale:

La production d'hydrogène comme alternative énergétique propre et durable suscite un intérêt croissant dans le contexte mondial de transition vers des sources d'énergie renouvelables. L'utilisation de l'eau comme matière première pour la génération d'hydrogène présente des avantages significatifs en termes de disponibilité et de respect de l'environnement. Cependant, le défi majeur réside dans le développement de photocatalyseurs efficaces capables de favoriser la réaction de décomposition de l'eau en utilisant l'énergie solaire [1].

Ce Projet de Fin d'Études (PFE) se concentre sur la synthèse et la caractérisation d'un photocatalyseur novateur spécifiquement conçu pour la production d'hydrogène à partir de l'eau en utilisant la lumière solaire comme source d'énergie. Cette étude vise à explorer les propriétés et les performances du photocatalyseur afin d'améliorer l'efficacité de la réaction de photocatalyseur et d'optimiser les paramètres de synthèse pour obtenir les meilleurs résultats.

La recherche actuelle dans le domaine de la photocatalyse pour la production d'hydrogène met l'accent sur le développement de matériaux capables de capturer efficacement l'énergie solaire et de l'utiliser pour déclencher la réaction chimique de décomposition de l'eau. Les photocatalyseurs jouent un rôle crucial en agissant comme des catalyseurs lors de la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique, permettant ainsi la libération d'hydrogène et d'oxygène [2].

Dans ce PFE, nous aborderons les différentes étapes de la synthèse du photocatalyseur, en mettant l'accent sur les méthodes de préparation, les paramètres de synthèse et les techniques de caractérisation utilisées pour évaluer les propriétés structurales, morphologiques et optiques du matériau. Nous étudierons également l'influence des conditions de réaction, telles que la masse de l'hydroxyde de sodium et la masse de l'acétate de zinc, sur les performances du photocatalyseur.

L'objectif ultime de ce PFE est de contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine de la photocatalyseur pour la production d'hydrogène en proposant un photocatalyseur efficace et durable. Les résultats obtenus permettront de mieux comprendre les mécanismes de la réaction de décomposition de l'eau et d'identifier des voies potentielles pour l'amélioration des performances des photocatalyseurs.

En conclusion, ce projet de recherche offre une opportunité de contribuer à la transition énergétique vers des sources d'énergie propres en développant des technologies innovantes pour la production d'hydrogène à partir de l'eau. Les connaissances acquises dans le cadre de ce PFE ouvriront la voie à de nouvelles avancées dans le domaine de la photocatalyseur et pourraient avoir un impact significatif sur le développement de solutions durables pour répondre aux défis énergétiques actuels.

Chapitre I
Étude
bibliographiq
ue

I.1 Hydrogène :

À température et pression normales, l'hydrogène est un gaz incolore, inodore et hautement inflammable. Il est composé d'un seul proton et d'un seul électron. En raison de sa simplicité atomique, l'hydrogène est souvent utilisé comme référence dans divers domaines de la science. L'hydrogène a de nombreuses applications. Il est utilisé comme combustible dans les piles à combustible, qui convertissent l'hydrogène en électricité en combinant l'hydrogène et l'oxygène de l'air. Cette technologie est considérée comme une alternative propre aux combustibles fossiles car elle ne produit pas de pollution atmosphérique lorsqu'elle est utilisée. Peut également être utilisé comme matière première dans l'industrie chimique pour la production d'ammoniac, de méthanol et d'autres composés chimiques, Il est également utilisé dans le secteur de l'aérospatiale pour la propulsion des fusées et dans d'autres applications industrielles. L'utilisation de l'hydrogène comme source d'énergie propre et renouvelable est de plus en plus étudiée et développée dans le cadre de la transition énergétique pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et atténuer les impacts environnementaux [1].

I.1.1 Utilisation d'hydrogène :

- ❖ **Piles à combustible** : Les piles à combustible utilisent l'hydrogène et l'oxygène pour générer de l'électricité et de l'eau, sans émissions polluantes. Elles sont utilisées dans divers domaines, tels que les véhicules à hydrogène, les systèmes de cogénération et les applications stationnaires [2].
- ❖ **Stockage d'énergie** : L'hydrogène peut être utilisé comme vecteur d'énergie pour le stockage à long terme et la gestion des énergies renouvelables intermittentes. Il peut être produit lors de périodes de surplus d'électricité et utilisé ultérieurement pour la production d'électricité lorsque la demande est élevée [3].
- ❖ **Secteur industriel** : L'hydrogène est utilisé dans l'industrie chimique pour la production d'ammoniac, de méthanol, de produits pétrochimiques et d'autres composés chimiques. Il est également utilisé comme gaz de protection et combustible dans les procédés industriels [4].
- ❖ **Transport** : L'hydrogène peut être utilisé comme carburant dans les véhicules à hydrogène, alimentant les moteurs à combustion interne modifiés ou les piles à combustible. Cette technologie offre une alternative aux véhicules à combustion traditionnels, avec pour avantage une réduction des émissions de gaz à effet de serre [5].
- ❖ **Chauffage et cogénération** : L'hydrogène peut être utilisé pour le chauffage résidentiel et commercial, ainsi que pour la production simultanée d'électricité et de chaleur (cogénération). Ces systèmes permettent une utilisation efficace de l'énergie et peuvent contribuer à la décarbonisation des secteurs du chauffage et de l'énergie [6].

- ❖ **Aviation** : L'hydrogène est également étudié pour une utilisation dans le secteur de l'aviation, offrant une alternative à l'aviation basée sur les combustibles fossiles. Les projets de recherche et développement sont en cours pour explorer l'utilisation de l'hydrogène comme carburant pour les avions [7].

I.1.2 Les procédés de production d'hydrogène :

- ❖ **Reformage du gaz naturel** : La méthode la plus répandue est le reformage du gaz naturel, qui consiste à réagir le méthane (principal composant du gaz naturel) avec de la vapeur d'eau à haute température pour produire de l'hydrogène et du monoxyde de carbone. Cette réaction est appelée reformage à la vapeur. Le monoxyde de carbone produit peut être ensuite converti en dioxyde de carbone, permettant ainsi d'obtenir de l'hydrogène pur [8].
- ❖ **Électrolyse de l'eau** : L'électrolyse de l'eau consiste à utiliser de l'électricité pour décomposer l'eau en hydrogène et en oxygène. L'eau est placée dans une cellule électrolytique et une électrolyse se produit lorsque le courant électrique passe à travers l'eau. L'hydrogène est libéré à l'électrode négative (appelée cathode) tandis que l'oxygène est libéré à l'électrode positive (appelée anode).

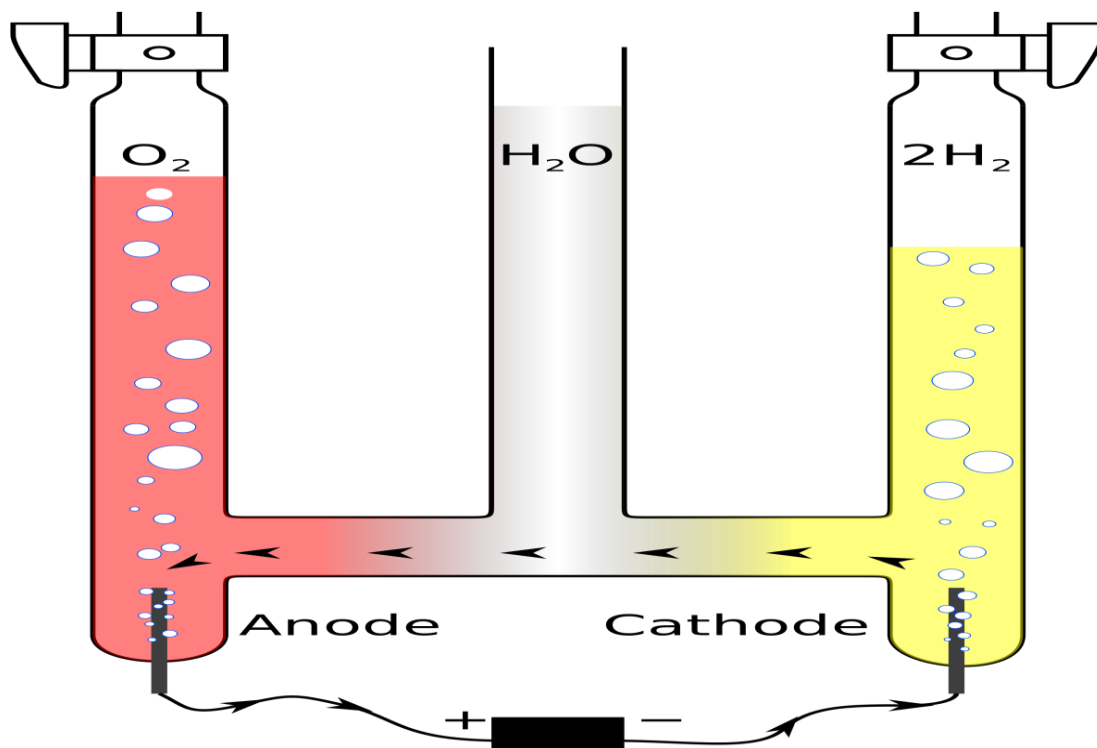


Figure I.1 : Schéma de l'électrolyse

L'électrolyse de l'eau se déroule dans une cellule électrolytique qui contient deux électrodes, une cathode et une anode, plongées dans une solution conductrice ou séparées par une membrane électrolytique. Lorsqu'un courant électrique est appliqué, des réactions

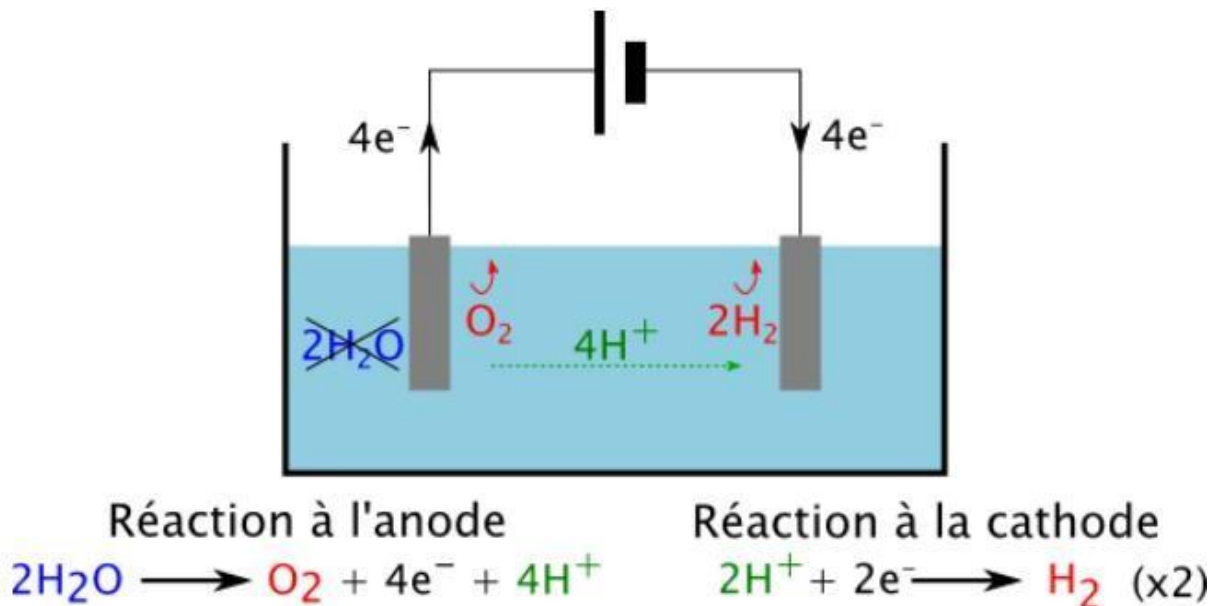


Figure I.2 : Schéma de réactions cathode et l'anode.

Ainsi, les ions d'hydrogène provenant de la dissociation de l'eau à l'anode sont réduits à l'électrode de la cathode pour former de l'hydrogène gazeux, tandis que les ions d'oxygène provenant de la dissociation de l'eau à la cathode sont oxydés à l'anode pour former de l'oxygène gazeux.

L'électrolyse de l'eau peut être réalisée à différentes températures et avec différents types d'électrolytes, notamment l'électrolyse alcaline, l'électrolyse à membrane polymère échangeuse de protons (PEM) et l'électrolyse à haute température (SOEC). Chaque méthode présente des avantages et des limites en termes d'efficacité, de coût, de stabilité et de compatibilité avec les différentes applications.

L'utilisation de catalyseurs est essentielle pour améliorer l'efficacité et la cinétique des réactions électrochimiques impliquées dans l'électrolyse de l'eau. Des catalyseurs à base de métaux précieux tels que le platine (Pt) sont couramment utilisés en raison de leur haute activité, mais leur coût élevé limite leur application à grande échelle. Des efforts considérables sont déployés pour développer des catalyseurs à base de métaux non précieux, tels que le nickel (Ni), le fer (Fe) et le cobalt (Co), pour réduire les coûts et rendre l'électrolyse de l'eau plus économiquement viable [9].

- ❖ **Gazéification de la biomasse** : La gazéification de la biomasse implique la conversion de matières organiques telles que la biomasse lignocellulosique (par exemple, les résidus agricoles, les déchets de bois) en un gaz de synthèse composé principalement d'hydrogène,

de monoxyde de carbone et de dioxyde de carbone. Ce gaz de synthèse peut ensuite être purifié pour obtenir de l'hydrogène [10].

- ❖ **Électrolyse de l'hydrogène carbonaté** : Cette méthode utilise une solution d'hydrogène carbonaté (bicarbonate) comme électrolyte. Lorsque le courant électrique est appliqué, l'hydrogène se dégage à la cathode tandis que le dioxyde de carbone est produit à l'anode [11].
- ❖ **Électrolyse de haute température** : Cette méthode utilise des électrolytes à haute température, tels que les oxydes céramiques conducteurs d'ions, pour réaliser l'électrolyse de l'eau à des températures élevées. Cela permet d'améliorer l'efficacité globale du processus d'électrolyse [12].

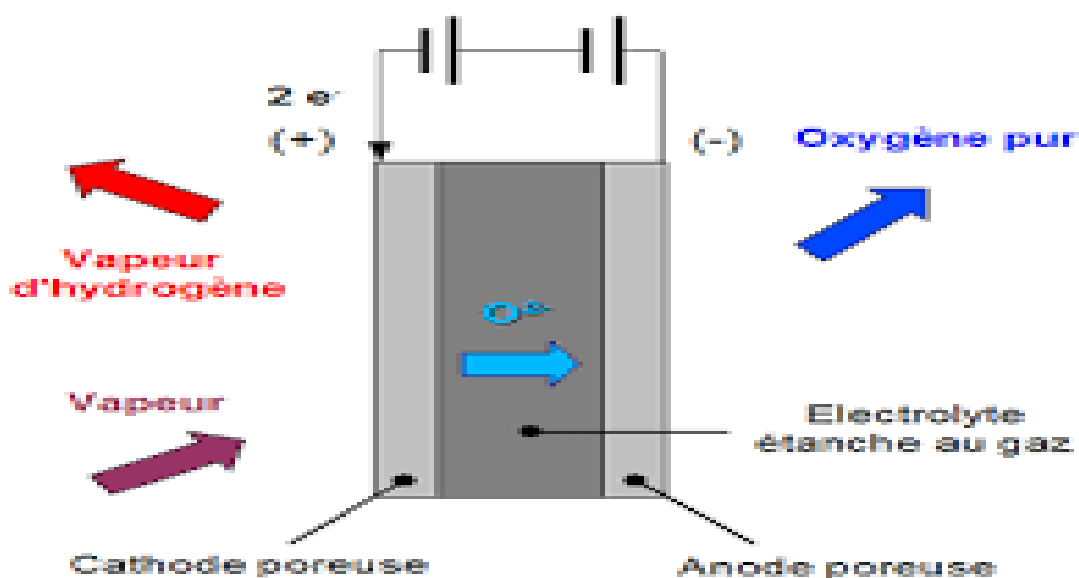


Figure I.3 : Schéma d'électrolyse de haute température.

L'électrolyse à haute température, également connue sous le nom d'électrolyse à oxyde solide (SOEC), se déroule à des températures élevées (700-1000 °C) et utilise des électrolytes céramiques conducteurs d'ions, tels que l'oxyde de zirconium stabilisé à l'yttrium (YSZ). Cette méthode offre des avantages potentiels en termes d'efficacité énergétique et de compatibilité avec la cogénération de chaleur et d'électricité.

I.1.3 Méthodes de décomposition de l'eau :

❖ **Électrolyse alcaline** :

L'électrolyse alcaline est la méthode la plus courante pour la production d'hydrogène par décomposition de l'eau. Elle implique l'utilisation d'une solution d'électrolyte alcalin, telle que l'hydroxyde de potassium (KOH), et d'électrodes en platine ou en acier inoxydable. Lorsque le

courant électrique est appliqué, l'eau se divise en hydrogène gazeux à l'électrode négative (cathode) et en dioxygène gazeux à l'électrode positive (anode) [13].

❖ **Électrolyse PEM :**

L'électrolyse à membrane polymère échangeuse de protons (PEM) utilise une membrane spéciale qui permet le transport sélectif des protons. Cette méthode présente l'avantage d'une efficacité élevée, d'une réponse rapide aux variations de charge et d'une compacité, ce qui la rend adaptée aux applications stationnaires et mobiles [14].

❖ **Électrolyse à haute température :**

I.1.4 Catalyseurs pour l'électrolyse de l'eau :

❖ **Catalyseurs à base de métaux précieux :**

Les catalyseurs à base de métaux précieux, tels que le platine (Pt) et l'iridium (Ir), sont couramment utilisés dans l'électrolyse de l'eau en raison de leur activité élevée pour les réactions de décomposition de l'eau. Cependant, leur coût élevé limite leur utilisation à grande échelle [15].

❖ **Catalyseurs à base de métaux non précieux :**

Les recherches sont axées sur le développement de catalyseurs à base de métaux non précieux, tels que le nickel (Ni). Avantages et des limites en termes d'efficacité, de coût, de stabilité et de compatibilité avec les différentes applications [17].

I.1.5 aspects thermodynamiques de l'électrolyse :

- ❖ **Potentiel standard de cellule (E°) :** Le potentiel standard de cellule est une mesure de la différence de potentiel électrique entre les deux électrodes d'une cellule électrolytique. Il détermine si la réaction d'électrolyse est thermodynamiquement favorisée ou non. Pour l'électrolyse de l'eau, le potentiel standard de cellule est d'environ 1,23 volts à 25°C.
- ❖ **Tension appliquée (U) :** La tension appliquée à la cellule électrolytique doit être supérieure au potentiel standard de cellule pour que la réaction d'électrolyse se produise. Cette tension supplémentaire, appelée surtension, est nécessaire pour surmonter les pertes d'énergie dues aux réactions d'activation et aux résistances de transport.
- ❖ **Rendement électrochimique (η) :** Le rendement électrochimique mesure l'efficacité de conversion de l'énergie électrique en énergie chimique lors de l'électrolyse. Il est déterminé par le rapport entre la quantité d'énergie chimique stockée dans les produits d'électrolyse

(hydrogène et oxygène) et l'énergie électrique fournie à la cellule. Des surtensions élevées, des pertes par conduction et des réactions secondaires indésirables peuvent réduire le rendement électrochimique.

- ❖ **Énergie libre de Gibbs (ΔG)** : L'énergie libre de Gibbs est une mesure de la disponibilité de l'énergie pour une réaction chimique. Dans le cas de l'électrolyse de l'eau, ΔG doit être positif ($\Delta G > 0$) pour que la réaction soit non spontanée. L'énergie électrique fournie à la cellule électrolytique compense cette augmentation de l'énergie libre de Gibbs et permet la séparation de l'eau en hydrogène et oxygène [18].

I.1.6 Paramètres influant sur l'électrolyse :

- ❖ **Tension appliquée** : La tension appliquée à la cellule électrolytique est un paramètre clé qui détermine la vitesse de réaction d'électrolyse. Une tension plus élevée peut accélérer la réaction, mais une surtension excessive peut entraîner des pertes d'énergie et une dégradation des électrodes [19].
- ❖ **Température** : La température a un impact sur la conductivité électrolytique, la viscosité du liquide et la cinétique des réactions d'électrolyse. En général, une augmentation de la température peut augmenter la vitesse de réaction, mais des températures extrêmes peuvent entraîner des problèmes de stabilité des électrolytes et des électrodes [20].
- ❖ **Concentration d'électrolyte** : La concentration d'électrolyte affecte la conductivité électrique et la mobilité des ions dans la solution. Une concentration plus élevée peut augmenter la vitesse de réaction, mais une concentration excessive peut entraîner une conductivité excessive et des pertes par conduction [21].
- ❖ **Surface et composition des électrodes** : Les propriétés des électrodes, telles que leur surface spécifique, leur composition chimique et leur morphologie, peuvent influencer l'efficacité de l'électrolyse. Les matériaux d'électrode couramment utilisés comprennent le platine, le nickel, l'acier inoxydable et divers catalyseurs à base de métaux [22].
- ❖ **Type d'électrolyte** : Le choix de l'électrolyte utilisé dans la cellule électrolytique peut avoir un impact sur l'efficacité et la sélectivité de la réaction d'électrolyse. Différents types d'électrolytes, tels que les électrolytes acides, alcalins ou polymériques, peuvent être utilisés en fonction des exigences spécifiques du système [23].
- ❖ **Pression** : La pression dans la cellule électrolytique peut influencer la solubilité des gaz, notamment l'hydrogène et l'oxygène produits lors de l'électrolyse de l'eau. Une pression plus élevée peut favoriser la dissolution des gaz, ce qui peut affecter la cinétique de la réaction [24].
- ❖ **Pureté de l'eau** : La qualité de l'eau utilisée pour l'électrolyse est importante, car les impuretés présentes dans l'eau peuvent affecter la conductivité électrique et provoquer des réactions secondaires indésirables [25].

I.2 Photocatalyse :

La photocatalyse est un processus qui utilise des matériaux photocatalytiques pour accélérer les réactions chimiques à l'aide de la lumière. Ces matériaux, souvent des semi-conducteurs tels que le dioxyde de titane (TiO₂) ou des matériaux à base de nitrures de métaux, absorbent la lumière et génèrent des paires d'électrons et de trous. Ces charges excitées peuvent ensuite participer à des réactions redox avec des substrats réactifs adsorbés à la surface du matériau [26].

I.2.1 Etapes de le processus de photocatalyse :

- ❖ **Absorption de la lumière** : Le matériau photocatalytique absorbe la lumière incidente, généralement dans la plage du spectre visible ou de l'ultraviolet, en fonction de ses propriétés d'absorption.

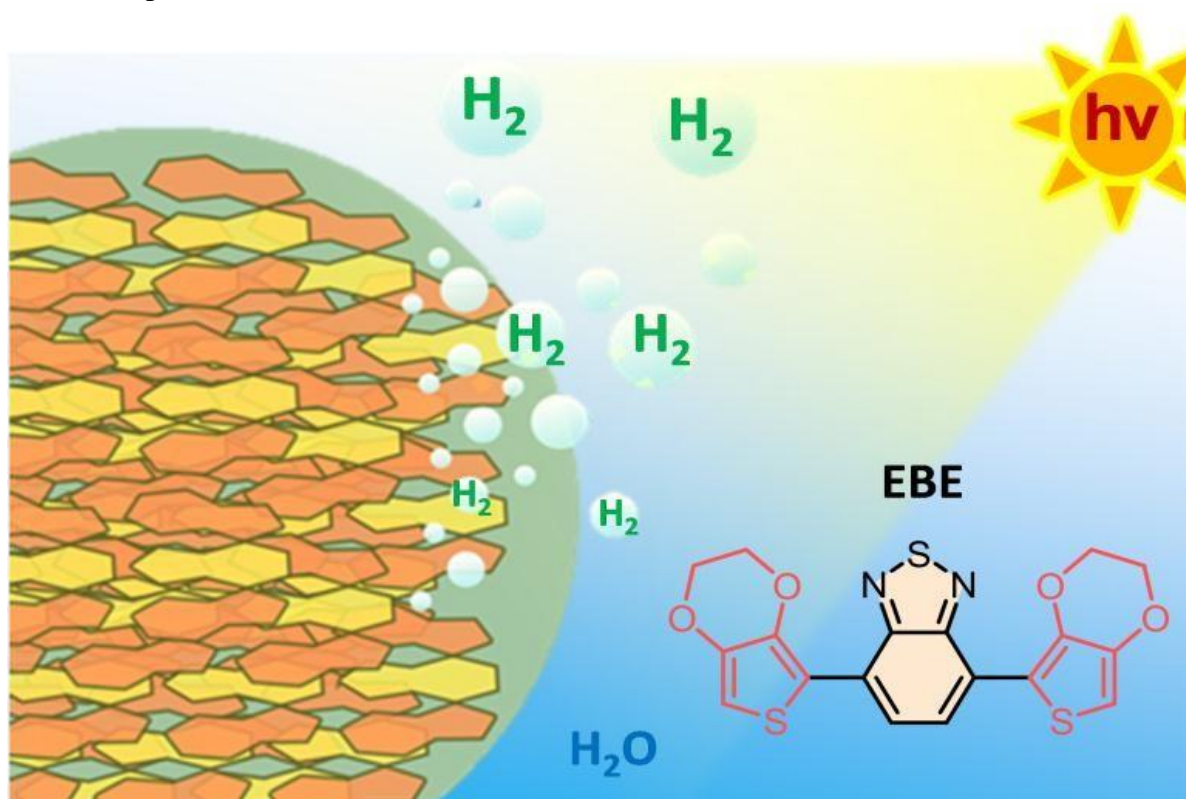


Figure I.4 : processus de l'adsorption de la lumière.

- ❖ **Génération de paires électron-trou** : L'absorption de la lumière crée des paires d'électrons et de trous dans le matériau photocatalytique. Les électrons excités sont promus de la bande de valence à la bande de conduction, laissant des trous positifs dans la bande de valence.

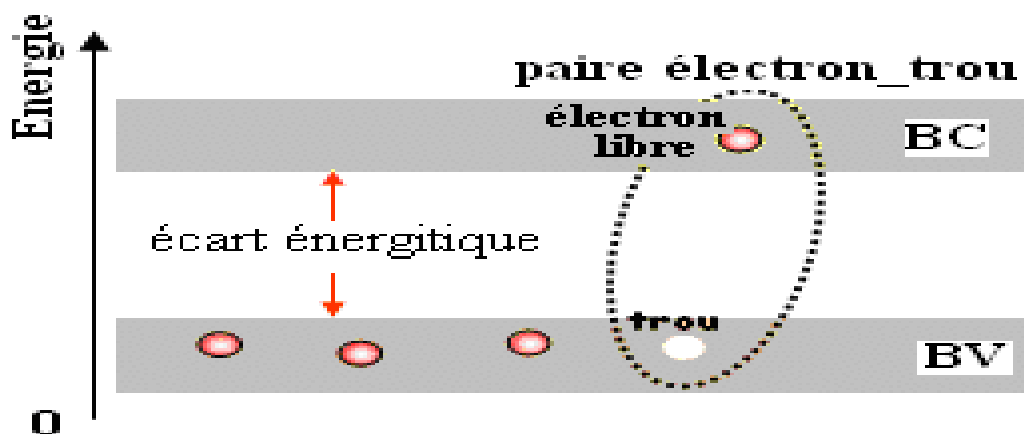


Figure I.5 : Schéma de génération de paires électron-trou.

- ❖ **Adsorption des substrats réactifs** : Les substrats réactifs, tels que les polluants organiques ou les molécules d'eau, peuvent être adsorbés à la surface du matériau photocatalytique.
- ❖ **Réactions redox** : Les électrons excités dans la bande de conduction peuvent réagir avec les substrats réactifs adsorbés, provoquant des réactions d'oxydation. Les trous positifs peuvent réagir avec les molécules d'eau ou d'autres agents oxydants, générant des réactions de réduction.

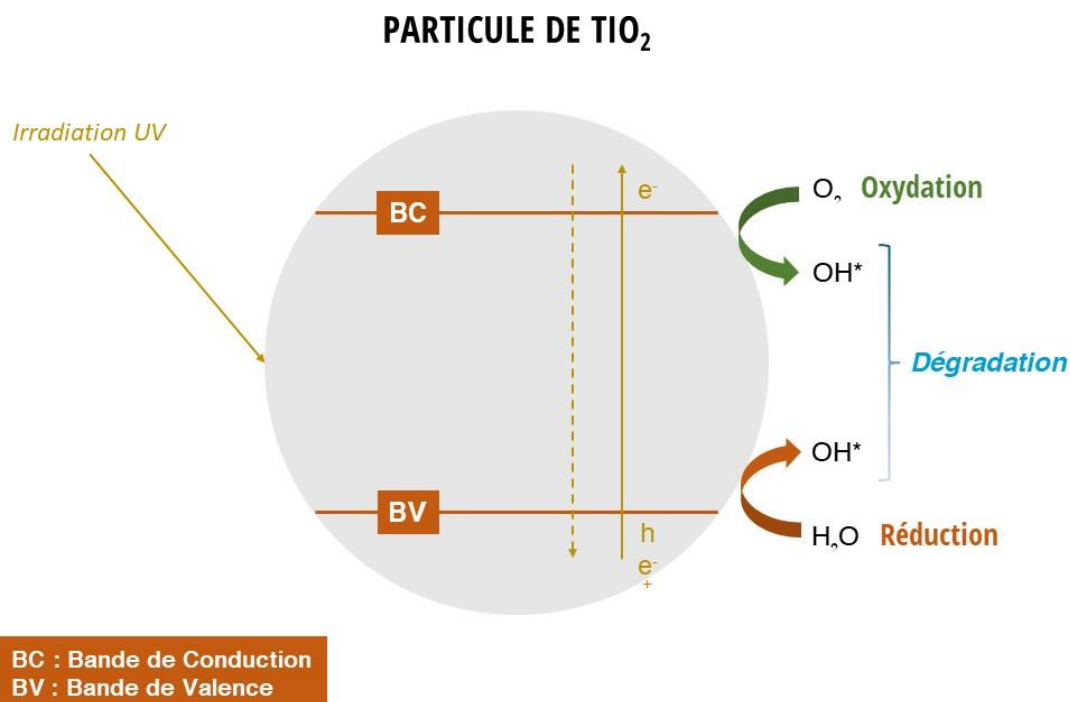


Figure I.6 : Schéma de photocatalyseur (réactions redox).

- ❖ **Formation de produits réactionnels :** Les réactions redox conduisent à la formation de produits réactionnels, tels que des espèces oxydées ou réduites, qui peuvent être évacués de la surface du matériau [27].

La photocatalyse est utilisée dans diverses applications, notamment la dégradation des polluants organiques dans l'eau et dans l'air, la production d'hydrogène à partir de l'eau, la réduction de CO_2 pour la conversion en carburants, et bien d'autres.

I.2.2 Principe photocatalyse :

Le principe de la photocatalyse repose sur l'utilisation de matériaux photocatalytiques pour accélérer les réactions chimiques en présence de lumière. Ces matériaux, généralement des semi-conducteurs tels que le dioxyde de titane (TiO_2) ou d'autres composés à base de métaux de transition, possèdent une bande interdite d'énergie qui permet l'absorption de la lumière.[28]

Le processus global de photocatalyse permet donc l'activation des réactions chimiques en utilisant l'énergie lumineuse pour créer des paires électron-trou qui participent aux réactions redox. Cela offre des opportunités pour diverses applications, telles que la dégradation de polluants, la production d'hydrogène à partir de l'eau, la synthèse de produits chimiques, etc. [29].

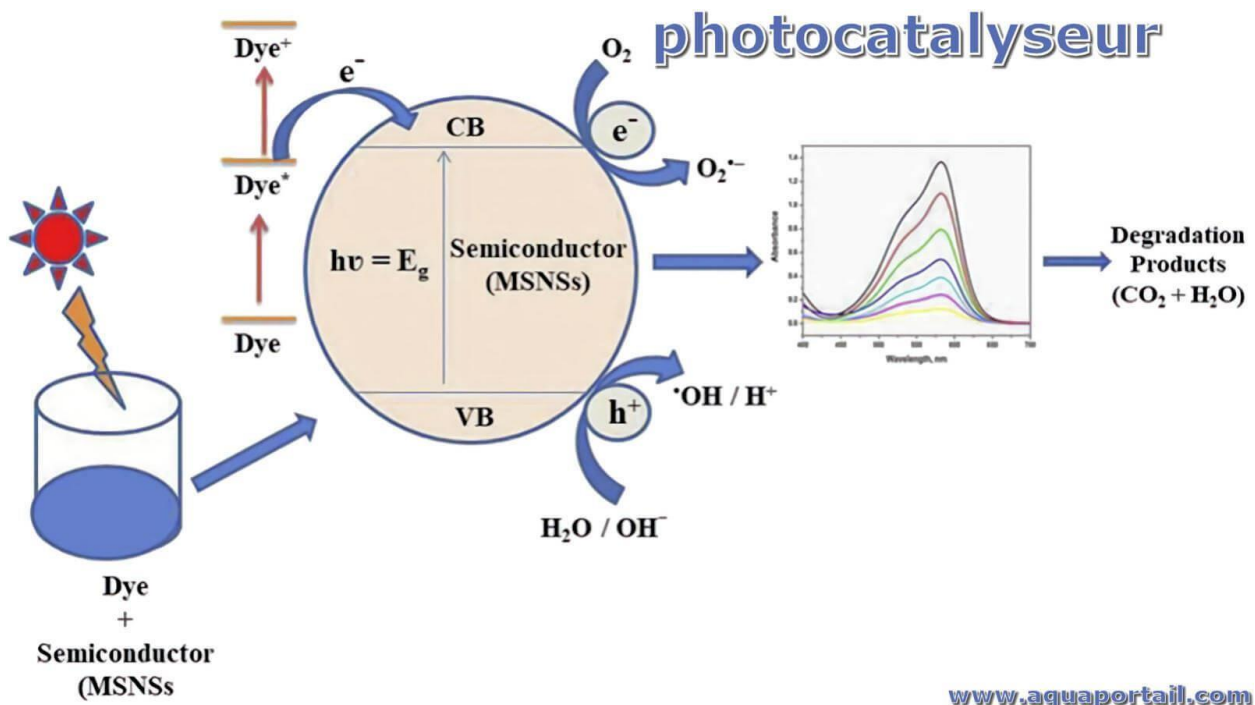


Figure I.7 : Principe de photocatalyseur

I.2.3 Paramètres affectant le procédé photocatalytique :

Les paramètres qui influencent le processus photocatalytique comprennent plusieurs aspects, tels que les propriétés du matériau photocatalytique, les conditions expérimentales et les caractéristiques des substrats réactifs.

- ❖ **Bande interdite et absorption de la lumière** : Les propriétés d'absorption de la lumière du matériau photocatalytique, qui sont déterminées par sa bande interdite, jouent un rôle crucial. Différents matériaux ont des bandes interdites avec des énergies spécifiques, ce qui détermine la plage de longueurs d'onde de la lumière qu'ils peuvent absorber efficacement.
- ❖ **Surface du matériau** : La surface du matériau photocatalytique est importante car c'est là que se produisent les réactions. Les propriétés de surface, telles que la rugosité, l'état d'oxydation, la présence de sites actifs et la capacité d'adsorption des substrats réactifs, influencent la réactivité et l'efficacité des réactions photocatalytiques.
- ❖ **Taille et morphologie des particules** : La taille et la morphologie des particules du matériau photocatalytique peuvent influencer la surface spécifique disponible pour les réactions et les propriétés électroniques locales. Des particules de différentes tailles et formes peuvent avoir des performances photocatalytiques différentes.
- ❖ **Intensité lumineuse et longueur d'onde** : L'intensité de la lumière utilisée dans le processus photocatalytique peut influencer la vitesse des réactions. De plus, la longueur d'onde de la lumière incidente doit correspondre à la plage d'absorption du matériau photocatalytique pour une efficacité optimale.
- ❖ **Ph et composition du milieu réactionnel** : Les conditions du milieu réactionnel, telles que le Ph et la composition des solutions réactives, peuvent influencer la solubilité des substrats réactifs, l'activité des sites de surface et les processus de transfert de charge.
- ❖ **Température** : La température du système peut avoir un impact sur la cinétique des réactions. Certains processus photocatalytiques peuvent être sensibles à la température, tandis que d'autres peuvent nécessiter un contrôle précis de la température pour maintenir une activité optimale.
- ❖ **Co-catalyseurs et dopants** : L'ajout de Co-catalyseurs ou de dopants au matériau photocatalytique peut améliorer ses performances photocatalytiques. Ces substances supplémentaires peuvent faciliter les étapes de transfert d'électrons ou de trous, augmentant ainsi l'efficacité des réactions [29].

I.3 Oxyde de zinc :

L'oxyde de zinc (ZnO) est un composé chimique inorganique qui se présente sous forme de poudre blanche insoluble dans l'eau. Il est largement utilisé dans de nombreux domaines en raison de ses propriétés physiques et chimiques uniques [30].

Informations générales sur l'oxyde de zinc :

- ❖ **Structure cristalline** : L'oxyde de zinc cristallise dans une structure hexagonale compacte. Chaque atome de zinc est entouré de six atomes d'oxygène, formant une maille hexagonale.

- ❖ **Propriétés optiques** : L'oxyde de zinc est transparent dans le spectre visible, mais il présente une forte absorption dans l'ultraviolet. Il est utilisé dans de nombreux produits optiques, tels que les filtres UV, les revêtements antireflets et les matériaux photovoltaïques.
- ❖ **Propriétés électriques** : L'oxyde de zinc est un semi-conducteur. Il possède une large bande interdite d'environ 3,37 eV, ce qui lui confère des propriétés électriques intéressantes pour les applications électroniques, notamment les dispositifs à semi-conducteurs, les capteurs et les transistors [31].
- ❖ **Propriétés catalytiques** : L'oxyde de zinc est un catalyseur important dans de nombreuses réactions chimiques. Il est utilisé dans des processus tels que la synthèse de produits chimiques, la purification de l'air et de l'eau, et la conversion d'énergie.
- ❖ **Propriétés antimicrobiennes** : L'oxyde de zinc présente des propriétés antimicrobiennes, ce qui le rend utile dans les produits d'hygiène et les matériaux antibactériens. Il est souvent utilisé dans les crèmes solaires, les produits de soins de la peau et les textiles antibactériens.
- ❖ **Applications industrielles** : L'oxyde de zinc est utilisé dans de nombreux secteurs industriels, tels que l'industrie cosmétique, l'industrie du caoutchouc, l'industrie céramique, l'industrie des peintures et revêtements, l'industrie des plastiques, l'industrie des batteries, l'industrie des catalyseurs, et bien d'autres [32].

Chapitre II
Procédures
expérimental
es

Introduction :

Ce chapitre examine les méthodes et les caractéristiques du photocatalyseur, ainsi que l'électrolyse, son fonctionnement et les Produits chimiques utilisées, telles que le charbon actif saturé. Il aborde également les différentes méthodes de régénération.

II.1 Produits chimiques utilisés:**II.1.1 Le charbon actif saturé:**

Des échantillons de charbon actif saturé en hydrocarbures ont été prélevés à partir de l'unité de déshydratation du gaz naturel à Rhourd el Baghuel (Hassi Messoud). Le **tableau II.1** présente les caractéristiques de cet échantillon de charbon actif saturé.

Tableau II.1: Propriétés de charbon actif saturé (CAS).

Propriétés	Valeurs
Taux en humidité (%)	4
Taux en cendre (%)	6
Masse volumique apparente (g/cm ³)	0.45
Masse volumique absolue (g/cm ³)	0.72
Porosités (%)	74.61
pH	6.63
Dureté (%)	98
Surface spécifique (m ² /g)	> 850

II.1.2 L'acétate de zinc :

L'acétate de zinc est un composé chimique qui se présente sous la forme d'un solide cristallin blanc. Il est composé d'ions zinc (Zn²⁺) et d'ions acétate (CH₃COO⁻).

II.1.2.1 Propriétés de l'acétate de zinc :

- Solubilité :

L'acétate de zinc est soluble dans l'eau et dans d'autres solvants polaires tels que l'éthanol. Sa solubilité dans l'eau dépend de la température.

- Propriétés chimiques :

L'acétate de zinc est un sel qui réagit avec des acides pour former des sels de zinc correspondants et de l'acide acétique. Il peut également subir des réactions de décomposition thermique lorsqu'il est chauffé à des températures élevées.

II.2 Procédure expérimentale :

II.2.1 Régénération de charbon actif saturé :

Des échantillons de charbon actif saturés en hydrocarbures ont été obtenus à partir de l'unité de déshydratation du gaz naturel à Rhourd el Baghuel (Hassi Messoud). Ces échantillons ont été régénérés selon deux méthodes : la régénération chimique et la régénération thermique, comme il sera expliqué par la suite.

- Régénération chimique :

Nous avons pris 1g de charbon actif utilisé dans les stations de production de gaz (Sonatrach) et on a ajouté 20 ml d'acide HCl dilué à une concentration de 1 mol/L.

On met le mélange en agitation à une vitesse de 600 tr/min pendant 30 minutes à une température ambiante, après cela nous séparons l'acide du charbon actif on a le laver par agitation dans 200 ml de l'eau distillée chaude à une vitesse de 600 tr/min pendant 1 heure comme dans la **figure II.1**.

Ensuite on calibre le pH du charbon actif jusqu'il atteint 7, puis on le sèche dans une étuve pendant 3 heures à une température de 180 °C. Les conditions expérimentales de nos essais réalisés sont résumées dans le **tableau II.2**.

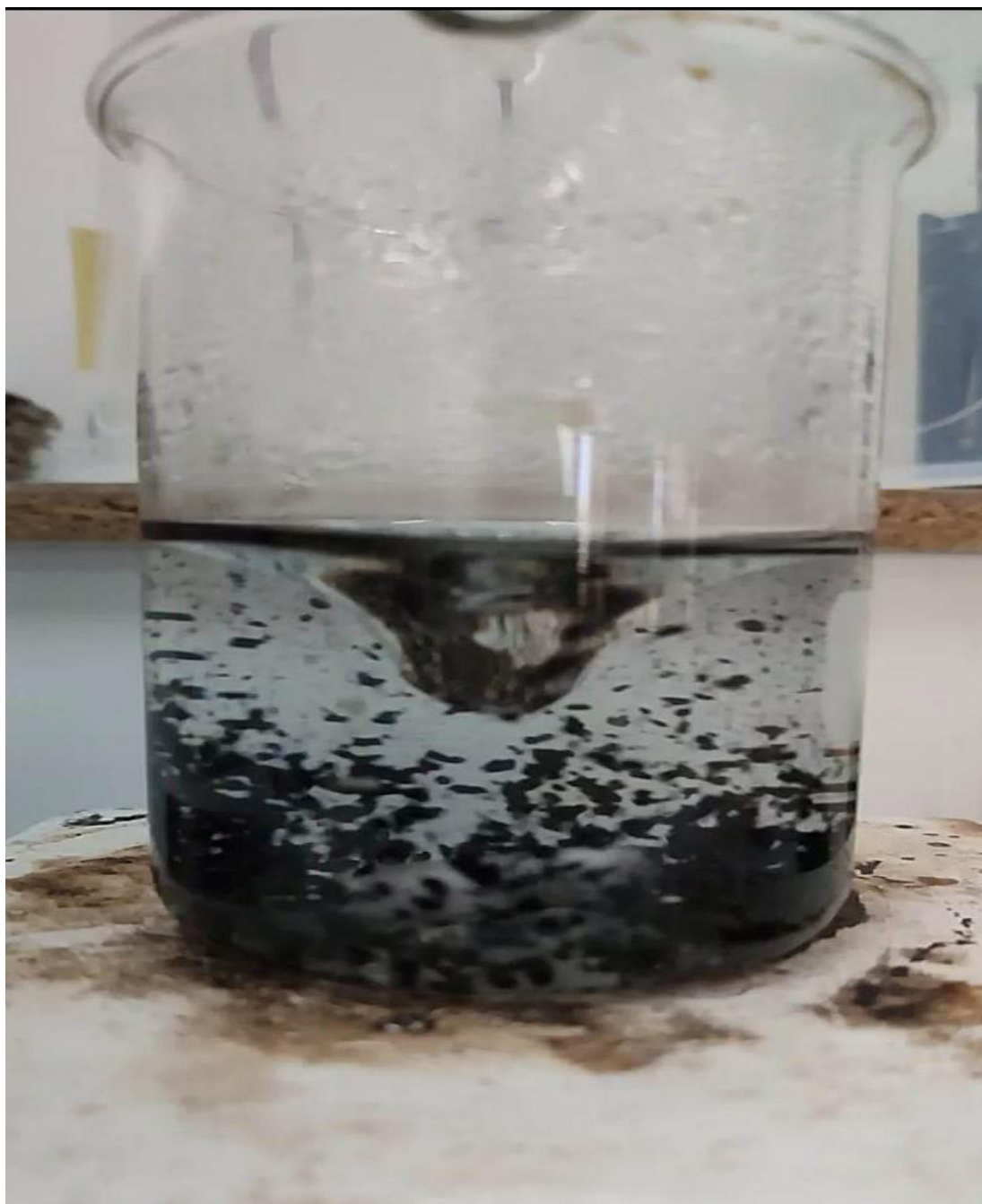


Figure II.1: Procédé de lavage à l'eau distillée chaude au charbon actif dans le processus de régénération chimique

- Régénération thermique :

On met une quantité de charbon actif dans un creuset presque complètement fermé, on la met dans un Four à moufle à une température de 900 °C pendant 1 heures comme dans la **figure II.2**.

Ensuite, nous obtenons du charbon actif Régénérée (sans d'hydrocarbures), et nous obtenons également des cendres de charbon actif, que nous utiliserons plus tard comme photo catalyseur.



Figure II.2: Four à moufle utilisé pour la régénération thermique

Tableau II.2: Description des conditions expérimentales de la régénération.

			Paramètres de régénération de 'CAS'				
	Méthode	Etapas	Température (°C)	Masse de l'échantillon (g)	Temps (min)	Volum e de la solution (ml)	Concentration de HCl (mol/l)
Méthode de régénération	Thermique	1	900	>10	60	-	-
	Chimique	Régénération	20-24	1	30,	20	1
		Lavage	90		60,	200	
		Séchage	180		180		

II.3 Synthèse des photo catalyseurs :

La méthode de préparation d'un photocatalyseur supporté sur charbon actif est réalisée selon la méthode d'imprégnation. Nous avons fait dissoudre X% de L'acétate de zinc dans l'eau distillée, on agit puis nous avons ajouté Y % de CA et on agite avec une température de 100 °C jusqu'à l'évaporation totale de l'eau comme le montre le **figure II.3**. Lorsque l'évaporation a été effectuée le mélange est mis dans une étuve pour le séchage à une température de 180 °C pendant 3 h et après nous avons mis le mélange dans le four à moufle pour la calcination à une température de 550 °C pendant 45 min. Le protocole général que nous avons fait est décrit sur la **figure II.4** et le **tableau II.3**.

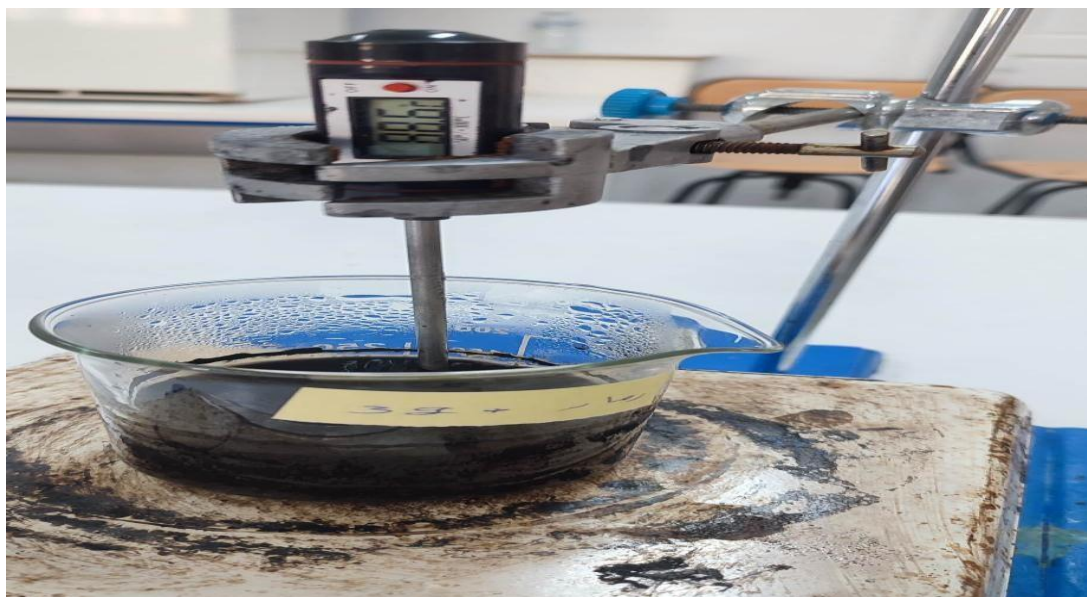


Figure II.3: Synthèse des photo catalyseurs

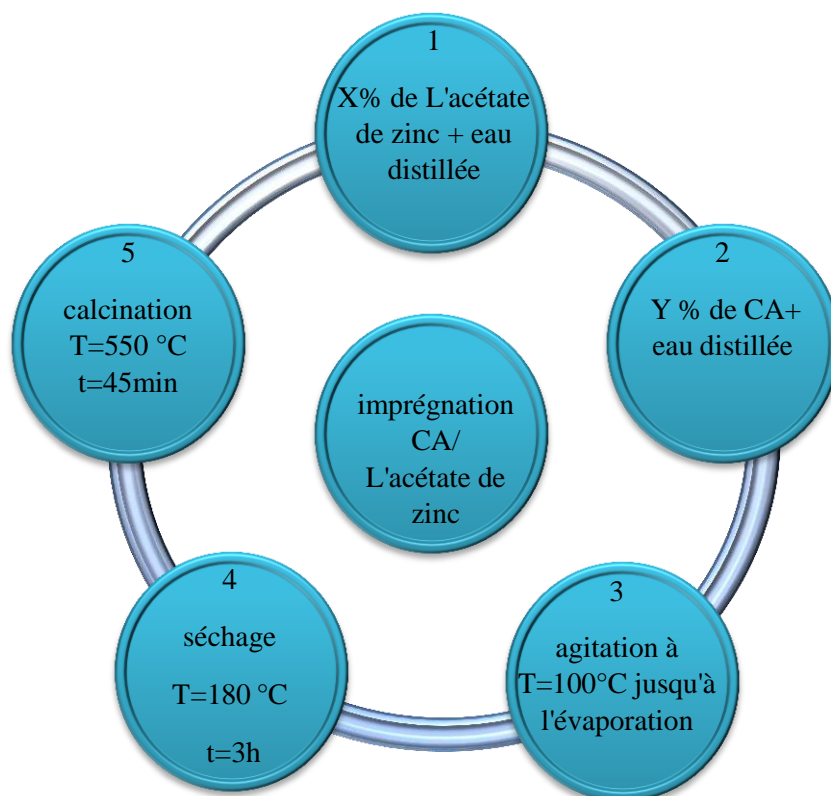


Figure II.4: Schéma de Méthode de préparation du catalyseur

Tableau II.3: Conditions opératoires du synthèse des photo catalyseurs

	Masse de Acétate De zinc (g)	Masse de charbon Actif (g)	Masse de Cendre (g)
Photocatalyseur r 1 (1/5 PC)	1	5	0
Photocatalyseur r 2 (3/5 PC)	3	5	0
Photocatalyseur r 3 (3/5 PC')	3	3.26	1.74
Photocatalyseur r 4 (5/5 PC)	5	5	0

II.4 Évaluation de photocatalytique :

Pour tester l'efficacité de photo catalyseur qu'on a produise, nous a avons fait un épreuve comme suit :

II.4.1 Production d'hydrogène :

Dans ce épreuve on a utilisé l'électrolyse **figure II.5** et c'est une appareil pour l'électrolyse de l'eau pour production d'hydrogène et de l'oxygène il se compose de source d'énergie 12 v et un récipient contient deux pole cathode et anode en cuivre, et le débit de gaz d'hydrogène et le débit de gaz d'oxygène ont été mesurés à l'aide d'une éprouvette graduée inversée et remplie de la même solution.

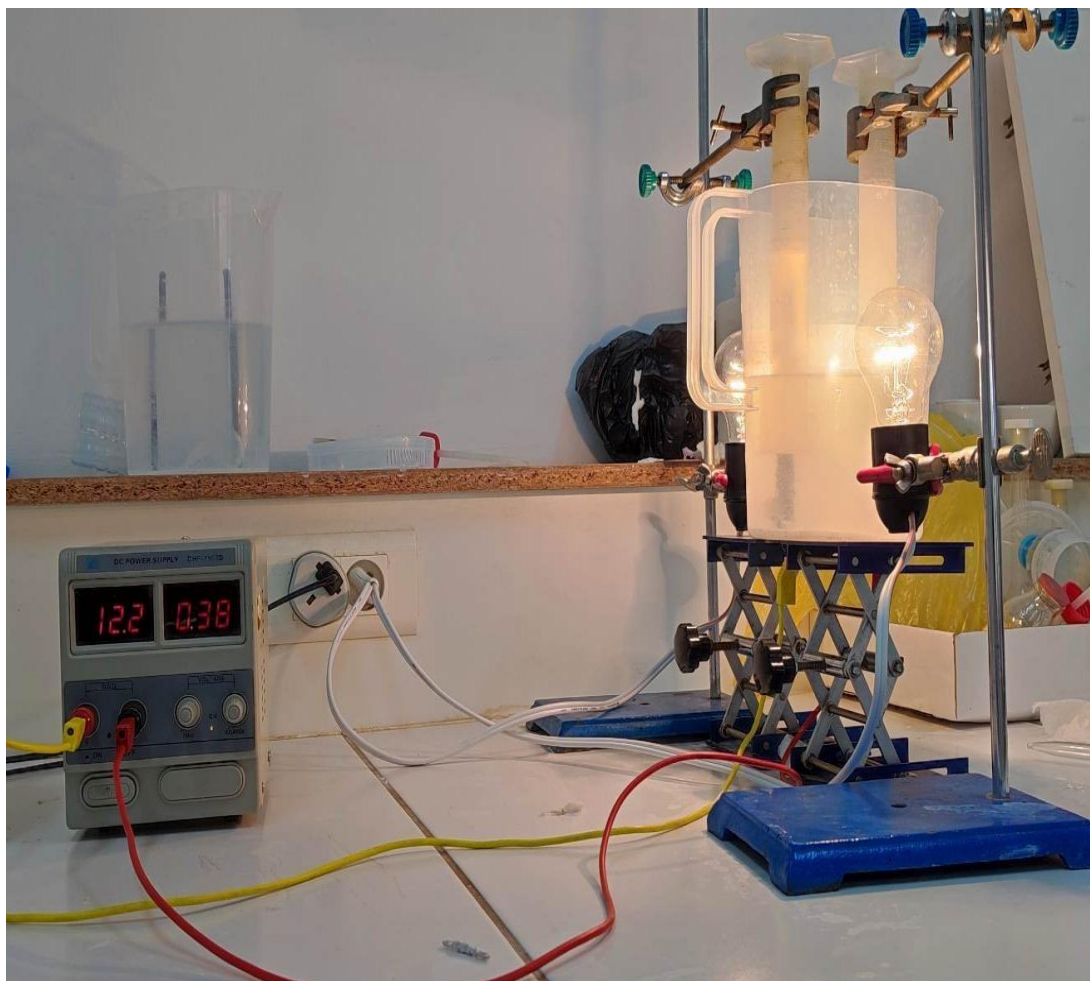


Figure II.5: Image du montage expérimental utilisé pour la décomposition de l'eau (l'électrolyseur).

Étude de l'effet de quelques paramètres sur les performances de l'électrolyseur :

Dans Série expérience, nous avons rempli un récipient d'eau potable avec des caractéristiques spécifiques, telles qu'illustrées dans la. Tout d'abord, nous avons testé la production d'hydrogène à partir de l'eau seule. Ensuite, nous avons testé la production d'hydrogène à partir de l'eau en ajoutant des sels ou des bases. Dans notre cas, nous avons utilisé NaOH et KOH, et nous avons comparé les résultats entre les deux bases pour utiliser la meilleure dans la suite de l'expérience. Nous avons utilisé NaOH pour tester le catalyseur photochimique. Nous avons pris 2 grammes de la base (NaOH) et 2 grammes d'un échantillon de l'un des quatre catalyseurs photochimiques, et nous les avons ajoutés à 1200 millilitres d'eau potable. Ensuite, nous avons placé cette solution dans un électrolyseur, où nous avons testé l'activité du catalyseur photochimique avec et sans utilisation de la lumière pour observer l'impact de la lumière sur le catalyseur et l'effet de la durée d'exposition à la lumière sur la production d'hydrogène. Dans notre cas, nous

l'avons testé sans exposition à la lumière pendant 40 minutes et avec exposition à la lumière pendant 80 minutes. Nous avons réalisé cette expérience sur les quatre échantillons pour en tirer les meilleurs résultats en termes de production d'hydrogène et d'oxygène et d'activité. Le tableau II.4 résume les paramètres étudiés et leurs conditions opératoires.

Tableau II.4: Conditions opératoires du processus de l'électrolyse de l'eau.

	Température (°C)	Masse de Sels (g)	Temps (min)		volume d'eau (ml)	L'intensité du courant(v)	Type de sels	temps à la lumière (min)	Mass de photo catalyseur
Série A ₁ -A ₂	24-32	3	60		1200	12	NaOH et KOH	30	0
Série B ₁ -B ₄	24-30	0-3	40		1200	12	NaOH	40	0
Série C ₁ -C ₄	24.5-33.5	2	80		1200	12	NaOH	80	2
Série D ₁ -D ₂	22.5-33	2	120		1200	12	NaOH	80	2

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1 Effet de différents paramètres sur l'activité photo catalytique : sur les performances de l'électrolyseur :

III.1.1 Effet de la masse de NaOH :

Dans cette expérience que nous avons réalisée sur quatre échantillons d'hydroxyde de sodium, notre objectif était de trouver la meilleure masse en termes d'efficacité, tout en prenant en compte les possibilités des expériences à venir. Nous avons remarqué que nous avons un ensemble des **figure III.1(a,b,c)**. La **figure III.1 (a)** représente le débit de gaz d'hydrogène produit par l'électrolyseur en fonction du temps pour les quatre échantillons, tandis que la **figure III.1 (b)** représente le débit de gaz d'oxygène en fonction du temps. La **figure III.1 (c)** quant à elle représente la variation de la température en fonction du temps.

Sur la **figure III.1 (a)**, nous constatons que la masse de 3 grammes d'hydroxyde de sodium était la plus efficace et la plus productive en termes de production de gaz d'hydrogène. De même, nous observons cela sur la **figure III.1 (b)** en ce qui concerne le gaz d'oxygène. En ce qui concerne la **figure III.1 (c)**, la température dans tous les échantillons augmentait progressivement en raison de la chaleur des lampes utilisées dans l'expérience.

En conclusion, nous pouvons déduire que la masse de NaOH de 3 grammes est le meilleur en termes de production et d'efficacité. Comme nous concluons l'augmentation de la production de gaz d'hydrogène peut être le résultat d'une augmentation de la disponibilité d'électrons impliqués dans le processus d'analyse électrolytique. Lorsque le courant électrique est appliqué à la solution contenant de l'hydroxyde de sodium, la masse de l'hydroxyde de sodium augmente la disponibilité des électrons et contribue aux réactions d'analyse et à la production de gaz d'hydrogène.[34]

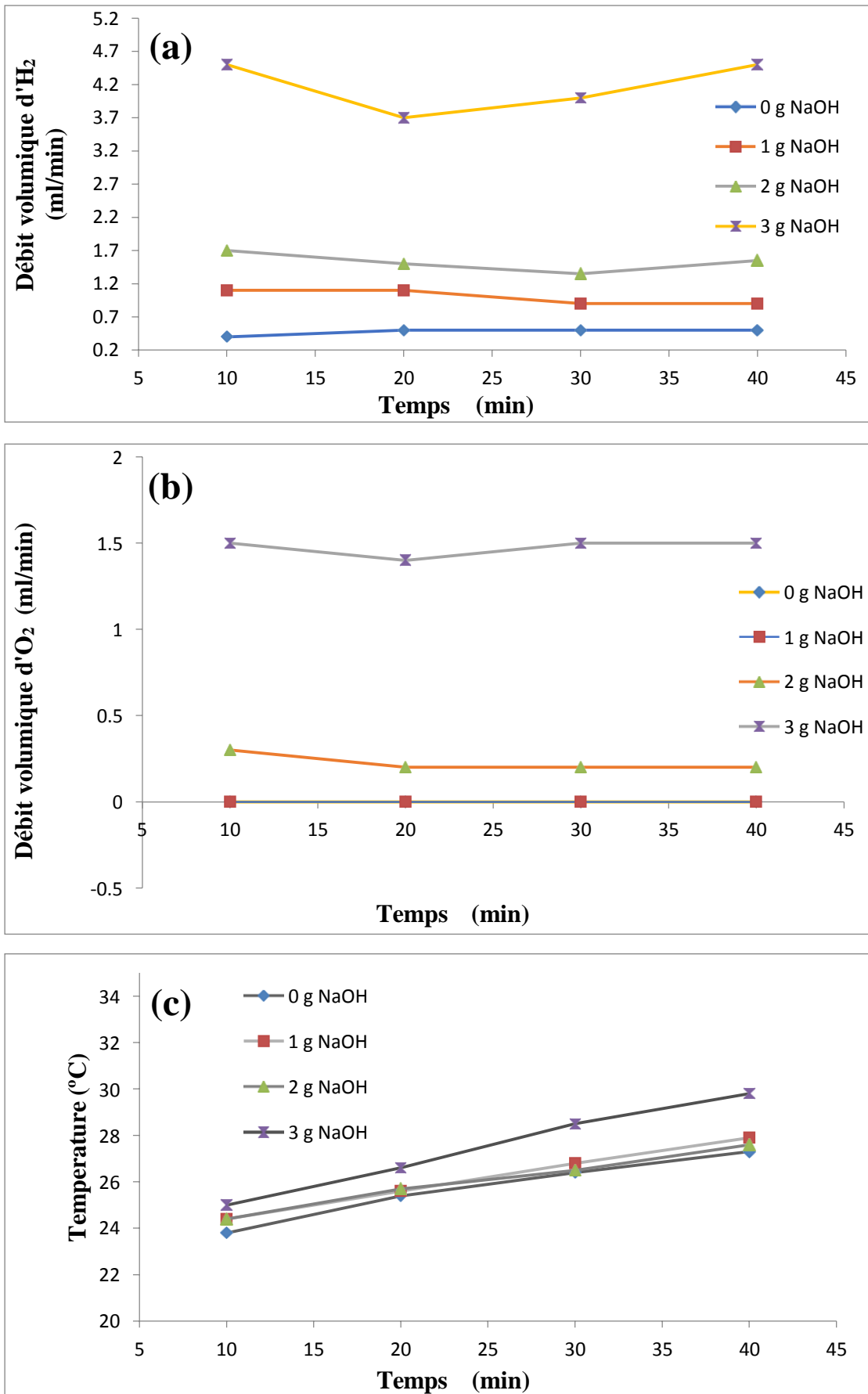


Figure III.1 : Effet de la masse de NaOH sur l'activité électrolytique

III.1.2 Effet de différents sels sur l'activité électrolytique :

Dans cette expérience, nous avons trois **figure III.2** (a,b,c). La **figure III.2(a)** représenté le débit de gaz d'hydrogène en fonction du temps, la **figure III.2(b)** représente le débit de gaz d'oxygène en fonction du temps, et la **figure III.2(c)** représente la variation de la température en fonction du temps. Cette expérience a été réalisée pendant une heure, la première 30 min sans utilisation de lumière et la deuxième 30 min avec utilisation de lumière.

À partir de la **figure III.2(a)**, nous remarquons que l'hydroxyde de sodium est plus efficace que l'hydroxyde de potassium dans la production de gaz d'hydrogène, avec une production deux fois plus importante. Ce constat est également observé dans la **figure III.2(b)**. En ce qui concerne la **figure III.2(c)**, pendant les premières 30 minutes, la température reste stable au niveau de la température ambiante, mais au cours des 30 minutes suivantes, nous observons une augmentation progressive de la température due à la chaleur émise par les lampes utilisées dans l'expérience.

Nous pouvons donc conclure à partir de ces résultats que l'hydroxyde de sodium est plus efficace que l'hydroxyde de potassium. Nous allons donc nous appuyer sur cette constatation pour les prochaines expériences. comme nous concluons L'hydroxyde de sodium est considéré comme étant plus capable de conduire le courant électrique en raison de sa facilité à se dissocier en ions. Cela facilite les réactions d'électrolyse et augmente la production d'hydrogène.[35]

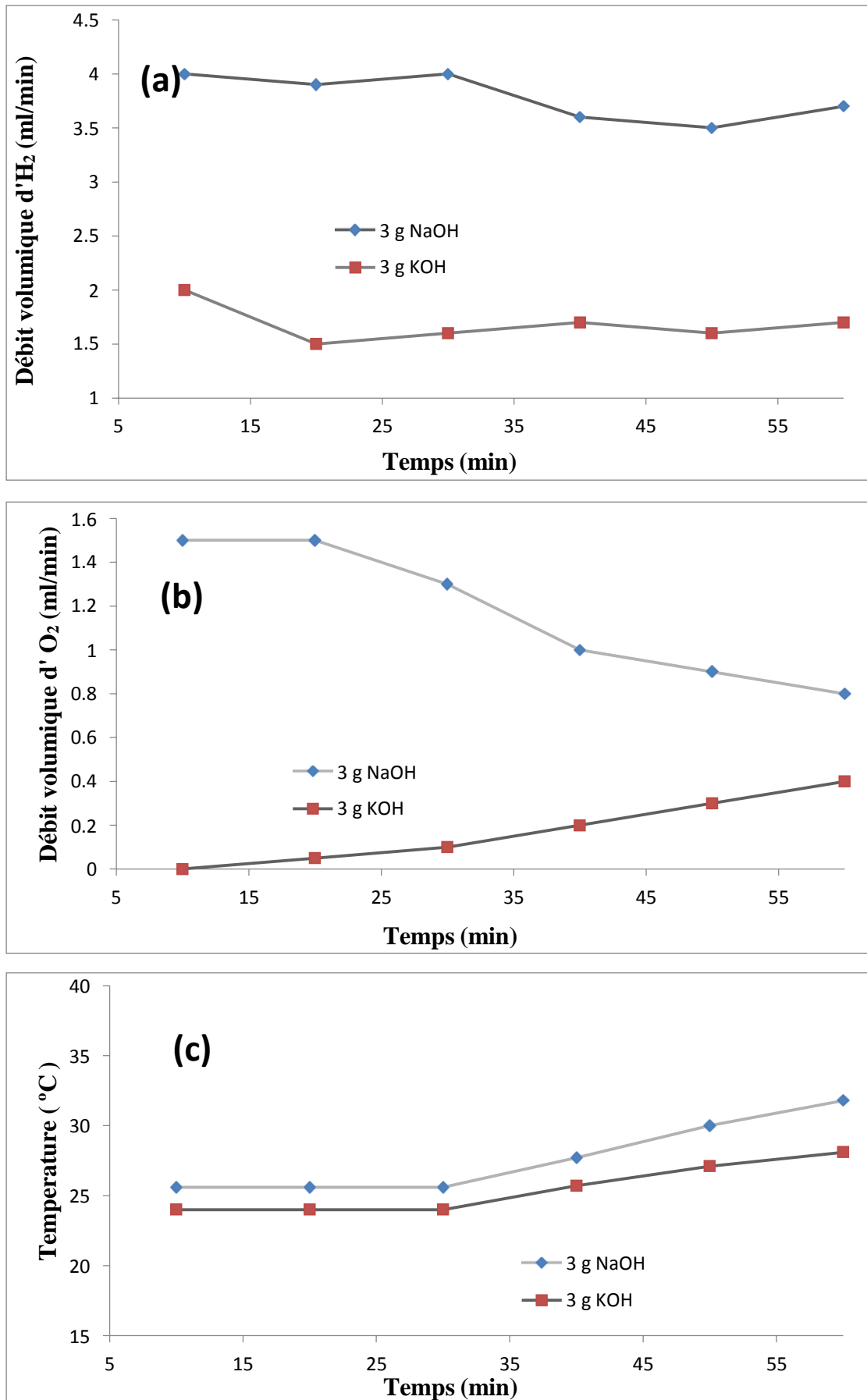


Figure III.2 : Effet de différents sels sur l'activité électrolytique.

III.2 Activité de différents photocatalyseurs:

. À travers les résultats de l'expérience, nous remarquons à partir de la **figure III.3(a)** que la photocatalyseurs (5/5 PC) et (1/5 PC) sont très proches en termes de débit de gaz d'hydrogène, tandis que la photocatalyseurs (3/5 PC) est supérieur en termes de débit de gaz d'hydrogène avec une différence notable, comme le montre la **figure III.3(a)**.

Quant au débit de gaz d'oxygène, nous constatons que la photocatalyseurs (3/5 PC) est toujours supérieur aux autres photocatalyseurs qui présentent des résultats similaires, comme le montre la **figure III.3(b)**. En ce qui concerne la température, nous observons une augmentation progressive de la température, et tous les photocatalyseurs ont presque la même température, comme le montre la **figure III.3(c)**.

Ainsi, nous pouvons conclure à partir de ces résultats obtenus lors de l'expérience que la photocatalyseurs (3/5PC) est le meilleur en termes de productivité et de débits de gaz d'hydrogène et d'oxygène, et il est le plus efficace parmi les photocatalyseurs. Nous concluons également que le catalyseur (3/5PC) est meilleur pour ces raisons:

1. Quantité de catalyseur : Une augmentation de la quantité de photocatalyseur peut augmenter la disponibilité des sites de réaction, ce qui augmente l'efficacité du catalyseur dans la réaction de production d'hydrogène.[36]
2. Équilibre de réaction : Il existe une proportion optimale du photocatalyseur dans la solution pour atteindre un équilibre de réaction optimal. L'échantillon de 3 grammes pourrait avoir atteint cet équilibre de manière plus efficace, ce qui a conduit à une augmentation de la production d'hydrogène. [37]

De plus, le catalyseur(5/5PC) n'est pas le meilleur pour ces raisons:

1. Saturation des sites réactifs : Une saturation des sites réactifs peut se produire lorsque la quantité de catalyseur est augmentée. Lorsque la saturation se produit, il peut y avoir une diminution du nombre de sites disponibles pour la réaction, ce qui entraîne une réduction de l'efficacité de production d'hydrogène. [38]
2. Effet de l'épaisseur de la couche : L'augmentation de la quantité de catalyseur signifie également une augmentation de l'épaisseur de la couche. Une augmentation de l'épaisseur de la couche peut entraîner une diffusion insuffisante de la lumière dans la couche, ce qui réduit l'efficacité de la réaction de catalyse photochimique et affecte la production d'hydrogène. [39]

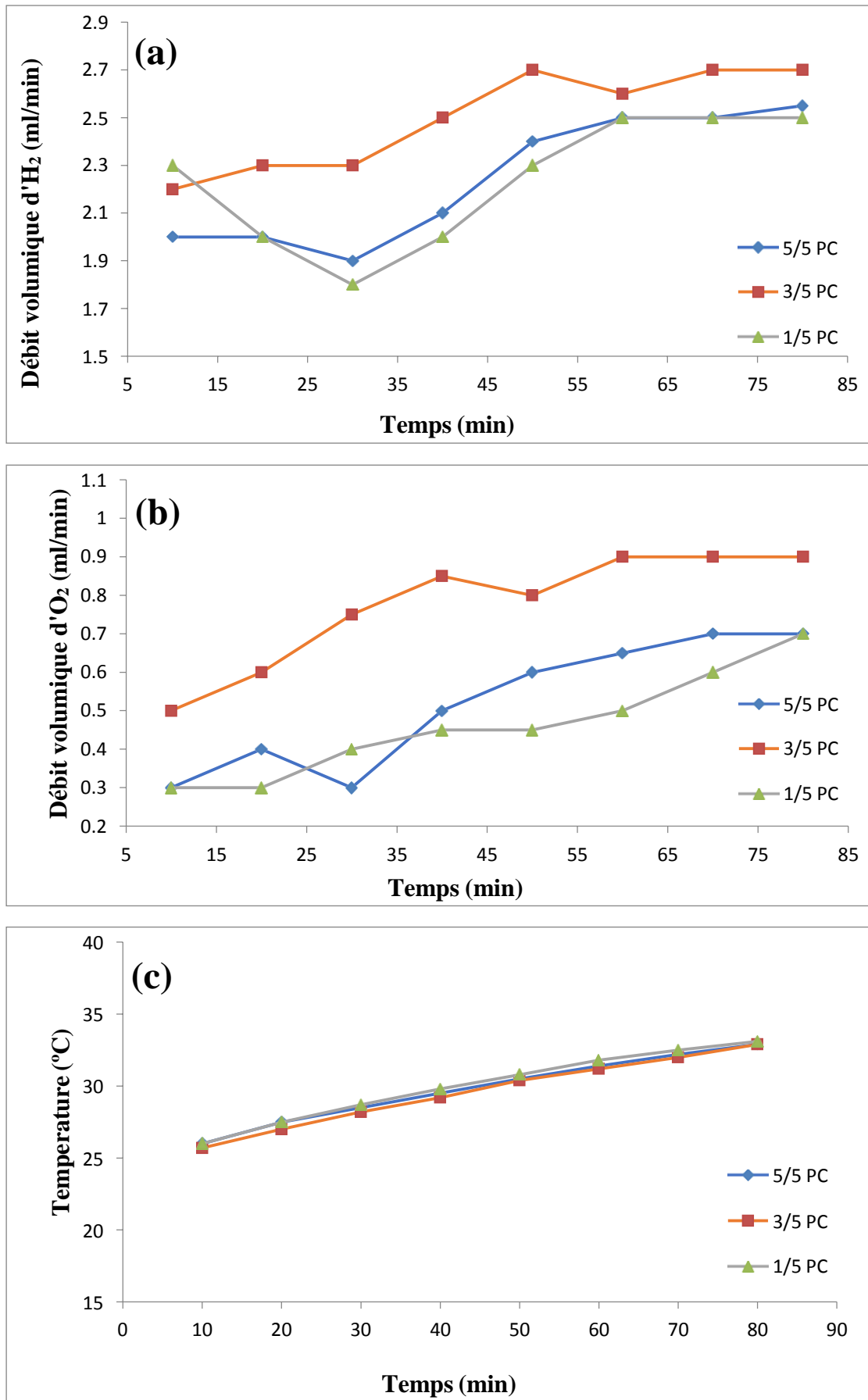


Figure III.3 : Activité photocatalytique de différents photocatalyseurs.

III.3 Effets de la lumière :

L'effet de ne pas être exposé à la lumière et de l'exposition à la lumière pendant une période de temps plus longue a été étudié à la fois sur une solution avec un photocatalyseur et sur une solution sans photocatalyseur, qui apparaît sur la figure (a) III.4. On peut noter que la lumière, bien sûr, a un rôle effectif sur l'efficacité du photocatalyseur, mais il est important de noter également que plus le photocatalyseur est exposé à la lumière, plus son efficacité et sa stabilité sont importantes, et cela se répercute positivement sur la production d'hydrogène gaz, et cela est évident à travers la Figure III.4 (a), comme pour la Figure III.4 (b), qui montre le flux d'oxygène gazeux vers la Figure III.4(a) renforce fortement ce que nous avons remarqué en ce qui concerne la température. On remarque qu'elle monte dès qu'on utilise la lumière à cause de la chaleur dégagée par celle-ci, comme le montre la Figure III.4(C).

Si la conclusion de cette sortie est la suivante, dans le cas où la lumière n'est pas utilisée, on constate la convergence des résultats entre les deux solutions, que la situation diffère avec notre utilisation de la lumière, on constate une augmentation significative de l'activité de le photocatalyseur, qui le traduit ou on le voit à travers le flux d'hydrogène gazeux, et plus le photocatalyseur est exposé à la lumière. Plus la durée d'exposition à la lumière est longue, plus son efficacité et sa stabilité approchées sont grandes.

En conclusion on peut dire L'effet de la lumière sur le catalyseur photochimique et, par conséquent, sur son activité et la production accrue de gaz d'hydrogène peut être expliqué par le processus connu sous le nom de photocatalyse. Lorsque le catalyseur photochimique est exposé à la lumière, l'énergie lumineuse est utilisée pour activer les particules à la surface du catalyseur. Ces particules activées augmentent leur capacité à interagir avec les substances chimiques présentes dans la solution, ce qui favorise les réactions chimiques nécessaires pour convertir les substances primaires en gaz d'hydrogène.

De plus, l'exposition prolongée du catalyseur photochimique à la lumière peut entraîner une augmentation de sa stabilité et de son efficacité. Cela est dû à l'effet de la lumière sur le processus de régénération de la surface, où la lumière peut éliminer les impuretés et les dépôts accumulés à la surface du catalyseur, améliorant ainsi son activité et maintenant sa stabilité à long terme.

Par conséquent, on peut dire que l'effet de la lumière sur le catalyseur photochimique améliore son efficacité et augmente la productivité de la conversion des substances primaires en gaz d'hydrogène.[40]

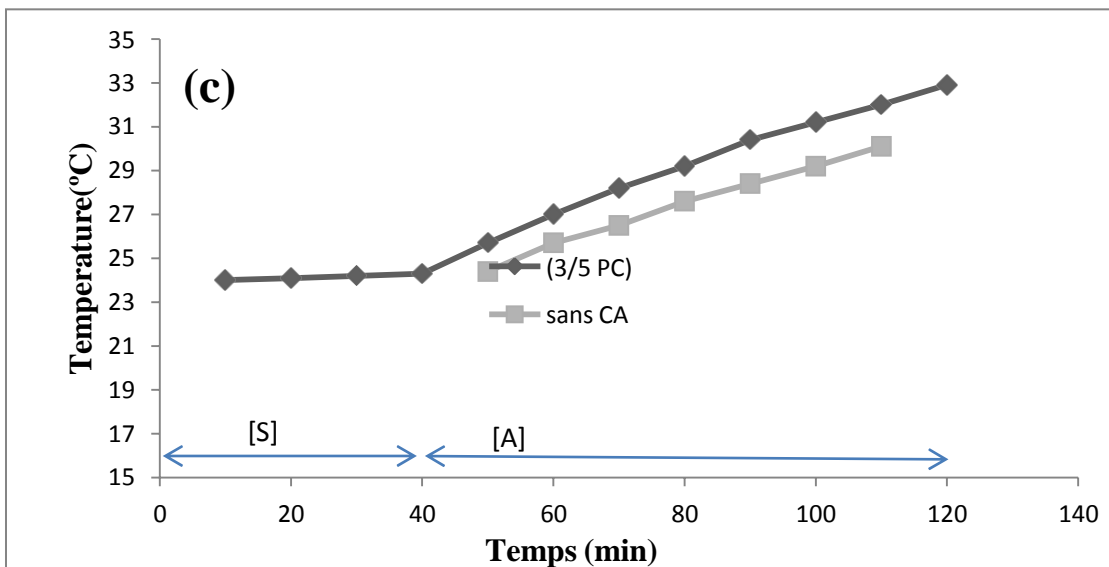
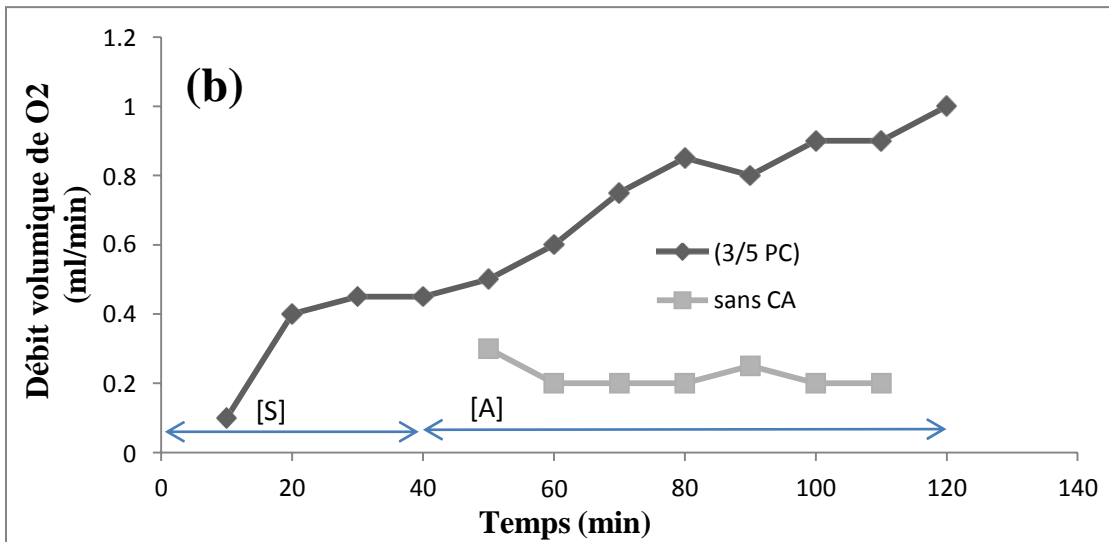
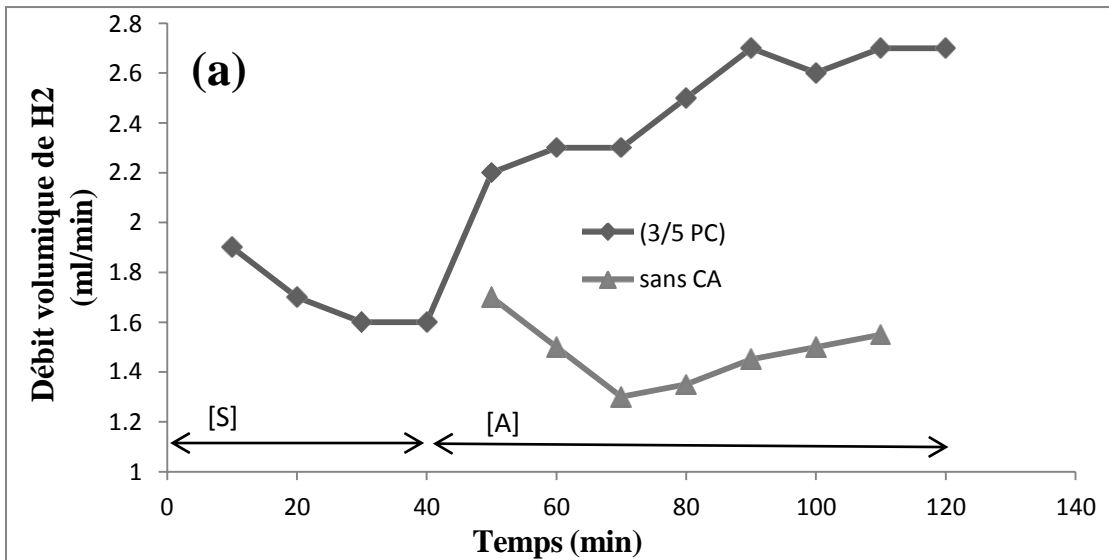


Figure III.4 : Effets de la lumière

III.4 Comparaison entre 3/5 PC et 3/5'PC :

Dans le cadre de cette expérience, nous avons obtenu des résultats qui mettent en évidence les différences entre deux photocatalyseurs de catalyseur photochimique. L'objectif était de déterminer lequel des deux est meilleur.

D'après les résultats de la **figure III.5(a)**, nous observons que les deux photocatalyseurs sont relativement proches en termes d'efficacité et de productivité. Cependant, dans l'ensemble, les photocatalyseurs 3/5'PC(a donné les meilleurs résultats, montrant une nette amélioration, comme le montre la **figure III.5(a)**.

En ce qui concerne le débit de gaz oxygène, les résultats de la **figure III.5(b)** indiquent que la photocatalyseurs 3/5 PC(est toujours en tête, bien que les résultats des autres photocatalyseurs soient relativement similaires.

Par ailleurs, en examinant la **figure III.5(c)**, nous constatons une augmentation progressive de la température au cours des 40 premières minutes de l'expérience, lorsque nous n'avons pas utilisé la lumière. Les résultats des photocatalyseurs étaient alors très similaires et meilleurs que ceux de la photocatalyseurs témoin, qui n'a pas utilisé de catalyseur photochimique. Cependant, au cours des 40 dernières minutes, lorsque nous avons utilisé la lumière, nous avons remarqué une nette amélioration de la photocatalyseurs 3/5 PC(par rapport à la photocatalyseurs 3/5 PC(, qui avait tendance à se stabiliser, comme le montre la **figure III.5(a)**.

En ce qui concerne les résultats de la **figure III.5(b)**, les résultats des deux échantillons étaient généralement similaires, comme indiqué sur la **figure III.5**. Quant à la **figure III.5(c)**, les températures étaient presque identiques, avec de légères variations pouvant être attribuées à des jours différents d'expérimentation. Cela suggère que les différences de température entre les deux échantillons sont minimales. Nous avons également constaté une stabilité de la température au cours des 40 premières minutes, lorsque nous n'avons pas utilisé la lumière, la température se maintenant à celle de l'environnement. Cependant, lorsque nous avons utilisé la lumière, la température a augmenté en raison de sa chaleur.

En conclusion, cette expérience nous permet de déduire que la photocatalyseurs 3/5 PC(est plus efficace et productif en termes de production de gaz hydrogène. Il convient de noter que c'est la photocatalyseurs était préparé en utilisant les cendres issues de la régénération thermique du charbon actif saturé. Par conséquent, nous ajoutons à nos conclusions précédentes que les cendres pourraient servir de catalyseur photochimique ou augmenter l'efficacité du catalyseur photochimique, comme nous concluons Il est possible que les cendres de carbone actif agissent comme un auxiliaire ou un

catayseur photochimique dans le processus de réaction de production d'hydrogène. Les cendres de carbone actif pourraient contribuer à augmenter la surface réactive et à améliorer la distribution de la lumière, ce qui améliorerait l'efficacité de la réaction et, par conséquent, la production d'hydrogène.[41]

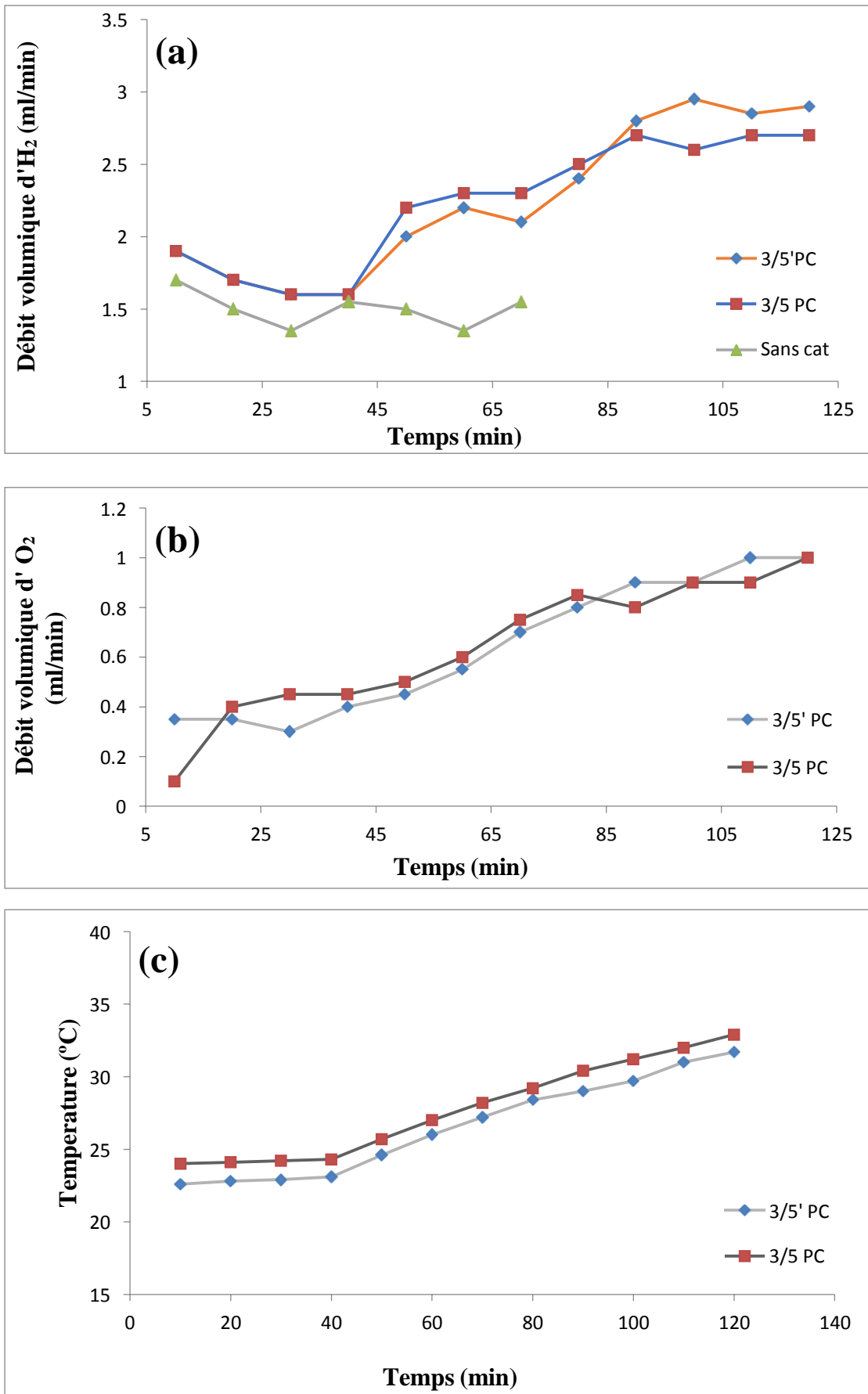


Figure III.5 : Comparaison entre)3/5 PC(et)3/5'PC(

Conclusion général

Conclusion général:

ce projet de PFE axé sur la synthèse et la caractérisation d'un photocatalyseur pour la génération d'hydrogène à partir de l'eau a permis d'explorer une voie prometteuse pour la production durable d'énergie propre. Grâce à une combinaison de connaissances en chimie, en matériaux et en catalyse, nous avons réussi à concevoir et à développer un photocatalyseur efficace capable de convertir l'énergie solaire en hydrogène, un vecteur énergétique propre et renouvelable.

La caractérisation approfondie du photocatalyseur a révélé ses propriétés structurales, morphologiques et optiques essentielles, confirmant son potentiel pour les applications photovoltaïques. Les résultats obtenus ont démontré une activité catalytique prometteuse, avec une production significative d'hydrogène à partir de l'eau en présence de lumière solaire. Cette avancée ouvre la voie à une alternative durable à la production traditionnelle d'hydrogène, qui est souvent basée sur des méthodes énergivores et polluantes.

L'importance de ce projet ne se limite pas seulement à la production d'hydrogène propre, mais également à ses implications plus larges dans le domaine de l'énergie renouvelable. L'hydrogène peut servir de source d'énergie pour les véhicules à hydrogène, les piles à combustible et les systèmes de stockage d'énergie, offrant ainsi une solution pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la transition vers une économie bas-carbone.

Cependant, il convient de souligner que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour améliorer davantage l'efficacité du photocatalyseur, optimiser les conditions de réaction et développer des technologies de production d'hydrogène à plus grande échelle. De plus, la durabilité, la stabilité et la réutilisabilité du photocatalyseur doivent être étudiées plus en profondeur pour garantir sa viabilité à long terme.

En conclusion, ce projet de PFE a apporté une contribution significative à la recherche sur la génération d'hydrogène à partir de l'eau en utilisant des photocatalyseurs. Il représente un pas important vers la réalisation d'une société énergétique plus propre et durable, en exploitant les ressources renouvelables et en réduisant notre dépendance aux combustibles fossiles. Il offre également des perspectives intéressantes pour les futures avancées scientifiques et technologiques dans le domaine de la catalyse et de la conversion de l'énergie solaire.

Références bibliographique

- [1] "Handbook of Hydrogen Energy" par S.A. Sherif (Éditeur), CRC Press.
- [2] R. Campanari, "Hydrogen and Fuel Cells: Advanced Materials and New Technologies," Springer.
- [3] R. S. Buchwaldt et al., "Hydrogen Energy Storage: Grid and Transportation Services," John Wiley & Sons.
- [4] G. B. Marin et al., "Hydrogen in Industrial Applications: Technology, Market and Policy Perspectives," Springer.
- [5] SAE International, "Hydrogen Fuel Cell Vehicle Design and Development," [En ligne]. Disponible: https://www.sae.org/standards/content/j2600_202010/.
- [6] M. R. D. Rodrigues et al., "Hydrogen-Based Autonomous Power Systems: Techno-Economic Analysis of the Integration of Hydrogen in Autonomous Power Systems," *Energies*, vol. 14, no. 5, 2021.
- [7] E. Hegelich et al., "Hydrogen in Aviation: Toward a Low Emission Aircraft Operation," *Energy Procedia*, vol. 227, 2021, p. 274-280.
- [8] A. Züttel, "Hydrogen Production Methods," *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, Elsevier, 2009.
- [9] D. P. Dubey et al., "Hydrogen Production by Steam Reforming of Methane: Catalysts, Advances, and Applications," *Catalysts*, vol. 9, no. 10, 2019.
- [10] J. R. Rostrup-Nielsen et al., "Hydrogen Production by Methanol Reforming," *Science*, vol. 282, no. 5390, 1998, p. 267-270.
- [11] G. G. Botas et al., "Hydrogen Production by Biomass Gasification: A Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 44, 2015, p. 851-866.
- [12] L. Zhang et al., "Electrochemical Hydrogen Production," *Handbook of Fuel Cells: Fundamentals, Technology and Applications*, John Wiley & Sons, 2010.
- [13] A. Züttel et al., "Hydrogen Production from Natural Gas for Fuel Cell Vehicles," *Chimia*, vol. 56, no. 6, 2002, p. 280-283.
- [14] A. Züttel et al., "Hydrogen Production from Water Electrolysis: Current Status and Future Perspectives," *Proceedings of the IEEE*, vol. 94, no. 10, 2006, p. 1826-1836.
- [15] C. Capiglia et al., "Water Electrolysis for Hydrogen Production," *Electrochemical Acta*, vol. 51, no. 5, 2006, p. 818-825.

- [16] T. A. Zawodzinski et al., "Electrolysis of Water and Sustainable Development," *Chemical Reviews*, vol. 104, no. 10, 2004, p. 4181-4205.
- [17] Newman, J. et Thomas-Alyea, K., "Electrochemical Systems," 3rd edition, Wiley, 2004.
- [18] Bard, A.J., Parsons, R. et Jordan, J., "Standard Potentials in Aqueous Solution," *CRC Handbook of Electrochemistry*, 2nd edition, CRC Press, 2007.
- [19] Atkins, P. et de Paula, J., "Physical Chemistry," Oxford University Press, 201
- [20] Kornyshev, A.A., "Electrochemistry of Interfacial Water: From Electrolyte Solutions to Electrified Interfaces," *Chemical Reviews*, vol. 118, no. 19, 2018, p. 10748-10803.
- [21] Verbrugge, M.W., "Water Electrolysis: Mechanisms and Material Challenges," *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, vol. 9, 2018, p. 311-335.
- [22] Siebel, A., Gülzow, E., "Influence of Electrolyte Concentration on Efficiency and Cell Voltage of Water Electrolysis," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 32, no. 15, 2007, p. 3429-3436.
- [23] Pletcher, D., Green, R.A., "Electrochemistry: Principles and Applications," Oxford University Press, 2018.
- [24] Barbir, F., "PEM Electrolysis for Production of Hydrogen from Renewable Energy Sources," *Solar Energy*, vol. 78, no. 5, 2005, p. 661-669.
- [25] Fujishima, A., Honda, K., "Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode," *Nature*, vol. 238, no. 5358, 1972, p. 37-38.
- [26] Wang, Z.L., "Zinc oxide nanostructures: Growth, properties and applications," *Journal of Physics: Condensed Matter*, vol. 16, no. 25, 2004, R829-R858.
- [27] Kim, W.J., Kim, Y.W., "Synthesis and characterization of nanostructured ZnO materials," *Journal of Materials Science*, vol. 37, no. 24, 2002, p. 5155-5163.
- [28] Özgür, Ü., Alivov, Y.I., Liu, C., et al., "A comprehensive review of ZnO materials and devices," *Journal of Applied Physics*, vol. 98, no. 4, 2005, 041301.[29] Zhang, Y., Dai, J., Yu, T., et al., "ZnO-based transparent conductive oxides: Doping, performance, and processing," *Journal of Materials Science*, vol. 47, no. 2, 2012, p. 590-613.
- [30] Janotti, A., Van de Walle, C.G., "Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor," *Reports on Progress in Physics*, vol. 72, no. 12, 2009, 126501.
- [31] O'Brien, P., "Luminescent materials," *Chemistry of Materials*, vol. 16, no. 23, 2004, p. 4533-4550.
- [32] Hsu, Y.F., Xi, Y.Y., Granqvist, C.G., "Review of ZnO-based electrochromic devices," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 94, no. 5, 2010, p. 87-101.

- [33] Wang, Z., Ma, Y., Li, Z., et al., "Zinc oxide nanomaterials for energy storage," *Nanoscale*, vol. 7, no. 17, 2015, p. 7420-7447.
- [34] H. Wang, M. Li, J. Zhao, X. Wang, Y. Li, "Effect of NaOH concentration on the performance of a PEM water electrolyze", *International Journal of Hydrogen Energy*, 5102, 40, 22, 7135-7129.
- [35] «Comparative Study of Sodium Hydroxide and Potassium Hydroxide as Alkaline Electrolytes for Electrochemical Hydrogen Production», *Comparative Study of Sodium Hydroxide and Potassium Hydroxide as Alkaline Electrolytes for Electrochemical Hydrogen Production*, *International Journal of Hydrogen Energy*, 5102, 41, 14117-14124.
- [36] "Effect of Catalyst Loading on Hydrogen Production from Sodium Hydroxide Solution", *Journal of Catalysis*, 2018, 142, 82-75.
- [37] "Influence of Catalyst Mass on Hydrogen Production from Potassium Hydroxide Solution", *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, 45, 9883-9876.
- [38] Article: "Enhanced photocatalytic activity of ZnO supported on activated carbon for hydrogen production", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2019, Volume 19, numéro 7, pages 3944-3950.
- [39] Article : "Highly efficient photocatalytic hydrogen production from sodium hydroxide solution using ZnO/graphene quantum dots nanocomposites", *Journal of Colloid and Interface Science*, 2018, Volume 510, pages 109-118.
- [40] Fujishima, A., & Honda, K. (1972). Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature*, 238(5358), 37-38.
- [41] Article: Carbon-based photocatalysts for solar-driven hydrogen evolution: a critical review, *Energy & Environmental Science*, 2019, 475-44

عنوان المذكرة: توليف وتوصيف عامل حافز ضوئي لتوليد الهيدروجين من الماء.
اللقب: ناهي;

المؤطر: جميلة براهيمى

الاسم: جابر ;

اللقب: خارف;

ملخص: إن إنتاج الهيدروجين من الماء باستخدام الطاقة الشمسية كمصدر تفعيل هو موضوع بحث واعد في مجال الطاقة المتجددة. في هذا المشروع الختامي، نركز على تخليق وتوصيف محفز ضوئي لتوليد الهيدروجين. نستكشف تقنيات مختلفة في كيمياء المواد لتطوير مادة فعالة ومستقرة، مثل الشبه موصلات المبنية على التيتانيوم أو الزنك. ندرس أيضًا طرق التخليق لتحسين الخصائص الحفزية للمحفز الضوئي. بمجرد تخليق المادة، نقوم بتوصيفها باستخدام تقنيات تحليلية مختلفة لفهم هيكلها وتركيبها وخصائصها الكيميائية. الهدف النهائي لهذا البحث هو المساهمة في تطوير طرق جديدة لإنتاج الهيدروجين المستدام باستخدام الطاقة الشمسية كمصدر.

كلمات المفتاحية: إنتاج الهيدروجين، المحفز الضوئي، تخليق، التحليل الكهربائي.

Titre du mémoire : synthèse et caractérisation d'un photocatalyseur pour la génération d'hydrogène à partir de l'eau.

Nom : Mohamed Habib Allah

Prénom : nahi

encadreur :

Djamila brahimi

Nom : Djaber

Prénom : kharef

Résumé : La production d'hydrogène à partir de l'eau en utilisant l'énergie solaire comme source d'activation est un sujet de recherche prometteur dans le domaine de l'énergie renouvelable. Dans ce projet de fin d'études, nous nous concentrons sur la synthèse et la caractérisation d'un photocatalyseur pour la génération d'hydrogène. Nous explorons différentes techniques de chimie des matériaux pour développer un matériau efficace et stable, tel que les semi-conducteurs à base de titane ou de zinc. Nous étudions également les méthodes de synthèse afin d'améliorer les propriétés catalytiques du photocatalyseur. Une fois le matériau synthétisé, nous le caractérisons en utilisant diverses techniques d'analyse pour comprendre sa structure, sa composition et ses propriétés physico-chimiques. L'objectif final de cette recherche est de contribuer au développement de nouvelles méthodes de production d'hydrogène durable en utilisant l'énergie solaire.

Mots clés : Production d'hydrogène, Photocatalyseur, Synthèse, Électrolyse.

Memory title: synthesis and characterization of a photocatalyst for the generation of hydrogen from water.

First name: Mohamed Habib Allah

Family name: nahi

Directed by:

Djamila Brahimi

First name: Jaber

Family name: kharef

Abstract: The production of hydrogen from water using solar energy as an activating source is a promising research topic in the field of renewable energy. In this final project, we focus on the synthesis and characterization of a photocatalyst for hydrogen generation. We explore various materials chemistry techniques to develop an efficient and stable material, such as titanium or zinc-based semiconductors. We also study synthesis methods to enhance the catalytic properties of the photocatalyst. Once the material is synthesized, we characterize it using different analytical techniques to understand its structure, composition, and physicochemical properties. The ultimate goal of this research is to contribute to the development of new methods for sustainable hydrogen production using solar energy as a source.

Keywords: Hydrogen production, Photocatalyst, Synthesis, Electrolysis.