



École Nationale Polytechnique
Département de Génie Chimique
Laboratoire de Valorisation des Énergies Fossiles



Mémoire de Projet de Fin d'Études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Chimique

**Détermination des Paramètres Technico-Économiques
des Unités de Production de l'Ammoniac Vert**

Réalisé par:

Melle. Meriem MAZA

Supervisé par:

Dr. Amina AMRI

Présenté et soutenu publiquement le 2 juillet 2025.

Membres du jury:

Président	Mr. R. BOUARAB	Pr	ENP
Promotrice	Mme. A. AMRI	MCA	ENP
Examinatrice	Mme. F. KIES	MCA	ENP



École Nationale Polytechnique
Département de Génie Chimique
Laboratoire de Valorisation des Énergies Fossiles



Mémoire de Projet de Fin d'Études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Chimique

**Détermination des Paramètres Technico-Économiques
des Unités de Production de l'Ammoniac Vert**

Réalisé par:

Melle. Meriem MAZA

Supervisé par:

Dr. Amina AMRI

Présenté et soutenu publiquement le 2 juillet 2025.

Membres du jury:

Président	Mr. R. BOUARAB	Pr	ENP
Promotrice	Mme. A. AMRI	MCA	ENP
Examinatrice	Mme. F. KIES	MCA	ENP

ملخص: تحديد المعايير التقنية والاقتصادية لوحداث إنتاج الأمونيا الخضراء

يهدف هذا العمل إلى وصف عملية إنتاج الأمونيا عن طريق إعادة تشكيل الميثان وتقييم استهلاكها للطاقة بالإضافة إلى انبعاثات CO₂ المرتبطة بها. وبعد ذلك، يتم وصف ومقارنة التقنيات المستخدمة في إنتاج الأمونيا الخضراء من الطاقات المتجددة المتقطعة بناءً على أدائها الفني، وتحديدًا توليد الكهرباء من الألواح الكهروضوئية وتوربينات الرياح، وإنتاج الهيدروجين عن طريق التحليل الكهربائي، وإنتاج النيتروجين، وتحلية مياه البحر. كما يتم تناول تقنيات تخزين الكهرباء والهيدروجين والأمونيا. وأخيرًا، تم شرح المقاييس الاقتصادية اللازمة للدراسات التقنية والاقتصادية لسختلف سيناريوهات إنتاج الأمونيا الخضراء، بما في ذلك النفقات الرأسمالية والتشغيلية المتعلقة بإنتاج الهيدروجين والأمونيا الخضراء والمياه المحلاة. الكلمات المفتاحية: الأمونيا - الطاقة المتجددة - المحلل الكهربائي - تحلية المياه - التخزين - تكلفة الإنتاج المستوية

Abstract: Determination of the Techno-Economic Parameters of the Green Ammonia Production Units

This work aims to describe the ammonia production process by methane reforming and to evaluate its energy consumption as well as the associated CO₂ emissions. Subsequently, the technologies involved in producing green ammonia from intermittent renewable energies are described and compared based on their technical performance, specifically electricity generation from photovoltaic panels and wind turbines, hydrogen production by electrolysis, nitrogen production, and seawater desalination. Electricity, hydrogen, and ammonia storage technologies are also addressed. Finally, the economic metrics necessary for techno-economic studies of different green ammonia production scenarios are explained, including capital and operational expenses related to hydrogen, green ammonia, and desalinated water production.

Keywords: Ammonia-Renewable Energy-Electrolyser-Desalination-Storage-Levelized Cost of Production

Résumé: Détermination des Paramètres Technico-Économiques des Unités de Production de l'Ammoniac Vert

Ce travail a pour objectif de décrire le procédé de production de l'ammoniac à partir du reformage du méthane et d'évaluer sa consommation énergétique ainsi que les émissions CO₂ associées. Par la suite, les technologies impliquées dans la production de l'ammoniac vert à partir d'énergies renouvelables intermittentes sont décrites et comparées en se basant sur leurs performances techniques, Notamment la production d'électricité à partir de panneaux photovoltaïques et d'éoliennes, la production d'hydrogène par électrolyse, la production d'azote et le dessalement de l'eau de mer. Les technologies de stockage d'électricité, d'hydrogène et d'ammoniac sont aussi abordées. Enfin, les métriques économiques nécessaires pour des études technico-économiques des différents scénarios de production de l'ammoniac vert sont expliquées, notamment les dépenses d'investissement et opérationnelles associées à la production d'hydrogène, d'ammoniac vert et d'eau dessalée.

Mots clés: Ammoniac-Énergie Renouvelables-Électrolyseur-Dessalement-Stockage-Coût Actualisé de production

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à mes parents, pour leur amour infini, leur patience, leurs sacrifices et la confiance qu'ils m'ont toujours accordée. Leur présence et leur soutien ont été ma plus grande force tout au long de ce parcours. Mon plus grand souhait est de pouvoir, un jour, leur rendre toute la fierté qu'ils méritent.

J'adresse également une pensée profonde à mes deux frères et à ma sœur, qui m'inspirent et me motivent chaque jour, ainsi qu'à mes grands-parents, si chers à mon cœur, qui attendaient ce moment avec tant d'impatience et de fierté.

À Ikram, Amel, Safa, Khouloude, Aya, Maroua, Nour El Imene, ainsi qu'à toute ma promotion de génie chimique, avec qui j'ai partagé tant de moments de joie, de sourires et de souvenirs précieux que je garderai toujours en mémoire. Je vous souhaite tout le succès que vous méritez.

Et bien sûr, une pensée particulière à Zineb et Sabrina, mes amies de longue date, pour leur soutien et leur bienveillance constants.

Je remercie enfin mes oncles et tantes pour leurs encouragements sincères et constants; même éloignés, ils n'ont jamais cessé de veiller sur moi avec affection.

- Meriem

Remerciements

Avant tout, je rends grâce à Allah, Le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener ce travail à bien.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à mon encadrante, Dr. **A. AMRI**. Son accompagnement a été bien plus qu'un simple encadrement académique, elle n'a pas hésité à s'investir personnellement. Son dévouement, sa générosité et son engagement m'ont permis de mener ce travail à son terme dans les délais prévus. Je lui en serai toujours profondément reconnaissante.

Je remercie chaleureusement Pr. **R. BOUARAB** pour avoir accepté de présider le jury, ainsi que Dr. **F. KIES**, pour m'avoir fait l'honneur d'examiner ce modeste travail.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble des enseignants du département de génie chimique pour la qualité de l'enseignement dispensé et leur accompagnement tout au long de mon cursus.

Enfin, je n'oublie pas toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. À chacune d'elles, j'adresse mes plus sincères remerciements.

Tables des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des Acronymes

Introduction	12
1 Production de l'Ammoniac par Reformage du Méthane	15
1.1 Introduction	15
1.2 Généralités sur l'Ammoniac	15
1.3 Production Mondiale de l'Ammoniac	16
1.4 Procédé de Synthèse de l'Ammoniac	17
1.4.1 Production d'Hydrogène	18
1.4.2 Boucle de Synthèse de l'Ammoniac	21
1.5 Analyse Énergétiques et des Émissions CO ₂ du Procédé	22
1.5.1 Analyse de la Consommation Énergétique	22
1.5.2 Analyse des Émissions CO ₂	22
1.5.3 Comparaison avec d'autres Industries Énergivores	24
1.6 Conclusion	25
2 Production de l'Ammoniac Vert	28
2.1 Introduction	28
2.2 Production d'Électricité Renouvelable	30
2.2.1 Énergie solaire	30
2.2.2 Caractéristiques des systèmes PV	32
2.2.3 Énergie éolienne	33
2.2.4 Performances des technologies d'énergie renouvelable	36
2.2.5 Potentiel énergétique solaire et éolien de l'Algérie	37
2.3 Dessalement de l'Eau de Mer	39
2.4 Production d'Hydrogène par Électrolyse	40
2.4.1 Electrolyseur Alkaline	41

2.4.2 Electrolyseur à Membrane Echangeuse de Protons (PEM)	42
2.4.3 Electrolyseur à oxyde solide (SOE)	43
2.4.4 Caractéristiques techniques des électrolyseurs	44
2.5 Production d'Azote N ₂	46
2.6 Stockage de l'Électricité Renouvelable	50
2.7 Stockage de l'Hydrogène	53
2.8 Stockage de l'Ammoniac	55
2.9 Flux de Sous-Produits	55
2.10 Conclusion	56
3 Paramètres Économiques de la Production de l'Ammoniac Vert	59
3.1 Introduction	59
3.2 Evaluation Technico-Economique (TEA)	59
3.3 Estimation du Coût d'un Équipement	61
3.3.1 Estimation du coût d'un équipement par capacité	62
3.3.2 Mise à jour du coût d'un équipement	62
3.4 Coût Actualisé de l'Eau (LCOW)	63
3.4.1 Dimensionnement du sous-système de dessalement	65
3.4.2 Dimensionnement du sous-système de RLN	66
3.4.3 Dimensionnement du sous-système de SEB	67
3.4.4 Dimensionnement du sous-système de SE	67
3.4.5 Coûts opératoires	68
3.5 Coût Actualisé de l'Hydrogène (LCOH)	69
3.5.1 Estimation du LCOH	69
3.5.2 Production d'hydrogène et consommation d'énergie	70
3.5.3 CAPEX de l'Électrolyseur	71
3.5.4 OPEX de l'électrolyseur	72
3.5.5 Subvention	72
3.5.6 Revenu Oxygène	72
3.6 Coût Actualisé de l'Ammoniac (LCOA)	73
3.7 Outils de Calcul des Coûts Actualisés	75
3.8 Conclusion	76
Conclusion Générale	78
Références Bibliographiques	81

Confidentiel