المملكة المغربية
ⵜⴰⴳⵍⴷⵉⵜ ⵏ ⵍⵎⵖⵔⵉⴱ
ROYAUME DU MAROC
KINGDOM OF MOROCCO

FEUILLE DE ROUTE

HYDROGÈNE VERT

Vecteur de Transition Énergétique et de Croissance Durable

« Dans notre construction de l'Afrique de demain, la préservation de l'environnement, est la base de la co-émergence de l'Afrique, le socle sur lequel sera bâtie la croissance économique inclusive du continent.

Nous devons nous atteler ensemble à prendre en compte le réchauffement climatique, ses risques, et à transformer nos économies sur la base du développement durable. »

Extrait du Discours de sa Majesté le Roi Mohammed VI que Dieu l'Assiste, au premier sommet des chefs d'État et de gouvernement de la commission climat et du Fonds bleu du Bassin du Congo (29 avril 2018 à Brazzaville).

LEXIQUE

CGEM	Confédération Générale des Entreprises du Maroc
EnR	Énergies Renouvelables
ENSMR	Ecole Nationale Supérieure des Mines de Rabat
GEP	Green Energy Park
GES	Gaz à Effet de Serre
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Agence allemande de coopération internationale)
GPL	Gaz de Pétrole Liquéfié
H_2	Le Gaz di-Hydrogène
IRESEN	Institut de Recherche en Énergie Solaire et Énergies Nouvelles
JV	Joint Venture
MASEN	Agence Marocaine de l'Énergie Durable
MEME	Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement
METLE	Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau
MICEVN	Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Économie Verte et Numérique
OCP	Groupe OCP
ONEE	Office Nationale de l'Électricité et de l'Eau Potable
ONHYM	Office National des Hydrocarbures et des Mines
PPP	Partenariat Public Privé
PtH ou PtG	Power to Hydrogen ou Power to Gas (Électrolyse de l'eau par l'électricité pour produire l'hydrogène)
PtL	Power to Liquid (Production des Combustibles Synthétiques Liquides)
PtX	Power-to-X Filière de la conversion de l'électricité (renouvelable) en différentes formes d'énergies (énergie primaire, vecteur d'énergie, de chaleur, de froid, ou de matière première)
RD&I	Recherche, Développement et Innovation
RES-E	Electricity from Renewable Energy Sources (Electricité de Sources Renouvelables)
TRLS	Technology Readiness Level (Échelle de Maturité de la Technologie)
UM6P	Université Mohammed VI Polytechnique

SOMMAIRE

INTRODUCTION

HYDROGENE VERT : VECTEUR D'UNE TRANSITION ENERGETIQUE INNOVANTE

POTENTIALITES DU MAROC

APPLICATIONS DE L'HYDROGENE VERT

PROJECTIONS ET PERSPECTIVES POUR UNE ECONOMIE BASEE SUR L'HYDROGENE VERT

PLAN D'ACTION

PREMIERES INITIATIVES

CONCLUSION

INTRODUCTION

Le Royaume du Maroc a initié une dynamique régionale qui a pour objectif de créer une filière économique et industrielle autour de molécules vertes, particulièrement l'hydrogène, l'ammoniac et le méthanol, afin de consolider sa transition énergétique en contribuant à réduire les émissions de gaz à effet de serre et soutenir la décarbonation de pays partenaires. Cet élan s'appuie notamment sur la valorisation d'un potentiel en sources d'énergies renouvelables exceptionnel ainsi qu'une expertise acquise par le Royaume lors de ces 10 dernières années.

La Production de l'hydrogène vert au Maroc favorisera sa croissance économique, contribuera à la décarbonation de son industrie et renforcera la sécurité de son approvisionnement en intrants énergétiques et non énergétiques.

Elle apportera aussi une valeur ajoutée à la production d'électricité de source renouvelable, en particulier sa transformation en produits à plus forte densité énergétique et à fort potentiel de demande de grandes économies mondiales ce qui représente aussi une réelle opportunité pour notre pays pour exporter de l'énergie verte.

L'introduction de l'industrie de l'hydrogène vert et de ses dérivés, « le Power-to-X (PtX) », permettra au Royaume de diversifier son bouquet énergétique à travers l'intégration de sources d'énergie renouvelable dans des secteurs difficiles à décarboner.

L'établissement d'une industrie nationale basée sur l'hydrogène permettrait d'abord de remplacer les importations d'ammoniac par une production locale de cette importante matière première du secteur des engrais. Cette transition contribuera à dérisquer cette activité névralgique pour notre pays et garantira l'approvisionnement à long terme.

HYDROGENE VERT : VECTEUR D'UNE TRANSITION ENERGETIQUE INNOVANTE

L'Hydrogène (H_2) se présente comme un gaz invisible et inodore et c'est l'élément chimique le plus léger et le plus abondant sur Terre. Il est rarement présent à l'état pur mais entre dans la composition de l'eau et des hydrocarbures.

L'Hydrogène n'est pas seulement une source d'énergie mais un « vecteur énergétique » qui peut être stocké, à grande échelle et sur le long terme. Les propriétés de l'hydrogène permettent différentes applications, selon le procédé de production :

- Dans un réseau de gaz naturel mélangé au méthane pour générer de la chaleur ;
- Dans un véhicule comme source d'énergie pour une motorisation électrique (l'électricité est produite par une pile à combustible intégrée dans le véhicule) ou thermique (combustion directe de l'hydrogène) ;
- Dans le réseau électrique, pour produire de l'électricité.

L'hydrogène peut aussi intervenir dans le domaine de la chimie, il y est ainsi valorisé pour ses propriétés chimiques :

- L'hydrogène est utilisé comme matière première dans les secteurs du raffinage d'hydrocarbures, de la production d'engrais, et certains usages de la chimie ;
- L'hydrogène mélangé au CO_2 produit du méthane de synthèse, molécule identique au gaz naturel. Des carburants synthétiques dérivés peuvent également être produits à travers cette filière : Méthanol, Diesel, Kérosène...

Le marché mondial de l'hydrogène est aujourd'hui essentiellement un marché industriel. L'Hydrogène est utilisé dans des procédés de l'industrie pétrolière et de l'industrie chimique.

Les trois marchés les plus importants sont la désulfurisation de carburants pétroliers, la synthèse d'ammoniac principalement pour les engrais, et la chimie.

H_2

POWER-TO-HYDROGEN

L'Hydrogène peut être produit de façon décarbonée et économique grâce à la technologie de l'électrolyse, qui consiste à séparer une molécule d'eau en Hydrogène (H_2) et en Oxygène (O_2) par un apport d'électricité, à condition que l'électricité ayant servie à le produire soit elle-même produite à partir de sources renouvelables.

La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau présente à terme une solution structurante pour l'intégration des énergies renouvelables au système énergétique. Ainsi produit, l'hydrogène permet d'accélérer la décarbonation de plusieurs secteurs dans l'industrie, la mobilité, et les réseaux de gaz.

Il est a noté que les électrolyseurs produisent également de l'oxygène, à raison de 8Kg d'Oxygène (O_2) pour 1Kg d'Hydrogène (H_2). Ainsi, le Maroc pourra également disposer d'une quantité substantielle d'oxygène pour divers applications industrielles, pour le marché local mais également pour l'export.

POTENTIALITES DU MAROC

Le Royaume du Maroc, à travers la vision de Sa Majesté Le Roi, que Dieu l'Assiste, et sa stratégie énergétique ambitieuse a pu se hisser ces dix dernières années au rang de champion régional des énergies renouvelables et a contribué à leur compétitivité.

La Baisse du prix du kilowattheure renouvelable, ainsi que l'abondance de sites Marocains alliant un fort ensoleillement à des vitesses de vent élevées ouvrent une réelle opportunité pour produire de l'hydrogène et des dérivés sans CO_2.

Positionnement géographique

La proximité avec le continent Européen fait du Maroc un partenaire stratégique de premier plan. Plusieurs pays européens, notamment l'Allemagne, ont exprimé leur disposition pour consolider leur partenariat énergétique avec le Maroc. Ceci est un avantage compétitif, surtout qu'il dispose d'infrastructures d'interconnexions énergétiques déjà établies.

En effet, le Maroc pourrait s'appuyer sur ses infrastructures gazières et portuaires bien connectées à l'Atlantique et à la Méditerranée pour mettre en place une plateforme logistique d'exportation de l'hydrogène vert et de ses produits vers l'Europe.

Le World Energy Council (Conseil Mondial de l'Énergie) a identifié, dans le cadre de son étude « Feuille de route Power-to-X », le Maroc comme un des 6 pays avec un fort potentiel de production et d'exportation d'hydrogène et de dérivés verts.

Énergies renouvelables

Le Maroc a développé un modèle énergétique favorable à la production de l'hydrogène vert, basé essentiellement sur la montée en puissance des énergies renouvelables. Il a entamé depuis 10 ans une révolution en termes de déploiement des énergies renouvelables, affichant des objectifs ambitieux et volontaristes quant aux capacités à installer pour dépasser le cap de 52% à l'horizon 2030, annoncé lors de la COP21.

*Potentiel technique de 49 000 TWh/an **

+20 000 GW

** Calcul basé sur la méthodologie IRENA 2014*

*Potentiel technique de 11 500 TWh/an ***

+6 000 GW

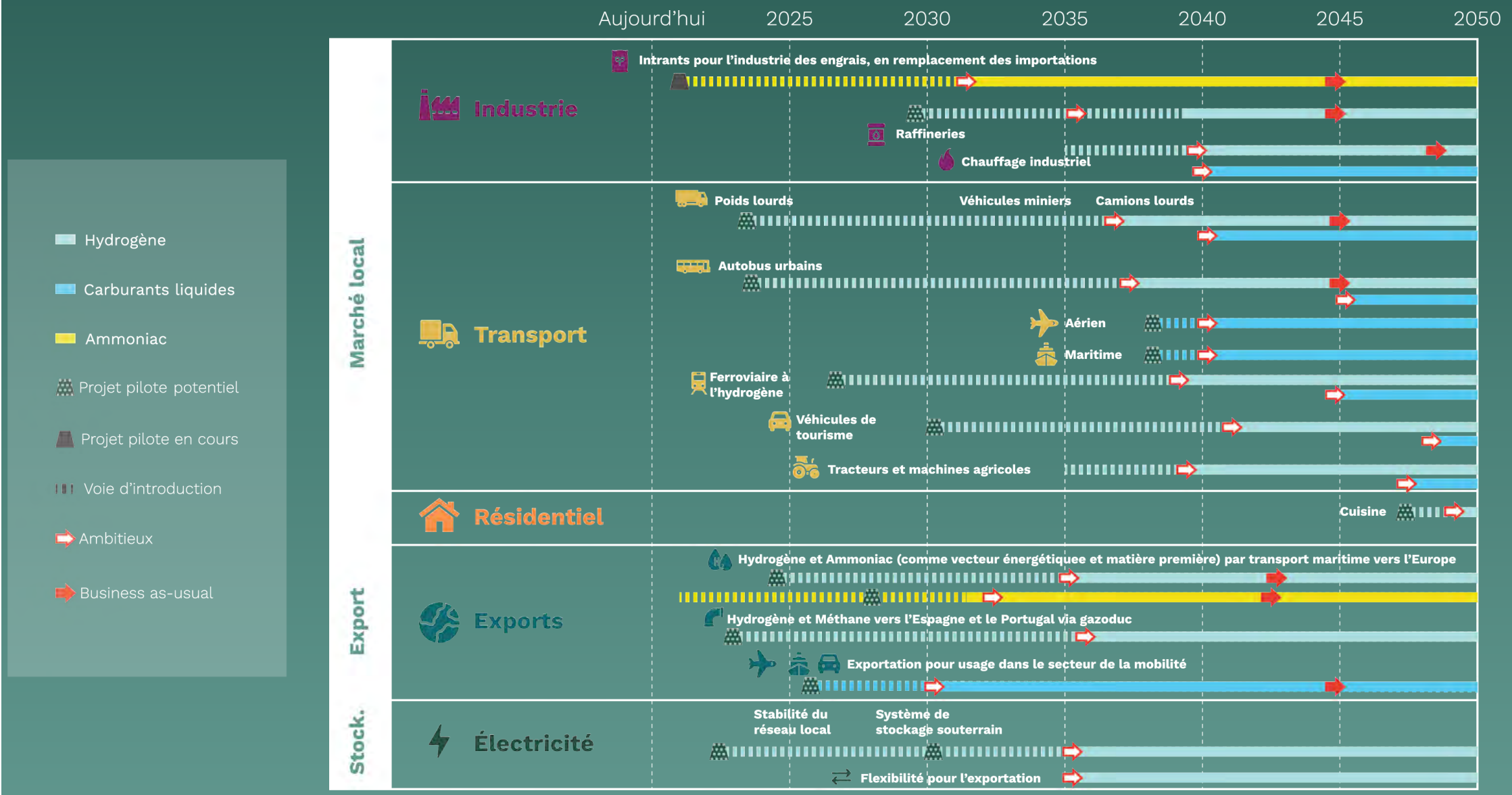
*** Calcul basé sur la méthodologie de KTH*

Hydrogène naturel

L'Hydrogène peut également exister sous forme naturelle dans des gisements souterrains. En effet, des études démontrent la disponibilité de ce potentiel dans de nombreux pays, notamment le Mali et les États-Unis. Dans le cas du Maroc, l'ONHYM est en train d'investiguer le potentiel national en la matière. A ce titre, une première étude a permis la mise en évidence de 8 zones d'intérêt, dont 2 zones présentant des suintements de surface d'hydrogène naturel, avec des concentrations significatives. L'ONHYM envisage de cartographier, modéliser, forer et monitorer expérimentalement les sites identifiés. Ceci permettra d'obtenir une meilleure quantification du gisement marocain de l'hydrogène naturel, et préparer éventuellement son exploitation future.

Parc éolien de Tanger I Dhar Saadane

APPLICATIONS DE L'HYDROGENE VERT



Le développement de l'hydrogène vert sera concrétisé de manière progressive en vue d'assurer une exploitation optimale de l'ensemble du potentiel aussi bien pour l'économie nationale que pour l'exportation.

2020 - 2030

Sur le court terme, deux piliers seront envisagés pour le développement de l'industrie de l'hydrogène vert au Maroc :

- Le premier étant l'utilisation locale comme matière première dans l'industrie, en particulier pour la production de l'ammoniac vert dans l'industrie des engrais,
- La deuxième porte sur l'exportation de produits issus de l'hydrogène vert vers des pays engagés dans des objectifs ambitieux de décarbonation.

Durant cette période, les coûts des produits de l'hydrogène vert resteraient plus élevés que ceux des produits conventionnels. Le développement de l'industrie de l'hydrogène reposerait sur divers projets pilotes et de développement bénéficiant d'un soutien des pouvoirs publics et d'un financement bonifié des institutions financières nationales et internationales.

2030 - 2040

À moyen terme, d'autres conditions spécifiques favorables et particulièrement, la réduction des coûts des produits de l'hydrogène vert et la mise en place d'une réglementation environnementale, permettront de développer des premiers projets économiquement viables notamment pour l'ammoniac et l'hydrogène verts, au niveau national et international.

Il est de même pour les exportations de combustibles liquides synthétiques tels que le kérosène, le diesel, l'essence dans le cas de l'adoption d'une réglementation environnementale encourageante dans les régions importatrices des dérivés de l'hydrogène vert comme l'Europe, ce qui présente des opportunités pour le Maroc pour développer progressivement cette filière.

L'utilisation locale de produits de l'hydrogène vert dans le secteur de l'électricité, comme vecteur pour le stockage de l'énergie, et dans le transport comme carburant, pourrait soutenir l'expansion de l'industrie de l'hydrogène au Maroc. Toutefois, des projets pilotes pour ces secteurs pourraient être lancés à court ou moyen terme afin de tester les applications technologiques et les réadapter au contexte Marocain, en vue d'optimiser leur déploiement à long terme.

Dans le secteur de l'énergie, l'hydrogène vert peut être utilisé comme vecteur pour le stockage de l'énergie afin de réduire les congestions du réseau et d'améliorer la flexibilité du système électrique national.

2040 - 2050

Pour cette période et au-delà, les analyses de rentabilité concernant l'ammoniac, l'hydrogène et les carburants synthétiques verts destinés à l'exportation s'améliorent, et le développement des technologies et de l'industrie de l'hydrogène vert s'accélèreraient au niveau mondial, notamment au niveau de notre pays.

Cette expansion évoluera davantage par l'utilisation locale de l'hydrogène vert dans l'industrie, pour la production de chaleur, dans le secteur résidentiel et dans la mobilité urbaine et le transport aérien. Néanmoins, la demande pour ces secteurs en hydrogène vert ou en méthane synthétique, en particulier, dans le cas du secteur résidentiel, porte sur des volumes de demande éventuellement faibles associés à des besoins d'investissement élevés pour le développement des infrastructures de distribution importantes.

Dans le domaine du transport, les possibilités de développement à long terme ciblent essentiellement les moyens de transports terrestres lourds et l'aviation. Une certaine demande pourrait apparaître dans le secteur du transport, probablement associée à l'hydrogène vert utilisé pour le fret, l'exploitation minière et les transports publics dans le cadre des projets pilotes.

PROJECTIONS ET PERSPECTIVES POUR UNE ECONOMIE BASEE SUR L'HYDROGENE VERT

Estimation des potentiels de la demande en hydrogène vert et dérivés au Maroc

Le potentiel du marché de l'hydrogène vert et de ses dérivés à l'horizon 2050 au Maroc est calculé sur la base d'une méthodologie basée sur les estimations de la demande future et des évaluations spécifiques :

- Évaluation de la demande intérieure de l'hydrogène vert et ses dérivés comme **matière première** dans l'industrie,
- Évaluation du potentiel d'**exportation** de l'l'hydrogène vert et ses dérivés,
- Évaluation de la demande intérieure de l'hydrogène vert et ses dérivés pour le **transport**.

Deux scénarios sont pris en compte, un scénario de référence (estimation minimale) et un scénario optimiste (estimation maximale), pour formuler une indication de la demande potentielle en hydrogène vert et ses dérivés

Évaluation du potentiel d'exportation de l'hydrogène vert et de ses dérivés

L'étude du World Energy Council (Conseil Mondial de l'Énergie) a estimé le marché mondial de l'hydrogène vert et de ses dérivés à 20 000 TWh en 2050. Nous supposons qu'en 2030, ce marché mondial représenterait 600 TWh.

L'étude « Opportunités Économiques du Power-to-X au Maroc » a quant à elle démontré que le Royaume du Maroc pourrait capter jusqu'à 4% de cette demande mondiale en 2030.

D'ici 2050, il est prévu que la participation du Maroc au marché mondial diminuerait à environ 1% pendant que les autres pays accélèreront le rythme du développement de cette industrie.

Il est supposé enfin que 75% des exportations correspondent à l'hydrogène, exporté sous forme d'ammoniac, et 25% aux combustibles liquides synthétiques.

ESTIMATIONS SUR LES **EXPORTATIONS** D'HYDROGENE ET DE CARBURANTS SYNTHETIQUES

Application	Unité	Référence			*Optimiste*		
		2030	2040	2050	*2030*	*2040*	*2050*
Hydrogène (H_2)	TWh	7.3	32.6	81.4	*15.4*	*65.1*	*162.8*
Carburants synthétiques (PtL)	TWh	3.0	13.3	33.3	*6.3*	*26.7*	*66.7*
Total	**TWh**	**10.3**	**45.9**	**114.7**	***21.7***	***91.8***	***229.5***
Eq. Capacité EnR	GW	5.2	23	57.4	*10.9*	*46*	*114.8*

Évaluation de la demande intérieure de l'hydrogène vert et de ses dérivés comme matière première dans l'industrie

Cette application concernera principalement l'industrie des engrais et éventuellement le secteur du raffinage. La part du marché Marocain pour l'ammoniac est très significative étant donné les besoins du Groupe OCP en particulier (≈ 2Mt en 2019). Le développement de la filière de l'Ammoniac vert au Maroc sera tributaire de la réduction des coûts par rapport à la filière classique afin de garantir sa compétitivité.

Conformément aux prévisions les plus optimistes, des études précédentes concernant les exportations d'ammoniac du Maroc, il est supposé que cette demande d'exportation représenterait une part plus importante que la demande intérieure (de x2 à x9 plus d'ici 2050).

Pour le secteur du raffinage une demande d'hydrogène a été calculée sur la base des raffineries qui peuvent voir le jour au Maroc. Cela devrait commencer à 5 Mt au départ et atteindre 10 Mt à long terme. Il est à supposer que l'hydrogène vert couvre 25% de sa demande totale pour ce carburant d'ici 2030 et pourra atteindre 40% en 2050.

ÉVALUATION DE LA DEMANDE INTERIEURE EN HYDROGENE VERT ET SES DERIVES COMME MATIERE PREMIERE

Application	Unité	Référence			*Optimiste*		
		2030	2040	2050	*2030*	*2040*	*2050*
Ammoniac	TWh (H_2) Mt (Amm)	2.7 0.5	13.3 2.5	19.3 3.7	*6.4* *1.2*	*19* *3.6*	*20* *3.8*
Hydrogène (H_2)	TWh	0.4	0.8	1.4	*0.4*	*0.8*	*1.4*
Total	**TWh**	**3.1**	**14.1**	**20.7**	***6.8***	***19.8***	***21.4***
Eq. Capacité EnR	GW	1.6	7.0	10.3	*3.4*	*9.9*	*10.7*

Évaluation de la demande intérieure de l'hydrogène vert et de ses dérivés pour le transport

La demande intérieure de l'hydrogène vert et de ses dérivés est calculée sur les prévisions de la demande du Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement. Les prévisions comprennent deux scénarios :

- **Scénario de référence** : Réalisation des objectifs d'efficacité énergétique et moins de 52% de capacité installée en sources d'énergies renouvelables d'ici 2030,
- **Scénario optimiste** : Sans l'atteinte des objectifs d'efficacité énergétique et la réalisation des objectifs RES-E de 52% de la capacité installée d'ici 2030 (qui comprend un déploiement rapide des énergies renouvelables).

Deux hypothèses sont adoptées pour le taux d'absorption de l'hydrogène vert et des carburants synthétiques. Les deux s'appuient sur les délais de matérialisation possible de la demande.

ÉVALUATION DE L'ABSORPTION DE L'HYDROGENE VERT ET DES CARBURANTS SYNTHETIQUES DANS LE TRANSPORT

Application	Unité	Référence			*Optimiste*		
		2030	2040	2050	*2030*	*2040*	*2050*
Hydrogène Vert							
Mobilité Légère	TWh	0	1.2	2.0	*0*	*5*	*10*
	%	0%	3%	5%	*0%*	*5%*	*10%*
Aviation	TWh	0	0	0	*0*	*0*	*0*
	%	0%	0%	0%	*0%*	*0%*	*0%*
Autre	TWh	0.5	2.0	2.5	*1.4*	*4.5*	*9*
	%	2%	8%	10%	*5%*	*15%*	*20%*
Carburants Synthétiques							
Mobilité Légère	TWh	0	0	0	*0*	*0*	*0*
	%	0%	0%	0%	*0%*	*0%*	*0%*
Aviation	TWh	0	0	2	*0*	*0*	*10*
	%	0%	0%	10%	*0%*	*0%*	*20%*
Autre	TWh	0	2.0	2.5	*0*	*4.5*	*9*
	%	0%	8%	10%	*0%*	*15%*	*20%*
Total	**TWh**	**0.5**	**5.2**	**9.0**	***1.4***	***14.0***	***38.0***

RESUME DES ESTIMATIONS DES POTENTIELS DE DEMANDE

Sur la base des calculs détaillés précédemment, il est estimé que l'industrie de l'hydrogène vert et de ses dérivés au Maroc pourrait faire face à une demande comprise entre **13,9 TWh** et **30,1 TWh** en 2030, qui pourrait atteindre entre **67,9 TWh** et **132,8 TWh** en 2040 et **153,9 TWh** et **307,1 TWh** en 2050, selon le scénario.

En 2030, la plus grande partie de la demande concernera la matière première et proviendra probablement des exportations et de l'industrie. Une demande plus faible pourrait apparaître dans le secteur des transports, associée à l'hydrogène vert utilisé pour le fret, les mines et les transports publics.

En 2040 et 2050, il est prévu que la demande augmentera principalement dans le secteur des transports lorsque les carburants synthétiques deviendront plus compétitifs par rapport aux carburants conventionnels. Ainsi, d'ici à 2050, la demande semble être largement répartie entre son utilisation comme matière première dans l'industrie, dans les transports et la part essentielle dans les exportations.

INDICATION DE LA DEMANDE POSSIBLE POUR LES APPLICATIONS DE L'HYDROGENE VERT ET DE SES DERIVES AU MAROC (EN TWH)

Application	Secteur		Référence			*Optimiste*		
			2030	2040	2050	*2030*	*2040*	*2050*
Exportations		Exportations	10.3	45.9	114.7	*21.7*	*91.8*	*229.5*
Matière première		Industrie	3.1	14.1	20.7	*6.8*	*19.8*	*21.4*
Énergie		Transport	0.5	5.0	11.2	*1.4*	*13.9*	*37.7*
		Industrie	0.0	2.7	5.4	*0.0*	*6.7*	*14.4*
		Résidentiel	0.0	0.0	1.3	*0.0*	*0.0*	*3.1*
Stockage de l'énergie		Stockage de l'électricité au niveau national	0.0	0.2	0.6	*0.2*	*0.6*	*1.0*
		Stockage de l'électricité pour l'export						
Demande totale en TWh			13.9	67.9	153.9	*30.1*	*132.8*	*307.1*

Les revenus annuels indicatifs associés à cette demande pourraient atteindre, dans le scénario optimiste, **jusqu'à 22 milliards de dirhams en 2030 et 330 milliards de dirhams en 2050** en valorisant l'hydrogène vert et ses dérivés au prix de leurs alternatives conventionnelles.

Capacités requises pour répondre aux potentiels de demande en hydrogène vert et dérivés

La méthodologie utilisée a été développée dans le cadre de l'étude « Aspects internationaux d'une feuille de route Power-to-X Allemagne » afin d'estimer l'infrastructure requise et l'investissement correspondant pour répondre aux potentiels de demande. L'évaluation se concentre sur les données suivantes :

- Les capacités d'énergies renouvelables nécessaires en plus de celles déployées pour répondre aux besoins du secteur électrique,
- Les électrolyseurs,
- Les usines de dessalement d'eau,
- Les capacités des usines de transformation : carburants synthétiques (PtL) et ammoniac vert (PtA).

CAPACITES REQUISES POUR REPONDRE A LA DEMANDE POTENTIELLE EN H_2*

Application	Unité	Référence			*Optimiste*		
		2030	2040	2050	*2030*	*2040*	*2050*
Sources d'énergie renouvelables	GW(el)	8.0	36.7	78.2	*14.6*	*60.4*	*131.5*
Électrolyseurs	GW(H_2)	2.8	13.9	31.4	*5.2*	*23.0*	*52.8*
Usines de dessalement	Mm^3 p.a.	4.4	21.9	49.2	*7.0*	*30.6*	*70.4*
Capacités des usines de transformation - PtL	GW(PtL)	0.4	2.1	5.3	*0.8*	*4.4*	*11.6*
Usines de transformation Haber Bosch capacités - PtA	GW(Am)	1.1	5.0	10.7	*2.4*	*9.0*	*19.2*

** Hors hydrogène naturel*

Financement nécessaire

Le développement de l'industrie de l'hydrogène vert au Maroc nécessiterait un investissement total, dans le scénario optimiste, de **140 milliards de dirhams jusqu'à 1 000 milliards de dirhams entre 2020 et 2050** pour répondre aux potentiels de la demande à l'horizon de 2050.

CAPEX PAR DECENNIE DE CAPACITE SUPPLEMENTAIRE POUR REPONDRE A LA DEMANDE H_2 (MRD MAD)

Application	Référence				*Optimiste*			
	2020-2030	2030-2040	2040-2050	2020-2050	*2020-2030*	*2030-2040*	*2040-2050*	*2020-2050*
Sources EnR	62	197	258	517	*98*	*265*	*352*	*714*
Électrolyseurs	19	57	68	144	*33*	*73*	*81*	*187*
Usines de dessalement d'eau	0	0	1	2	*0*	*1*	*1*	*2*
Capacités des usines de conversion - PtL	3	11	20	34	*5*	*21*	*38*	*64*
Capacités des usines de transformation Haber Bosch - PtA	7	24	35	65	*7*	*20*	*30*	*57*
Investissement total nécessaire	90	289	382	762	*143*	*380*	*502*	*1024*

Le développement de l'industrie de l'hydrogène vert et de ses dérivés nécessitera des investissements supplémentaires dans les infrastructures. Certains de ces investissements seraient transversaux afin de développer tous les potentiels de la demande, comme le renforcement éventuel des réseaux électriques.

Des infrastructures supplémentaires seront nécessaires pour développer des produits spécifiques : des gazoducs et des stations de ravitaillement pour l'hydrogène vert, l'adaptation du gazoduc Maghreb-Europe existant ainsi que l'extension et l'adaptation de l'infrastructure portuaire actuelle pour les exportations ou l'investissement dans des installations de stockage de l'hydrogène vert et de dérivés sous forme de cavernes salines.

Estimations des économies potentielles d'émissions CO_2

La matérialisation de ces potentiels de demande implique la substitution de combustibles fossiles polluants alternatifs et une réduction conséquente des émissions de carbone.

Secteur	Application	Carburant remplacé
Industrie	Chaleur	Huile brute
Industrie	Raffineries	Hydrogène gris
Industrie	Fertilisants	Ammoniac conventionnel
Transport	Mobilité légère	Carburant Diesel
Transport	Aérien	Carburant d'aviation
Transport	Autres	Carburant Diesel
Résidentiel	Chauffage de l'eau et cuisson	GPL

Le potentiel de réduction des émissions, présenté en équivalents CO_2, résulte de la somme des teneurs en GES des combustibles conventionnels évités dans chaque sous-secteur.

POTENTIEL ANNUEL DE REDUCTION DES EMISSIONS PAR APPLICATION DE L'HYDROGENE VERT ET SES DERIVES EN MT CO_2EQ PAR AN

Application	Référence			*Optimiste*		
	2030	2040	2050	*2030*	*2040*	*2050*
Industrie (Chaleur)	0.0	0.7	1.4	*0.0*	*1.8*	*3.8*
Transport	0.1	1.4	3.0	*0.4*	*3.8*	*10.0*
Résidentiel	0.0	0.0	0.3	*0.0*	*0.0*	*0.7*
Industrie (Matière première)	0.9	4.1	5.9	*1.9*	*5.7*	*6.1*
Total	1.0	6.2	10.6	*2.3*	*11.3*	*20.6*

Les calculs présentent un total de **10 à 20 Mt CO_2eq** de potentiel de réduction d'ici 2050 en répondant à la demande en hydrogène vert et ses dérivés. Cela équivaut à **10% - 20% des émissions globales de GES** attendues du Maroc à partir de 2019 (107 Mt CO_2eq) et impliquerait un grand pas vers les futurs objectifs de réduction des émissions.

Complexe Noor Ouarzazate - Plus grand complexe solaire au monde

PLAN D'ACTIONS

En vue de faciliter la mise en œuvre de la feuille de route nationale de l'hydrogène vert afin de satisfaire la demande locale et d'optimiser l'exploitation du potentiel national notamment à travers des exportations, il y a lieu de s'appuyer sur trois axes stratégiques :

- **Les Technologies** englobant les développements technologiques et les économies de coûts,
- **L'Investissement et l'Approvisionnement** comprenant les conditions d'investissement dans l'industrie de l'hydrogène vert et ses produits dérivés,
- **Les Marchés et la Demande** se référant à la réalisation des opportunités de la demande, donnant lieu à de nouveaux marchés.

TECHNOLOGIES

1 Réduction des coûts

2 Recherche & Innovation

3 Intégration industrielle locale

INVESTISSEMENT & APPROVISIONNEMENT

4 Cluster Industriel & Infrastructures

5 Financement

MARCHÉS & DEMANDE

6 Exportations

7 Stockage

8 Marchés intérieurs

Pour accompagner la mise en œuvre de cette feuille de route, une **Commission Nationale de l'Hydrogène** a été créée en 2019 comportant toutes les parties prenantes, notamment : le Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement, le Ministère de l'Économie, des Finances et de la Réforme de l'Administration, le Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Économie Verte et Numérique, Le Ministère de l'Éducation Nationale, de la Formation professionnelle, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, l'UM6P, l'ONEE, MASEN, l'ONHYM, l'IRESEN et l'ENSMR, CGEM.

1 **Réduction des coûts** tout au long de la chaîne de valeur de l'hydrogène vert et de ses dérivés

Le Maroc pourra contribuer à la réduction des coûts par le biais de différentes actions, telles que le test de nouvelles technologies des activités de R&D et d'Innovation, la facilitation des économies de coûts tout au long de la chaîne de valeur notamment en déployant des projets d'une capacité de 1GW à moyen terme. La réduction des coûts peut être également réalisée à travers la définition des clusters ou des écosystèmes industriels afin de réduire les coûts d'accès aux installations et infrastructures communes.

2 Création d'un pôle de **recherche et d'innovation** marocain et régional

Le Royaume du Maroc dispose d'une base précieuse pour développer un cluster de recherche régional. Le Ministère de l'Énergie, des Mines et de l'Environnement coordonnera la création d'un pôle de recherche et d'innovation en partenariat avec IRESEN, MASEN et les autres institutions de l'écosystème. Sur le plan du partenariat public-privé, le groupe OCP constituera une locomotive à travers les premiers projets pilotes de production de molécules vertes, en particulier l'Ammoniac Vert. Durant les premiers stades de cette industrie, le Maroc pourra coopérer avec les pays partenaires dans l'optimisation et le co-développement de technologies d'hydrogène vert et ses dérivés afin de mutualiser les efforts dans le domaine de la recherche et des nouvelles technologies et contribuer à la création d'un cluster régional.

3 Mise en place de mesures pour assurer l'intégration industrielle locale

Le secteur privé assurera l'intégration industrielle locale en développant les ressources humaines et matérielles. Cette intégration permettra d'améliorer la capacité du Maroc à participer à la chaine de valeur du secteur et garantira le transfert de connaissances. Une bonne coordination entre les universités et les établissements de formation professionnelle et un fort engagement du monde socioéconomique dans la recherche et développement seront primordiaux afin de qualifier un capital humain, employable par les entreprises nationales et internationales du secteur.

4 Mise en place d'un **cluster industriel** et élaboration d'un **schéma directeur** des infrastructures correspondantes

Il est nécessaire de structurer et d'organiser le secteur sous forme de clusters et d'écosystèmes afin de créer des synergies dans l'utilisation des infrastructures. Cela permettra une meilleure gestion du développement des infrastructures pour la mise en place de la filière de l'hydrogène vert et de ses dérivés. Le gouvernement en partenariat avec les autorités locales assureront la coordination et les réajustements de cadres réglementaires spécifiques qui pourront accélérer le déploiement de l'industrie de l'hydrogène vert et de ses dérivés tout en encourageant l'investissement privé.

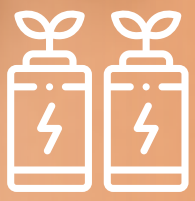
5 Assurer le **financement** du développement de l'industrie hydrogène

Un soutien direct pourra être accordé sous forme de partenariats public-privé, de financements directs dans le cadre des partenariats bilatéraux ou multilatéraux ainsi qu'un traitement fiscal privilégié. Certains outils et actions viseront à garantir le financement de l'industrie. Il s'agit notamment d'instruments financiers réduisant les risques, tels que les garanties d'investissement, les garanties de prêts financiers non liés et les garanties de crédit à l'exportation.

6 Création des conditions favorables pour l'**exportation** des molécules vertes

Le développement d'une industrie d'exportation de l'hydrogène vert et de ses dérivés se fera principalement à travers la mise en place d'un transport maritime de combustibles liquides synthétiques, le déploiement d'infrastructure portuaires adaptées ainsi que le déploiement d'infrastructures de production, de stockage et d'exportation. Une taxation favorable des produits de l'hydrogène vert sera introduite.

L'Europe ainsi que les pays visant à réduire leurs émissions de GES de 95% d'ici 2050 seront les principaux importateurs des produits de l'hydrogène vert Marocain.



7 Élaboration d'un plan de **stockage**

Afin de valoriser l'utilisation de l'hydrogène vert et de ses dérives pour des fins énergétiques il sera nécessaire d'élaborer un plan de stockage. Le Maroc évaluera les faisabilités techniques du stockage de l'hydrogène vert et de ses dérivés sous différentes formes notamment dans des cavités salines. Le plan de stockage sera élaboré sur la base de modélisations technico-économiques à long terme du système énergétique national et de celui des pays interconnectés.

8 Développement des **marchés intérieurs**

Il faudra accroitre la compétitivité des produits de l'hydrogène vert afin de renforcer leur utilisation au niveau national. Différents niveaux d'interventions seront appliqués :

Première étape : Le gouvernement soutiendra l'industrie en organisant des échanges d'informations et des plateformes qui peuvent servir de base à la planification coordonnée des différentes parties de l'industrie.

Deuxième étape : Soutien à la R&D, aux installations de démonstration et à la mise à l'échelle en accordant des subventions, des crédits impôt recherche, un soutien aux investissements dans les infrastructures...

Troisième étape : Création et développement de marchés niches en encourageant les industries et les entreprises privées de transport lourd à utiliser les carburants synthétiques.

Quatrième étape : Introduction d'incitations sur le plan technologique à travers la mise en place de taxes carbone à long terme.

Le tableau ci-dessous résume les principales actions qui seront coordonnées par la commission nationale de l'hydrogène et mises en œuvre par toutes les parties prenantes de l'écosystème :

TECHNOLOGIES	Faciliter la réduction des coûts	Favoriser l'up-scaling et l'industrialisation
		Evaluer la réduction des coûts sur l'infrastructure
		Evaluer la réduction des coûts le long de la chaîne de valeur
		Evaluer la réduction des coûts des EnR et libérer de l'espace pour les EnR.
		Participer à des projets pilotes et des projets d'upscaling technologique.
	Transfert de connaissances, renforcement des capacités et intégration industrielle locale.	Evaluer le contexte national et garantir un cadre équitable pour les acteurs nationaux
		Renforcer la coordination entre l'industrie et le monde académique.
		Transférer les compétences à l'industrie et aux chercheurs.
		Favoriser la coordination pour le partage des connaissances et le renforcement des capacités, favoriser la coopération internationale et la création de JVs
	Cluster de recherche Marocain	S'engager dans une coopération internationale de R&D pour les l'hydrogène
		Favoriser le transfert des connaissances et des savoirs faire
		Appuyer les synergies Industrie-Recherche-Formation
		Renforcer les capacités et qualifier le capital humain
INVEST. & APPROVISIONNEMENT	Cluster industriel et infrastructures	Créer un cluster hydrogène vert avec son infrastructure associée
		Inclure l'hydrogène vert et ses dérivés dans les zones économiques spéciales. Définir leur cadre juridique et la conception du marché.
		Évaluer les besoins du réseau et animer le dialogue sur les conditions d'accès.
	Sécuriser le financement	S'engager dans des PPP pour déployer l'infrastructure nécessaire
		Obtenir un soutien international, développer des accords et des partenariats et privilégier les projets d'hydrogène vert intégrés
		Explorer les sources de financement internationales
		Cofinancer les projets pilotes avec les partenaires internationaux
MARCHES ET DEMANDE	Créer les conditions d'exportations de l'hydrogène vert et de ses dérivés	Engager des discussions internationales sur les spécifications techniques de l'hydrogène vert et son rôle dans les stratégies de décarbonation. Établir une garantie d'origine et évaluer l'adaptation du gazoduc Maghreb-Europe
		Planifier et mettre en service les ports nécessaires.
		Convenir de conditions d'exportation favorables et engager des négociations commerciales avec les partenaires internationaux
	Évaluer le besoin de stockage	Étudier les besoins de stockage et modéliser conjointement le système marocain et les systèmes des pays interconnectés avec le Maroc
		Participer à des projets pilotes de stockage
	Développer les marchés intérieurs	Développer le cadre réglementaire et technique
		Soutenir le développement du marché
		Évaluer les opportunités d'utilisation de l'hydrogène vert et des carburants synthétiques dans le transport
		Soutenir l'intégration des applications de l'hydrogène vert à petite échelle
		Faciliter les alliances commerciales pour stimuler la demande
		Promouvoir l'utilisation de l'hydrogène vert et de ses dérivés auprès des industriels

PREMIERES INITIATIVES

Plateforme de test, de recherche et de formation en hydrogène vert et dérivés « GreenH2A »

"Green Hydrogen & Applications Park" est une plateforme de recherche qui se veut une référence nationale, régionale et continentale en matière de R&D et Innovation. Cette plateforme traitera des sujets relatifs à la filière des « Power-To-X », notamment l'hydrogène, l'Ammoniac, le méthanol verts et les différents carburants synthétiques ; ainsi que les thématiques liées au dessalement et aux traitements de l'eau.

Cette plateforme sera au service du monde socioéconomique et fédèrera les universités et centres de recherche dans cette filière. Elle dotera les opérateurs économiques nationaux d'outils techniques, technologiques et de savoir-faire, afin de profiter de cette filière économique à fort potentiel.

L'objectif de cette plateforme sera de stimuler initialement l'utilisation de matières premières vertes dans le secteur industriel et la production des engrais. Le champ d'actions sera ensuite élargi aux autres secteurs.

La plateforme "Green H2A" est envisagée comme un noyau du Cluster Maroc Hydrogène pour l'écosystème de l'hydrogène vert et de ses dérivés.

Green Energy Park de BenGuerir

Projet référence

Dans le cadre du partenariat Maroco-Allemand, un projet ambitieux de référence pour la production d'hydrogène vert à partir de sources renouvelables est entreprit par l'Agence Marocaine de l'Énergie Durable (MASEN).

Ce projet, premier en son genre au Maroc et en Afrique, porte sur la réalisation d'une centrale hybride photovoltaïque et éolienne pour alimenter une usine d'hydrogène vert d'une capacité d'électrolyse d'environ 100 MW. La mise en service commercial du site est prévue entre 2024 et 2025.

Sa réalisation prend en compte les atouts importants du Maroc en termes de potentiel d'énergies renouvelables (solaire et éolien), d'infrastructures, de proximité avec les consommateurs internationaux et de l'existence d'un marché local potentiel.

Cluster Maroc Hydrogène

L'Ambition du cluster Maroc Hydrogène sera l'organisation de la filière hydrogène vert et dérivés au niveau national, en interagissant avec les acteurs régionaux et en mettant en relation l'ensemble de ses parties prenantes.

La mise en cluster des différents acteurs prendra à la fois une forme physique et virtuelle, et permettra de mettre en œuvre ses trois différentes dimensions : économique, relationnelle et territoriale.

Les missions principales couvriront :

1. L'accompagnement des Politiques Publiques,
2. La R&D et Innovation,
3. Le support Technologique et Services pour les Entreprises et l'Industrie,
4. La formation et le renforcement des capacités.

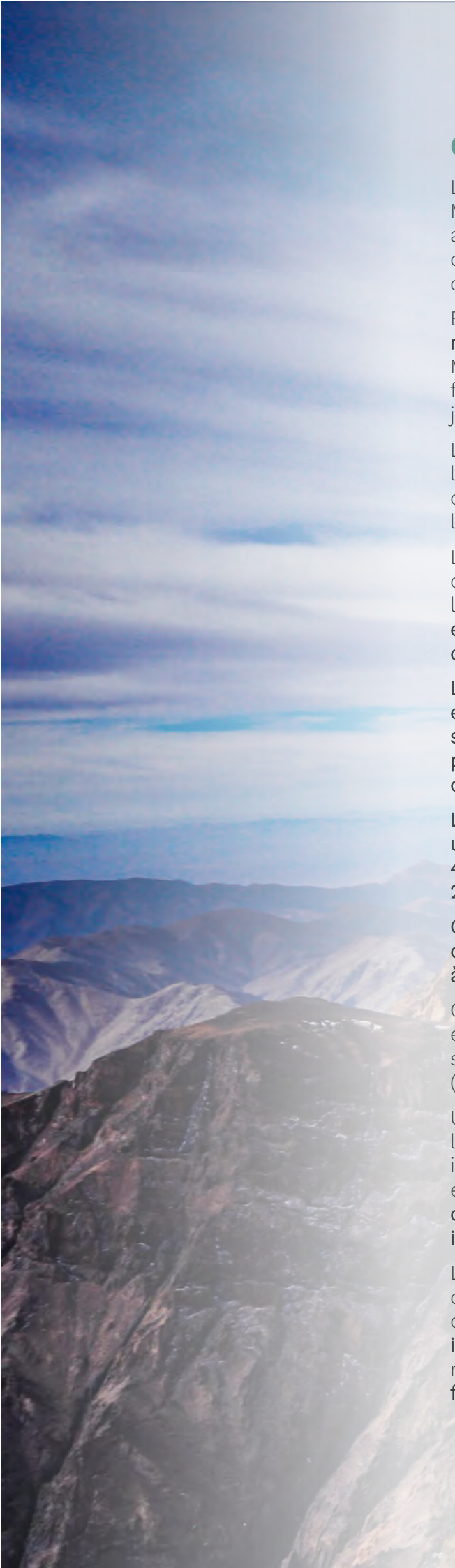
A ce propos, les objectifs stratégiques du cluster seront :

- Accompagnement des politiques publiques grâce en particulier à un appui technique et technologique sur le volet réglementaire, législatif et normatif,
- Contribution à l'émergence d'une filière industrielle de molécules vertes, en mettant en relation les différents acteurs existants de la chaine de valeur, en accueillant les acteurs internationaux, et en promouvant la création de nouveau acteurs locaux, notamment via des Joint-Ventures (JV) sur les briques technologiques et industrielles manquantes identifiées,
- Promotion de la création de valeur et d'emplois, à travers une formation pertinente qualifiante à l'état de l'art technologique permettant de localiser un savoir-faire et une expertise soutenant le développement de la filière nationale de l'hydrogène vert et ses dérivés et l'installation d'acteurs internationaux.

HYDROGEN
ENERGY STORAGE

CLUSTER MAROC HYDROGENE : ÉCOSYSTEME, PLAN D'ACTIONS, IMPACTS ET LIVRABLES

AXES STRATÉGIQUES	ACTIONS	IMPACTS
1. Accompagnement des Politiques Publiques	▪ Soutenir techniquement et scientifiquement l'effort de réglementation, de législation, de normalisation et de standardisation ▪ Être force de proposition sur le volet réglementaire et normatif ▪ Mener des études contextualisées de (pré)faisabilité pour les institutionnels et les différents bailleurs de fonds	- Promulgation de lois spécifiques - Normalisation et standardisation des produits et des services - Amélioration de la sureté et de la sécurité des projets - Visibilité/structuration du marché de l'hydrogène vert local - Bancabilité des projets PtX à grande échelle - Réduction du risque sur les investissements dans la filière
2. R&D et Innovation	▪ Mener des projets innovants de R&D appliquée à différentes échelles de maturité technologique (TRLs) avec des partenaires nationaux et internationaux	- Réduction, optimisation des coûts de R&D - Valorisation des résultats de la recherche - Création de valeur, de savoir et de savoir-faire - Transfert de technologie - Renforcement de la relation Université – Entreprise
3. Support Technologique et Services pour les Entreprises et l'Industrie	▪ Mener des études techniques ▪ Exécuter des tests et des essais ▪ Réaliser des prototypes et des démonstrateurs ▪ Octroyer des qualifications et des certifications technologiques ▪ Incuber des JV, spin-off et de startup	- Montée en compétences de la sous-traitance industrielle locale - Démystification de la technologie pour les développeurs locaux - Bancabilité technologique des projets - Certifications et qualification locale des technologies - Pérennité des plateformes de recherche dédiées à l'hydrogène Vert.
4. Formation et renforcement des capacités	▪ Formation et Renforcement des capacités : o Opérateurs et techniciens o Ingénieurs o Étudiants o Chercheurs o Personnels des institutionnels publics o Formation de Formateurs	- Transfert de savoir et de savoir-faire - Capital humain qualifié - Compétitivité accrue de la filière de l'hydrogène vert - Effet multiplicateur/exportateur



CONCLUSION

Le Royaume du Maroc, à travers la vision éclairée de Sa Majesté le Roi, que Dieu l'Assiste, et sa stratégie énergétique ambitieuse a pu se hisser ces dix dernières années au rang de **champion régional des énergies** renouvelables et a contribué à leur compétitivité.

En raison de sa **situation géographique optimale et de ses ressources exceptionnelles en énergies renouvelables,** le Maroc peut devenir un acteur clé du développement de la filière de l'hydrogène vert au niveau régional et peut capter jusqu'à **4% de la demande mondiale en molécules vertes.**

L'Objectif est de positionner le Maroc dès aujourd'hui sur l'hydrogène vert en tant que solution technologique de conversion et de stockage d'énergie, à l'instar du Japon, de l'Allemagne, de la France, du Danemark, de l'Espagne...

La création de filières économiques et industrielles autour des molécules vertes, particulièrement l'hydrogène, l'ammoniac et le méthanol, contribuera à **réduire les émissions de gaz à effet de serre (jusqu'à 20%) et soutenir la décarbonation de pays partenaires.**

La demande nationale en hydrogène vert et ses dérivés est estimée à 4TWh en 2030 pour une puissance de 2GW en sources d'énergie renouvelable, 22TWh en 2040 pour une puissance de 12GW et 40TWh en 2050 pour une puissance d'environ 20GW.

La demande à l'export est estimée à 10TWh en 2030 pour une puissance de 6GW en sources d'énergie renouvelable, 46TWh en 2040 pour une puissance de 25GW et 115TWh en 2050 pour une puissance d'environ 60GW.

Ceci équivalent à un investissement cumulé de 90 milliards de dirhams à l'horizon de 2030 et 760 milliards de dirhams à l'horizon de 2050.

Cette feuille de route ouvre des perspectives substantielles en matière **d'industrialisation sur toute la chaine de valeur** à savoir le dessalement, les énergies renouvelables (photovoltaïque et éolien), l'électrolyse et la chimie verte.

Une « Commission Nationale de l'Hydrogène », présidée par le Ministère de l'Énergies, des Mines et de l'Environnement, impliquant toutes les parties prenantes coordonnera la mise en œuvre de cette feuille de route à travers le **développement technologique**, les **investissements**, les **infrastructures** et les marchés.

La Commission contribuera également à structurer le déploiement de la filière de l'Hydrogène de manière optimale, au sein du Royaume, en facilitant l'affluence des **investissements** et le montage de projets PtX à travers la mise en place de **mesures réglementaires**, **législatives et fiscales** favorables.

La Production d'ammoniac vert pour l'industrie des engrais constituera la première demande du marché national. L'Export du méthanol et d'autres combustibles synthétiques permettra de répondre à la demande de plusieurs pays partenaires Européens.

Sur le moyen terme les filières du transport lourd, maritime et aérien pourront être également décarbonés à travers la substitution et l'utilisation de l'hydrogène vert.

D'autres applications comme la mobilité urbaine, la chaleur industrielle, le stockage de l'énergie et la substitution du méthane pour la cuisson pourront être décarbonés sur le long terme grâce à l'utilisation des combustibles synthétiques.

Un programme de **renforcement des capacités**, de **recherche et d'innovation** dans le domaine de l'hydrogène vert accompagnera l'intégration industrielle et améliorera la compétitivité des entreprises nationales à travers la formation d'un **capital humain qualifié** et la **préparation d'une sous-traitance locale**, et le **développement de champions nationaux**.

Le plan d'action de la feuille de route hydrogène inclue les 8 mesures suivantes :

1. Réduction des coûts tout au long de la chaîne de valeur de l'hydrogène vert et de ses dérivés,
2. Création d'un pôle de recherche et d'innovation marocain et régional,
3. Mise en place de mesures pour assurer l'intégration industrielle locale,
4. Mise en place d'un cluster industriel et élaboration d'un schéma directeur des infrastructures correspondantes,
5. Assurer le financement du développement de la filière hydrogène,
6. Création des conditions favorables pour l'exportation des molécules vertes,
7. Élaboration d'un plan de stockage,
8. Développement des marchés intérieurs.

POTENTIEL CONDITIONNÉ DU POWER-TO-X AU MAROC (*)

		2030	2040	2050
Marché local	*TWh*	4	22	40
Export	*TWh*	10	46	115
Capacité requise en sources d'énergie renouvelables	*GW(el)*	8	37	78

IMPACT SOCIO-ÉCONOMIQUE (*)

		2030	2040	2050
Chiffre d'Affaire annuel	*Mrd MAD*	22	102	330
Emplois	*Directes* *Indirectes*	2 700 *13 500*	12 000 *60 000*	26 000 *130 000*
Réduction des Émissions	*Mt CO_2EQ*	1	6	11
Investissement total cumulé	*Mrd MAD*	90	380	760

PLAN D'ACTIONS

1. **Réduction des coûts** tout au long de la chaîne de valeur de l'hydrogène vert
2. Création d'un pôle de **recherche et d'innovation** marocain et régional
3. Mise en place de mesures pour assurer l'**intégration industrielle locale**
4. Mise en place d'un **cluster industriel** et élaboration d'un schéma directeur d'infrastructures
5. Assurer le **financement** du développement de la filière hydrogène
6. Création des conditions favorables pour **l'exportation** des molécules vertes,
7. Élaboration d'un plan de **stockage**
8. Développement des **marchés intérieurs**

** Scénario de référence hors hydrogène naturel*

Études et rapports

- **INTERNATIONAL ASPECTS OF A POWER-TO-X ROADMAP** 2018 World Energy Council / Frontier Economics
- **OPPORTUNITIES OF POWER-TO-X IN MOROCCO** 2019 IRESEN / GIZ / Fraunhofer ISI
- **PTX ROADMAP FOR MOROCCO** 2020 MEME / Energy Handle / Frontier Economics / GIZ / IRESEN / MASEN / OCP / ONEE / ONHYM

Date de Publication

Janvier 2021

ROYAUME DU MAROC
Ministère de l'Énergie des Mines
et de l'Environnement

Feuille de Route de l'Hydrogene Vert

Janvier 2021