



Ministère du Pétrole des Mines et de l'Energie

Feuille de route pour l'industrie d'hydrogène à faible empreinte de carbone en Mauritanie

Septembre 2022 – Version finale modifiée #3

TABLE DES MATIERES

Avant-propos	8
Résumé exécutif.....	9
Introduction.....	24
1. Les potentialités de l'hydrogène vert en Mauritanie	26
1.1 L'hydrogène : un catalyseur de la décarbonation mondiale.....	26
1.2 Le potentiel considérable d'hydrogène bas carbone en Mauritanie .	28
1.2.1 Le potentiel de production par électrolyse	29
1.2.2 Le potentiel de production par conversion du gaz naturel	32
1.3 L'hydrogène mauritanien : une forte compétitivité économique	35
1.3.1 Un coût de production très compétitif à l'échelle internationale	35
1.3.2 Plusieurs solutions de transport pour l'import d'hydrogène depuis la Mauritanie	37
1.3.3 Un plan européen ambitieux pour l'import d'hydrogène	38
1.4 L'hydrogène comme levier pour la décarbonation de la demande locale mauritanienne	39
2. L'ambition de production et d'export à moyen et long terme.....	42
2.1 Les ambitions industrielles à horizons 2030, 2040 et 2050	42
2.2 Les infrastructures requises pour atteindre ces ambitions	45
2.2.1 Vue d'ensemble	45
2.2.2 Infrastructures transverses	48
2.2.3 Synergies d'infrastructures	49
2.2.4 Durabilité des infrastructures	50
2.3 Les compétences requises pour atteindre ces ambitions.....	52
2.3.1 Les besoins de compétences	52
2.3.2 Les réponses à ces besoins de compétences.....	53
2.4 Investissements attendus et stratégies de financement	61
3. Les recommandations légales, juridiques et contractuelles	63
3.1 Synthèse des recommandations	64
3.2 Lacunes identifiées de sécurité et de normes industrielles	65
4. Les institutions requises pour la filière hydrogène	68
4.1 Vue générale des institutions requises.....	68
4.2 Les responsabilités de chaque nouvelle institution.....	69
4.3 Les mesures de la feuille de route pour le chantier de la gouvernance	71
5. La contribution aux objectifs de développement durable de la Mauritanie.....	74
5.1 La contribution de la filière hydrogène aux objectifs de développement durable de l'ONU et à la stratégie de développement nationale	74

5.2	Zoom sur les émissions de CO ₂ évitées.....	76
6.	Les opportunités d'accords bilatéraux	79
7.	Le plan d'action de la filière hydrogène	82
7.1	Synthèse des priorités de la feuille de route	82
7.2	Calendrier général	83
7.3	La liste détaillée des mesures et gouvernance associée	96
7.4	Indicateurs clés de performance	111
7.5	Les risques pour l'implémentation, prévention et mitigation	113
7.6	Zoom sur les 12 premiers mois.....	117
7.7	Contribution des mesures au contenu local	125
8.	Conclusion	140
9.	Annexe - Potentiel de production d'hydrogène vert par wilaya	146

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Objectifs cumulés de production pour chaque chantier industriel à horizons 2030, 2040, et 2050	13
Figure 2 : Cartographie des infrastructures à construire ou à renforcer en vue d'implémenter la feuille de route hydrogène	14
Figure 3 : Futurs usages de l'hydrogène bas carbone – Répartition de la demande mondiale d'hydrogène à horizon 2050, d'après le scénario Net Zero de l'IEA.....	27
Figure 4 : Besoins estimés en importations d'hydrogène en 2030 et 2050 (MtH ₂)	28
Figure 5 : Principales technologies de production d'hydrogène bas carbone en Mauritanie	29
Figure 6 : Potentiel de production de l'hydrogène vert par électrolyse en Mauritanie, dans le cas où 5% du territoire seraient alloués à cette production	30
Figure 7 : Zones protégées en Mauritanie	31
Figure 8 : Cartographie du potentiel de production d'énergie renouvelable solaire et éolienne en Mauritanie	32
Figure 9 : Cartographie des réserves de gaz naturel en Mauritanie	33
Figure 11 : Options envisageables pour le stockage de CO ₂ dans le cadre de la production d'hydrogène à partir de gaz naturel en Mauritanie	34
Figure 11 : Evolution du coût actualisé de l'hydrogène en Mauritanie et en Europe (€/kg)	35
Figure 12 : Projections du coût actualisé de l'hydrogène décarboné en Mauritanie à horizon 2050	36
Figure 13 : Coût actualisé de l'ammoniac produit au port vs l'import [€/tonne]	37
Figure 14 : Options de transport de l'hydrogène à partir de la Mauritanie et coûts associés	38
Figure 15 : Stratégie Européenne d'approvisionnement en hydrogène à horizon 2030 ...	39
Figure 16 : Phasage général des objectifs industriels de la filière hydrogène	42
Figure 17 : Méthodologie d'élaboration des objectifs de production d'hydrogène, d'eau et d'électricité, et objectifs de production à horizon 2050	43
Figure 18 : Objectifs cumulés de production pour chaque chantier industriel à horizons 2030, 2040, et 2050	44
Figure 19 : Cartographie des infrastructures à construire ou à renforcer en vue d'implémenter la feuille de route hydrogène	46
Figure 20 : Vue d'ensemble des besoins de compétences à horizons 2050 (emplois directs)	53
Figure 21 : Vue générale des mesures à prendre pour répondre à ces besoins en compétences pour la filière hydrogène	55
Figure 22 : Modèle de pôle de compétences tripartite de Formation-R&D-Industrie	57
Figure 23 : Investissements requis pour atteindre les ambitions de production selon chaque phase de la feuille de route hydrogène	61
Figure 24 : Exemples d'actions augmentant dans tous les cas l'attractivité du pays vis-à-vis des investisseurs étrangers	62
Figure 25 : Synthèse des recommandations légales, juridiques et contractuelles	64
Figure 26 : Exigences sécuritaires et normatives de la filière hydrogène, à intégrer dans la nouvelle réforme de la réglementation mauritanienne	67
Figure 27 : Vue d'ensemble des propositions d'institutions à créer pour la filière hydrogène mauritanienne.....	68
Figure 28 : Responsabilités détaillées des institutions à créer pour la filière hydrogène..	69

Figure 30 : Mesures destinées à la création des institutions de gouvernance de la filière hydrogène mauritanienne (bleu ciel : mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement)	72
Figure 31 : Objectifs de Développement Durable 2030	74
Figure 32 : Emissions de dioxyde de carbone évitées dans l'hypothèse de l'atteinte des ambitions de production de l'hydrogène et ses dérivés à horizon 2050 (MtCO ₂)	76
Figure 33 : Comparaison des émissions évitées de CO ₂ grâce à la filière hydrogène en Mauritanie* avec les émissions annuelles de gaz à effet de serre dans les pays de l'UE**	77
Figure 34 : Domaines prioritaires pour des accords bilatéraux internationaux.....	81
Figure 35 : Répartition du nombre de mesures de la feuille de route, selon l'organisme principal de pilotage.....	83
Figure 36 : Calendrier général de la feuille de route	84
Figure 37 : Proposition d'indicateurs clés de performance pour la feuille de route hydrogène	111
Figure 38 : Risques pouvant impacter l'implémentation de la feuille de route hydrogène	113
Figure 39 : Exemples de mesures de prévention et de mitigation pour les risques identifiés	115
Figure 40 : Liste des mesures à lancer dans les 12 premiers mois après l'approbation de la feuille de route	118
Figure 41 : Contribution des mesures au contenu local	125
Figure 42 : Superficies utilisables par wilaya en Mauritanie pour la production d'énergie renouvelable	146
Figure 43 : Potentiel photovoltaïque en Mauritanie par wilaya	146
Figure 44 : Potentiel éolien terrestre en Mauritanie par wilaya.....	147

ABREVIATIONS

ANSADE	Agence Nationale de la Statistique et de l'Analyse Démographique et Economique
CAPEX	Coûts d'investissement
CCGT	Turbine à gaz à cycle combiné
CCS	Capture et stockage du CO ₂
CCU	Capture et utilisation du CO ₂
DAP	Phosphate de diammonium
DRI	Minerai de fer pré-réduit (<i>Direct Reduced Iron</i>), produit intermédiaire de la fabrication d'acier
ECOREAB	Projet régional d'accès à l'électricité et de systèmes de stockage d'énergie par batteries
ENR	Energies renouvelables
EPC	<i>Engineering, Procurement & Construction</i>
FPSO	Unité flottante de production, de stockage et de déchargement (hydrocarbures)
GES	Gaz à effet de serre
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
GNL	Gaz naturel liquéfié
GTA	Grand Tortue Ahmeyim
HSE	Santé, Sécurité et Environnement
IEA	Agence internationale de l'énergie
IRENA	Agence internationale pour les énergies renouvelables
LCOA	Coût actualisé de l'ammoniac
LCOE	Coût actualisé de l'électricité
LCOH	Coût actualisé de l'hydrogène
MENA	Zone géographique couvrant le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord
MGP	Métaux du groupe du platine
MoU	<i>Memorandum of Understanding</i>
MPME	Ministère du Pétrole des Mines et de l'Energie

MRU	Ouguiya, devise officielle de la Mauritanie
Mt	Million de tonnes
MtH₂	Million de tonnes d'hydrogène (non liquéfié)
MWh	Mégawattheure
NZE	<i>Net-Zero Emissions</i> (Scénario de l'IEA)
O&M	Exploitation et maintenance
OMVS	Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal
OPEX	Coûts d'exploitation
PCS	Pouvoir calorifique supérieur
SCAPP	Stratégie de Croissance Accélérée et de Prospérité Partagée
SMR	Vaporeformage du méthane
SMR+CCS	Vaporeformage du méthane combiné à la capture et stockage du CO ₂
SNADEA	Stratégie Nationale pour un Accès Durable à l'Eau et à l'Assainissement à l'horizon 2030
SOMIR	Société Mauritanienne des Industries de Raffinage
SOMELEC	Société Mauritanienne d'Electricité
TWh	Térawattheure
UTCATF	Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Forêt, Secteur français correspondant notamment aux activités de captation naturelle de CO ₂

Avant-propos

Ce document a été préparé par AFRY Management Consulting France SAS (« AFRY »).

Bien que les informations fournies dans ce document soient considérées comme exactes et fiables, AFRY ne fait aucune déclaration ou garantie, explicite ou implicite, quant à l'exactitude ou l'exhaustivité de ces informations. AFRY ou l'un de ses administrateurs ou dirigeants respectifs ne pourra être tenu responsable des prévisions contenues ou mentionnées dans le rapport. En fournissant ce document, AFRY se réserve le droit de le modifier ou de le remplacer à tout moment et n'a aucune obligation de fournir aux destinataires l'accès à toute information supplémentaire.

Rien de ce qui est contenu dans ce document n'est ou ne doit être considéré comme une promesse ou une représentation de l'avenir. Les informations économiques et financières estimées contenues dans le présent document ont été préparées expressément pour être utilisées dans le présent document et sont basées sur des hypothèses et une analyse spécifique des informations dont disposait AFRY au moment de la préparation du présent document. Ni AFRY ni aucun de ses administrateurs ou dirigeants ne font de déclaration ou de garantie, expresse ou implicite, ni ne donnent d'autre assurance, expresse ou implicite, que les estimations ou évaluations contenues dans ce document seront réalisées. Le destinataire doit mener sa propre enquête et analyse de l'activité, des données et des biens décrits dans le présent document. Toute responsabilité pour toute perte ou dommage direct, indirect ou consécutif subi par toute personne en découlant est expressément rejetée.

Ce document tient compte des instructions et des exigences particulières du MPEM. Il n'est destiné à aucun tiers et ne devrait pas s'y fier. Aucune responsabilité n'est engagée envers un tiers.

Tous les éléments du présent document sont protégés par le droit d'auteur © AFRY Management Consulting 2022. Tous droits réservés.

Résumé exécutif

Pourquoi l'hydrogène est-il important ?

La transition énergétique est en train de changer la façon dont le monde fonctionne. Les nouvelles technologies, comme l'énergie éolienne et l'énergie solaire photovoltaïque, permettront de produire de l'électricité sans émission de CO₂. La transition énergétique nécessite également l'adoption de chaleur, de carburants et de matières premières renouvelables pour atteindre les objectifs de l'accord de Paris limitant le réchauffement de la planète à moins de 2°C. L'hydrogène pourrait être le chaînon manquant à cet égard, en convertissant l'électricité renouvelable en un gaz à faible teneur en carbone, ouvrant ainsi la voie à la décarbonation de tous les secteurs de l'économie. La production d'hydrogène bleu permettrait également d'utiliser le gaz naturel sans émission de CO₂ grâce à la capture, au transport et au stockage du CO₂.

L'adoption de ces nouvelles technologies modifiera la façon dont les utilisateurs actuels consomment l'énergie. De nouvelles industries pourraient voir le jour, profitant des possibilités qu'offre l'hydrogène pour produire des biens plus durablement, permettre le stockage d'électricité renouvelable et fournir des modes de transport à faibles émissions. L'hydrogène redéfinira également les opportunités économiques des pays. Les pays disposant d'abondantes ressources naturelles telles que les ressources éolienne, solaire et le gaz naturel peuvent les convertir en un gaz ou d'autres dérivés de l'hydrogène transportables dans le monde entier et valorisables. Ces produits peuvent être un accélérateur du développement économique et du progrès.

Quel est le périmètre de l'étude ?

Cette étude explore les opportunités liées au développement de la production d'hydrogène pour la Mauritanie et présente les leviers pour saisir ces opportunités. L'étude présente d'abord un aperçu du contexte mondial de l'hydrogène. Ensuite une quantification du potentiel de production d'hydrogène en Mauritanie est présentée et les opportunités économiques de la production d'hydrogène, tant pour l'exportation que pour l'usage domestique, sont évaluées. Il en résulte un objectif pour la Mauritanie de capter jusqu'à 1,5% du marché mondial de l'hydrogène et jusqu'à 1% du marché mondial de l'acier vert d'ici 2050. L'étude évalue l'infrastructure requise pour l'économie de l'hydrogène et le besoin de compétences et de main-d'œuvre, pour lesquels l'étude propose également une structure de formation. En outre, l'étude définit des recommandations pour le cadre juridique et contractuel et un cadre de gouvernance pour le Gouvernement. Tous ces éléments sont intégrés dans une feuille de route définissant des actions et des mesures pour le Gouvernement et les autres acteurs du secteur.

Comment l'étude a-t-elle été menée ?

L'étude a été développée en deux étapes. Dans un premier temps, le marché a été analysé et les opportunités clés pour la Mauritanie ont été sélectionnées. Dans un deuxième temps, la feuille de route a été élaborée, y compris l'évaluation des implications pour la gouvernance, le cadre juridique et l'éducation. L'étude est basée sur une revue de la littérature, la modélisation des systèmes énergétiques, des coûts énergétiques et des processus industriels, des discussions avec des experts de l'industrie en Mauritanie et à l'étranger. Les réunions hebdomadaires avec le comité de suivi technique ont été un élément important pour l'élaboration de l'étude. Ces réunions ont permis de s'assurer de

manière continue que les questions sont abordées correctement et surtout de confirmer que le contexte et les conditions locales en Mauritanie sont pris en compte.

Le marché mondial de l'hydrogène est-il attractif ?

En 2020, la demande mondiale en hydrogène s'élevait à 88 MtH₂, 3 secteurs industriels capturant 94% du marché : la production d'ammoniac (40%), les raffineries (40%) et la fabrication de méthanol (14%). Aujourd'hui cet hydrogène est à 99% gris, c'est-à-dire produit à partir de sources fossiles, sans stockage ou réutilisation du CO₂.

La demande d'hydrogène à faible teneur en carbone va croître grâce au remplacement de l'hydrogène actuel d'origine fossile par de l'hydrogène à faible teneur en carbone et aux nouvelles applications qui utiliseront l'hydrogène à la place d'autres sources d'énergie (le transport, la production d'électricité, le chauffage, d'autres usages industriels décarbonés tel que l'acier vert). De nombreuses institutions du secteur de l'énergie prévoient une croissance élevée pour ce marché. En considérant le scénario Net Zero de l'IEA, la demande mondiale en hydrogène serait multipliée par 6 entre 2020 et 2050. Ce développement de l'hydrogène créera un marché d'exportation attractif pour la Mauritanie.

Quelles sont les technologies de production d'hydrogène bas carbone ?

Trois principales technologies permettront de produire de l'hydrogène bas carbone en Mauritanie :

- Hydrogène bleu, correspondant au reformage du méthane à la vapeur (SMR) avec la capture et le stockage du CO₂ (CCS)
- Hydrogène vert, correspondant à l'électrolyse de l'eau, qui n'émet pas directement de CO₂ mais nécessite une grande quantité d'eau (dans un cas "optimal", environ 10 litres par kgH₂) et une grande quantité d'énergie (10 fois plus que pour le SMR+CCS)
- Hydrogène turquois, correspondant à la pyrolyse du méthane, quant à elle émet peu de CO₂ (moins de 2 kg par kg H₂), ne nécessite pas d'eau mais pâti d'un rendement de 50% en moins par rapport au SMR et de la coproduction de carbone solide pour lequel il existe à l'heure actuelle peu de débouchés

Quel est le potentiel de production d'hydrogène en Mauritanie ?

Grâce à sa situation géographique, la Mauritanie est dotée d'importantes ressources solaires et éoliennes, permettant une production d'électricité renouvelable à faible coût. L'électrolyse permettra ensuite de produire de l'hydrogène vert. De plus, les récentes découvertes de gaz naturel ont élargi l'éventail des ressources énergétiques disponibles. L'utilisation du reformage du méthane à la vapeur avec capture et stockage du carbone ou de la pyrolyse du méthane permettrait d'utiliser le gaz naturel pour la production d'hydrogène avec une faible empreinte carbone.

Le potentiel total de production d'hydrogène pour la Mauritanie est de 20,1 millions de tonnes par an. En affectant seulement 5 % de ses régions côtières à la production éolienne et solaire, la Mauritanie pourrait produire 12 Mt d'hydrogène vert. En outre, 8,1 Mt d'H₂ pourraient être produites à partir du gaz naturel par SMR et CCS, lorsque la capacité de stockage est suffisante. Alternativement, la technologie de pyrolyse du méthane fournirait encore la moitié de cette production, soit 4 MtH₂.

Quel est le potentiel de production d'hydrogène en Mauritanie ?

Grâce à sa situation géographique, la Mauritanie dispose d'importantes ressources solaires et éoliennes, permettant une production d'électricité renouvelable à faible coût.

L'électrolyse permettrait de produire de l'hydrogène vert en utilisant cette électricité renouvelable. Par ailleurs, les récentes découvertes de gaz naturel ont élargi l'éventail des ressources énergétiques disponibles. L'utilisation du vaporeformage du méthane à la vapeur avec capture et stockage du carbone ou de la pyrolyse du méthane permettrait d'utiliser le gaz naturel pour la production d'hydrogène avec une faible empreinte carbone.

Le potentiel total de production d'hydrogène pour la Mauritanie est de 20 millions de tonnes. En affectant seulement 5 % de ses régions côtières à la production éolienne et solaire, la Mauritanie pourrait produire 12 Mt d'hydrogène vert. En outre, 8 Mt d'H₂ pourraient être produites à partir du gaz naturel par SMR et CCS, à condition d'avoir une capacité de stockage suffisante. Alternativement, la technologie de pyrolyse du méthane fournirait encore la moitié de cette production, soit 4 MtH₂.

Quels sont les atouts de la Mauritanie pour la filière de l'hydrogène ?

La Mauritanie dispose d'un potentiel très important d'énergie renouvelable, d'une grande disponibilité *surfacique* pour les actifs, d'une position géographique stratégique garantissant une proximité avec les marchés internationaux, l'existence d'un marché local pour l'utilisation de l'hydrogène et ses dérivés, la présence d'un climat d'investissement attractif (régulation, contractuel).

L'hydrogène vert ou bleu, lequel sera-t-il préférable pour la Mauritanie ?

L'hydrogène vert, bleu et turquoise se caractérisent par de faibles émissions de CO₂ par rapport à l'hydrogène gris. Il n'y a pas de préférence pour une technologie à faible émission de carbone par rapport à une autre, et elles sont complémentaires.

La Mauritanie dispose d'un fort potentiel pour ces technologies. Du fait de l'abondance des sources d'énergie renouvelables (éolien, solaire), et de leur faible coût de production, l'hydrogène vert est une option très attractive dans le cas de la Mauritanie. Par ailleurs, le pays dispose de grands gisements de gaz naturel offshore, pouvant être convertis en hydrogène bleu. Une étude est en cours pour déterminer l'existence de capacités suffisantes de stockage de CO₂.

Les technologies de l'hydrogène à faible teneur en carbone comportent des incertitudes techniques et économiques. L'électrolyse doit encore être portée à une taille supérieure à 1 GW et les économies d'échelle prévues doivent être confirmées. Pour le CCS associé à la production d'hydrogène bleu, le potentiel de stockage du CO₂ en termes de capacité et d'emplacement devra faire l'objet d'études complémentaires.

Indépendamment de la technologie de production, l'hydrogène peut être utilisé comme matière première par exemple dans la production d'ammoniac et d'acier vert et peut contribuer à la croissance de l'économie mauritanienne.

Quels sont les bénéfices des projets hydrogène pour l'économie locale ?

Un projet hydrogène n'est pas un projet autonome, mais le projet et les infrastructures nécessaires (décrites ci-dessous) apportent trois contributions à l'économie locale :

- Premièrement, des actifs de production d'électricité renouvelable seront construits. Toute l'électricité ne sera pas utilisée pour la production d'hydrogène et une partie de l'électricité pourra donc être utilisée par l'industrie locale et d'autres consommateurs.
- Deuxièmement, l'infrastructure de l'eau, y compris le dessalement et le transport, répondra également à la demande des utilisateurs locaux, de l'industrie, des mines et des ménages.

- Troisièmement, l'hydrogène produit permettra le développement économique du pays, car il constitue une matière première et une source d'énergie pour l'industrie locale et serait également un produit d'exportation.
 - o En particulier, la production d'hydrogène bas carbone sera capitale pour créer une industrie de l'acier vert en Mauritanie ; le contenu local et les recettes fiscales de ce secteur pourront contribuer significativement à l'économie nationale

Quelles sont les opportunités d'investissement intéressantes dans le domaine de l'hydrogène ?

La production d'hydrogène sera à la base de nombreuses opportunités d'investissement en Mauritanie qui bénéficieront des nouvelles infrastructures d'électricité, d'eau et d'hydrogène. Vingt opportunités d'investissement ont été identifiées, à partir de quatre « molécules sources » : l'hydrogène, l'oxygène, la soude caustique et le dichlore. Ces opportunités d'investissement ont été évaluées sur la base de 6 critères. Ces critères incluent l'attractivité économique, la conformité environnementale, les compétences requises, la contribution sociétale, la maturité de la technologie et la complexité de la chaîne d'approvisionnement.

Trois opportunités seraient prioritaires à court terme :

- Production d'ammoniac pour l'exportation / production d'hydrogène liquide pour l'exportation
- Production de nitrate d'ammonium pour la demande locale et l'exportation

Quatre opportunités seraient prioritaires à moyen terme :

- Production de méthanol pour l'exportation et e-fuel
- Production d'acier vert
- Utilisation de l'hydrogène pour les équipements miniers (engins et train)
- Production d'engrais pour la demande locale et l'exportation

Deux autres opportunités pourraient être envisagées sur le long terme :

- Production d'hydrogène pour l'utilisation à petite échelle (mobilité, bâtiment, etc.)
- Production d'hydrogène pour la production électrique

Quelle est l'ambition de la Mauritanie pour l'hydrogène ?

L'ambition hydrogène pour la Mauritanie a été développée par une approche analytique : les objectifs de production ont été calculés en identifiant des parts de marché atteignables par la Mauritanie pour chaque produit, principalement en fonction du nombre de compétiteurs internationaux. A partir de ces parts de marché, les objectifs de production des produits finaux ont été établis, et les volumes d'hydrogène, d'électricité et d'eau nécessaires ont été calculés et sommés.

Sur la base d'une part de marché visée sur le marché mondial, des besoins d'importation des grandes régions, de la présence de la concurrence, de la taille des installations de production et des conditions de la demande intérieure, les objectifs pour les produits finaux ont été fixés et ainsi la production d'énergie renouvelable et le dessalement de l'eau nécessaires ont été déterminés. Ceux-ci sont présentés dans la figure 1.

Figure 1 : Objectifs cumulés de production pour chaque chantier industriel à horizons 2030, 2040, et 2050

CHANTIER ELECTRICITE RENOUELABLE

2030	13 GW d'électricité renouvelable hybride
2040	36 GW d'électricité renouvelable hybride
2050	70 GW d'électricité renouvelable hybride

CHANTIER EAU POTABLE

2030	39 millions de mètres cubes par an
2040	104 millions de mètres cubes par an
2050	229 millions de mètres cubes par an

CHANTIER HYDROGÈNE / AMMONIAC

2030	1,2 Mt d'H ₂ exportés (soit 6,9 Mt d'ammoniac)
2040	2,8 Mt d'H ₂ exportés (soit 15,9 Mt d'ammoniac)
2050	4,3 Mt d'H ₂ exportés (soit 24,4 Mt d'ammoniac)

CHANTIER MÉTHANOL

2030	Etudes de faisabilité et/ou projet pilote
2040	1,8 Mt de méthanol exportés
2050	5,5 Mt de méthanol exportés

CHANTIER ACIER VERT

2030	Etudes de faisabilité et/ou projet pilote
2040	2,7 Mt d'acier vert exportées
2050	18,7 Mt d'acier vert exportées

CHANTIER NITRATE D'AMMONIUM

2030	66 000 t de nitrate d'ammonium
2040	90 000 t de nitrate d'ammonium
2050	108 000 t de nitrate d'ammonium

L'hydrogène de Mauritanie sera-t-il compétitif ?

La Mauritanie est en effet bien positionnée pour fournir les marchés européens et nord-américains en hydrogène bas carbone, qui représenteraient à eux seuls 29% de la demande en 2050, ainsi que d'autres marchés émergents (Afrique et Amérique latine principalement).

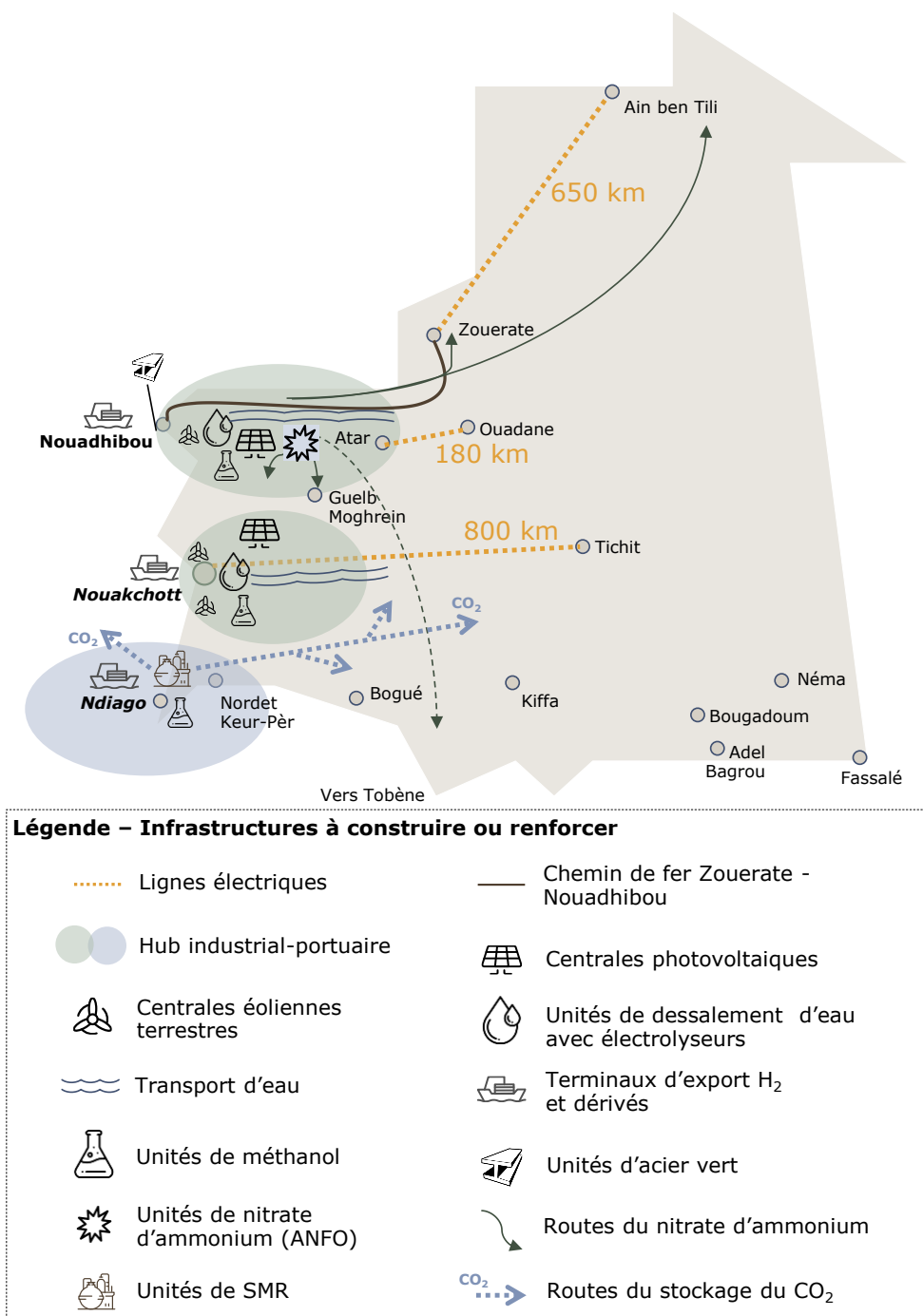
Le coût de production d'hydrogène bas carbone en Mauritanie serait parmi les plus bas au monde, grâce à l'abondance et à la qualité des ressources renouvelables éoliennes et solaires locales. Le coût de livraison de l'hydrogène mauritanien en Europe serait tout au plus égal aux coûts de production locaux. Cependant, avec les volumes d'hydrogène requis pour décarboner l'économie européenne, l'importation d'hydrogène sera obligatoire. En effet, l'UE prévoit de disposer à horizon 2030 d'une capacité d'électrolyse de 40 GW en dehors de l'UE pour répondre à ses besoins.

Quelles infrastructures seront nécessaires pour mettre en place les projets relatifs à l'hydrogène ?

De nouvelles infrastructures devront être construites pour permettre la production d'hydrogène et pour les produits dérivés de l'hydrogène. En outre, les infrastructures d'électricité et d'eau doivent être construites ou étendues pour que la société dans son ensemble puisse bénéficier des possibilités offertes par l'hydrogène.

Sur la base d'une évaluation de la chaîne de valeur complète pour chaque opportunité d'investissement, l'infrastructure requise pour chaque opportunité a été répertoriée par étape. Un résumé est donné dans la figure ci-dessous.

Figure 2 : Cartographie des infrastructures à construire ou à renforcer en vue d'implémenter la feuille de route hydrogène



Cette figure montre deux exemples de hubs possibles pour la production d'hydrogène vert et de produits dérivés et un hub pour l'hydrogène bleu. Bien qu'une infrastructure partagée puisse être bénéfique et qu'un seul centre soit préférable, le nombre de hubs dépendrait également des ambitions des développeurs de projets d'hydrogène et on ne peut donc pas exclure la possibilité de hubs multiples.

Pour les produits dérivés, la source d'hydrogène, qu'elle soit bleue ou verte, ne crée pas de différence dans l'infrastructure requise. Bien sûr, pour l'hydrogène bleu, comme pour

l'hydrogène vert, un pipeline relierait le centre de production d'hydrogène au centre de demande.

Quelles sont les infrastructures qui pourraient être partagées ?

Les possibilités d'investissement dans l'hydrogène nécessiteraient certaines infrastructures partagées. Par exemple, l'infrastructure portuaire profiterait à la fois au transport d'ammoniac ou d'hydrogène liquide et à l'acier vert. Le renforcement de l'infrastructure portuaire profiterait également à d'autres industries en Mauritanie, comme l'industrie minière.

De même, le renforcement de l'infrastructure ferroviaire profiterait au transport de l'acier vert et d'autres produits miniers. Les trains pourraient être convertis à l'utilisation de l'hydrogène.

Enfin, le réseau électrique, l'infrastructure de transport de l'eau et l'infrastructure de transport de l'hydrogène seraient des infrastructures qui pourraient être partagées, profitant à plusieurs développeurs de projets d'hydrogène et au grand public.

Quelles sont les compétences nécessaires à la filière hydrogène ?

Sur la base des ambitions des opportunités d'investissement dans l'hydrogène et de l'infrastructure requise, une liste des compétences nécessaires pour installer, exploiter et maintenir les actifs, financer, réglementer et administrer la filière hydrogène a été établie.

Les compétences requises sont liées aux activités de la chaîne de valeur pour chaque possibilité d'investissement dans l'hydrogène. Selon une première estimation, la réalisation des objectifs ci-dessus nécessiterait la création, d'ici 2050 :

- Environ 280 000 emplois pour la construction et la mise en service des infrastructures et des installations de production
- Environ 100 000 emplois pour l'exploitation et la maintenance de ces installations industrielles

En outre, le Gouvernement doit développer d'autres compétences qui permettraient le démarrage de la filière hydrogène :

- Signer des partenariats internationaux, pour le transfert de compétences et la formation (bourses, échanges, formation de professionnels, etc.), et pour le transfert de technologies
- Recruter des enseignants experts dans les applications industrielles de l'hydrogène
- Former rapidement le personnel nécessaire au développement des projets et à l'exploitation des nouvelles installations

Quelles sont les actions nécessaires pour développer une filière hydrogène efficiente ?

Pour développer l'industrie de l'hydrogène, un effort conjoint du Gouvernement, de ses ministères et d'autres organisations gouvernementales, des instituts de recherche et d'éducation et des développeurs et des acteurs d'industrie sera nécessaire. Le Gouvernement aura un rôle d'initiateur et de coordinateur. Dans la feuille de route, nous avons décrit les actions nécessaires au développement de la filière hydrogène. L'ensemble de ces actions permettra ensuite de piloter la construction de projets, en veillant en particulier à transférer les compétences et les technologies de l'hydrogène et de ses dérivés au tissu socio-économique mauritanien.

La feuille de route hydrogène bas carbone définit des objectifs industriels à la fois ambitieux et réalistes pour la Mauritanie dans cette nouvelle filière. Les prérequis pour les atteindre - juridiques et contractuels, d'infrastructures, de compétences, organisationnels - ont été identifiés et des recommandations sont formulées.

Le plan d'action de la filière hydrogène a été défini, avec une liste de 77 mesures à court, moyen et long terme pour atteindre les objectifs industriels. Le dispositif à mettre en place et les indicateurs pour piloter la réalisation de ces mesures ont été définis.

Cette feuille de route contribuera à l'établissement de l'économie de l'hydrogène en Mauritanie et permettra d'atteindre les objectifs de développement durable nationaux et internationaux.

Onze grandes thématiques ont été identifiées comme structurantes pour le plan d'action :

- La gouvernance
- La formation
- Les contrats, législation et normes
- Les accords internationaux
- L'électricité renouvelable
- L'eau dessalée
- L'hydrogène et ammoniac
- Le méthanol et électro-carburants
- L'acier vert
- Le nitrate d'ammonium
- Les infrastructures transverses

Chacun de ces domaines sera abordé dans les sous-questions suivantes.

Quelle structure de gouvernance serait adaptée ?

La structure de gouvernance requise au sein des instituts gouvernementaux ressemblera à celles qui sont en place aujourd'hui pour les hydrocarbures et l'eau :

- La Direction Hydrogène : intégrée au sein du MPME, cette nouvelle direction serait en charge des aspects stratégiques, politiques, juridiques, contractuels et diplomatiques de la filière hydrogène
- L'Agence Hydrogène : affiliée au MPME, ce nouvel opérateur de l'Etat serait principalement en charge des aspects opérationnels (suivi de l'exécution des chantiers, pilotage des études de faisabilité, etc.)
- La Société Hydrogène : affiliée au MPME, ce nouvel opérateur de l'Etat serait principalement en charge des aspects financiers (gestion des participations de l'Etat dans les projets de la filière hydrogène)

Ces institutions résultent de l'application de certains principes organisationnels directeurs :

- Séparer l'élaboration des politiques de leur mise en œuvre, des opérations et des activités de financement
- Eviter les doublons dans l'administration publique et au sein des opérateurs de l'Etat
- Minimiser le nombre d'entités intermédiaires dans la prise de décision
- Maximiser le recours aux compétences et aux institutions existantes

- Clarifier et simplifier les institutions de l'hydrogène, à la fois pour les acteurs étrangers et nationaux

Les actions de la feuille de route reflètent la mise en place de ces entités, la définition précise de leurs stratégies, tâches, activités et responsabilités. Par exemple, un processus d'appel d'offres doit être établi et exécuté, les activités liées à l'hydrogène dans le pays doivent être suivies et les investissements dans ce domaine doivent être encouragés.

Quelles sont les compétences nécessaires à la filière hydrogène ?

La formation est nécessaire pour disposer de toutes les compétences et d'une main-d'œuvre bien qualifiée. Une main d'œuvre compétente à tous les niveaux est nécessaire, d'où la nécessité de mettre en place des formations tant au niveau de l'enseignement supérieur que de la formation professionnelle.

- L'enseignement supérieur, par la création de Départements Hydrogène, dédiés à la R&D, à la veille technologique et à l'enseignement, au sein des écoles et universités mauritaniennes ou par des échanges dans des universités étrangères, et qui permettraient de former un personnel moyennement à hautement qualifié (ingénieurs Bac+5, techniciens Bac+3)
- La formation professionnelle, par la mise en place de programmes spécifiquement dédiés aux métiers de l'hydrogène au sein des centres de formation professionnelle existants en Mauritanie ou auprès des développeurs et industriels.

Les actions de la feuille de route visent la mise en place de ces départements et programmes, le développement du contenu des programmes de formation incluant les aspects sécurité dans l'hydrogène, le programme de recherche et le recrutement du personnel.

Que faut-il pour disposer d'un cadre contractuel et normatif adéquat ?

Les promoteurs privés réaliseront les investissements dans l'infrastructure de l'hydrogène. Les activités qu'ils comportent relèvent :

- Du cadre juridique des activités industrielles et commerciales, avec la nécessité d'un encadrement réglementaire strict relatif aux risques industriels liés à la production et au transport de l'hydrogène ainsi que des productions qui en sont dérivées ;
- Du cadre juridique et réglementaire relatif aux activités de service public, telles que la production et la fourniture d'électricité et d'eau ;
- Du cadre juridique de l'utilisation du domaine public ou privé de l'Etat, tels que les terres du domaine privé de l'Etat ou le domaine public maritime.

Le cadre juridique, réglementaire et contractuel qui leur est applicable doit permettre d'assurer la cohérence de ces différentes composantes, en vue d'assurer aux investisseurs une sécurité juridique ainsi qu'une attractivité suffisante, requises pour la réalisation de projets de cette envergure et à l'Etat la protection de ses intérêts.

Les actions détaillées de la feuille de route concernent la mise à jour du code d'électricité, l'adhésion aux normes internationales HSE et leur respect, la mise en place de contrats types pour la vente d'électricité et d'eau, la mise en place de contrats types avec les développeurs de projets hydrogène, et la mise en place d'un cadastre.

En particulier, la nouvelle industrie de l'hydrogène devra être réglementée pour veiller à ce que les intérêts des pouvoirs publics, de l'industrie et de la population soient bien pris en compte. Si l'hydrogène implique également les activités existantes dans les domaines

de l'électricité et de l'eau et ne constitue pas une activité nouvelle et isolée, les règles et les codes devraient être proches et comparables à ceux qui couvrent les domaines existants.

Dans le Code de l'électricité, nous proposons de prendre deux mesures. Premièrement, mentionner les licences à accorder aux autoproducteurs parmi les exceptions aux licences par appels d'offres. Deuxièmement, définir les montants des redevances calculées sur les revenus de la fourniture d'électricité excédentaire.

Une réglementation HSE est déjà en place. Pour s'assurer que la réglementation HSE existante est également bien adaptée à l'hydrogène, nous proposons trois actions. Premièrement, l'identification des systèmes normatifs relatifs à la sécurité des établissements impliqués dans la production et le transport de l'hydrogène et de ses sous-produits et deuxièmement le renforcement de la gouvernance de la sécurité industrielle: redéfinition des objectifs, des tâches et des activités de supervision et de pilotage du risque industriel en Mauritanie et troisièmement la rédaction et la promulgation du décret définissant la procédure de classification des ICPE.

Des contrats types pour l'industrie de l'hydrogène doivent être mis en place. Un type de contrat entre le Gouvernement et les développeurs d'hydrogène doit être défini. La structure d'un tel contrat a été fournie dans ce rapport. Un contrat type pour la vente d'électricité à la société d'électricité SOMELEC doit être défini et de même pour l'eau avec la société d'eau SNDE.

Certains changements dans les autorisations seront également nécessaires : la définition d'un bail emphytéotique standard pour les développeurs d'hydrogène et de ses dérivés, la réforme de l'autorisation d'occupation du domaine public maritime sera nécessaire. En particulier, certaines assurances devraient être données à l'investisseur sur le renouvellement de l'autorisation d'occupation afin que cette durée corresponde à celle de l'occupation des terrains sur lesquels seront construites les autres installations du projet et des terrains nécessaires, le cas échéant, pour construire l'usine de dessalement

Pour soutenir de manière optimale l'industrie naissante et identifier les sites favorables à la production d'énergie renouvelable, un aménagement du territoire est nécessaire. Ainsi, un prérequis essentiel consiste en la cartographie de l'assiette foncière pouvant être affectée au projet d'hydrogène et de ses dérivés, en veillant à ce que les terrains nécessaires à la mise en œuvre des futures installations de production, de transport et d'exportation puissent être mis à disposition en temps voulu.

Afin de promouvoir le climat d'investissement favorable en Mauritanie, nous proposons de communiquer clairement sur la réforme juridique et la simplification administrative auprès des partenaires financiers et opérationnels potentiels de la filière hydrogène.

Comment la Mauritanie peut-elle conclure des accords internationaux ?

Pour construire l'économie de l'hydrogène de demain, la Mauritanie pourrait bénéficier de partenariats avec d'autres pays par le biais d'accords bilatéraux, avec pour objectif d'obtenir : des alliances ou coopérations énergétiques, le financement d'études de faisabilité ou de potentiel, des transferts de technologies et de compétences, ainsi que des échanges universitaires. Ces accords bilatéraux permettraient également de gagner en crédibilité auprès des investisseurs étrangers.

Les pays les plus prometteurs sont l'Union européenne, notamment l'Allemagne et les Pays-Bas. Ces pays ont une politique volontariste en matière d'importation d'hydrogène vert, afin de respecter leurs engagements de neutralité carbone.

La signature d'accords bilatéraux, et l'organisation ou la participation aux principaux lieux de rencontre entre investisseurs et acteurs publics permettront d'asseoir la crédibilité du pays dans la filière hydrogène tout en accélérant son développement commercial.

Les actions de la feuille de route ne se concentrent pas seulement sur l'établissement de ces accords, mais aussi sur un rôle plus important dans les organisations internationales afin de positionner la Mauritanie comme un acteur crédible dans le domaine de l'hydrogène.

Quels sont les prérequis pour disposer d'une quantité suffisante d'électricité et en profiter de manière optimale ?

Jusqu'à 70 GW de capacité d'électricité renouvelable fournissant 320 TWh pourraient être nécessaires d'ici 2050 pour réaliser les ambitions en matière d'hydrogène et de dérivés de l'hydrogène. Ces actifs solaires et éoliens doivent être construits et situés au bon endroit. Toute l'électricité ne sera pas convertie en hydrogène. Pour optimiser le système et les coûts des systèmes, la capacité de l'électrolyseur sera inférieure à la capacité d'électricité renouvelable et environ 10 à 15 % de la production d'électricité sera excédentaire et pourra être utilisée par la population et l'industrie locales. Par conséquent, une bonne connexion au réseau et le renforcement de ce dernier seront obligatoires.

Les actions de la feuille de route pour la production d'électricité renouvelable seront entreprises principalement par les développeurs, le Gouvernement ayant un rôle de surveillance. Les activités comprennent la planification des besoins en électricité, l'identification des zones de production, l'EPC des actifs d'électricité renouvelable, la connexion au réseau et la sécurisation de l'enlèvement.

Quelles sont les infrastructures nécessaires et comment bénéficier de l'eau de manière optimale ?

La production d'hydrogène nécessite de grands volumes d'eau, mais d'autres utilisateurs industriels, le secteur minier et la population locale bénéficieront également de l'eau. Une demande totale de 230 millions de m³ d'ici 2050 est envisagée. De grandes usines de dessalement seront nécessaires pour produire cette eau et l'infrastructure pour amener l'eau aux utilisateurs finaux. Le dessalement de l'eau bénéficie grandement des économies d'échelle. L'eau utilisée pour l'électrolyse est une eau déminéralisée mais n'est pas potable. Elle nécessite un post-traitement et un prétraitement pour la rendre potable. Des obligations de potabilisation des excès d'eau devront être prévues lors des négociations avec les développeurs de projets.

Les actions de la feuille de route comprennent la mise à jour de la Stratégie Nationale pour un Accès Durable à l'Eau et à l'Assainissement (SNADEA, le plan national pour l'eau), afin d'y inclure le nouveau contexte de l'hydrogène et du développement économique associé. Les promoteurs et investisseurs devront assurer la conception et l'ingénierie de l'usine de dessalement, évaluer l'impact de la saumure sur l'environnement, construire l'usine. Les promoteurs devront assurer la conception et l'ingénierie de l'usine de dessalement, évaluer l'impact de la saumure sur l'environnement, construire l'usine en interaction avec la construction de l'infrastructure de distribution, sous l'égide du Gouvernement.

Comment se préparer à la production et l'exportation d'hydrogène et d'ammoniac ?

La production d'hydrogène à grande échelle par électrolyse, SMR et CCS ou pyrolyse du méthane fournira l'hydrogène nécessaire à l'exportation et à l'utilisation domestique. La conversion de l'hydrogène en ammoniac faciliterait l'exportation, car l'ammoniac serait plus simple et moins cher à exporter par bateau.

Les actions de la feuille de route comprennent l'évaluation et la quantification du potentiel de stockage de CO₂ pour évaluer la faisabilité de l'hydrogène bleu et, alternativement, la vérification du stockage du carbone solide pour la pyrolyse du méthane. D'autres actions sont liées à la mise en place de l'infrastructure nécessaire à la production d'hydrogène et d'ammoniac, à l'obtention des équipements nécessaires à l'infrastructure et à l'obtention des contrats d'exportation d'ammoniac. La réalisation d'une étude pour évaluer la faisabilité d'un pipeline pour l'exportation d'hydrogène vers l'Europe ouvrirait potentiellement une deuxième voie d'exportation pour l'hydrogène, après l'exportation d'ammoniac par bateau.

Comment se préparer à la production du méthanol et des électrocarburants ?

Pour produire du méthanol vert, il faut un approvisionnement important en CO₂ (environ 1,5 tonne par tonne de méthanol), pour cela, une ou plusieurs unités de capture de CO₂ dans l'air seront nécessaires. Cette technologie monte en puissance et d'ici 2030 un premier projet pilote pourrait être lancé en Mauritanie, en même temps que les premières études de faisabilité pour le méthanol vert.

Les actions de la feuille de route comprennent les études de faisabilité, de marché, et tests et évaluation d'impact environnemental d'une production de e-méthanol en Mauritanie, afin d'identifier les adaptations technologiques à apporter en lien avec le contexte local et par la suite la construction des usines e-méthanol. En outre, des études visant à réutiliser les infrastructures pétrolières existantes pourraient être bénéfiques pour l'économie de la chaîne de valeur.

Comment se préparer pour le développement de la filière acier vert ?

La Mauritanie profite d'une combinaison de deux avantages : un potentiel hydrogène fort et la présence de gisements de fer sur son sol. Ces circonstances quasi-unicques au monde en font un candidat idéal pour devenir un pays producteur d'acier décarboné.

A l'heure actuelle, la chaîne de valeur d'un produit « acier vert » exportable comprend :

- L'extraction de minerai de fer présentant des caractéristiques minéralogiques adaptées à la transformation en boulettes destinées à être pré-réduites
- Le processus d'enrichissement du minerai et sa transformation en boulettes de fer
- La réduction directe du fer pour produire des boulettes de fer dit « pré-réduit » (Direct Reduced Iron) ou des briquettes (Hot Briquetted Iron) ; ce procédé utilise traditionnellement du gaz naturel comme source d'hydrogène, mais il peut également être réalisé directement à partir d'hydrogène vert
- Le fourneau à arc-électrique (EAF, Electric-Arc Furnace) qui consiste à fondre les boulettes de fer pré-réduit, mélangées à une quantité spécifique de ferraille recyclée, pour obtenir de l'acier liquide ; il est possible d'utiliser 100% de boulettes de fer afin d'obtenir un acier brut de haute qualité
- Le laminage transforme ensuite l'acier brut en produit exportable : produits fins (haute valeur ajoutée) ou produits longs (plus faible valeur ajoutée)

En Mauritanie, seule la partie extractive est déjà présente dans le pays. Le reste de la chaîne de valeur serait à construire progressivement, en commençant par le bouletage.

Les actions de la feuille de route visent l'étude géologique et minéralogique pour évaluer la possibilité de produire des boulettes de qualité DR et toutes les activités liées à la construction des usines de bouletage. Dans un deuxième temps, la stratégie commerciale pour la production d'acier vert doit être mise en place. L'EPC des aciéries vertes est également inclus dans les actions de la feuille de route. Compte tenu de l'augmentation

des volumes de minerai de fer transportés, il faudra développer le chemin de fer, explorer et mettre en œuvre les possibilités d'utiliser l'hydrogène pour la locomotive et l'équipement minier, ce qui rendra la chaîne d'approvisionnement en acier encore plus verte.

Comment bénéficier du nitrate d'ammonium pour l'exploitation minière ?

Le nitrate d'ammonium sera principalement utilisé pour le marché intérieur dans les opérations minières, car il s'agit d'un produit chimique présentant un risque d'explosion élevé et donc difficile à transporter et à stocker en grandes quantités. Par conséquent, les volumes ciblés et la capacité de production suivront la demande minière prévue, qui sera impactée par l'augmentation de la production de minerai de fer, de cuivre et d'or, ainsi que par de nouvelles opportunités minières (uranium, phosphate).

Les actions de la feuille de route comprennent l'étude de faisabilité de la production de nitrate d'ammonium, la construction des installations et le stockage sécurisé du produit.

Comment préparer l'infrastructure transversale pour la filière hydrogène ?

Pour permettre la production et l'exportation d'hydrogène et de ses produits dérivés, une infrastructure transversale sera nécessaire. Une infrastructure portuaire avec des terminaux pour l'exportation d'ammoniac, d'acier vert et de méthanol devra être mise en place. En outre, le port sera la zone où seront construites les installations de production. Dans un tel hub industrialo-portuaire, les synergies entre les activités doivent être recherchées car elles peuvent créer des avantages, comme l'efficacité énergétique.

Les actions de la feuille de route incluent les études pour l'identification des renforcements de capacité des ports, ainsi que l'impact socio-économique de l'agrandissement des ports. Comme de multiples activités auront lieu dans une région portuaire, une action vise à assurer des synergies (notamment énergétiques) entre les acteurs. Un modèle économique pour l'infrastructure portuaire et son financement est nécessaire ainsi que l'EPC de l'infrastructure portuaire nécessaire pour permettre l'exportation.

Comment développer une filière de l'hydrogène conforme aux normes internationales environnementales ?

La manipulation et le stockage de l'hydrogène sont régis par les règlements relatifs à la manipulation des substances dangereuses. Afin de veiller à la conformité de la filière hydrogène aux normes internationales environnementales, le Gouvernement pourra activer quatre principaux leviers : la réglementation, la contractualisation, la formation, et la gouvernance.

Le décret en projet portant application du régime des ICPR devra être promulgué. Une procédure de classification devra être mise en place, et la nomenclature des installations classées établie par arrêté du Ministre chargé de l'environnement. Les systèmes normatifs relatifs à la sécurité des établissements concernés par la production et le transport d'hydrogène et de produits dérivés devront être définis.

Dans l'attente de cette réglementation, il sera nécessaire de rendre contractuels les normes et règles requises par référence aux normes internationales existantes.

La maîtrise des risques industriels de la filière hydrogène nécessitera la mise en place de parcours universitaires et de centres de formation professionnelle dédiés aux normes environnementales internationales et aux risques industriels.

Le Gouvernement et les nouvelles instances de gouvernance de l'hydrogène assureront le pilotage de la conformité environnementale, en lien avec les ministères de l'énergie, de l'industrie, et de l'environnement.

Que faire des quantités de sel issu de dessalement de l'eau de mer ?

Dans le cas où il n'est pas rejeté à la mer, le sel issu du dessalement pourrait être réutilisé pour les besoins domestiques de l'industrie mauritanienne locale, en complément des gisements de sel existants. La réutilisation de la saumure pourrait ainsi réduire l'impact sur les milieux marins et minimiser le volume des rejets chimiques.

Aucun projet de grande échelle pour la réutilisation du sel n'a été mise en service, principalement du fait de la viabilité économique. NEOM, le projet de ville nouvelle en Arabie Saoudite, étudie différentes options et méthodes.

La faisabilité de la réutilisation du sel dépendra de sa rentabilité et de sa conformité environnementale. Ces paramètres devront être étudiés avec les développeurs en amont de tout projet de dessalement incluant une réutilisation du sel.

Comment la filière de l'hydrogène contribue-t-elle aux objectifs de développement durable de l'ONU ?

La contribution des opportunités d'investissement dans les filières de l'hydrogène en Mauritanie à ces objectifs de développement a été évaluée. De manière générale, les opportunités d'investissement identifiées contribuent directement ou indirectement à une majorité des 17 objectifs de développement durable de l'ONU.

Les électrolyseurs ayant besoin d'eau purifiée pour fonctionner, la construction d'une usine de dessalement de grande échelle fournira de l'eau potable en quantité suffisante selon les normes de l'OMS et à un faible coût, et par ce biais, contribuera à assurer la sécurité hydrique et alimentaire, avec une gestion durable des ressources en eau.

La filière hydrogène permettra de construire d'importantes capacités d'énergie renouvelable photovoltaïque et éolienne. Le surplus d'électricité généré après électrolyse sera de l'ordre de plusieurs dizaines de TWh en 2050, et répondrait aux besoins domestiques de la Mauritanie tout en fournissant une énergie bon marché et durable, ayant un très faible impact carbone.

L'atteinte des objectifs industriels de l'hydrogène permettrait ainsi d'éviter l'émission de dioxyde de carbone à hauteur de 46 MtCO₂/an dès 2030, et de 280 MtCO₂/an à partir de 2050, soit plus de 60 fois les émissions de CO₂ en Mauritanie de 2018.

Des nouveaux parcours universitaires et des centres de formation professionnelle spécifiques à la filière hydrogène et ses dérivés seront créés, pour garantir l'accès aux emplois de l'hydrogène. La poursuite de l'équité sociale sera également une composante importante dans la construction des compétences de la filière hydrogène et pour l'atteinte des objectifs de développement durable.

Le Gouvernement mauritanien a aussi défini sa propre stratégie de développement durable, la « SCAPP » - *Stratégie de Croissance Accélérée et de Prospérité Partagée*. La filière hydrogène permettrait de contribuer aux trois leviers de cette stratégie :

- Promouvoir une croissance forte, durable et inclusive
- Développer le capital humain et l'accès aux services sociaux de base
- Renforcer la gouvernance dans toutes ses dimensions.

Le Gouvernement et les nouveaux organes de gouvernance (Direction et Agence Hydrogène) seront en charge de veiller à la contribution de la filière hydrogène aux objectifs de développement durable de l'ONU.

Quels critères sont à appliquer pour la sélection des développeurs dans un processus d'un appel à concurrence ?

Les développeurs de projets de production d'hydrogène et de ses dérivés pourront être sélectionnés à travers une procédure de mise en concurrence, tenant compte des critères de compétitivité et développement durable, à travers 4 principaux volets de notation :

- Le volet compétitivité, mettant en concurrence les prix prévisionnels de vente des commodités qui seront produites (électricité renouvelable, eau, hydrogène et ses dérivés)
- Le volet industriel, une notation calculée à partir de la capacité de production des futures installations, et le niveau de rendement attendu pour chaque unité de production
- Le volet contenu local, mesurant la contribution au développement durable de la Mauritanie :
 - o Quelles retombées économiques attendues pour le pays ?
 - o Quelles quantités de ressources renouvelables (eau, électricité, chaleur, etc.) produites en surplus seraient acheminées pour une consommation locale ? A quel prix ?
 - o Quels engagements en termes de formation et d'emplois locaux ?
 - o Quelle contribution aux activités de recherche et développement ?
- Le volet risques, notant le niveau de maîtrise des risques du projet par ses différentes parties prenantes, incluant la solidité financière du plan d'affaires, les garanties financières apportées et la solvabilité des développeurs du projet, la minimisation de l'impact environnemental en lien avec le design et la localisation du projet, la viabilité commerciale du projet

Introduction

L'hydrogène, en tant que vecteur énergétique et matière première, permettra la transition énergétique dans le monde entier. La Mauritanie, avec ses ressources en gaz naturel et son offre abondante d'énergie éolienne et solaire, peut répondre à une partie de la demande mondiale d'hydrogène. La Mauritanie doit se positionner pour saisir les opportunités économiques de l'économie de l'hydrogène et de ses dérivés.

L'hydrogène constitue une option clé pour la réduction des émissions de CO₂, car il est un vecteur d'énergie efficace pouvant répondre à plusieurs usages finaux :

- Matière première : agent réducteur, intrant industriel, combustibles synthétiques
- Secteur de l'énergie : soutien à l'intermittence des ENR par le stockage et la production d'électricité, transport efficace de l'énergie, chaleur efficace à émission zéro
- Transports : véhicules à pile à combustible, drones à hydrogène liquide, carburants synthétiques pour les avions, locomotives à pile à combustible, transport maritime
- Production de chaleur et d'électricité dans les bâtiments : systèmes de production d'électricité hors réseau ou de secours, remplacement ou mélange de gaz naturel, systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité

La demande mondiale d'hydrogène à faible teneur en carbone sera multipliée par 3 à 7 entre 2020 et 2050. Un marché mondial de l'hydrogène se développera dans les régions disposant de conditions de production favorables, qui fourniront de l'hydrogène aux grandes zones de consommation. La Mauritanie deviendra l'un des acteurs clés du marché mondial de l'hydrogène grâce à son potentiel d'énergies renouvelables et son positionnement géographique, bénéficiant des marchés d'exportation et du développement économique national.

La filière hydrogène bas carbone en Mauritanie contribuera significativement au développement durable du pays, en :

- Industrialisant le pays et développant des expertises à renommée internationale
- Générant plusieurs sources de revenus grâce aux projets d'exportation
- Créant des emplois et développant les compétences nationales
- Améliorant et démocratisant l'accès au service public (eau, électricité, transport, santé, sécurité alimentaire, etc.)
- Contribuant à la décarbonation de l'économie, notamment des secteurs énergétiques et minier

L'objectif du projet visera à accompagner le Ministère du Pétrole, des Mines et de l'Energie, soutenu par la Banque Mondiale, dans la mise en place de sa feuille de route stratégique pour l'hydrogène bas carbone. Des développeurs désireux de mettre en place des projets hydrogène en Mauritanie sont en discussion avec le Gouvernement ; le succès de ces négociations nécessite d'avoir une bonne vision des prérequis pour sécuriser le développement de la filière. Le présent document constitue la deuxième et dernière

étape de l'analyse : définir des ambitions industrielles à horizon 2050 en lien avec la filière hydrogène et ses dérivés et une liste de mesures pour y parvenir.

1. Les potentialités de l'hydrogène vert en Mauritanie

1.1 L'hydrogène : un catalyseur de la décarbonation mondiale

L'hydrogène est un catalyseur de la transition énergétique dans le monde, en tant que vecteur énergétique et en tant que matière première pour l'industrie. Aujourd'hui, l'hydrogène gris, issu de sources fossiles, est principalement utilisé dans l'industrie chimique et les raffineries. Il sera remplacé par de l'hydrogène à faible teneur en carbone et sera utilisé dans davantage d'applications dans l'industrie et d'autres secteurs de l'économie tel que la mobilité.

Ainsi, un marché mondial de l'hydrogène se développera, ouvrant des opportunités pour la Mauritanie, tant pour l'exportation que pour les applications domestiques et le développement de l'économie mauritanienne, son industrialisation, et l'amélioration du service public à destination des populations locales.

En 2020, la demande mondiale en hydrogène s'élevait à **88 Mth₂**, 3 secteurs industriels capturant 94% du marché : la production d'ammoniac (40%), les raffineries (40%) et la fabrication de méthanol (14%).

En fonction du scénario prévisionnel envisagé, le marché global de l'hydrogène devrait être multiplié par 3 à 7 à horizon 2050¹, par rapport au niveau constaté en 2020. En effet, selon le rythme de réduction des GES et la part envisagée de l'hydrogène dans cette décarbonation, plusieurs scénarios prévisionnels d'évolution du marché de l'hydrogène existent, dont notamment :

- Le scénario *Net Zero* de l'IEA : Ce scénario correspond à la feuille de route publiée par l'IEA pour atteindre le niveau net zéro d'ici 2050 et limiter la hausse des températures mondiales à 1,5 °C
- Le scénario *Announced Pledges* de l'IEA : un scénario de l'IEA qui prend en compte tous les engagements nationaux actuels de réduction des émissions de gaz à effet de serre « *Global Hydrogen Review* » de l'IEA et suppose qu'ils sont réalisés intégralement et dans les délais impartis
- Le *scenario Hydrogen for Net Zero* du Conseil de l'hydrogène : un scénario correspondant à la « perspective ambitieuse, mais réaliste » du Hydrogen Council quant au rôle de l'hydrogène sur la voie menant à l'objectif de zéro émission nette en 2050, conformément à l'Accord de Paris

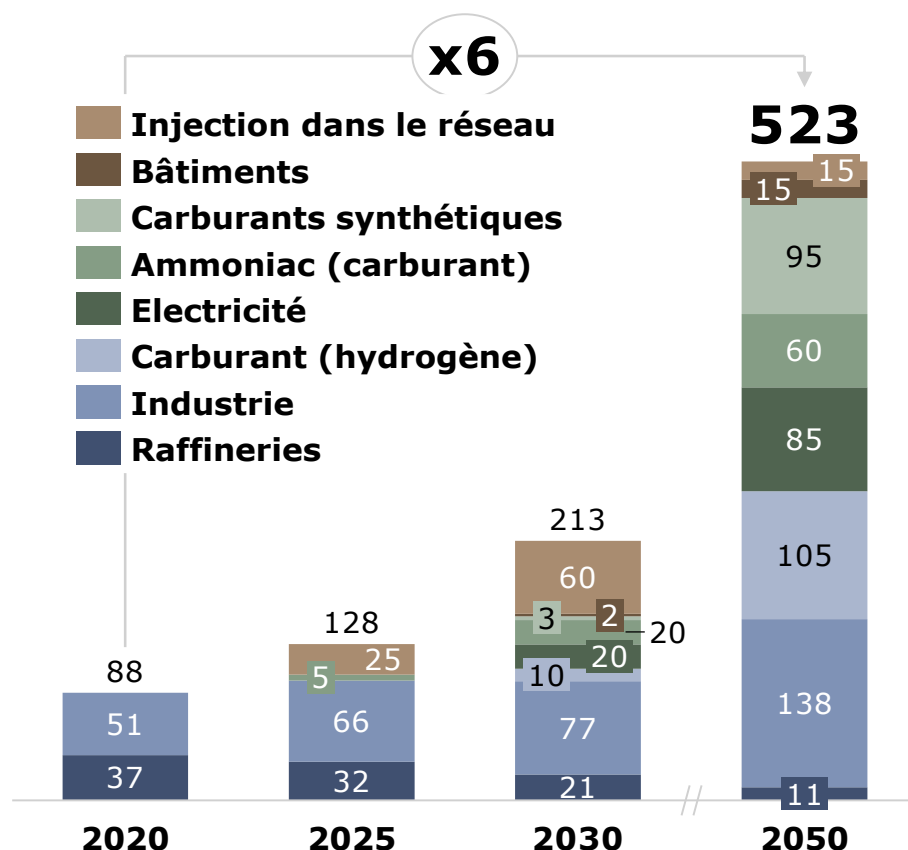
En considérant uniquement le scénario *Net Zero* de l'IEA, la demande mondiale en hydrogène serait **multipliée par 6 entre 2020 et 2050**. Cette croissance considérable du marché est due à deux facteurs :

- **la décarbonation des usages actuels de l'hydrogène** (à 99% issu de sources fossiles)
- **le développement de nouveaux usages décarbonés** (le transport, la production d'électricité, le chauffage, d'autres usages industriels décarbonés tels que l'acier vert)

¹ Sur la base des rapports *Global Hydrogen Review* de l'IEA et *Hydrogen for Net Zero* du Conseil de l'hydrogène, tous deux publiés en 2021

Ce développement de l'hydrogène créera un marché d'exportation attractif pour la Mauritanie.

Figure 3 : Futurs usages de l'hydrogène bas carbone – Répartition de la demande mondiale d'hydrogène à horizon 2050, d'après le scénario Net Zero de l'IEA



Source : Scénario Net Zero du Global Hydrogen Review 2021 (IEA)

La Mauritanie est en effet **bien positionnée pour fournir les marchés européens et nord-américain en hydrogène bas carbone**, qui importeront à eux seuls 12,2 MtH₂ en 2030. Grâce à sa localisation géographique stratégique, la Mauritanie pourra fournir en hydrogène bas carbone les principaux foyers de la demande d'hydrogène dans le monde, garantissant ainsi un coût de transport compétitif.

Le principal marché d'exportation de l'hydrogène serait *a priori* l'Union Européenne. Dans *Une stratégie de l'hydrogène pour une Europe climatiquement neutre*², publiée par la Commission Européenne « a élaboré un plan ambitieux pour atteindre une capacité d'électrolyse de 2x40 GW d'ici à 2030 », « 40 GW en Europe et 40 GW³ au voisinage de l'Europe avec des exportations vers l'UE ».

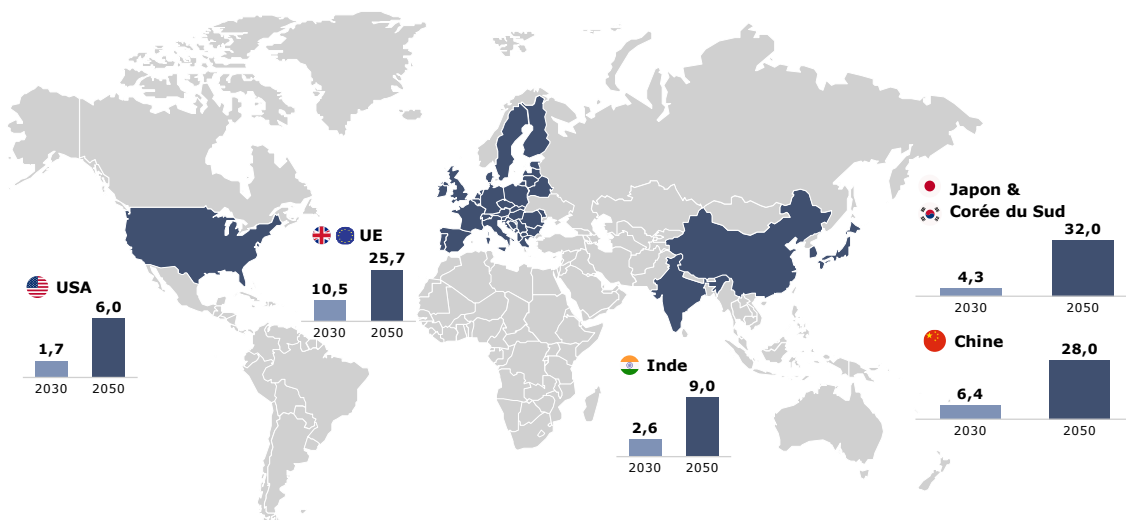
Ces objectifs d'importations d'hydrogène représentent de réelles opportunités de croissance économique et de développement industriel pour la Mauritanie. Au vu des

² Publiée par la Commission Européenne le 08 Juillet 2020, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&qid=1613487359384&from=FR>

³ Une capacité d'électrolyse de 40 GW représenteraient une production de 10 millions d'hydrogène, d'après Une stratégie de l'hydrogène pour une Europe climatiquement neutre (voir note précédente)

volumes d'importation mondiaux d'hydrogène en 2030 (voir figure ci-dessous), et de la durée nécessaire pour développer des projets de grande échelle d'hydrogène bas carbone, il est critique d'investir dès le début des années 2020 dans ces types de projet, notamment à travers la signature de contrats privés et d'accords bilatéraux.

Figure 4 : Besoins estimés en importations d'hydrogène en 2030 et 2050 (MtH₂)⁴



Source : Union Européenne : World Energy Council 2021 sur base des stratégies nationales hydrogène ; Royaume-Uni : ESO Future Energy scenarios 2021 « Leading the Way » ; Etats-Unis, Chine, Inde et Japon & Corée du sud : Estimations I-Deals dans la stratégie Colombienne sur la base des stratégies nationales hydrogènes

1.2 Le potentiel considérable d'hydrogène bas carbone en Mauritanie

Trois principales technologies permettraient de produire de l'hydrogène bas carbone en Mauritanie :

- **Hydrogène bleu**, correspondant au reformage du méthane à la vapeur (SMR) avec la capture et le stockage du CO₂ (CCS)
- **Hydrogène vert**, correspondant à l'électrolyse de l'eau, qui n'émet pas directement de CO₂ mais nécessite une grande quantité d'eau (dans un cas « optimal », environ 10 litres par kgH₂) et une grande quantité d'énergie (10 fois plus que pour le SMR+CCS)
- **Hydrogène turquois**, correspondant à la pyrolyse du méthane, quant à elle émet peu de CO₂ (moins de 2 kg par kg H₂), ne nécessite pas d'eau mais pâti d'un rendement de 50% en moins par rapport au SMR

Les caractéristiques actuelles de ces technologies sont résumées dans la figure ci-dessous.

⁴ Peut inclure tout type de transport d'hydrogène (hydrogène liquide, ammoniac, LOHC, etc.)

Figure 5 : Principales technologies de production d'hydrogène bas carbone en Mauritanie

	Rendement (mol H ₂ / mol CH ₄)	Emissions de CO ₂ (gCO ₂ / gH ₂)	Eau nécessaire (H ₂ O)	Demande énergétique minimale (kJ/mol H ₂)
Reformage du méthane à la vapeur (SMR) + CSC	<4	2 (10 sans SMR)	Oui	27
Électrolyse de l'H₂O	Efficace à ~60%	0	Oui - important	286
Pyrolyse du méthane	2	<2	Non	37

Source : ARPA-E Methane Pyrolysis Cohort Kickoff (Décembre 2019)

1.2.1 Le potentiel de production par électrolyse

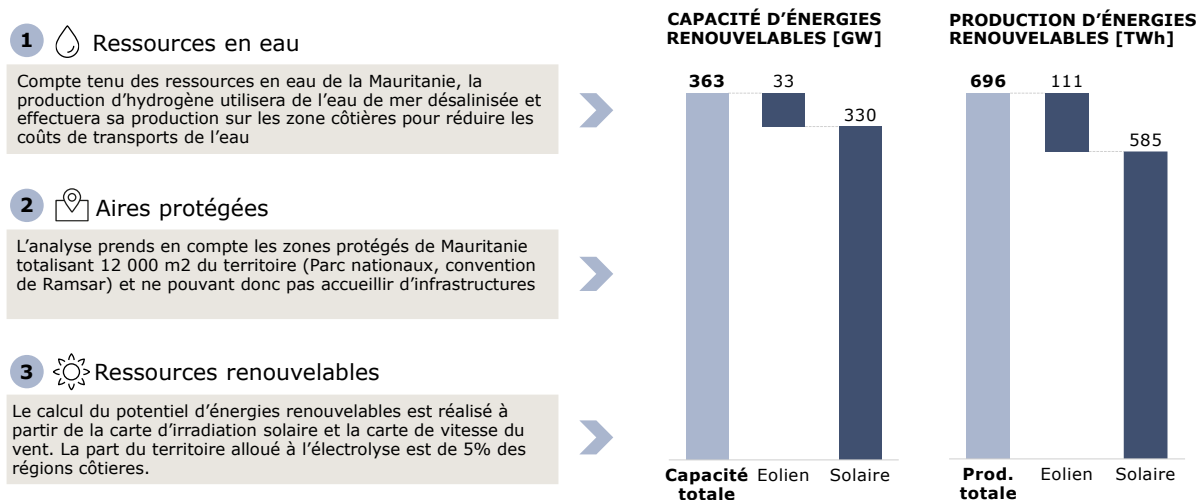
La Mauritanie peut fournir une grande partie de la demande mondiale d'hydrogène et satisfaire entièrement sa demande intérieure. Le pays dispose en effet d'un potentiel de production d'hydrogène vert très important. **En allouant 5% de son territoire côtier aux énergies renouvelables, la Mauritanie produirait l'équivalent de 14% de la demande mondiale actuelle d'H₂ à partir d'électrolyse, soit 12 MtH₂.**

Cette analyse de la production d'hydrogène vert en Mauritanie tient compte de 3 critères d'évaluation :

- La disponibilité des ressources en eau
- Les aires protégées (localisation et étendue)
- La cartographie de l'irradiation solaire et de la vitesse du vent en Mauritanie

La figure ci-dessous résume le potentiel mauritanien d'énergie renouvelable à destination de la production d'hydrogène vert.

Figure 6 : Potentiel de production de l'hydrogène vert par électrolyse en Mauritanie, dans le cas où 5% du territoire seraient alloués à cette production

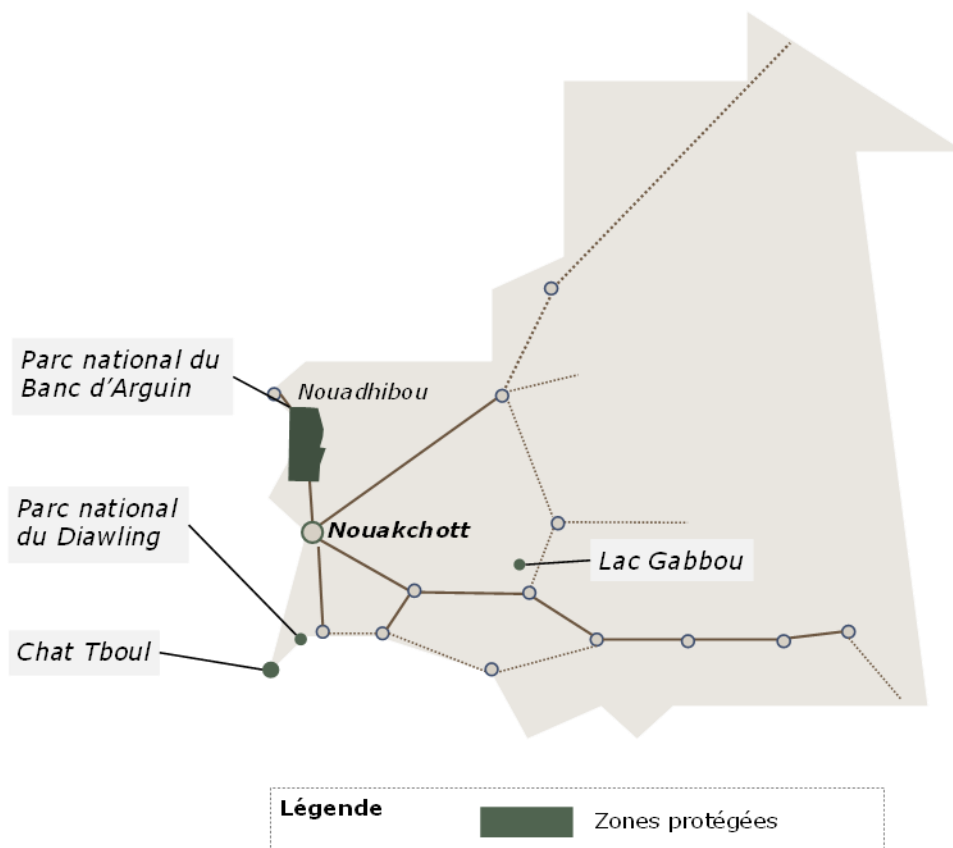


Source: Analyse AFRY, Global Solar Atlas, Global Wind Atlas, UICN – Union internationale pour la Conservation de la Nature

Comparé au SMR+CCS et la pyrolyse du méthane, l'électrolyse nécessite une utilisation importante d'eau. Par conséquent, l'accès à l'eau est une condition préalable : estimer le potentiel d'hydrogène vert nécessite la prise en compte des ressources hydriques de la Mauritanie. Compte tenu de sa situation, la solution la plus envisageable est le dessalement d'eau de l'océan Atlantique. La production d'hydrogène vert n'est donc envisageable *a priori* qu'au niveau des régions côtières, afin de réduire les coûts de transport de l'eau.

L'analyse exclut les zones protégées qui totalisent 12 000 m² du territoire. La carte ci-dessous présente l'ensemble de ces zones protégées.

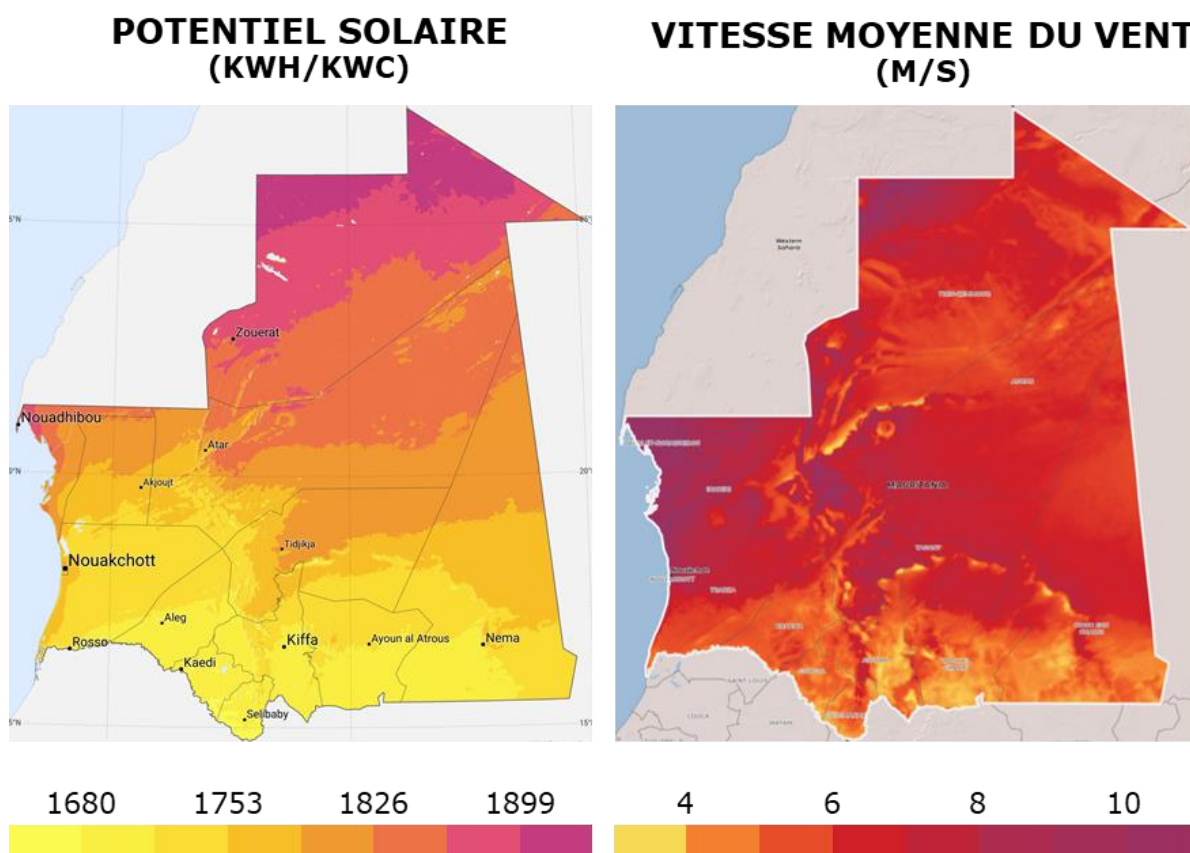
Figure 7 : Zones protégées en Mauritanie



Source : UICN – Union internationale pour la Conservation de la Nature

Le calcul du potentiel de production d'énergies renouvelables prend en compte l'irradiation solaire et la vitesse du vent moyenne par région à partir des cartes des *Global Solar Atlas* et *Global Wind Atlas*. Celles-ci sont présentées dans les cartes ci-dessous :

Figure 8 : Cartographie du potentiel de production d'énergie renouvelable solaire et éolienne en Mauritanie



Source : Global Solar Atlas, Global Wind Atlas

Une fois ces paramètres pris en compte, et en appliquant l'hypothèse d'allocation de 5% de ces régions, le potentiel d'installation de capacité renouvelable est estimé à 363 GW, qui pourraient générer environ 696 TWh par an⁵.

1.2.2 Le potentiel de production par conversion du gaz naturel

Au vu de ses gisements de gaz naturel, la production d'hydrogène bleu est une piste attractive pour la Mauritanie. Néanmoins, les données existantes sur le stockage de CO₂ ne permettent pas de conclure sur sa faisabilité. Une étude technique sur la présence et la taille des aquifères, faisant suite à l'étude d'AFRY, serait nécessaire. La pyrolyse du méthane (technologie moins mature et deux fois moins efficace) sera une alternative pour valoriser le gaz naturel. Le carbone solide peut être stocké dans des endroits éloignés des sites de production et dans le respect des normes environnementales.

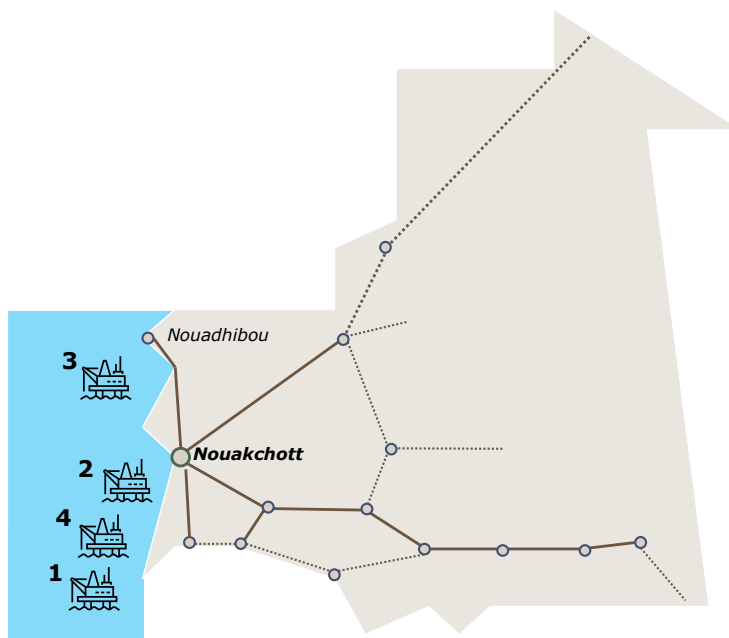
Le potentiel de gaz naturel

Par ailleurs, la Mauritanie dispose d'importantes réserves de gaz qu'elle pourrait exploiter pour la production d'hydrogène, en effet, elle totalise un potentiel d'extraction de 12 264

⁵ A titre de comparaison, la Mauritanie a produit 2 TWh d'électricité en 2020, tandis que l'Allemagne a consommé 548 TWh d'électricité en 2019 (soit avant le début de la crise du Covid-19).

M m³ / an répartis sur 4 forages de gaz découverts (GTA, Banda, Pélican, Bir Allah) dont un seul qui sera exploité à court-terme (GTA).

Figure 9 : Cartographie des réserves de gaz naturel en Mauritanie



Réserve	Volume	Phase
¹ Grand Tortue Ahmeyim	730 M m ³ / an	Phase 1 d'exploitation pour 2023
² Banda	657 M m ³ / an	En phase d'exploration
³ Hub de gaz Pélican	657 M m ³ / an	En phase d'exploration
⁴ Bir Allah	10 220 M m ³ / an	En phase d'exploration

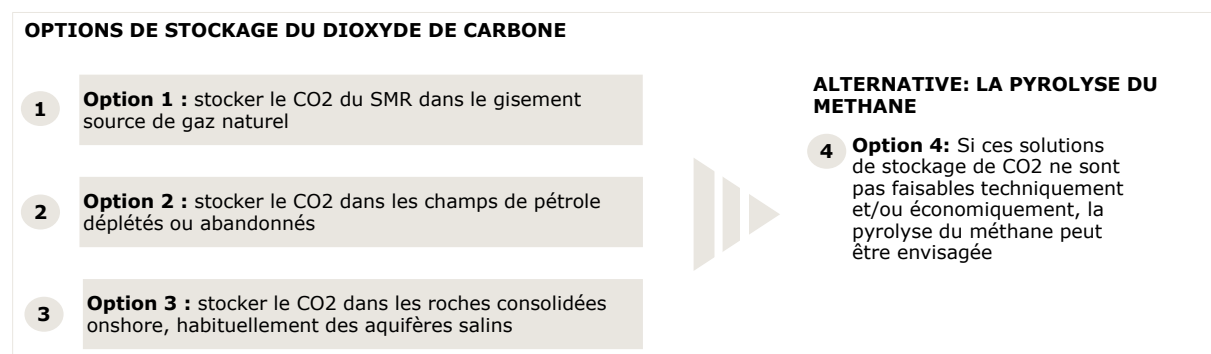
Source : Gaz Master Plan

Le potentiel de conversion du gaz naturel en hydrogène bas carbone

La conversion du gaz naturel mauritanien pourrait accroître le potentiel de production d'hydrogène bas carbone de la Mauritanie. En l'occurrence, 8,1 MtH₂ pourraient être produits chaque année à partir du SMR+CCS dans le cas où tout le gaz naturel est converti en hydrogène et sous réserve d'un potentiel de stockage de CO₂ suffisant⁶.

⁶ Le Ministère du Pétrole, des Mines et de l'Énergie mauritanien a, durant l'élaboration de la présente feuille de route hydrogène bas carbone, mandaté une société pour évaluer précisément ce potentiel de stockage de CO₂ dans le pays.

Figure 10 : Options envisageables pour le stockage de CO₂ dans le cadre de la production d'hydrogène à partir de gaz naturel en Mauritanie



Source : Source : Analyse AFRY

Pour stocker le CO₂, plusieurs options sont envisageables :

- Stocker le CO₂ dans les gisements de gaz naturel
- Stocker le CO₂ dans les champs de pétroles déplétés ou abandonnés
- Stocker le CO₂ dans les roches consolidées, habituellement en aquifères salins

Concernant le stockage dans des gisements de gaz, le forage de gaz de Grand Tortue / Ahmeyim (unique gisement allant être exploité à court-terme) est encore trop récent pour y envisager du stockage de CO₂ mais peut être envisagé comme solution à long-terme. En effet, le principal risque opérationnel est de provoquer un mélange accidentel entre méthane et dioxyde de carbone au moment de séquestrer la molécule. Néanmoins, le potentiel de stockage de cette option est en première estimation au moins 1000 fois plus important que celui des champs pétroliers, et, sous l'hypothèse de sa faisabilité technique et économique, pourrait être envisagé sur le long terme.

L'option à envisager en priorité et dans le court terme demeure le stockage de CO₂ dans les réservoirs offshore de pétrole, secs ou abandonnés. Cependant, il n'est actuellement pas possible d'estimer précisément le potentiel de stockage de CO₂ en Mauritanie compte tenu des informations à disposition.

Dans le cas où le stockage offshore dans les champs pétroliers ou gaziers ne soit pas réalisable, le stockage du CO₂ dans les roches consolidées – souvent en aquifère salin – pourrait être envisagé. Néanmoins, les zones contenant des roches sédimentaires consolidées propices au stockage de CO₂ se trouvent en principalement au nord du pays et dans les régions de Assaba, Taqant et Adrar, soit à plusieurs centaines de kilomètres des sites de SMR, contraignant ainsi fortement le stockage.

Si les différentes solutions de stockage de CO₂ ne sont pas faisables techniquement et/ou économiquement, la pyrolyse du méthane peut être envisagée, mais elle réduirait le potentiel de production d'H₂ de 50% et demeure donc moins attractive, du fait de ce faible rendement. Par ailleurs, la pyrolyse du méthane implique d'importants volumes de carbone solide, et une production de grande échelle n'est économiquement pas envisageable car elle serait bien supérieure à la demande internationale de carbone solide.

La pyrolyse du méthane est une technologie moins mature qui constituera une alternative pour valoriser le gaz naturel, dans le cas d'une production à une échelle moyenne à petite. Le carbone solide pourra être stocké dans des zones éloignées des habitations et des activités économiques.

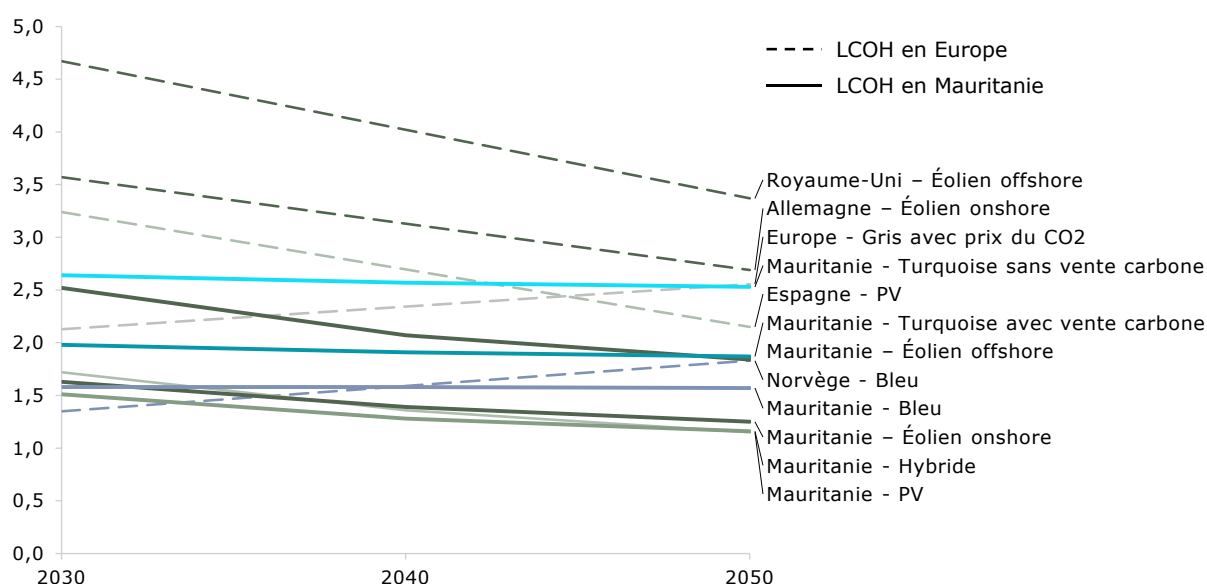
1.3 L'hydrogène mauritanien : une forte compétitivité économique

1.3.1 Un coût de production très compétitif à l'échelle internationale

La production d'hydrogène vert en Mauritanie sera très compétitive avant 2030 face à l'hydrogène vert Européen, justifiant ainsi des exportations futures.

A cet égard, le LCOH du solaire PV sera en 2050 presque inférieur de moitié à celui en Espagne. De même, le coût actualisé de l'hydrogène produit à partir d'éolien terrestre sera plus de deux fois moins cher qu'en Allemagne. La figure ci-dessous détaille ces différences, mettant en lumière la forte compétitivité d'une production d'hydrogène bas carbone en Mauritanie.

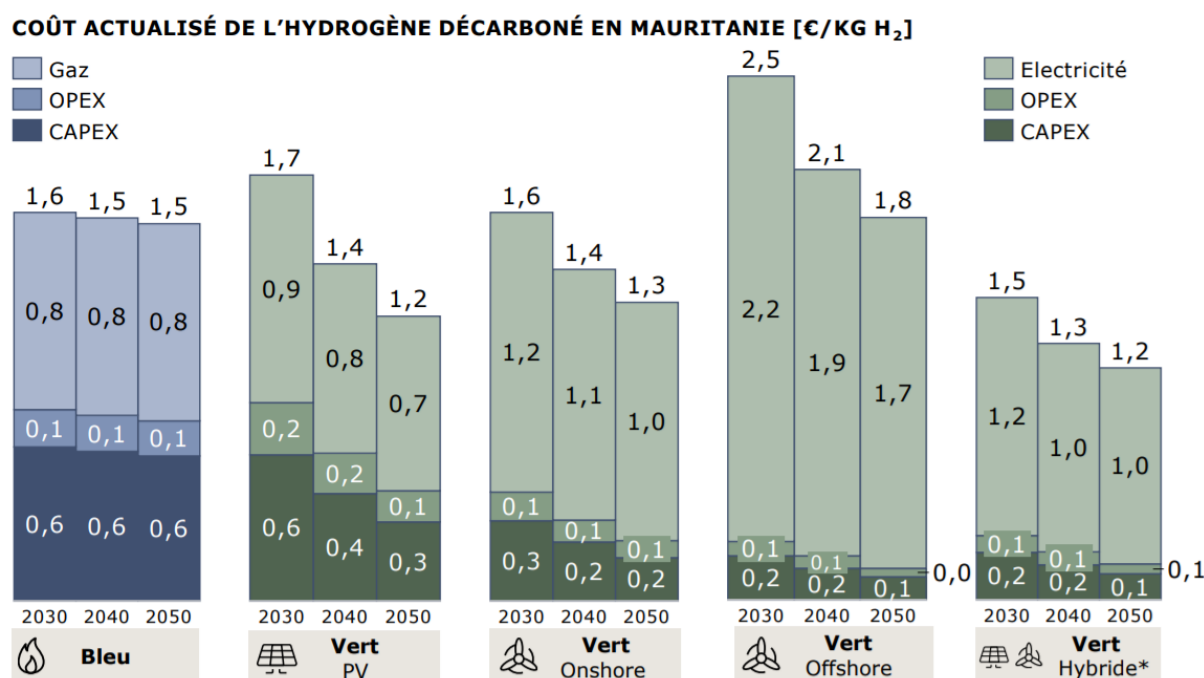
Figure 11 : Evolution du coût actualisé de l'hydrogène en Mauritanie et en Europe (€/kg)



Source : Analyse AFRY, Projections de prix du CO₂ AFRY Q4 2021 (modélisation trimestrielle interne)

Une grande partie des coûts de production de l'hydrogène en Mauritanie sera due aux coûts de production de l'électricité, comme l'illustre la figure ci-après.

Figure 12 : Projections du coût actualisé de l'hydrogène décarboné en Mauritanie à horizon 2050



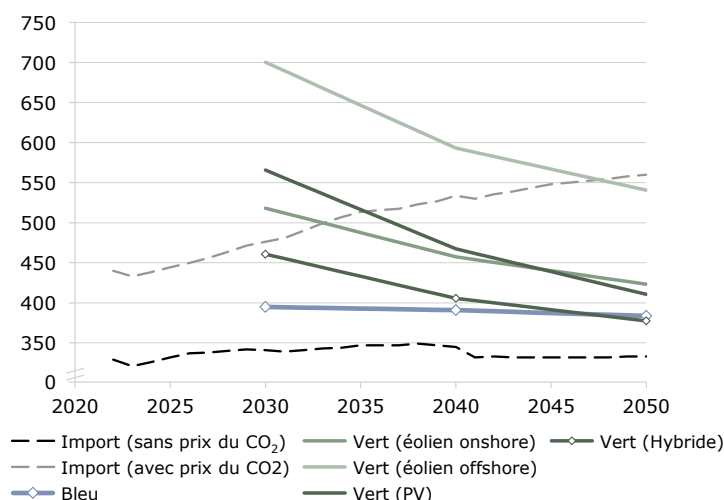
Source : Analyse AFRY

Ces coûts d'électricité sont essentiellement des CAPEX. En bénéficiant de facteurs de charge élevés (21 % pour le solaire PV, 37% pour l'éolien offshore et 60% pour l'éolien offshore) et une baisse des coûts attendue des CAPEX et OPEX, la Mauritanie bénéficiera d'ici à 2050 d'un LCOE compétitif.

L'hydrogène vert issu de l'énergie solaire est le moins cher. Néanmoins, le facteur de charge demeure faible comparé à celui de l'éolien. Un équilibre est donc à trouver en combinant ces deux technologies afin d'optimiser la courbe de production : usuellement, le solaire PV produit plus durant le jour, tandis que l'énergie éolienne est plus grande durant la nuit. Un facteur de charge de 50 à 60% pourrait être atteignable en mettant en place ce système « hybride ».

Par ailleurs, l'hydrogène peut également être transporté sous forme d'ammoniac. A partir de 2030, l'ammoniac bas-carbone mauritanien, produit à partir d'hydrogène vert ou bleu, sera plus compétitif face à l'ammoniac « gris » importé incluant un prix du dioxyde de carbone. Le coût actualisé de l'ammoniac produit en Mauritanie observera une forte baisse, de 565 €/ tonne en 2030 à 410 €/ tonne en 2030 pour le solaire PV et de 518 €/ tonne à 423 €/ tonne pour l'éolien onshore (voir figure ci-dessous).

Figure 13 : Coût actualisé de l'ammoniac produit au port vs l'import [€/tonne]



Source: Analyse AFRY basée sur des données Argus et des projections de prix du gaz et du pétrole de l'EIA

En conclusion, la Mauritanie dispose d'un potentiel de production d'hydrogène vert très important. Grâce à sa proximité de l'Europe, l'export d'hydrogène et de ses dérivés demeure très compétitif, en comparaison au coût de production locale.

1.3.2 Plusieurs solutions de transport pour l'import d'hydrogène depuis la Mauritanie

Quatre principales options existent pour acheminer l'hydrogène : sous forme gazeuse (via pipeline, remorques tubulaires ou autres engins terrestres), par transport maritime sous forme d'hydrogène liquide dans des réservoirs cryogéniques ou converti à l'ammoniac, et le transport de LOHC – *Liquid Organic Hydrogen Carrier*.

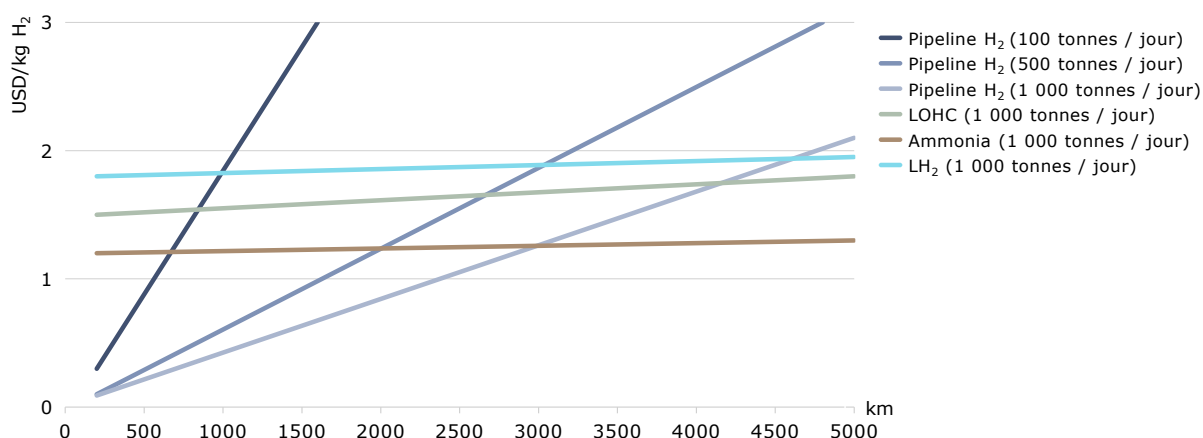
La dernière publication de l'IEA, le *Global Hydrogen Review 2021*, indique que le pipeline (transport d'hydrogène gazeux) est généralement l'option la plus rentable pour les distances comprises entre 1 500 et 3 000 km, tel que le trajet Nouadhibou- Porto, en fonction de la capacité du pipeline. Pour les distances plus longues, des alternatives telles que le transport d'hydrogène liquéfié, d'ammoniac ou de LOHC par bateau pourraient s'avérer plus.

Le transport de l'hydrogène par pipeline est une technologie mature. Le premier système de canalisation d'hydrogène a été mis en service dans la région métropolitaine du Rhin-Ruhr (Allemagne) en 1938 et reste opérationnel. Historiquement, l'acier au carbone ou l'acier inoxydable ont été utilisés pour les conduites d'hydrogène, car les qualités supérieures présentent un risque plus élevé de fragilisation par l'hydrogène.

La longueur totale des canalisations d'hydrogène actuelles est de plus de 5 000 km, dont plus de 90 % sont situées en Europe (principalement en Mer du Nord) et aux États-Unis (principalement au Texas). La plupart sont des systèmes fermés appartenant à de grands producteurs d'hydrogène marchands et sont concentrés près des centres de consommation industriels (tels que les raffineries de pétrole et les usines chimiques). Néanmoins ces pipelines existants sont pour la grande majorité terrestres souterrains. Leurs coûts marginaux devraient différer d'éventuels nouveaux pipelines maritimes.

Lorsque la distance excède 3000 km, et au vu des coûts de transport de l'hydrogène sous ses différentes formes, il apparaît avantageux de le transporter en le convertissant préalablement en ammoniac (cf. graphe ci-dessous). A titre d'exemple, la distance Nouadhibou-Rotterdam est longue de plus de 5000 km, et pourrait donc être éligible à ce type de transport.

Figure 14 : Options de transport de l'hydrogène à partir de la Mauritanie et coûts associés



Source : Global Hydrogen Review 2021 de l'IEA

En définitive, le coût de livraison de l'hydrogène mauritanien en Europe serait tout au plus égal aux coûts de production locaux. Cependant, avec les volumes d'hydrogène requis pour décarboner l'économie européenne, l'importation d'hydrogène sera obligatoire. En effet, l'UE prévoit de disposer à horizon 2030 d'une capacité d'électrolyse de 40 GW en dehors de l'UE pour répondre à ses besoins.

1.3.3 Un plan européen ambitieux pour l'import d'hydrogène

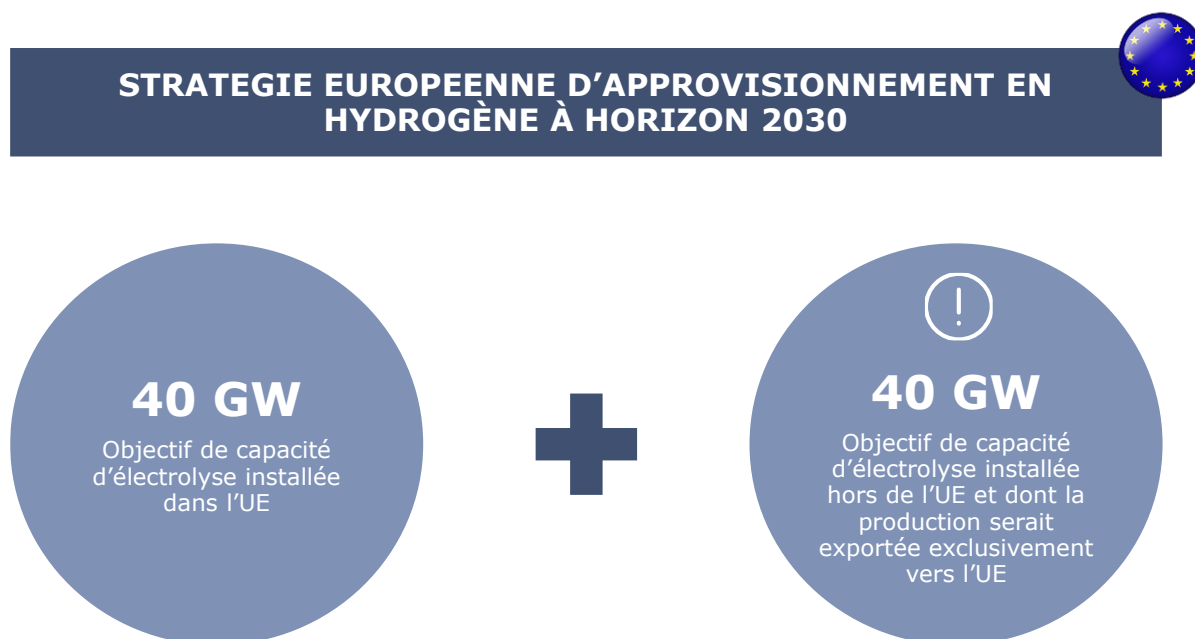
Le 8 Juillet 2020, l'Union Européenne a élaboré « Une stratégie de l'hydrogène pour une Europe climatiquement neutre »⁷, un plan ambitieux pour la production d'hydrogène et son acheminement vers l'Europe.

Celui-ci prévoit d'atteindre une capacité d'électrolyse de 2x40 GW installée à horizon 2030 :

- 40 GW installée en Europe, produisant « jusqu'à 10 millions de tonnes d'hydrogène renouvelable dans l'UE »
- **40 GW installée au voisinage de l'Europe et destinée aux exportations vers l'UE**

⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&rid=1>

Figure 15 : Stratégie Européenne d'approvisionnement en hydrogène à horizon 2030



Source : Commission Européenne (« Une stratégie de l'hydrogène pour une Europe climatiquement neutre », 8. Juillet 2020)

D'après cette stratégie, il serait possible de déployer, dans les pays du voisinage oriental et méridional de l'Union Européenne, des électrolyseurs représentant une capacité installée de 40 GW d'ici à 2030, ce qui garantirait un commerce transfrontalier durable avec l'UE.

La stratégie identifiait « les Balkans occidentaux et l'Ukraine » comme une des principales sources d'exportation, qui seront encouragés à participer à l'alliance pour un hydrogène propre. L'UE examinera également des projets potentiels par le canal du Fonds européen pour le développement durable.

Par ailleurs, en raison de son potentiel considérable en matière d'énergies renouvelables, l'Afrique et plus particulièrement l'Afrique du Nord en raison de sa proximité géographique, est identifiée par la stratégie européenne comme « un fournisseur potentiel d'hydrogène renouvelable à un coût compétitif pour l'UE, ce qui exige d'accélérer fortement le déploiement de la production d'électricité renouvelable dans ces pays ».

Compte tenu des ressources naturelles, des interconnexions physiques déjà existantes ou en développement, et du développement technologique, les pays du voisinage oriental, en particulier l'Ukraine, et les pays du voisinage méridional devraient donc être des partenaires prioritaires.

Néanmoins, le conflit russo-ukrainien devrait avoir un impact négatif sur une future contribution de l'Ukraine aux objectifs d'importations d'hydrogène, et, a contrario, un impact positif pour les autres pays exportateurs d'hydrogène du pourtour méditerranéen et notamment les pays d'Afrique du Nord comme la Mauritanie.

1.4 L'hydrogène comme levier pour la décarbonation de la demande locale mauritanienne

Le développement du fort potentiel de production d'hydrogène permettra à la Mauritanie de décarboner ses propres industries, d'augmenter leur valeur ajoutée, et de diversifier

son paysage industriel. La création d'une demande locale sécurisera également les investissements des développeurs hydrogène, en offrant des débouchés aux projets de production de grande échelle.

Cinq secteurs historiques pourront effectuer leur conversion à l'hydrogène lorsque la technologie associée sera mature, avec une demande totale équivalente à environ 250 ktH₂ :

- **Industrie minière** : A partir de ~2030, le train minéralier et les engins miniers lourds pourraient initier leur conversion à l'hydrogène et profiter des avantages que cette opportunité offre (autonomie, puissance et indépendance des imports de diesel, décarbonation). Les premiers projets pilote existent déjà en Afrique : Anglo American a commandé pour sa mine MGP de Mogalakwena 9 (Afrique du Sud) camions de transport électriques fonctionnant avec des piles à combustibles et un bloc de batteries (rétrofit), l'hydrogène étant produit sur le site minier grâce à une centrale PV et à des sources d'eau locales. La conversion à l'hydrogène de 100% du parc minier de la SNIM nécessiterait environ 50 ktH₂.
- **Mobilité lourde** : La mobilité lourde, correspondant principalement aux secteurs de la logistique, pourra se convertir progressivement à l'hydrogène et profiter des avantages des piles à combustible H₂ (autonomie, puissance, décarbonation). Dans l'hypothèse d'un taux de 30%⁸ de diesel consommé par les transports lourds sur le total de la mobilité, et d'une ambition 55%⁹ des véhicules lourds convertis à l'hydrogène en 2050, le secteur représenterait une demande d'environ 130 ktH₂ en 2050 pour la demande locale.
- **Agriculture, pêche** : A partir de ~2030¹⁰, la Mauritanie pourra envisager d'utiliser des sources d'énergie durables pour les secteurs locaux de l'agriculture et de la pêche, dans l'objectif de réduire fortement les émissions du secteur et de suivre les normes internationales. La consommation finale d'énergie de ces secteurs était de 2365 TJ en 2018, soit 657 GWh. La conversion de cette industrie à l'hydrogène nécessiterait environ 17 ktH₂.
- **Stockage d'énergie & Production électrique** : A partir de ~2030, l'hydrogène pourra être utilisé comme combustible dans les centrales pour alimenter le réseau en énergie pilotable. Dans le cas d'une demande totale de 8 TWh de production électrique en Mauritanie en 2050¹¹, dont 60% provenant de sources renouvelables intermittentes, une capacité en flexibilité d'environ 30% de la capacité installée serait requise. Celle-ci assurerait le bon fonctionnement du réseau. L'hydrogène pourrait fournir 50% de cette capacité de flexibilité, étant principalement en compétition avec les BESS¹². La production électrique représenterait alors une demande de 50 ktH₂ en 2050. Des instituts de recherche spécialisés comme l'IFP précisent que « aucun procédé [de stockage] n'apparaît aujourd'hui mieux positionné qu'un autre ; chacun peut répondre aux besoins locaux ou nationaux en fonction de plusieurs facteurs (technique, sécurité, localisation et proximité de la

⁸ Données officielles indisponibles

⁹ Niveau équivalent à celui prévu pour l'Europe en 2050. Source : *Analysing the future demand, supply and transport of hydrogen*, European Hydrogen Backbone, Juin 2021

¹⁰ DNV GL Maritime Forecast 2050

¹¹ Scénario BaU du Gas Master Plan

¹² Battery Energy Storage Systems, installations de stockage d'énergie à partir de batteries.

source d'énergie, surface d'encombrement, liaison avec le réseau en place, coûts d'investissement et de fonctionnement, etc.). »¹³

- **Récupération de l'oxygène co-produit par l'électrolyse de l'eau pour la production d'acier, les usages domestiques et médicaux, et l'export :** La récupération de l'oxygène produit par l'électrolyse de l'eau est un procédé bien plus coûteux que les autres technologies conventionnelles (liquéfaction de l'air puis distillation fractionnée), avec un bilan carbone similaire. Ainsi, l'export d'oxygène est peu attractif, mais l'usage cette molécule pour la demande locale en dioxygène peut être pertinent, surtout si les installations concernées sont situées près des sites d'électrolyse. Par ailleurs, concernant l'usage médical, une grande quantité d'oxygène disponible permettrait d'améliorer l'accès aux soins dans le pays, et mériterait une analyse plus ample en lien avec le Ministère de la Santé.

¹³<https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/climat-environnement-et-economie-circulaire/stockage-denergie-accompagner-deploiement-des-energies-renouvelables>

2. L'ambition de production et d'export à moyen et long terme

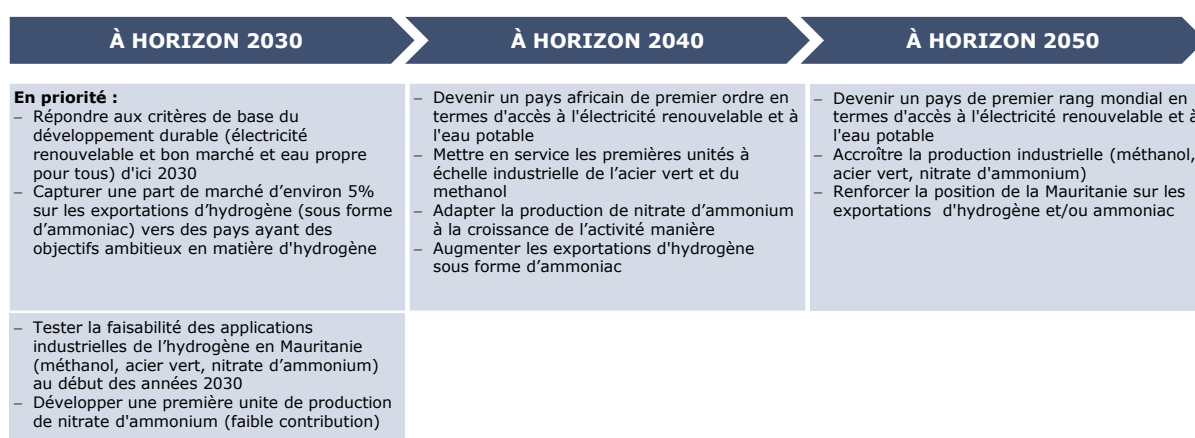
2.1 Les ambitions industrielles à horizons 2030, 2040 et 2050

La stratégie hydrogène doit être réalisée en trois phases successives (court, moyen et long termes). Chaque phase couvre une période spécifique :

- **La phase court terme : 2020-2030**
- **La phase moyen terme : 2030-2040**
- **La phase long terme : 2040-2050**

Le phasage général des ambitions industrielles que peut porter la Mauritanie pour sa filière hydrogène est précisé dans la figure ci-dessous.

Figure 16 : Phasage général des objectifs industriels de la filière hydrogène



Source : Analyse AFRY

En termes d'ambitions, à horizon 2030, la Mauritanie doit en priorité mettre à niveau l'accès à l'eau potable et à l'électricité pour les populations et l'industrie, tout en capturant des parts de marché dans l'export d'hydrogène et d'ammoniac bas carbone¹⁴ vers des pays ayant des objectifs ambitieux en matière, principalement l'Europe. La Mauritanie devra également initier les études de faisabilité pour les filières dérivées de l'hydrogène : acier vert, e-méthanol. Enfin, la production de nitrate d'ammonium devra être initiée pour l'utiliser en tant qu'explosif, afin d'accompagner la montée en puissance de l'activité minière.

A horizon 2040, la Mauritanie pourrait devenir un des pays les plus avancés en Afrique en termes d'accès public à l'eau potable et l'électricité, en volume et en coût. En parallèle, le pays mettrait en service ses premières unités industrielles de production d'acier vert et de e-méthanol, tout en augmentant ses exportations d'hydrogène et d'ammoniac vert.

A horizon 2050, l'accès public à l'eau potable et l'électricité à bas coût devrait atteindre des niveaux similaires à ceux des pays les plus avancés au monde. Par ailleurs, en termes de production industrielle, la Mauritanie pourrait accélérer le rythme des exportations d'acier vert et de e-méthanol, et consolider sa position en tant qu'un des principaux exportateurs mondiaux d'hydrogène et d'ammoniac vert.

¹⁴ Les objectifs de production ne prennent en compte que l'hydrogène vert.

Dans le cadre de la présente feuille de route, des objectifs de production ont été définis pour chaque filière de l'hydrogène : export d'hydrogène/d'ammoniac, e-méthanol, acier vert, nitrate d'ammonium. Les objectifs de production ont été calculés en identifiant des parts de marché atteignables par la Mauritanie, principalement en fonction du nombre de compétiteurs internationaux.

Les besoins en hydrogène pour chacune de ces filières ont été additionnés pour calculer la production totale d'hydrogène vert nécessaire. L'hydrogène bleu n'a pas été pris en compte dans ces objectifs, du fait des manques de données sur le potentiel de stockage de CO₂, de même que l'hydrogène turquoise qui ne permet pas de produire de l'hydrogène à grande échelle. La production d'ammoniac calculée correspond à la quantité d'hydrogène convertie pour l'export.

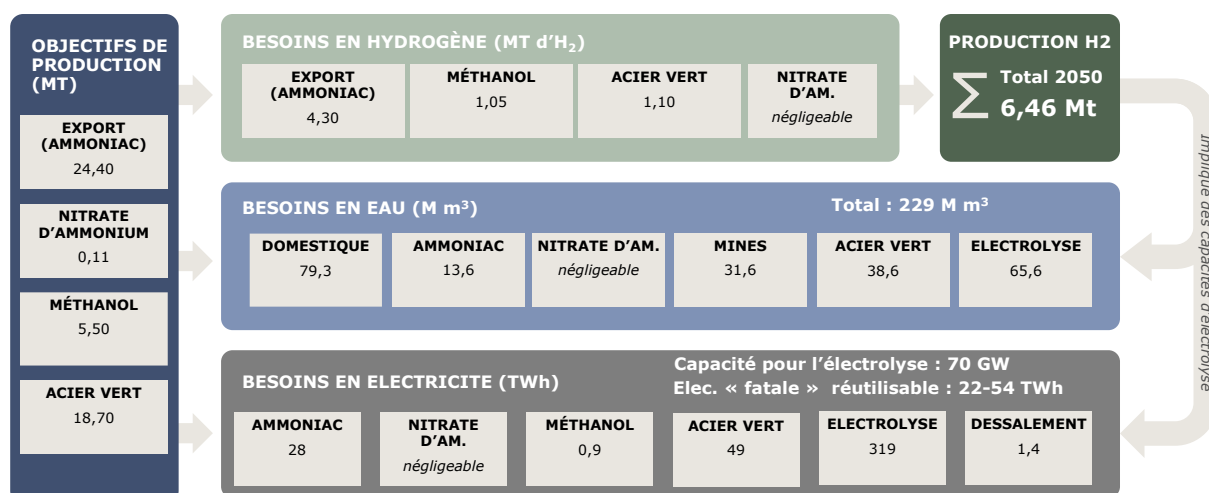
Les besoins en eau potable de chacune de ces filières ont été additionnés, en y incorporant une partie des besoins domestiques en eau potable afin de capturer un maximum d'économies d'échelle du dessalement.

De manière générale, le plan national de l'eau doit être approfondi pour identifier et quantifier des besoins en eau en Mauritanie, et notamment dans les zones adjacentes à Nouadhibou et Nouakchott en situation de stress hydrique et dans les sites miniers, ainsi que les actions à implémenter.

Enfin, les besoins en électricité renouvelable ont été quantifiés pour chaque filière, en fonction des objectifs de production identifiés, et l'électricité fatale (surplus d'électricité renouvelable) provenant de l'électrolyse a été évaluée.

La figure ci-dessous résume cette méthodologie adoptée et les objectifs de production identifiés pour la Mauritanie à horizon 2050.

Figure 17 : Méthodologie d'élaboration des objectifs de production d'hydrogène, d'eau et d'électricité, et objectifs de production à horizon 2050



Source : Analyse AFRY

Les objectifs de production détaillés pour chaque filière industrielle sont indiqués dans la figure suivante, selon trois horizons de temps : 2030, 2040 et 2050.

Figure 18 : Objectifs cumulés de production pour chaque chantier industriel à horizons 2030, 2040, et 2050

CHANTIER ELECTRICITE RENOUVELABLE

2030	13 GW d'électricité renouvelable hybride
2040	36 GW d'électricité renouvelable hybride
2050	70 GW d'électricité renouvelable hybride

CHANTIER EAU POTABLE

2030	39 millions de mètres cubes par an
2040	104 millions de mètres cubes par an
2050	229 millions de mètres cubes par an

CHANTIER HYDROGÈNE / AMMONIAC

2030	1,2 Mt d'H ₂ exportés (soit 6,9 Mt d'ammoniac)
2040	2,8 Mt d'H ₂ exportés (soit 15,9 Mt d'ammoniac)
2050	4,3 Mt d'H ₂ exportés (soit 24,4 Mt d'ammoniac)

CHANTIER MÉTHANOL

2030	Etudes de faisabilité et/ou projet pilote
2040	1,8 Mt de méthanol exportés
2050	5,5 Mt de méthanol exportés

CHANTIER ACIER VERT

2030	Etudes de faisabilité et/ou projet pilote
2040	2,7 Mt d'acier vert exportées
2050	18,7 Mt d'acier vert exportées

CHANTIER NITRATE D'AMMONIUM

2030	66 000 t de nitrate d'ammonium
2040	90 000 t de nitrate d'ammonium
2050	108 000 t de nitrate d'ammonium

Source : Analyse AFRY

Néanmoins, les volumes de production d'hydrogène bas carbone et de ses dérivés ne dépendront que de la capacité à attirer les investissements privés. La définition d'objectifs nationaux de production pour la filière hydrogène n'a donc pour seuls objectifs que :

- De fixer un cap à la fois pragmatique et ambitieux, en fournissant au Gouvernement un outil de pilotage de la filière hydrogène
- De communiquer sur les ambitions industrielles mauritaniennes auprès des investisseurs et développeurs et sur les bénéfices qu'ils pourront en tirer

2.2 Les infrastructures requises pour atteindre ces ambitions

2.2.1 Vue d'ensemble

Pour atteindre ces ambitions de production et d'export, la Mauritanie devra relever plusieurs défis d'infrastructures. Ces défis concernent toute la chaîne de valeur de l'hydrogène et de ses dérivés.

Vue d'ensemble des infrastructures hydrogène

La mise en place d'une nouvelle filière hydrogène bas carbone permettrait la création de trois hubs¹⁵ industrialo-portuaires régionaux :

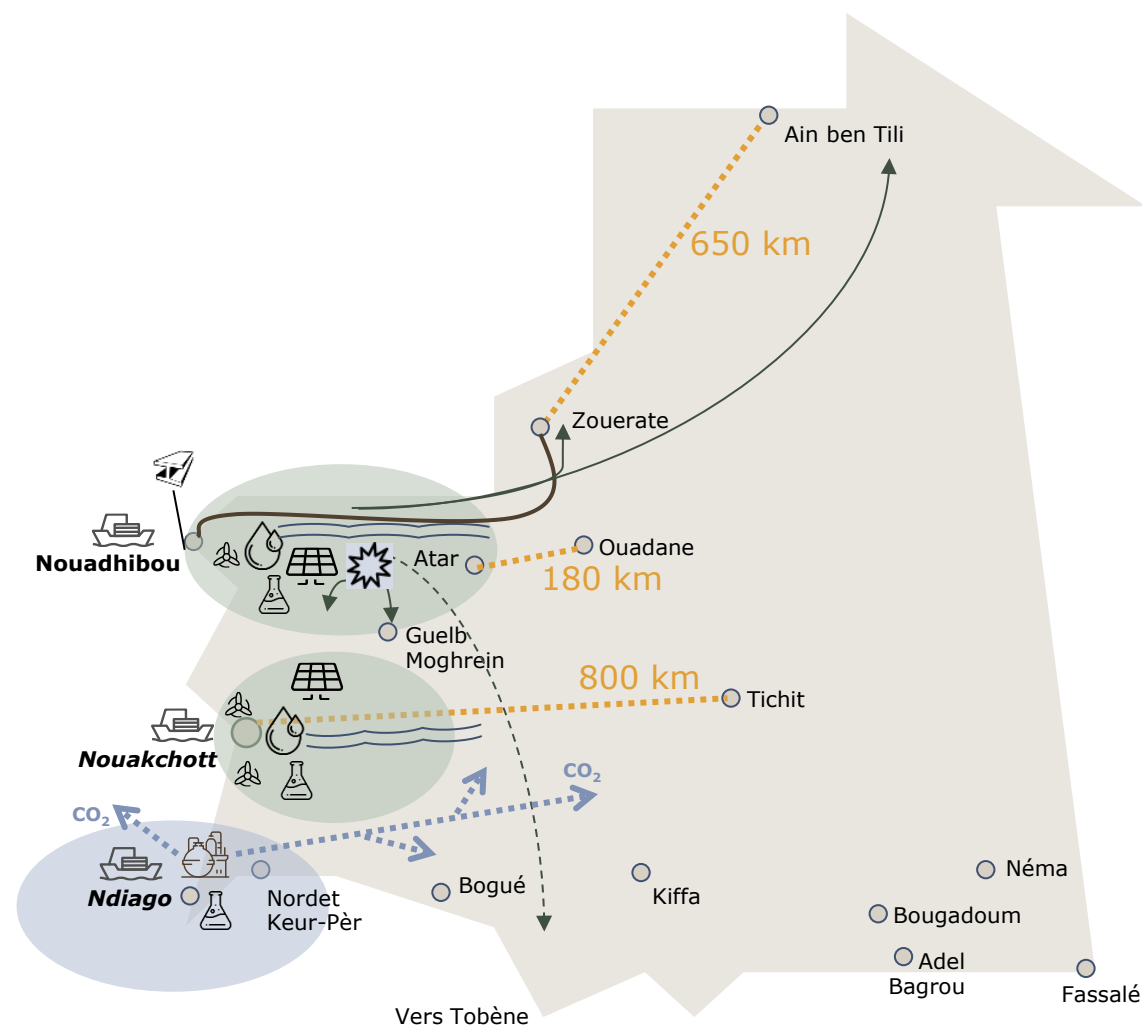
- Acier : le minerai de fer extrait de Zouerate sera acheminé vers le port de Nouadhibou pour être transformé en acier vert
- Hubs hydrogène :
 - Deux hubs d'hydrogène vert et ses dérivés, à Nouadhibou et Nouakchott
 - Un hub d'hydrogène bleu et ses dérivés (sous réserve d'une capacité de stockage suffisante de CO₂), à Ndiago¹⁶, près des champs gaziers et des sites de stockage du CO₂
- Nitrate d'ammonium : produit dans le hub de Nouadhibou pour être acheminé vers Zouerate en priorité, puis vers les autres sites miniers (Tasiast, Guelb Moghreib, Tiris, voire Bofal)

Dans le cas où le potentiel de stockage du CO₂ soit suffisant et économiquement attractif, une filière SMR+CCS pourrait être envisagée près des gisements de gaz naturel, dans la zone du port de Ndiago (parmi les 3 plus grands ports du pays), dont l'importance deviendra de plus en plus prépondérante, au fur et à mesure du développement de la filière du gaz naturel.

¹⁵ Complexe industrialo-portuaire composé de capacités photovoltaïques et éoliennes terrestres, d'unités de dessalement, d'unités de production d'hydrogène et de ses dérivés, et d'infrastructures de réseau (transport d'eau, d'électricité et de marchandise vers les localités, mines et industries environnantes), autour d'un port renforcé pour l'export.

¹⁶ Port en construction, mise en service prévue en 2022 par la société Polytechnology

Figure 19 : Cartographie des infrastructures à construire ou à renforcer en vue d'implémenter la feuille de route hydrogène



Légende – Infrastructures à construire ou renforcer

- | | |
|---|---|
|  Lignes électriques |  Chemin de fer Zouerate - Nouadhibou |
|  Hub industriel-portuaire |  Centrales photovoltaïques |
|  Centrales éoliennes terrestres |  Unités de dessalement d'eau avec électrolyseurs |
|  Transport d'eau |  Terminaux d'export H ₂ et dérivés |
|  Unités de méthanol |  Unités d'acier vert |
|  Unités de nitrate d'ammonium (ANFO) |  Routes du nitrate d'ammonium |
|  Unités de SMR |  Routes du stockage du CO ₂ |

Source : Analyse AFRY

De manière générale, mettre en place une filière hydrogène dans le pays nécessite un développement beaucoup plus important des infrastructures. Les investissements les plus prioritaires sont :

- Electricité :
 - Installation de capacités additionnelles de production d'électricité renouvelable, non loin des zones côtières (solaire PV et éolien terrestre)
 - Installations de capacités d'appoint (par exemple les CCGT gaz naturel ou hydrogène, voire ammoniac) afin de garantir la stabilité du réseau face à l'intermittence du solaire et de l'éolien
 - Densification des réseaux de transport et de distribution d'électricité actuel et création de lignes de transmission desservant les nouveaux sites industriels
- Eau :
 - Unités de dessalement de l'eau issue de l'océan Atlantique, incluant les unités de pré-traitement et post-traitement
 - Densification des réseaux de transport et de distribution de l'eau potable, y sont inclus les équipements de pompage à destination des populations, des sites miniers, de l'agriculture et l'élevage, et de l'industrie
- Hydrogène et ammoniac :
 - Electrolyseurs, sites de SMR+CCS, et de conversion en ammoniac
 - Sites de compression, purification, liquéfaction et conversion vers l'ammoniac
 - Sites de stockage ; la nature (chimique, géologique, compression, etc.) et la taille du stockage dépendront de la proximité des lieux de consommation et de production, ainsi que des potentialités locales
 - Le transport d'hydrogène et/ou d'ammoniac, soit via des pipelines soit après compression ou cryogénisation à travers le réseau routiers avec des camions
 - La distribution d'hydrogène et/ou d'ammoniac grâce à des stations de ravitaillement (nouvelles ou *retrofit* des stations actuelles)
- Dérivés de l'hydrogène : sites de production de méthanol, d'acier, et de nitrate d'ammonium
- Infrastructures transverses : renforcement des capacités portuaires, des capacités de fret ferroviaire, de distribution de l'hydrogène et ses dérivés dans le pays

Par ailleurs, une approche holistique du développement durable doit être adoptée : l'ensemble de la chaîne de valeur mauritanienne devra à terme répondre aux normes et critères internationaux de respect de l'environnement, afin que l'hydrogène, ses dérivés, et leurs usages finaux soient réellement « verts ».

2.2.2 Infrastructures transverses

Infrastructures portuaires¹⁷

Afin d'atteindre les objectifs de production et d'export indiqués, certaines actions devront être menées concernant les infrastructures portuaires de la Mauritanie :

- Pour 2023 (premier semestre) : Identifier les renforcements nécessaires des ports de Nouakchott et Nouadhibou pour pouvoir exporter l'hydrogène vert et ses dérivés (exemple: profondeur, capacité portuaire, etc.)
 - Dans le cas où le potentiel de stockage de CO₂ serait suffisant et économiquement attractif, il conviendra d'identifier également les renforcements nécessaires au port de Ndiago et auquel cas renforcer sa capacité pour exporter l'hydrogène bleu et ses dérivés, en prenant en compte les mesures d'atténuation et de conformité aux normes internationales relatives au label "Hydrogène bleu"
- Pour 2023 (premier semestre) : Qualifier et quantifier les mesures d'atténuation de l'impact socio-environnemental des ports, suivant les normes internationales de durabilité existantes ou à venir (protection de l'environnement, énergie et matériaux renouvelables, conditions de travail, etc.) pour garantir le label "Hydrogène vert"
- Pour fin 2022 : Définir une procédure d'autorisation d'implantation dans la zone du port, via une concertation avec les principaux acteurs, pour garantir des synergies (notamment énergétiques) entre les différentes usines et infrastructures
- Pour début 2024 : Définir d'un modèle de financement pour les renforcements nécessaires à effectuer
- Renforcer les capacités portuaires des ports de Nouakchott et Nouadhibou pour exporter l'hydrogène vert et ses dérivés (exemple : profondeur, capacité portuaire, etc.), prenant en compte les mesures d'atténuation et de conformité aux normes internationales relatives au label "Hydrogène vert" (début estimé pour 2024)

Ces renforcements devront également anticiper les synergies avec d'autres filières mauritaniennes en développement : uranium, cuivre, gaz naturel, phosphate, etc. - les études de ces différentes filières devront être conjointement menées avec le développement de l'hydrogène.

Les infrastructures portuaires sont un maillon essentiel de la chaîne. Des retards dans la mise en place des renforcements pourraient constituer un goulot d'étranglement important de la filière hydrogène.

Ces mesures sont détaillées dans la section « Le plan d'action de la filière hydrogène ».

Chemins de fer

Deux principales actions devront être menées concernant les infrastructures ferroviaires de la Mauritanie :

¹⁷ Une requête d'informations a été transmise concernant les capacités portuaires de la Mauritanie. Cette analyse est susceptible d'être complétée au moment de la réception des données demandées.

- Conversion du train aux carburants durables et certification :
 - Afin de s'assurer du caractère « durable » de la filière hydrogène, l'ensemble de la chaîne de valeur doit être convertie aux carburants durables ; en particulier, le chemin de fer Nouadhibou-Zouerate afin qu'il puisse fonctionner totalement aux énergies renouvelables
 - Plusieurs options technologiques peuvent être envisagées : train à hydrogène, méthanol, ammoniac, ou train électrique ; il reviendra au développeur de conduire une étude technico-économique pour identifier la meilleure option ; néanmoins, si le train actuel fonctionne avec un moteur thermique (diesel, essence, par exemple), des synergies existeraient avec les carburants durables tel que l'ammoniac ou l'hydrogène
- Renforcement de la capacité de fret ferroviaire :
 - La capacité du chemin de fer devra être renforcée afin d'accompagner le développement des filières actuelles (minerai de fer) et futures (transport de l'eau, carburants durables pour les engins miniers, etc.)

Une étude de faisabilité et de rentabilité de l'augmentation de la capacité et du passage aux carburants durables pour les trains de la SNIM (et la prise en compte des exigences du futur label acier vert) devra être menée à la fin des années 2020 (vers 2028).

Les travaux de conversion et de renforcement devront être initiés au début des années 2030, en prévision de la montée en puissance de la filière de l'acier vert, dont la première usine à taille industrielle serait mise en service vers 2040.

Engins miniers

Afin d'accompagner la mise en place d'une filière de l'acier vert, et la croissance de l'activité d'extraction minière, deux principales actions devront être menées :

- Conversion des engins aux carburants durables
- Renforcement du parc d'engins miniers

De même que pour le train minéralier :

- Une étude de faisabilité et de rentabilité de l'augmentation de la capacité et du passage à des énergies durables pour les engins miniers (et la prise en compte des exigences du futur label acier vert) devra être menée à la fin des années 2020 (vers 2028)
- La conversion, le renforcement et la certification devront être initiés au début des années 2030, en prévision de la montée en puissance de la filière de l'acier vert, dont la première usine à taille industrielle serait mise en service vers 2040

2.2.3 Synergies d'infrastructures

Synergies « intra-hydrogène »

Par ailleurs, au fur et à mesure du développement de la filière hydrogène, trois principales synergies d'infrastructures sont possibles entre les chantiers industriels (ammoniac, méthanol, d'acier vert, nitrate d'ammonium, voire carburants synthétiques si pertinent) :

- Mutualisation du réseau de transport d'électricité

- Mutualisation du réseau de transport de l'eau potable
- Mutualisation du réseau de transport d'hydrogène

Le développement des projets d'hydrogène devra inclure une évaluation régulière de ces opportunités de mutualisation entre les chantiers.

Synergies « extra-hydrogène »

La filière hydrogène peut permettre de réutiliser certaines infrastructures déjà existantes en Mauritanie. Au fur et à mesure du développement de la filière, la conceptualisation des projets devra inclure une évaluation régulière de ces opportunités de mutualisation, dont voici ci-dessous une liste détaillée mais non exhaustive :

Infrastructures portuaires :

- La capacité portuaire des ports de Nouakchott et de Nouadhibou devra être renforcée pour permettre l'export d'hydrogène vert et de ses dérivés

Sites de raffinage :

- Les sites de raffinage de pétrole peuvent être éligibles à une réutilisation pour produire des carburants synthétiques à partir du processus Fischer-Tropsch, mais d'éventuelles contraintes de dimensionnement sont à prévoir
- Une étude doit être conduite pour évaluer la possibilité de reconversion de la raffinerie de Nouadhibou en site de production de carburants synthétiques

Dépôts et quais pétroliers :

- Ces sites peuvent être réutilisés pour le dépôt et stockage de combustibles liquides

Réserves d'hydrocarbures :

- Le stockage de CO₂ peut être envisagé en vue de produire de l'hydrogène bleu, à la fois pour les réserves de pétrole et pour les réserves de gaz naturel

Infrastructures de transport - le chemin de fer :

- Le transport, à travers le train actuel, d'hydrogène et d'eau vers les mines peut être étudié
- La conversion de ce train à l'hydrogène ou à un carburant durable devra in fine être implémentée, pour garantir la durabilité de l'acier produit

Infrastructures de production d'électricité :

- La conversion des turbines à gaz actuelles en CCGT à hydrogène ou ammoniac peut être étudiée

Infrastructures de distribution :

- La distribution de carburant durable à travers les stations de services actuelles peut être étudiée

2.2.4 Durabilité des infrastructures

Tout au long du développement de la filière hydrogène, vert ou bleu, l'organisme de pilotage de la feuille de route devra s'assurer du caractère durable de la chaîne de valeur.

En plus des indicateurs clés de performance indiqués dans la section « Indicateurs clés de performance », trois principales actions devront être menées par le Ministère de l'Energie ou conjointement avec les développeurs des projets destinés à l'exportation :

- Travailler avec des développeurs certifiés sur le développement durable
- Faire certifier les infrastructures de la filière hydrogène :
 - Ports
 - Fret ferroviaire
 - Engins miniers
 - Autres composantes directes de la chaîne de valeur (transports par camions, etc.)
- Faire certifier les produits de la filière hydrogène, selon des normes internationales :
 - Soit des normes définies à l'échelle mondiale
 - Soit des normes définies par les marchés importateurs de la Mauritanie ; une attention particulière devra portée sur les futures normes européennes de l'hydrogène et de ses dérivés

2.3 Les compétences requises pour atteindre ces ambitions

Pour atteindre ces ambitions de production et d'export, la Mauritanie devra relever plusieurs défis de compétences. Ces défis concernent toute la chaîne de valeur de l'hydrogène et de ses dérivés.

Les emplois mauritaniens pourraient ne pas répondre totalement aux besoins en compétence, la part d'emplois locaux dépendant de plusieurs paramètres :

- Du point de vue du développeur, son volontarisme et les objectifs de contenu local contractualisés
- Du point de vue du Gouvernement :
 - La capacité du Gouvernement à signer des partenariats internationaux, pour le transfert de compétences et la formation (bourses, échanges, formation de professionnels, etc.), et pour le transfert de technologie
 - La capacité du Gouvernement à recruter des enseignants experts des applications industrielles de l'hydrogène
 - La capacité du Gouvernement à former rapidement le personnel nécessaire aux projets
 - La capacité à signer des contrats et à mettre en place un cadre juridique

2.3.1 Les besoins de compétences¹⁸

Les chiffres ci-dessous ont pour objectif de fournir des ordres de grandeur des besoins en compétences.

A très court terme (avant 2025), des emplois seraient nécessaires pour encadrer et réglementer la filière hydrogène. Il s'agit notamment d'emplois pour les nouvelles entités de la filière hydrogène :

- Les nouvelles entités de gouvernance de la filière hydrogène, environ quelques dizaines¹⁹ d'ETP pour la Société Hydrogène et pour la Direction Hydrogène, et de l'ordre de 100 ETP pour l'Agence Hydrogène car elle sera chargée du pilotage opérationnel de la filière et donc nécessitera une main d'œuvre sensiblement plus importante

Les nouveaux départements hydrogène, qui nécessiteront le recrutement d'enseignants chercheurs et de personnel pour l'aménagement des locaux ; l'estimation exacte des besoins et de l'effectif total nécessaire dépend des effectifs existants actuellement, mais pourrait être de l'ordre de quelques centaines d'ETP

En première estimation, l'atteinte des objectifs décrits nécessiterait de créer, à horizon 2050 :

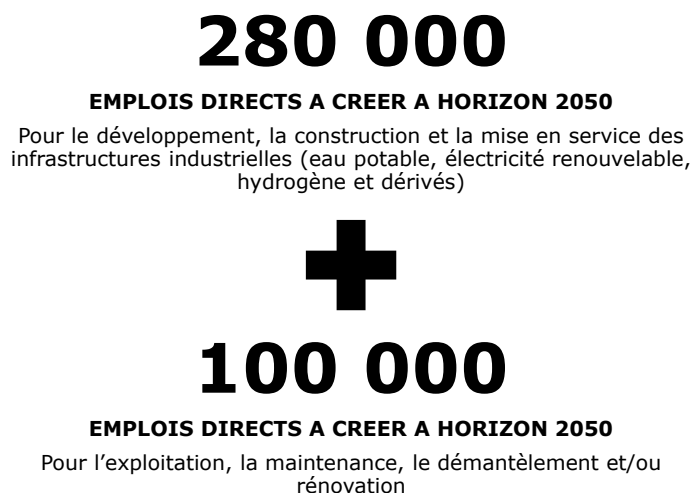
- Environ 280 000 emplois directs pour la construction et la mise en service des infrastructures et installations de production

¹⁸ Chiffrage devant être mis à jour une fois les requêtes d'information demandées à la SNDE et la SNIM seront reçues.

¹⁹ Le Cluster Green H2 du Maroc dispose actuellement d'un effectif de l'ordre de 15 personnes, avec un bureau exécutif, et des comités thématiques.

- Environ 100 000 emplois directs pour l'exploitation et la maintenance de ces installations industrielles

Figure 20 : Vue d'ensemble des besoins de compétences à horizons 2050 (emplois directs²⁰)



Source : Analyse AFRY

Ces chiffres correspondent à la somme des emplois directs à créer pour chaque filière industrielle, à horizon 2050.

Deux filières contribuent à la majorité des emplois à créer : l'acier, et la production d'électricité renouvelable ; suivent ensuite l'ammoniac et l'hydrogène vert (les installations d'électrolyse), puis l'eau potable et le méthanol. Le nitrate d'ammonium requiert une part négligeable de création d'emplois. Pour chaque chantier industriel, une liste détaillée des compétences requises et un chiffrage des emplois directs à créer sont indiqués ci-dessous.

2.3.2 Les réponses à ces besoins de compétences

Pour répondre aux besoins de compétences et de main d'œuvre, quatre canaux peuvent être mis à contribution :

- **L'enseignement supérieur**, par la création de Départements Hydrogène, dédiés à la R&D, la veille technologique, et à l'enseignement, au sein des écoles et universités mauritaniennes ou bien à travers des échanges dans des universités étrangères, ce qui permettrait de former du personnel moyennement voire hautement qualifié (ingénieurs Bac+5, techniciens Bac+3)
- **La formation professionnelle**, par la mise en place de programmes spécifiquement dédiés aux métiers de l'hydrogène au sein des centres de formation professionnelle déjà existant en Mauritanie ou bien auprès des développeurs et industriels

²⁰ Sauf pour l'électricité renouvelable et l'hydrogène vert, cf. paragraphes suivants.

- **Le recrutement**, qui permettrait de rapidement acquérir et transférer des compétences, comparativement aux deux canaux susmentionnés ; le recrutement permettrait surtout d'attirer des profils hautement qualifiés et/ou expérimentés en leur offrant des conditions de travail avantageuses, notamment les enseignants-chercheurs pour les Départements Hydrogène, les membres de la future Direction Hydrogène du MPME ou de l'Agence Hydrogène (voir la section « Les institutions requises pour la filière hydrogène »)
- **Les contributions « externes »**, qui seraient pertinentes dans le cas où les trois autres canaux présentent des contraintes financières, de délai, ou opérationnelles ; ces contributions externes pourraient consister en l'externalisation de certaines activités (par exemple des travailleurs étrangers pour la construction), ou en des alliances - éventuellement capitalistiques - avec des entreprises étrangères qui pourraient alors mettre à disposition une partie de leur personnel

Trois de ces canaux sont nécessaires et prioritaires : l'enseignement supérieur, la formation professionnelle, et le recrutement. En effet, il est nécessaire de recruter des « sachants » pour assurer un transfert rapide de savoir et de compétences pour l'enseignement supérieur et la formation professionnelle. Par ailleurs, ces deux derniers sont également nécessaires et prioritaires car il s'agit des seuls canaux permettant de former des Mauritaniens à très grande échelle, et donc de contribuer à la fois à la baisse du chômage et au transfert local de compétences. Les contributions « externes » ne contribueraient pas directement à ce contenu local, et ne seraient donc *a priori* qu'une option permettant de compenser ponctuellement des goulots d'étranglement ponctuels en termes de compétences.

Néanmoins, la part des emplois destinée aux Mauritaniens dépendra des engagements et de la volonté du développeur, et des avantages que cela peut lui offrir. La figure ci-dessous résume l'ensemble de ces canaux d'acquisition des compétences.

Vue d'ensemble

Figure 21 : Vue générale des mesures à prendre pour répondre à ces besoins en compétences pour la filière hydrogène



Source : Analyse AFRY

Leviers pour accélérer la montée en compétences

Afin d'accélérer l'acquisition des compétences requises, deux principaux leviers pourront être mobilisés :

– **Levier contractuel/juridique :**

- Insérer des clauses contractuelles de contenu local pour la formation et d'enseignement supérieur, au moment de parapher des projets avec des développeurs étrangers, tel que des engagements en heures de formation professionnelle, en programmes d'échange vers des universités étrangères, en projets pilotes et démonstrateurs, ou en accompagnement aux activités de R&D et de veille technologique

– **Levier diplomatique :**

- Par le biais d'accords bilatéraux ou multilatéraux avec :
 - des pays importateurs d'hydrogène et de ses dérivés, notamment l'Allemagne, les Pays-Bas ou plus généralement des pays de l'Union Européenne,
 - avec des pays experts dans certains champs industriels de l'hydrogène ; par exemple la Suède pour l'acier vert, la Lituanie pour le nitrate d'ammonium, ou les Emirats-Arabs-Unis pour le méthanol
- La participation ou l'organisation d'événements internationaux, notamment ceux portant sur l'hydrogène et les énergies renouvelables, permettrait

d'accélérer l'acquisition de compétences et d'asseoir la crédibilité de la Mauritanie

– **Levier politique :**

- Seule une politique volontariste en matière d'éducation, de formation et d'emploi sera en mesure de répondre aux besoins en compétences

Modèle de transfert de savoir et de compétences

La mise en place de hubs de R&D et de formation permettra à la Mauritanie d'obtenir les compétences requises tout en optimisant le transfert de technologie et de savoir. Le hub de recherche serait mis-en-œuvre afin de former au sein du territoire des ingénieurs et travailleurs spécialisés dans le domaine de la production d'électricité renouvelable, de la production d'hydrogène et de ses dérivés tel que l'acier vert – ces ingénieurs pourraient également contribuer aux autres industries locales.

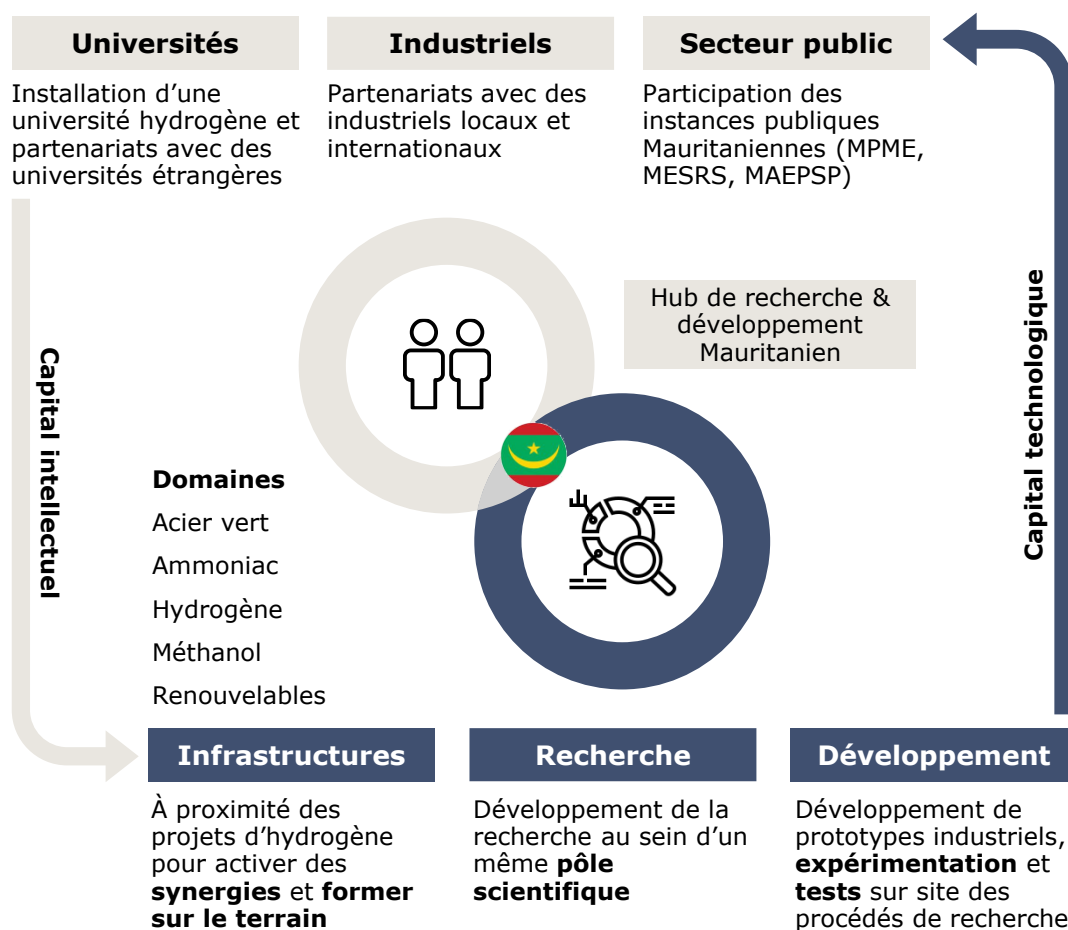
La mise en place de partenariats autour du hub de recherche alimenterait la visibilité de la Mauritanie et en ferait un partenaire de choix pour développer des solutions de production et d'innovation sur le continent africain. En effet, au travers d'un hub de recherche, la Mauritanie serait en mesure d'acquérir un savoir-faire national qui permettrait de développer la capacité d'innovation et l'excellence industrielle. Grâce à des accords avec des industriels et parties prenantes (universités, industriels) étrangères, les connaissances acquises permettraient d'activer l'innovation industrielle et de mettre en place des processus de production à la fois efficaces et matures.

Ces hubs seraient organisés autour de trois types d'acteurs :

- Les universités et établissements de l'enseignement supérieur
- Les investisseurs, développeurs et industriels privés
- Le secteur public et les institutions encadrant les filières de l'hydrogène

La figure ci-dessous illustre le fonctionnement de ces hubs.

Figure 22 : Modèle de pôle de compétences tripartite de Formation-R&D-Industrie



Source : Analyse AFRY

Départements Hydrogène

Pour tirer parti des infrastructures existantes, des Départements Hydrogène devront être créés, notamment au sein des deux principales universités du pays (l'École supérieure polytechnique de Nouakchott et l'Université de Nouakchott Al Aasriya), dont la responsabilité serait triple :

- Enseigner et former les étudiants aux connaissances et techniques relatives au secteur de l'hydrogène et ses dérivés industriels
- Accompagner les recherches et développement visant à adapter les technologies de l'hydrogène et des énergies renouvelables existantes au contexte particulier Mauritanien (climat, géologie, hydrologie...)
- Nouer des partenariats industriels pour contribuer à la réalisation des tests nécessaires au déploiement des secteurs prévus par la feuille de route
- Assurer la veille technologique

La section portant sur les institutions présente rappelle les responsabilités de ces Départements Hydrogène.

Résumé des mesures de compétences

La liste des mesures à mettre en œuvre afin d'acquérir les compétences de la filière hydrogène est présentée ci-dessous.

Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel des tableaux ci-dessous.

MESURES*	SOUS-CHANTIER	DEBUT	DUREE	RESPONSABLES
Planification et création du contenu du programme de formation accélérée aux métiers de l'hydrogène pour les centres professionnels existants	Centres de formation professionnelle	2022 Q4	6 mois	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de la Fonction Publique et du Travail, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Elaboration d'un plan de formation accéléré pour la réinsertion professionnelle de la population active en recherche d'emploi	Centres de formation professionnelle	2023 Q1	6 mois	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de la Fonction Publique et du Travail, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Construction et repurposing de lieux existants des centres de formation professionnelle aux techniques des énergies renouvelables, de l'hydrogène, et de l'ammoniac	Centres de formation professionnelle	2022 Q4	2 ans	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de la Fonction Publique et du Travail, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Création et supervision d'une filière transverse de formation professionnelle aux règles de sécurité destinée aux travailleurs opérant sur une installation de	Centres de formation professionnelle	2024	1-2 ans pour la création, puis pilotage continu	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de la Fonction Publique et du Travail, Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Tourisme

production, de stockage, d'export				
Création et supervision d'une filière transverse de l'enseignement supérieur dédiée aux risques industriels au sein des nouveaux départements hydrogène des universités	Enseignement supérieur	2024	1-2 ans pour la création, puis pilotage continu	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de la Fonction Publique et du Travail, Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Tourisme
Plan pour la création d'une filière hydrogène au sein de l'enseignement supérieur et l'élargissement des prérogatives des universités et écoles mauritaniennes pour l'intégration de départements hydrogène	Enseignement supérieur	2022 Q4	3-6 mois	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Création de Départements Hydrogène au sein des universités et écoles mauritaniennes	Enseignement supérieur	2023 Q2	6 mois à 1 an	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Recrutement de professeurs et d'enseignants-chercheurs additionnels pour les Départements hydrogène	Enseignement supérieur	2024 Q2	Pilotage continu	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Lancement des cours, des travaux de recherche (projets de recherche, études des conditions spécifiques mauritaniennes...), de la veille technologique, et des partenariats avec des	Enseignement supérieur	2025	Pilotage continu	Départements Hydrogène

acteurs privés et publics internationaux				
---	--	--	--	--

**Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel du tableau.*

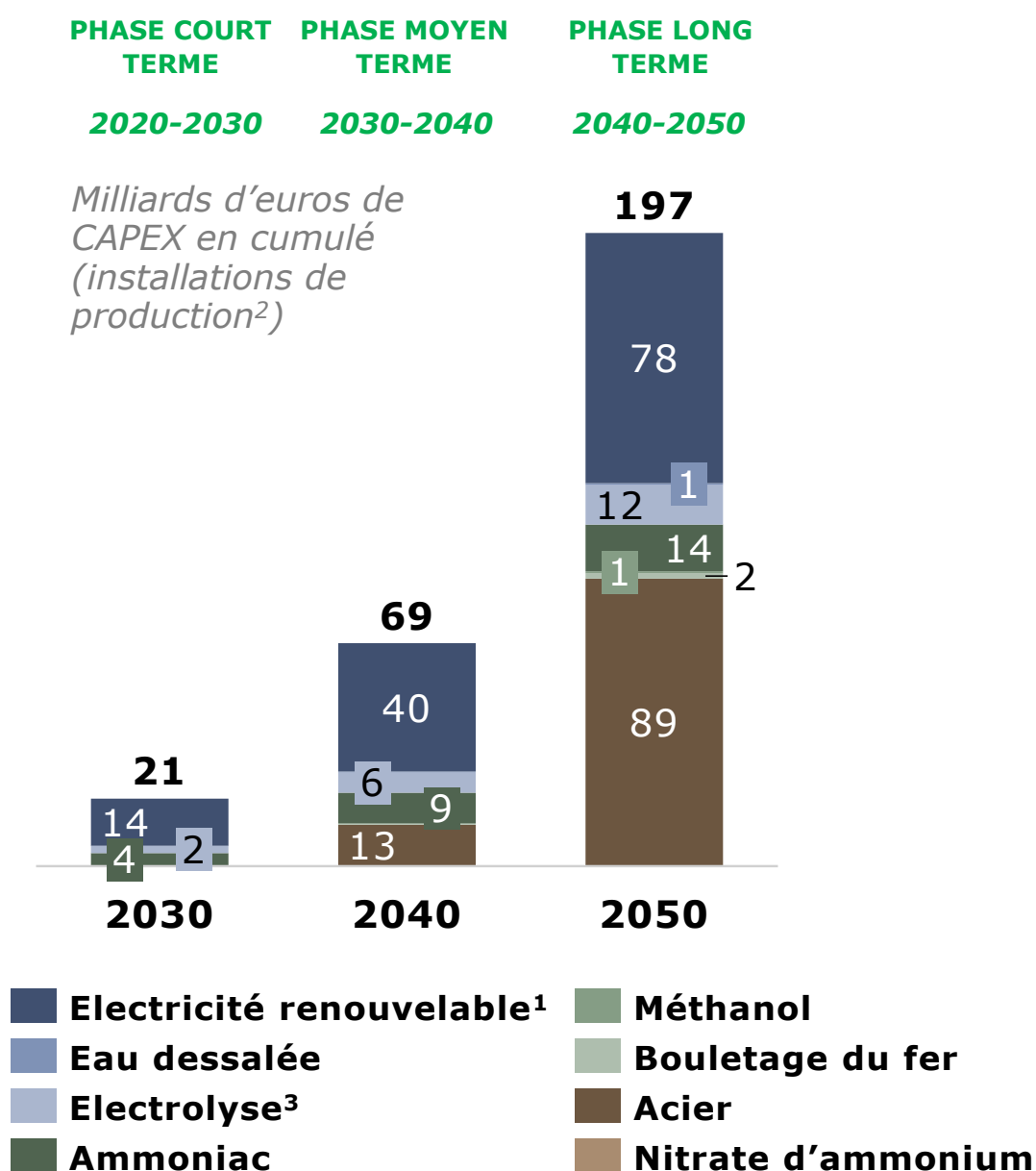
Ces mesures sont détaillées dans la section dédiée au plan d'action de la filière hydrogène.

2.4 Investissements attendus et stratégies de financement

La section « Les ambitions industrielles à horizons 2030, 2040 et 2050 » présente les objectifs de production atteignables par la Mauritanie pour les 30 prochaines années. L'atteinte des objectifs industriels nécessiterait environ 208 milliards d'euros en investissements cumulés à horizon 2050.

Cette enveloppe ne couvre que les installations de production. Les coûts d'investissements correspondent aux installations de production uniquement : les chiffres affichés ci-dessous n'incluent donc pas les coûts de transport et de distribution (eau, électricité, exports, etc.) et les coûts des infrastructures transverses (ports, engins miniers, conversion du train à un carburant durable).

Figure 23 : Investissements requis pour atteindre les ambitions de production selon chaque phase de la feuille de route hydrogène



Source : Analyse AFRY I 1. La capacité hybride est calculée sur la base de la somme des capacités entre solaire PV et éolien terrestre (distribution égale, soit 1 GW de capacité hybride équivaut à x GW de capacité solaire PV et 1 GW de capacité éolienne terrestre) 2. Les coûts d'investissements correspondent aux installations de production uniquement; les chiffres affichés n'incluent donc pas les coûts de transport et de distribution (eau, électricité, exports) et les coûts des infrastructures transverses (ports, engins miniers, conversion du train à un carburant durable) 3. Calcul effectué en appliquant un ratio d'efficacité de 80% par rapport à la consommation d'électricité

Ces besoins pourront être principalement financés par des investissements directs étrangers ou locaux, le budget de l'Etat mauritanien étant bien inférieur. Par ailleurs, des financements issus de partenariats et accords bilatéraux seront également un outil nécessaire.

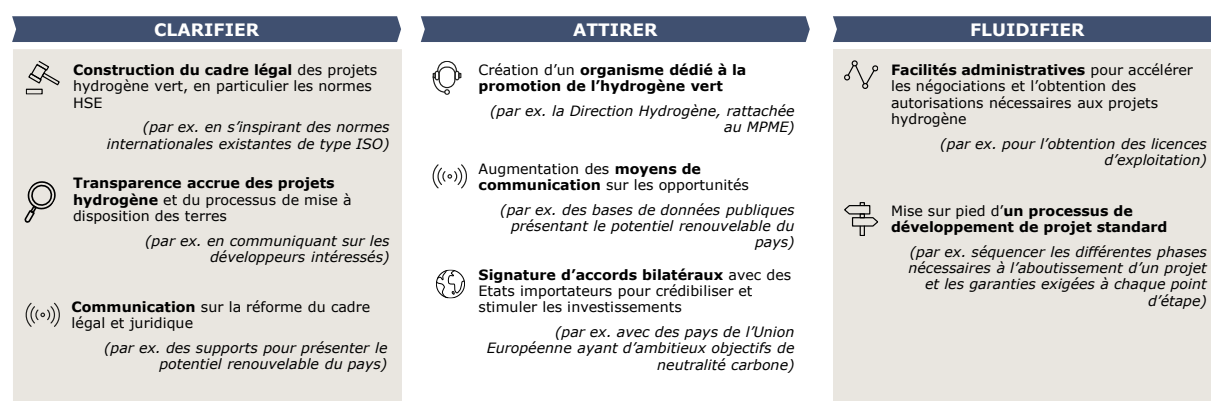
Il est donc essentiel de maximiser l'attractivité de la Mauritanie du point de vue des investisseurs privés. L'attractivité du pays peut être améliorée par des mesures à plus ou moins long terme, et ce à faible coût. Deux grands types d'actions peuvent être envisagés :

- Les actions de simplification administrative et opérationnelle
- Les incitations financières et fiscales

Les actions de simplification administrative et opérationnelle augmenteront dans tous les cas l'attractivité du pays. Ces mesures ont l'avantage de ne pas impacter la rémunération à long terme de l'Etat mauritanien sur les projets hydrogène. Elles peuvent se subdiviser en trois sous-actions :

- Clarifier le cadre des investissements
- Attirer en communiquant sur le potentiel du pays et en crédibilisant la filière par la signature d'accords bilatéraux
- Fluidifier le processus d'investissement, en prévoyant éventuellement des procédures accélérées

Figure 24 : Exemples d'actions augmentant dans tous les cas l'attractivité du pays vis-à-vis des investisseurs étrangers



Source : Analyse AFRY

3. Les recommandations légales, juridiques et contractuelles

Les projets de production d'hydrogène à réaliser en Mauritanie, tels qu'ils sont envisagés comprennent les principales composantes suivantes :

- Réalisation et exploitation d'une centrale électrique utilisant des sources d'énergie renouvelables (solaire ou éolienne) dont une partie de la production sera utilisée à la production d'hydrogène par électrolyse et une partie peut éventuellement être cédée à un opérateur du secteur de l'électricité en vue de sa distribution aux usagers ;
- Réalisation et exploitation d'une usine de dessalement d'eau de mer dont une partie de la production sera utilisée pour la production d'hydrogène et une partie sera cédée à un opérateur du secteur de l'eau en vue de sa distribution aux usagers ;
- Réalisation et exploitation des électrolyseurs pour la production d'hydrogène;

L'hydrogène serait utilisé notamment pour produire de l'ammoniac, du nitrate d'ammonium et du méthanol.

Ces projets seraient réalisés par des investisseurs privés. Les activités qu'ils comportent relèvent :

- Du cadre juridique des activités industrielles et commerciales, avec la nécessité d'un encadrement réglementaire strict relatif aux risques industriels liés à la production et au transport de l'hydrogène ainsi que des productions qui en sont dérivées ;
- Du cadre juridique et réglementaire relatif aux activités de service public, telles que la production d'électricité ou la production d'eau ;
- Du cadre juridique de l'utilisation du domaine public ou privé de l'Etat, tels que les terres du domaine privé de l'Etat ou le domaine public maritime.

La mise en œuvre de tels projets met donc en jeu différentes réglementations qui dépendent de plusieurs administrations.

Le cadre juridique, réglementaire et contractuel qui leur est applicable doit permettre d'assurer la cohérence de ces différentes composantes, en vue d'assurer aux investisseurs une sécurité juridique ainsi qu'une attractivité suffisante, requises pour la réalisation de projets de cette envergure et à l'Etat la protection de ses intérêts.

Le présent rapport présente les principales conditions et options qui ont été identifiées pour atteindre cet objectif. Il ne traite pas de sujets communs à tout investissement tels que la création de société commerciale ou l'octroi de permis requis pour la réalisation de tout investissement industriel.

3.1 Synthèse des recommandations

Les principaux domaines législatifs et réglementaires applicables à la réalisation et à l'exploitation d'un projet intégré de production d'hydrogène et les éventuels besoins de compléter ou d'adapter ces textes sont indiqués ci-après.

Figure 25 : Synthèse des recommandations légales, juridiques et contractuelles

Activité et textes applicables	Actions recommandées
Construction et exploitation de la centrale électrique Nouveau Code de l'électricité	Promulgation d'un décret prévoyant le régime applicable aux investisseurs producteurs d'hydrogène vert, comme prévu par le Code, incluant notamment : – L'octroi d'une licence sans appel à la concurrence, d'une durée compatible avec la période requise par le projet intégré de production d'hydrogène ; – Le principe de fixation d'une redevance sur les ventes de surproduction d'électricité et, si l'équilibre économique du projet le permet sur la production livrée au sein du projet intégré. Vente de l'électricité excédentaire à la Somelec sur la base d'un contrat à long terme
Sécurisation des droits sur l'assiette foncière Ordonnance 83 - 127 du 05 Juin 1983 portant réorganisation foncière et domaniale et décret d'application n° 2010-080 du 31 Mars 2010.	Octroi par l'Etat à l'opérateur du droit sur les terrains d'assiette des tests puis de la centrale et servitudes permettant la construction de la ligne interne de transport de l'électricité, de préférence par le biais d'un bail emphytéotique à long terme moyennant le versement d'une redevance, conformément à la réglementation
Réalisation et exploitation d'une usine de dessalement d'eau de mer Loi n°95-009 du 31 janvier 1995 portant Code de la Marine marchande Décret n° 2006/92/PM relatif au domaine public maritime. Loi n° 2005-030 du 02 février 2005 portant Code de l'Eau	Octroi d'un droit d'occupation du domaine public maritime par arrêté du Ministre de la pêche et de l'économie maritime pour la durée maximum de 25 ans comportant un engagement de renouvellement sur demande de l'investisseur Vente directe de l'eau potable à la SNDE sur la base d'un contrat à long terme de préférence à l'octroi d'une concession de distribution à l'opérateur

Agrément en tant qu'installation classée Loi n° 2000-045 portant Code de l'environnement Décret en projet portant application du régime des ICPR	– Promulgation du décret en projet portant application du régime des ICPR – Nomenclature des installations classées à établir par arrêté du Ministre chargé de l'environnement – Identification des systèmes normatifs relatifs à la sécurité des établissements concernés par la production et le transport d'hydrogène et de produits dérivés, le cas échéant par référence à des normes internationales existantes. – Dans l'attente de cette réglementation, rendre contractuels les normes et règles requises par référence à des normes internationales existantes
Avantages accordés aux investisseurs et obligations correspondantes Loi n° 52/2012 portant Code des Investissements du 31 Juillet 2012 Loi n° 2013-001 du 02 Janvier 2013 sur la Zone Franche de Nouadhibou,	Adapter les garanties et avantages à accorder à l'économie du projet et contractualiser l'ensemble des droits et des obligations relatifs au projet à travers une convention d'établissement. Le cas échéant agrément par l'Autorité de la Zone Franche de Nouadhibou

Il apparaît que les documents à établir pour mettre en œuvre un projet intégré de production d'hydrogène peuvent être établis dans le cadre légale et réglementaire actuel sans qu'il soit besoin de promulguer de textes législatifs nouveaux.

Cependant une action durable pour la promotion et la mise en œuvre de la feuille de route de la filière hydrogène suppose la mise en place d'une institution ou agence tel qu'un Institut de l'hydrogène, qui serait chargé notamment :

- D'établir un pôle de recherche et d'innovation
- De produire et de piloter un programme de formation et de renforcement des capacités,
- De promouvoir le développement d'entreprises sous-traitantes mauritaniennes
- De mettre en place des projets pilotes avec les équipementiers du secteur.

La création d'une telle institution paraît devoir être effectuée sous forme d'une loi.

Une telle loi pourrait faire référence aux objectifs de la feuille de route et permettrait de donner un signal aux investisseurs sur l'engagement de la Mauritanie pour sa mise en œuvre.

3.2 Lacunes identifiées de sécurité et de normes industrielles

La production d'hydrogène et d'ammoniac comporte des risques industriels importants qui supposent le respect de normes de sécurité et l'obtention d'agréments.

En effet, l'hydrogène présente des caractéristiques chimiques qui demandent une attention toute particulière à la sécurité des installations qui le manipulent : inodore et très inflammable. Bien que l'hydrogène ait une température d'auto-inflammation relativement élevée (560 °C), une énergie de 0,02 mJ est suffisante pour enflammer un mélange d'hydrogène et d'air. Une fuite d'hydrogène comprimé peut créer une telle charge statique que la fuite s'enflamme spontanément. L'hydrogène s'enflamme également facilement sous l'effet d'autres charges statiques provenant d'étincelles, de surfaces chaudes et de flammes. De même, le platine et certains autres métaux enflamment l'hydrogène.

L'hydrogène a une petite taille moléculaire, ce qui impose des exigences plus élevées pour le niveau de protection des équipements installés dans une atmosphère explosive causée par l'hydrogène. Par conséquent, les normes et réglementations ATEX (atmosphères explosives) et de sécurité incendie doivent être strictement respectées dans les usines. L'hydrogène qui fuit est plus léger que l'air et s'élève pour former un mélange inflammable au sommet de l'espace ou de la pièce, ce qui entraîne un risque d'explosion dans un espace confiné. Une ventilation efficace des bâtiments et un système de détection des gaz réduiront le risque d'explosion.

Un réservoir de stockage d'hydrogène chauffé par un incendie externe peut se rompre en raison de l'augmentation de la pression, après quoi l'hydrogène libéré explosera (BLEVE, *boiling-liquid expanding-vapor explosion*). L'hydrogène peut également exploser au contact d'agents oxydants.

En Mauritanie, le ministère de l'Environnement et du Développement Durable est chargé de réglementer et de contrôler ce type d'établissement industriel sur la base de la Loi n° 2000-045 portant code de l'environnement (le Code de l'Environnement) et de ses textes d'application.

Le Code de l'Environnement prévoit en particulier :

- L'établissement d'une nomenclature des installations classées présentant un danger particulièrement grave pour l'environnement définies avec les Ministres de chaque secteur concerné ; cette nomenclature doit prévoir les équipements, procédés, normes de fonctionnement et les conditions de localisation géographique nécessaires pour éviter les dangers relatifs à ces installations classées ;
- L'octroi d'une autorisation sur la base d'une procédure à définir par le MEDD et qui doit comporter au moins :
 - une étude d'impact sur l'environnement ;
 - une étude des risques d'accidents et des moyens à mettre en œuvre pour prévenir ceux-ci et les circonscrire ;
 - la consultation des autorités de la commune ou de la Moughatâa sur le territoire de laquelle l'installation sera ouverte et le cas échéant, les communes et Moughatâa limitrophes et des services ministériels intéressés ;
 - une enquête publique auprès des populations concernées.

Quelques lacunes réglementaires subsistent : les textes décrivant effectivement les normes applicables aux installations classées n'ont pas pu être identifiés, ni ceux décrivant cette procédure. Les risques spécifiques à la production d'hydrogène et d'ammoniac, des normes devraient être adoptées par le gouvernement.

Les exigences de sécurité et de normes suivantes devraient être prises en compte dans la législation et la réglementation mauritanienne :

- Exigences en matière d'autorité et d'autorisation, Contrôle de la manipulation et du stockage des produits chimiques dangereux (liées à la directive Seveso)
- Exigences de sécurité dans la manipulation et le stockage industriel des produits chimiques dangereux
- Exigences de sécurité pour les atmosphères explosives (ATEX) : prévention du danger causé par les ATEX + appareils et systèmes de protection dans les ATEX
- Exigences de sécurité pour les équipements sous pression (liées à la directive PED 2014/68/UE du 15 mai 2014).
- Exigences relatives à la classification et à l'étiquetage des substances dangereuses (liées au règlement CLP)

Figure 26 : Exigences sécuritaires et normatives de la filière hydrogène, à intégrer dans la nouvelle réforme de la réglementation mauritanienne

LES EXIGENCES DE SÉCURITÉ A METTRE EN PLACE LORS DE LA REFORME DE LA LÉGISLATION MAURITANIE

- Exigences en matière d'autorité et d'autorisation, Contrôle de la manipulation et du stockage des produits chimiques dangereux (liées à la directive Seveso)
- Exigences de sécurité dans la manipulation et le stockage industriel des produits chimiques dangereux
- Exigences de sécurité pour les atmosphères explosives (ATEX) : prévention du danger causé par les ATEX + appareils et systèmes de protection dans les ATEX
- Exigences de sécurité pour les équipements sous pression (liées à la directive PED 2014/68/UE du 15 mai 2014).
- Exigences relatives à la classification et à l'étiquetage des substances dangereuses (liées au règlement CLP)

Source : Analyse AFRY

Dans l'attente de l'adoption de ces règles, il est recommandé de les rendre applicables contractuellement aux projets de production d'hydrogène et d'ammoniac en cours, en faisant référence à des normes internationales existantes.

4. Les institutions requises pour la filière hydrogène

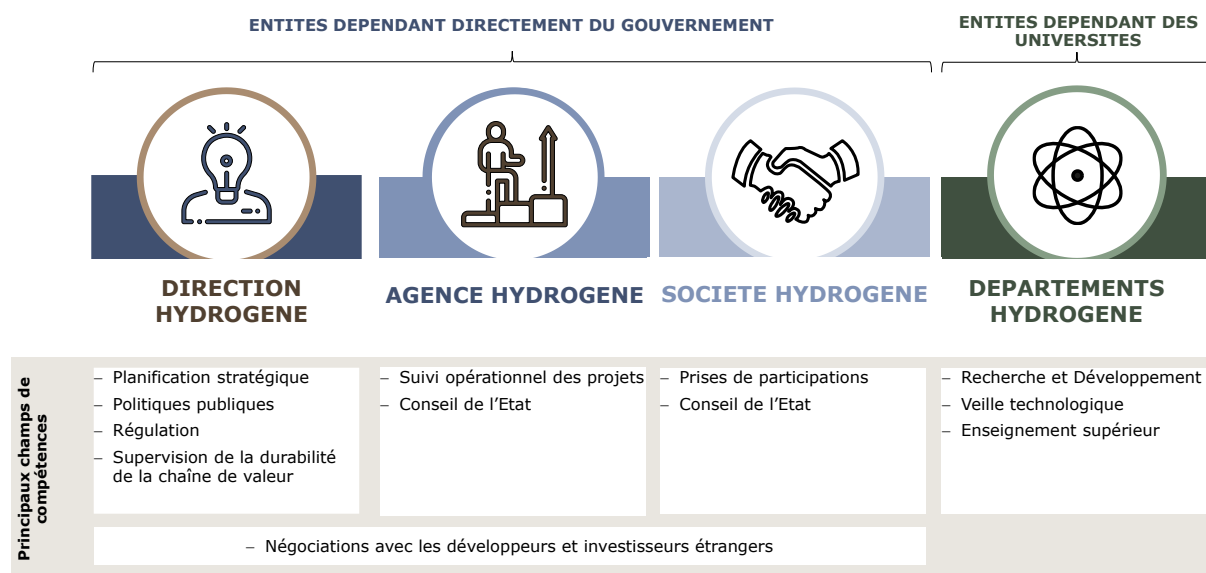
4.1 Vue générale des institutions requises

Afin d'atteindre les objectifs industriels de production, un ensemble de mesures devra être mis en place (cf. la section « Le plan d'action de la filière hydrogène »). En particulier, la gouvernance de la future filière hydrogène impliquerait la création de 4 entités :

- **La Direction Hydrogène** : intégrée au sein du MPME, cette nouvelle direction serait en charge des aspects stratégiques, politiques, juridiques, contractuels et diplomatiques de la filière hydrogène
- **L'Agence²¹ Hydrogène** : affiliée au MPME, ce nouvel opérateur de l'Etat serait principalement en charge des aspects opérationnels (suivi de l'exécution des chantiers, pilotage des études de faisabilité, etc.)
- **La Société²² Hydrogène** : affiliée au MPME, ce nouvel opérateur de l'Etat serait principalement en charge des aspects financiers (gestion des participations de l'Etat dans les projets de la filière hydrogène)
- **Des Départements Hydrogène** : intégrés aux universités et écoles mauritaniennes, ils seraient en charge de l'enseignement supérieur, des activités de R&D, et de la veille technologique

Les noms de ces entités ne sont fournis qu'à titre illustratif. Le MPME sera en charge de valider et compléter cette première proposition d'institutions, lors de discussions avec les différentes parties prenantes concernées par la filière hydrogène.

Figure 27 : Vue d'ensemble des propositions d'institutions à créer pour la filière hydrogène mauritanienne



Source : Analyse AFRY en co-construction avec le MPME

Cette proposition d'institutions résulte de l'application de certains principes organisationnels directeurs :

²¹ Le statut juridique reste à définir.

²² Le statut juridique reste à définir.

- Eviter les doublons dans l'administration publique et au sein des opérateurs de l'Etat
- Minimiser le nombre d'entités intermédiaires dans la prise de décision
- Maximiser le recours aux compétences et aux institutions existantes
- Clarifier et simplifier les institutions de l'hydrogène, à la fois pour les acteurs étrangers et nationaux

Par ailleurs, les directions ministérielles ne peuvent juridiquement prendre des participations capitalistiques dans les projets d'hydrogène. Il est donc nécessaire d'allouer cette responsabilité à une entité tierce, en l'occurrence la Société Hydrogène. De plus, l'Agence Hydrogène prendrait également en charge les activités opérationnelles, car les directions ministérielles n'ont pas pour vocation de participer aux activités de « terrain ».

4.2 Les responsabilités de chaque nouvelle institution

Le tableau ci-dessous détaille l'ensemble des responsabilités qui seraient allouer à chacune de ces institutions :

Figure 28 : Responsabilités détaillées des institutions à créer pour la filière hydrogène

INSTITUTION	CHAMPS D'ACTION	RESPONSABILITES
Direction Hydrogène	Direction du MPME, responsable du pilotage stratégique et de la réglementation de la filière hydrogène mauritanienne, en collaboration avec les entités de l'Etat concernées	– Développer et piloter la stratégie nationale de la filière hydrogène – Communiquer sur le potentiel mauritanien d'hydrogène vert et ses dérivés et d'énergie renouvelable (en collaboration avec l'APIM) – Définir et piloter les procédures d'appel d'offres – Superviser la réforme du cadre juridique, législatif et contractuel de la filière hydrogène – Superviser la planification foncière en vue des futures constructions de la filière hydrogène – Superviser les études d'impact environnemental – Organiser et participer aux sommets régionaux ou internationaux sur l'hydrogène – Mener les négociations avec les développeurs et investisseurs (avec l'entité de prise de participations) – Piloter la contribution de la filière hydrogène aux Objectifs de Développement Durable et à la SCAPP, notamment le contenu local – Piloter la certification de toute la chaîne de valeur de la filière hydrogène – Proposition de textes de sécurité industrielle au Ministère de l'Industrie

		– Piloter les situations d'urgence industrielle conjointement avec les départements concernés du Gouvernement – Fixer et ajourner les normes et standards industriels – Fixer les procédures de classification des installations à risque – Contribuer à la définition des procédures d'autorisations – Encadrer les plans de continuité d'activité – Suivi des activités de formation, R&D et de veille technologique avec l'écosystème de l'enseignement supérieur, dont les départements H₂
Agence Hydrogène	Organisme responsable du suivi opérationnel des projets hydrogène, affilié au MPME	– Support à l'exécution des appels d'offres – Piloter les études de faisabilité et superviser les développements de projets – Suivi et application des textes de sécurité industrielle (émanant du Ministère de l'Industrie) – Mener les négociations avec les développeurs et investisseurs (avec la Direction Hydrogène) – Conseiller l'Etat pour ses investissements – Redistribuer les dividendes des projets de la filière hydrogène
Société Hydrogène	Organisme responsable des participations de l'Etat dans les projets d'hydrogène et dérivés, société nationale affiliée au MPME	– Définir la stratégie de prise de participations de l'Etat dans la filière hydrogène – Attirer les investissements et les développeurs étrangers (avec l'APIM) – Attirer les investissements et les développeurs étrangers (avec l'APIM) – Mener les négociations avec les développeurs et investisseurs (avec la Direction Hydrogène) – Conseiller l'Etat pour ses investissements

Départements Hydrogène	Pôles de R&D et de formation sur l'hydrogène et ses dérivés intégrés dans l'écosystème des universités mauritaniens	– Former les ingénieurs nécessaires à chaque chantier industriel (électricité renouvelable, eau potable, hydrogène, ammoniac, méthanol, acier vert, nitrate d'ammonium) – Conduire l'activité R&D et la veille technologique pour chaque filière industrielle de l'hydrogène – Développer et tester des solutions adaptées au contexte mauritanien – Participer aux projets pilotes de l'hydrogène
-------------------------------	---	---

Source : Analyse AFRY en co-construction avec le MPME

Ces entités fonctionneraient de manière coordonnée : des interactions de responsabilités pourront avoir lieu. Par exemple, la négociation contractuelle avec les développeurs sera menée par la Direction Hydrogène et la Société Hydrogène, avec l'appui de l'Agence Hydrogène. Par ailleurs, la stratégie de l'enseignement supérieur de l'hydrogène sera coconstruite par les Départements Hydrogène et la Direction Hydrogène, mais également avec le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, le Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Tourisme, et tous les acteurs nationaux concernés.

Ainsi, il reviendra à chacune de ces institutions d'identifier pour chaque responsabilité et action lui incombant, les organismes de l'Etat concernés et de les impliquer dans le processus décisionnel et opérationnel. Une matrice RACI pourra être définie pour chaque responsabilité, afin de clarifier les périmètres de responsabilité de chaque acteur national.

Certains sujets transverses ne figureront pas dans le cœur de compétence de la Direction Hydrogène, tel que la planification foncière, la promulgation du décret de classification des installations à risque industriel, la réforme du Code de l'Electricité, la mise à niveau des infrastructures portuaires, etc.. La Direction Hydrogène est désignée ici responsable de l'action, mais cette responsabilité ne saurait néanmoins aller au-delà du périmètre de la filière hydrogène.

Par ailleurs, tout au long du processus de mise en place de ces institutions, il sera essentiel d'établir des plans de communication à destination des potentiels partenaires nationaux et internationaux de l'hydrogène. La section « Les opportunités d'accords bilatéraux » détaille les actions qui seront menées par chaque institution, ainsi qu'une première liste des acteurs publics et privés à impliquer.

4.3 Les mesures de la feuille de route pour le chantier de la gouvernance

Le tableau ci-dessous résume les principales mesures destinées à la création de ces institutions.

Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel des tableaux ci-dessous.

Figure 29 : Mesures destinées à la création des institutions de gouvernance de la filière hydrogène mauritanienne (bleu ciel : mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement)

MESURES*	SOUS-CHANTIER	DEBUT	DUREE	RESPONSABLES
Stratégie et orientations générales des prises de participations dans les projets de développement de l'hydrogène et de ses filières	Participations capitalistiques de l'Etat	2022 Q3	2 mois	MPME
Etablissement d'une entité responsable des prises de participations dans les projets d'hydrogène et de ses dérivés ("Société Hydrogène")	Participations capitalistiques de l'Etat	2023 Q2	3-6 mois	MPME
Etablissement d'une entité responsable du suivi opérationnel des projets d'hydrogène et de ses dérivés ("Agence Hydrogène")	Pilotage et promotion	2023 Q2	3-6 mois	MPME
Définition et développement du concept, de la stratégie de pilotage et de promotion de la filière hydrogène (communication, présence internationale, objectifs chiffrés...), et définition des activités et du plan budgétaire de la filière hydrogène, et accord avec les acteurs mauritaniens concernés par ces plans.	Pilotage et promotion	2022 Q3	1-3 mois	MPME
Création de la nouvelle Direction Hydrogène au sein du MPME, et définition de ses prérogatives et de son organisation	Pilotage et promotion	2023 Q1	1-3 mois	MPME

Définition d'une procédure d'appel d'offre par la nouvelle Direction Hydrogène	Pilotage et promotion	2023 Q3	2-4 mois	Direction Hydrogène
Lancement d'un premier appel d'offre par la nouvelle Direction Hydrogène (en parallèle du développement projets contractualisés de gré à gré), puis pilotage continu des appels d'offres, en fonction de la pertinence des résultats	Pilotage et promotion	2024	Pilotage continu 6 mois à 1 an par procédure d'appel d'offre	Direction Hydrogène
Pilotage de la contribution aux objectifs de développement durable par la Direction Hydrogène	Pilotage et promotion	2024	Pilotage continu	Direction Hydrogène, Agence Hydrogène
Pilotage de la contribution à la SCAPP par la Direction Hydrogène	Pilotage et promotion	2024	Pilotage continu	Direction Hydrogène, Agence Hydrogène
Pilotage par la Direction Hydrogène de la certification de la durabilité de la chaîne de valeur hydrogène	Pilotage et promotion	2024	Pilotage continu	Direction Hydrogène
Pilotage de la contribution au contenu local	Pilotage et promotion	2024	Pilotage continu	Direction Hydrogène, Agence Hydrogène

**Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel du tableau. Source : Analyse AFRY*

Ces mesures sont détaillées dans la section dédiée au plan d'action de la filière hydrogène.

5. La contribution aux objectifs de développement durable de la Mauritanie

5.1 La contribution de la filière hydrogène aux objectifs de développement durable de l'ONU et à la stratégie de développement nationale

En septembre 2015, l'ONU a défini 17 objectifs de développement durable (ODD) à atteindre à l'horizon 2030. Ces 17 catégories ont été identifiées par les Etats membres Nations Unies et répondent aux trois principes généraux du développement durable : éradiquer la pauvreté sous toutes ses formes et dans tous les pays, protéger la planète et garantir la prospérité pour tous.

Figure 30 : Objectifs de Développement Durable 2030



Source : ONU – Objectifs de développement durable 2030

La contribution des opportunités d'investissement dans les filières de l'hydrogène en Mauritanie à ces objectifs de développement a été évaluée. De manière générale, les opportunités d'investissement contribuent directement ou indirectement à une majorité des ODD.

En particulier, ces opportunités contribuent principalement et directement aux objectifs suivants :

- **ODD1** : « Éliminer la pauvreté sous toutes ses formes et partout dans le monde »
- **ODD8** : « Promouvoir une croissance économique soutenue, partagée et durable, le plein emploi productif et un travail décent pour tous »
- **ODD9** : « Mettre en place une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation »
- **ODD12** : « Établir des modes de consommation et de production durables »
- **ODD13** : « Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions »

– **ODD17** : « Partenariat pour la réalisation des objectifs »

Les objectifs de développement durable des Nations-Unies doivent être suivis par la Mauritanie. Les secteurs industriels rattachés à l'hydrogène sont des opportunités uniques de mettre en pratique les 17 ODD.

Par ailleurs, toutes les opportunités dépendent de la production d'hydrogène dans le pays. Si celle-ci est réalisée en utilisant des énergies renouvelables, l'objectif 7 « Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable » sera atteint de manière transverse.

Les électrolyseurs ayant besoin d'eau potable pour fonctionner, la construction d'une usine de dessalement contribuera de manière transverse aux ODD2 (« Éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir une agriculture durable ») et ODD6 (« Garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau »).

Des centres de formation et une université devront être créés pour garantir la main d'œuvre et les compétences nécessaires (ODD4 - Veiller à ce que tous puissent suivre une éducation de qualité dans des conditions d'équité et promouvoir les possibilités d'apprentissage tout au long de la vie).

Enfin, l'ensemble de la feuille de route devra être soutenue transversalement par des organes de gouvernance, pour lesquels la recherche de la parité sera une composante importante (ODD5 - Réaliser l'égalité des sexes et autonomiser toutes les femmes et les filles).

Par ailleurs, le Gouvernement mauritanien a défini sa propre stratégie de développement durable, la « SCAPP » - *Stratégie de Croissance Accélérée et de Prospérité Partagée*. Il s'agit d'une initiative pour la période 2016-2030 qui cherche à mettre en application les Objectifs de Développement Durable susmentionnés ; elle s'appuie en particulier sur trois leviers au total, complétés par des sous-objectifs, plus spécifiques (numérotation ajoutée par AFRY pour des soucis de clarté) :

Levier 1 : Promouvoir une croissance forte, durable et inclusive

- 1A : Promouvoir la diversification et la transformation économiques
- 1B : Développer les infrastructures de soutien à la croissance
- 1C : Promouvoir un secteur privé compétitif

Levier 2 : Développer le capital humain et l'accès aux services sociaux de base

- 2A : Améliorer l'accès, la qualité et la pertinence de l'éducation et de la formation professionnelle
- 2B : Améliorer les conditions d'accès à des services de santé et de nutrition de qualité
- 2C : Assurer l'emploi productif et le travail décent pour tous
- 2D : Promouvoir la jeunesse, la culture et les sports

- 2E : Assurer une forte inclusion sociale par un accès équitable à des services de base de qualité

Levier 3 : Renforcer la gouvernance dans toutes ses dimensions

Parmi ces objectifs de la SCAPP, les objectifs 1A, 1C et 2C seront fortement soutenus par une majorité des opportunités d'investissement analysées.

5.2 Zoom sur les émissions de CO₂ évitées

Dans le cadre de l'accord de Paris sur le climat, le monde s'est engagé à limiter le réchauffement climatique à moins de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels, tout en s'efforçant de rester en dessous des 1,5°C. Pour respecter cet engagement, le monde doit ramener les émissions de CO₂ à zéro d'ici le milieu du siècle.

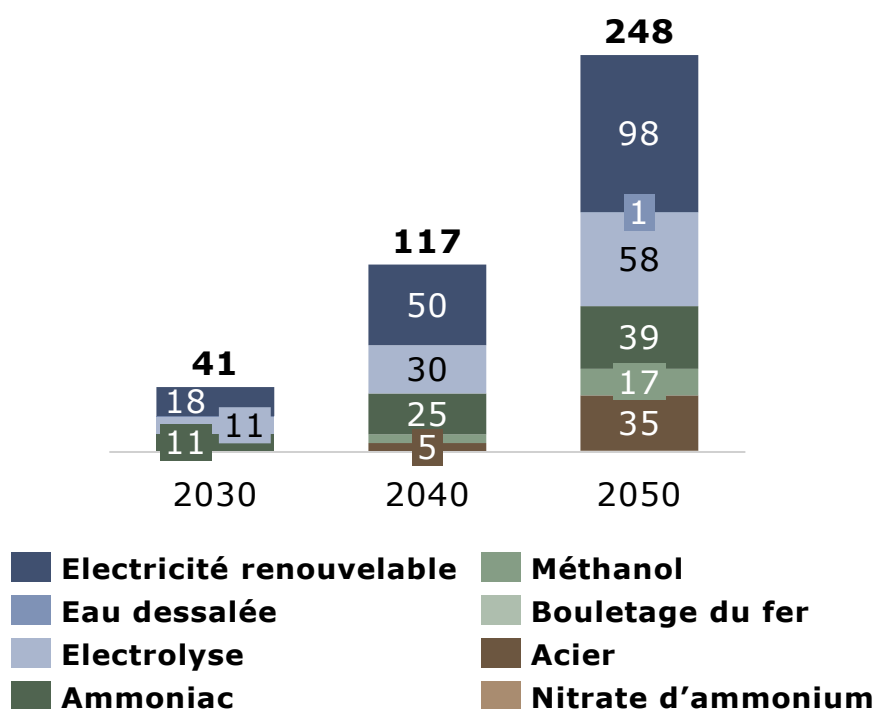
L'hydrogène jouera un rôle clé dans la décarbonation des secteurs de l'économie.

L'hydrogène vert s'intègre déjà dans les stratégies permettant d'aller vers la neutralité carbone de secteurs d'activités où il est une alternative incontournable pour faire baisser les émissions, comme les industries de transformation thermo-intensives, les transports lourds ou la production d'engrais.

La section « Les ambitions industrielles à horizons 230, 2040 et 2050 » présente les objectifs de production atteignables par la Mauritanie pour les 30 prochaines années.

L'atteinte de ces objectifs industriels permettrait d'éviter l'émission de dioxyde de carbone à hauteur de 46 MtCO₂/an dès 2030, de 133 MtCO₂/an à partir de 2040, et de 280 MtCO₂/an à partir de 2050.

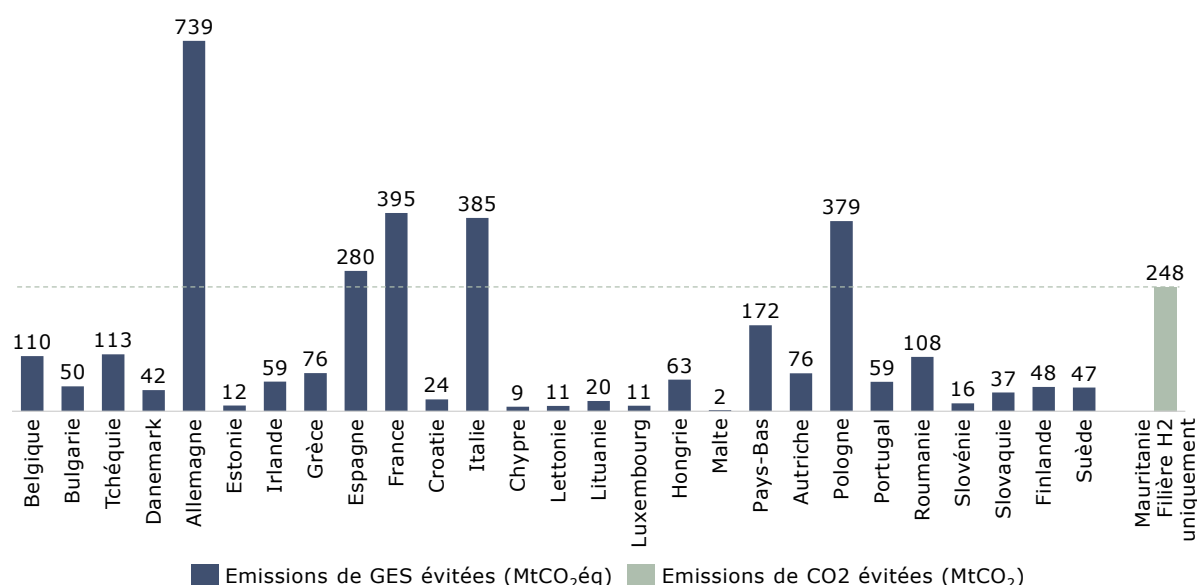
Figure 31 : Emissions de dioxyde de carbone évitées dans l'hypothèse de l'atteinte des ambitions de production de l'hydrogène et ses dérivés à horizon 2050 (MtCO₂)



Source : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (France), World Steel Association, Innovation Outlook Renewable Methanol (IRENA, 2021), Analyse AFRY I 1. Le secteur UTCATF (Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Forêt) constitue pour l'instant le seul secteur permettant des absorptions de CO₂ grâce à la photosynthèse des plantes.

Les émissions de CO₂ évitées à partir de 2050 correspondent à 62 fois les émissions de CO₂ en Mauritanie de 2018, qui s'élevaient à 4 millions de tonnes.

Figure 32 : Comparaison des émissions évitées de CO₂ grâce à la filière hydrogène en Mauritanie avec les émissions annuelles de gaz à effet de serre dans les pays de l'UE***



*Dans le cas de l'atteinte des ambitions 2050 de la présente feuille de route ; **En 2020.
 Source : Eurostat, Analyse AFRY

Une gouvernance spécifique pour le bilan carbone permettra de piloter la réduction et émissions CO₂ et l'intensité carbone de chaque secteur et projet de la filière hydrogène. Par ailleurs, tout au long du développement de la filière hydrogène, vert ou bleu, l'organisme de pilotage de la feuille de route devra s'assurer du caractère durable de la chaîne de valeur.

En plus des indicateurs clés de performance indiqués dans la présente feuille de route, quatre principales actions devront être menées par le Ministère de l'Energie ou conjointement avec les développeurs des projets destinés à l'exportation :

- Travailler avec des développeurs certifiés sur le développement durable
- Inclure des clauses de comptabilité carbone lors de la signature des contrats hydrogène
- Piloter l'impact carbone des infrastructures transverses de la filière hydrogène :
 - Ports
 - Fret ferroviaire
 - Engins miniers

- Autres composantes directes de la chaîne de valeur (transports par camions, etc.)

Le pilotage du bilan carbone de la filière hydrogène mauritanienne devra être certifié par des organismes ou des normes internationales :

- Soit des normes définies à l'échelle mondiale
- Soit des normes définies par les marchés importateurs de la Mauritanie ; une attention particulière devra portée sur les futures normes européennes de l'hydrogène et de ses dérivés

6. Les opportunités d'accords bilatéraux

Pour construire l'économie l'hydrogène de demain, les pays nouent des partenariats : au moins 42 accords bilatéraux ou trilatéraux ont été signés à ce jour (Figure ci-dessous).

La Mauritanie pourrait conclure des accords bilatéraux, dans l'objectif d'obtenir : des alliances ou coopérations énergétiques, le financement d'études de faisabilité ou de potentiel, des transferts de technologies et de compétences, ainsi que des échanges universitaires. Ces accords bilatéraux permettraient aussi de gagner en crédibilité auprès des investisseurs étrangers.

Les pays les plus prometteurs sont **l'Union Européenne, et plus particulièrement l'Allemagne et les Pays-Bas**. Ces pays ont une politique volontariste en matière d'import d'hydrogène vert, dans le but de tenir leurs engagements de neutralité carbone.

La Mauritanie est bien positionnée pour négocier des accords bilatéraux avec notamment des futurs pays explicitement importateurs. Le choix des pays les plus intéressants pour un accord doit prendre en compte :

- La **maturité stratégique**, en particulier lorsque le pays en question s'identifie lui-même comme futur importateur et a signé plusieurs accords bilatéraux
- La **proximité géographique**, pour réduire les coûts associés au transport et la complexité logistique
- Le **volume de la demande future**, qui assure un marché suffisamment conséquent pour absorber l'offre mauritanienne et faire des économies d'échelle
- La **proximité diplomatique** préexistante pour faciliter les négociations, ou *a minima* l'absence de conflit notable

La Mauritanie a ainsi l'opportunité de nouer des coopérations internationales qui lui permettront non seulement d'accéder aux technologies et compétences nécessaires, mais aussi d'accélérer le développement de son secteur hydrogène. Des pays comme l'Allemagne et les Pays-Bas, et plus généralement l'Union Européenne, ont des moyens financiers élevés et des motivations sérieuses pour soutenir de futurs pays exportateurs, sécuriser leur approvisionnement et garantir la décarbonation de leurs économies. La Mauritanie devrait sans tarder engager les processus diplomatiques qui permettront la signature d'accords bilatéraux.

Quelques exemples montrent que les accords bilatéraux entre pays soutiennent et posent le cadre des projets hydrogène pour export. Premièrement, l'Alliance Énergétique Chile-Alemania a vu le jour en Avril 2019 ; un important volet hydrogène a immédiatement fait partie des sujets clé de discussion. L'alliance est coordonnée par une entreprise allemande privée, GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit).

Dans ce cadre, le rapport "*Conditions and Opportunities of Green Hydrogen Trade from Chile to Germany and Japan*" a été commissionné et a compilé des rationnels d'investissement pour l'exportation d'hydrogène. Le rapport concluait que le Chili, dans une estimation conservatrice, pourrait fournir à l'Allemagne la moitié de sa demande en hydrogène vert à horizon 2050.

Par ailleurs, l'exemple de l'accord ammoniac vert entre la Namibie et l'Allemagne est particulièrement pertinent pour le contexte mauritanien. Le communiqué conjoint de cet accord inclut 4 principaux volets :

- Transferts de technologie :
 - o Echange d'informations sur les systèmes énergétiques des deux pays
 - o Coopération entre les institutions hydrogène des deux pays
 - o Transferts de technologies, partenariats de R&D
 - o Etudes de faisabilité (potentiel renouvelable Namibien, routes envisagées d'exportation)
 - o Etudes d'impact, en particulier sur les sujets de dessalement
- Education et formation :
 - o Développement de la coopération entre les milieux académiques : échanges d'étudiants, de professeurs, de connaissances ; workshops
 - o Formations à destination des futurs professionnels du secteur
 - o Bourses d'études en Allemagne (25 sur 5 ans)
 - o Lancement d'un institut sur l'hydrogène vert en Namibie
 - o Co-développement d'une stratégie hydrogène pour la Namibie
- Financements :
 - o L'Allemagne s'engage à subventionner à hauteur de 40 millions d'euros « l'approfondissement de la coopération sur l'hydrogène vert avec la Namibie »
 - o Le communiqué doit servir de base pour actionner des investissements publics et privés dans le secteur

La gouvernance de cet accord est constituée d'un groupe de travail stratégique pour évaluer, orienter, approuver les fonds, et d'un groupe de travail technique pour élaborer les rapports d'activité et gérer les points d'étape des projets.

Compte tenu de la situation de la Mauritanie, le pays peut profiter de la signature d'accords bilatéraux pour répondre à une partie des défis de sa filière hydrogène. Ceux-ci incluent notamment :

- Une coopération bilatérale autour des questions énergétiques, réunissant les ministères des deux pays et coordonnant toutes les actions et initiatives découlant de l'accord, et incluant en particulier des clauses économiques sur les montants subventionnés, et les accords commerciaux
- Des transferts de technologies, dans le cadre de la R&D, des études de faisabilité ou de potentiel qui permettent d'évaluer le potentiel du pays en matière de production d'hydrogène, et des projets d'imports-exports ; sont en particulier estimées les ressources renouvelables pour la fabrication d'hydrogène vert
- Des transferts de compétences, à travers des échanges universitaires (professeurs, étudiants) ; certains accords ouvrent des bourses d'études ou créent des pôles d'excellence académique sur l'hydrogène

Figure 33 : Domaines prioritaires pour des accords bilatéraux internationaux

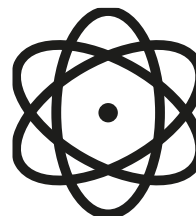
Accords académiques

- ✓ Programmes d'échanges de professeurs et d'élèves entre les deux pays
- ✓ Création d'un pôle stratégique d'excellence hydrogène
- ✓ Bourses et soutien financier aux étudiants



Accords technologiques

- ✓ Transferts explicites de technologie
- ✓ Programmes de formation et de montée en compétences techniques
- ✓ Etudes de faisabilité et de potentiel renouvelable



Accords économiques

- ✓ Subventions et/ou prêts pour faciliter les activités de recherche et développement
- ✓ Objectifs mutuels d'imports-exports de volumes d'hydrogène bas carbone et ses dérivés
- ✓ Financement des projets et infrastructures de production



Source : Analyse AFRY

De manière générale, les accords bilatéraux permettront de lancer la dynamique de développement de la filière hydrogène, en crédibilisant la stratégie et l'attractivité de l'Etat mauritanien. Les investisseurs et développeurs des pays signataires d'accords auront ainsi tendance à favoriser la Mauritanie plutôt que ses concurrents.

7. Le plan d'action de la filière hydrogène

7.1 Synthèse des priorités de la feuille de route

Afin de produire plusieurs millions de tonnes d'hydrogène vert et de ses dérivés en Mauritanie, cinq grandes actions sont prérequis et critiques :

- **La mise en place d'un cadre juridique adapté**, notamment par la réforme du Code de l'électricité
- **La clarification et la simplification du cadre contractuel**, en instaurant des règles et procédures sur toute la chaîne de décision de la signature des projets d'hydrogène (procédure d'appel d'offres, définition de la stratégie de rémunération de l'Etat et des avantages fiscaux, etc.)
- **La définition de normes strictes répondant aux standards internationaux**, par la promulgation du décret de classification des installations à risques et par le pilotage de la certification des infrastructures de l'ensemble de la chaîne de valeur
- **La création d'un cadre institutionnel de l'hydrogène**, en instaurant les trois entités identifiées (Direction Hydrogène, Agence Hydrogène, Départements Hydrogène) et en assurant une collaboration efficace avec l'ensemble des organismes concernés de l'Etat
- **L'accélération de la formation et de l'enseignement supérieur aux métiers de l'hydrogène**, afin d'anticiper d'éventuel goulot d'étranglement en termes d'emplois tout en garantissant un accès équitable et inclusif aux formations et aux emplois

En parallèle, l'Etat Mauritanien devra veiller au renforcement de ses infrastructures (ports, chemin de fer, etc.), afin d'éviter d'éventuels retards dus à un sous-dimensionnement.

La signature d'accords bilatéraux, et l'organisation ou la participation aux principaux lieux de rencontre entre investisseurs et acteurs publics permettront d'asseoir la crédibilité du pays dans la filière hydrogène tout en accélérant son développement commercial.

L'ensemble de ces actions permettra ensuite de piloter la construction de projets, en veillant en particulier à transférer les compétences et les technologies de l'hydrogène et de ses dérivés au tissu socio-économique mauritanien.

Ainsi, onze grandes thématiques ont été identifiées comme structurantes pour le plan d'action :

- La gouvernance
- La formation
- Les contrats, législation et normes
- Les accords internationaux
- L'électricité renouvelable
- L'eau dessalée
- L'hydrogène et ammoniac
- Le méthanol et électro-carburants
- L'acier vert
- Le nitrate d'ammonium
- Les infrastructures transverses

Dans les sections suivantes, les mesures détaillées du plan d'action seront détaillées. Des estimations de durées et de dates de début sont indiquées, et des responsables ont été proposés pour chaque mesure. Des indicateurs clés de performance ont été identifiés afin de garantir la contribution au développement durable de la Mauritanie, ainsi qu'une évaluation des risques associés à chaque mesure.

7.2 Calendrier général

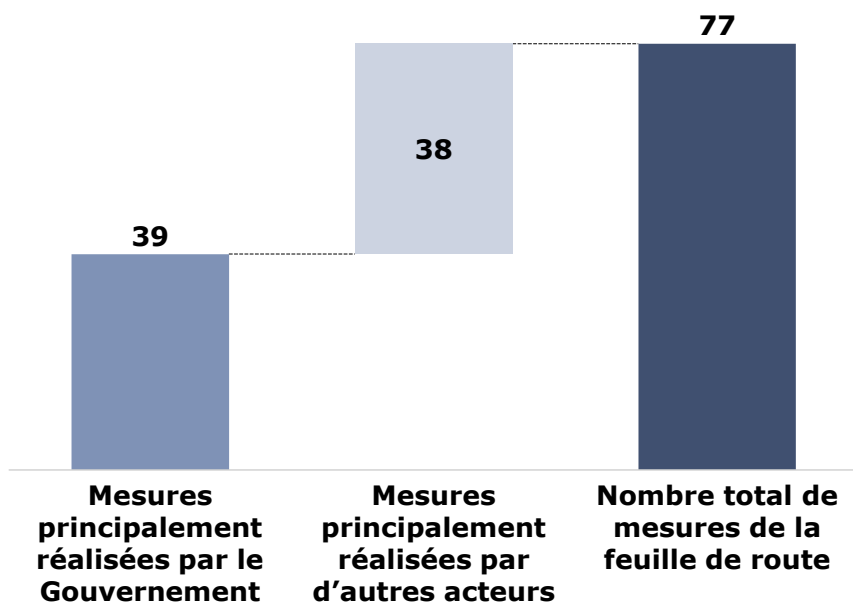
Un calendrier général est listé ci-dessous, présentant chaque mesure.

Les mesures labélisées « Hydrogen Master Plan » dans la figure ci-dessous correspondent aux mesures dites « industrielles » (études de faisabilité, tests et démonstrateurs, EPC, certification, construction, etc.).

Les mesures hachurées en bleu clair dans la figure ci-dessous correspondent à des actions dont le pilotage se fait de manière continue à partir du lancement de l'action. Il s'agit donc d'actions dont la réalisation ne serait pas achevée avant 2050, soit la limite du périmètre temporel de la présente feuille de route. Selon l'organisme responsable du pilotage, il existe deux types de mesures :

- **39 mesures réalisées directement par le Gouvernement Mauritanien** (1 à 19 ; 21 à 37 ; 42 ; 75 et 76)
- 38 mesures pilotées par d'autres acteurs, notamment les développeurs (les autres mesures)

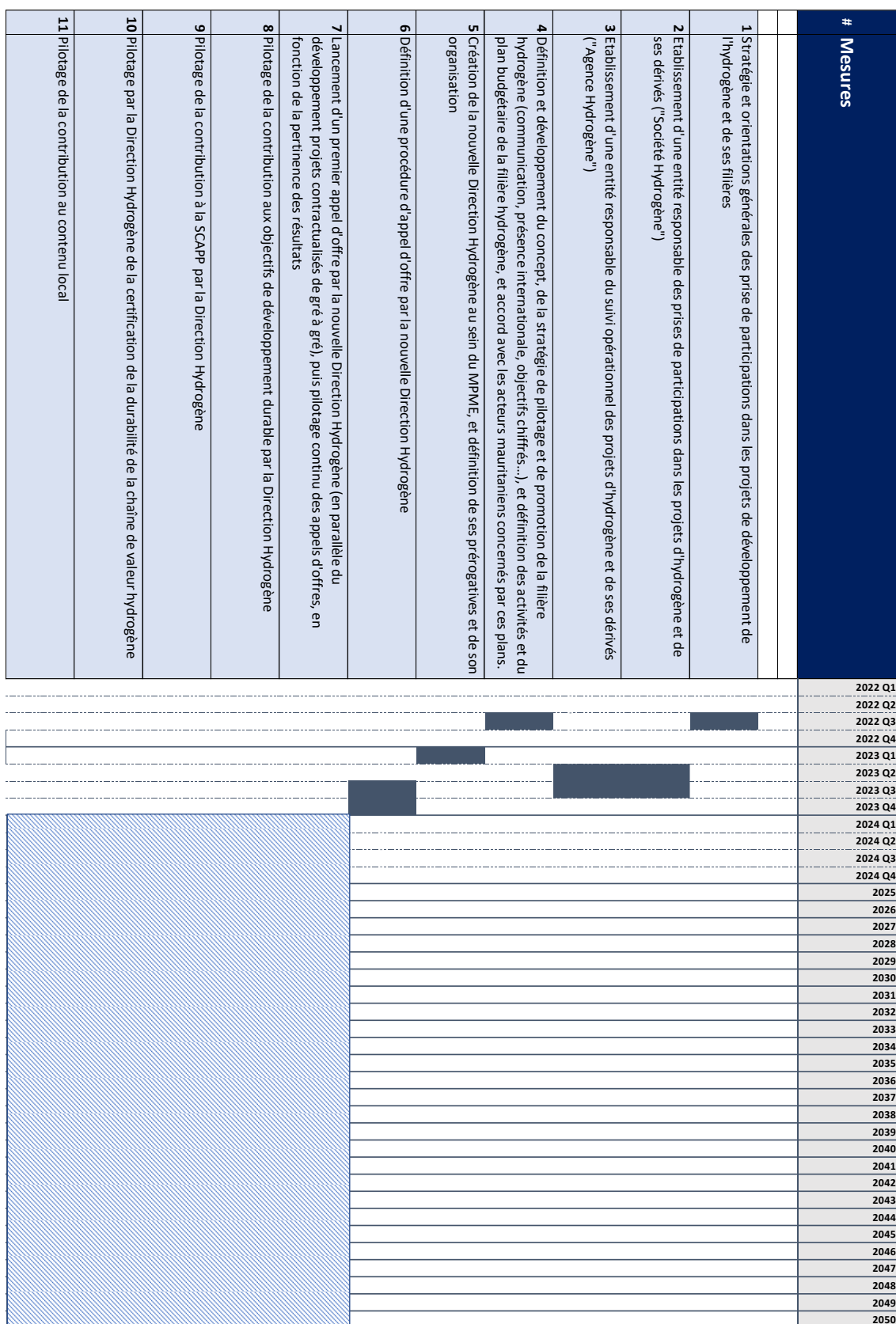
Figure 34 : Répartition du nombre de mesures de la feuille de route, selon l'organisme principal de pilotage



Les numéros des mesures sont explicités dans le calendrier détaillé ci-après.

Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel des tableaux ci-dessous.

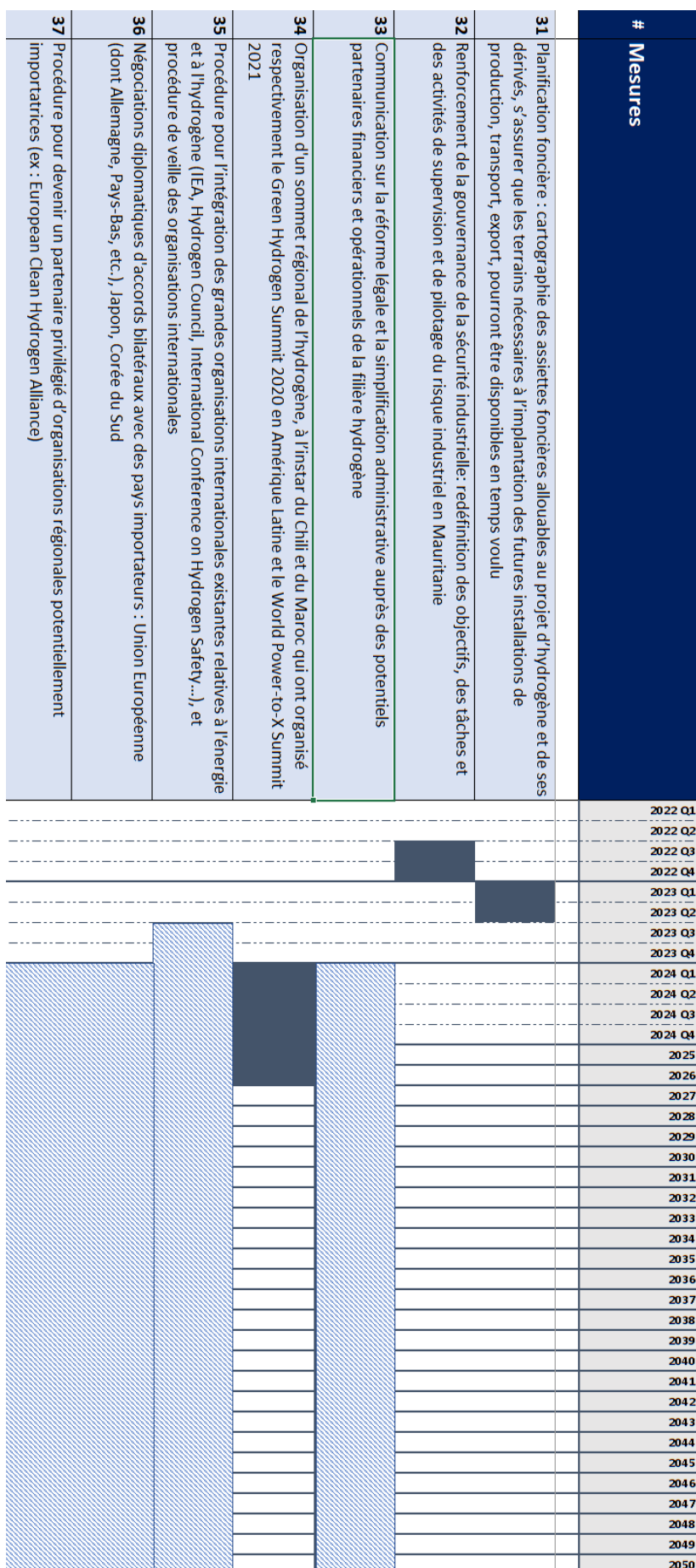
Figure 35 : Calendrier général de la feuille de route



# Mesures	2022 Q1	2022 Q2	2022 Q3	2022 Q4	2023 Q1	2023 Q2	2023 Q3	2023 Q4	2024 Q1	2024 Q2	2024 Q3	2024 Q4	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050		
12	Planification et création du contenu du programme de formation accélérée aux métiers de l'hydrogène pour les centres professionnels existants																																							
13	Elaboration d'un plan de formation accéléré pour la réinsertion professionnelle de la population active en recherche d'emploi																																							
14	Construction et repurposing de lieux existants des centres de formation professionnelle aux techniques des énergies renouvelables, de l'hydrogène, et de l'ammoniac																																							
15	Création et supervision d'une filière transverse de formation professionnelle aux règles de sécurité destinée aux travailleurs opérant sur une installation de production, de stockage, d'export																																							
16	Création et supervision d'une filière transverse de l'enseignement supérieur dédiée aux risques industriels au sein des nouveaux départements hydrogène des universités																																							
17	Plan pour la création d'une filière hydrogène au sein de l'enseignement supérieur et l'élargissement des prérogatives des universités et écoles mauritaniennes pour l'intégration de départements hydrogène																																							
18	Création de Départements Hydrogène au sein des universités et écoles mauritaniennes																																							

#	Mesures	2022 Q1	2022 Q2	2022 Q3	2022 Q4	2023 Q1	2023 Q2	2023 Q3	2023 Q4	2024 Q1	2024 Q2	2024 Q3	2024 Q4	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050		
19	Recrutement de professeurs et d'enseignants-chercheurs additionnels pour les Départements hydrogène																																								
20	Lancement des cours, des travaux de recherche (projets de recherche, études des conditions spécifiques mauritaniennes...), de la veille technologique, et des partenariats avec des acteurs privés et publics internationaux																																								
21	Réforme du Code de l'Electricité : Mentionner les licences à accorder aux autoproducteurs parmi les exceptions à l'octroi de licences par appel publique à candidature																																								
22	Réforme du Code de l'Electricité : Définir les montants de redevances calculées sur les revenus de fourniture du surplus d'électricité																																								
23	Identification des systèmes normatifs relatifs à la sécurité des établissements concernés par la production et le transport d'hydrogène et de ses produits dérivés																																								
24	Rédaction et promulgation du décret définissant la procédure de classification des ICPE																																								

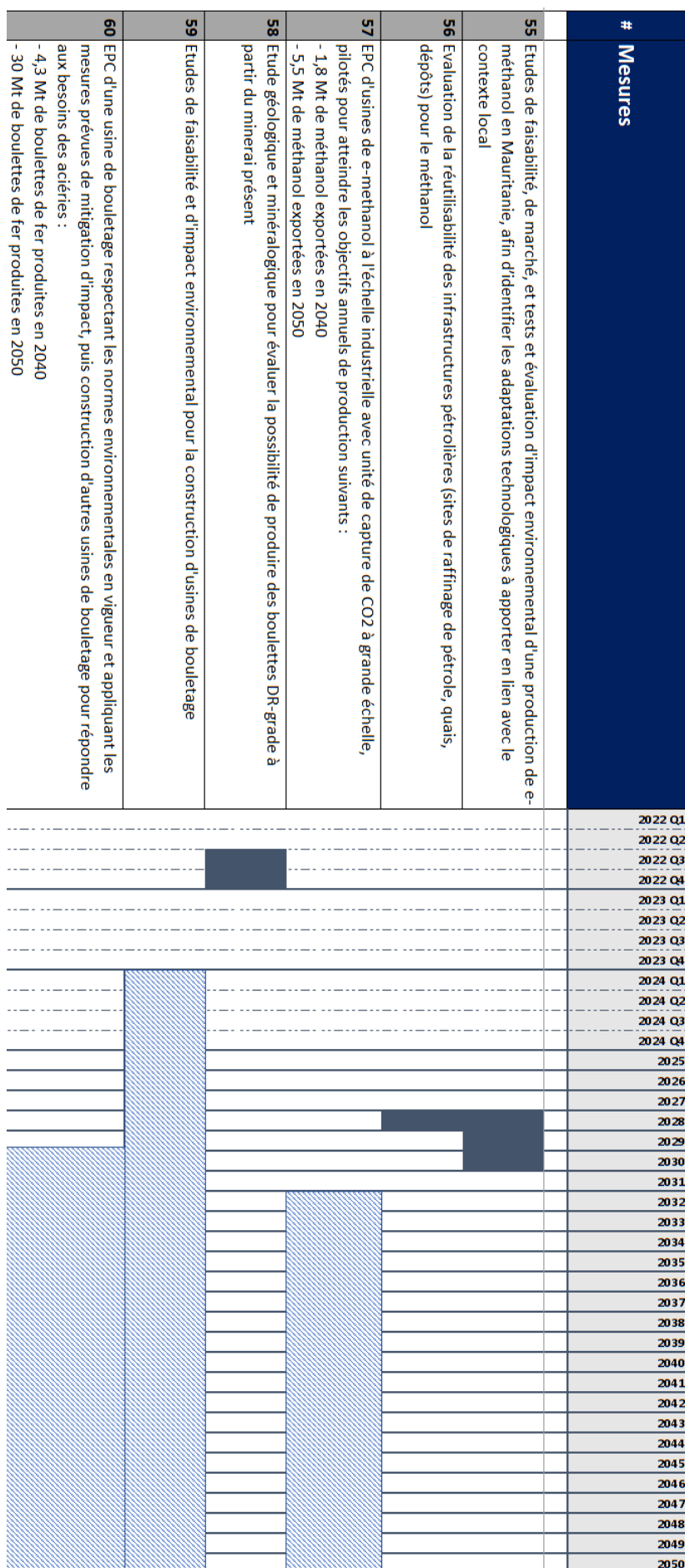
#	Mesures	2022 Q1	2022 Q2	2022 Q3	2022 Q4	2023 Q1	2023 Q2	2023 Q3	2023 Q4	2024 Q1	2024 Q2	2024 Q3	2024 Q4	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050		
25	Rédaction d'un contrat de vente d'électricité type avec la Somelec																																								
26	Rédaction d'un contrat de vente d'eau potable type avec la SNDE																																								
27	Réforme de l'autorisation d'occupation du domaine public maritime : certaines assurances devraient être données à l'investisseur sur le renouvellement de l'autorisation d'occupation de manière à ce que cette durée corresponde à celle de l'occupation des terrains d'assiette des autres installations du projet et des terrains requis, le cas échéant pour réaliser l'usine de dessalement.																																								
28	Rédaction et publication de conventions-cadres types pour les projets d'hydrogène																																								
29	Définition d'un processus de permis standardisé pour l'autorisation de développement et raccordement des électricités renouvelables																																								
30	Définition d'un bail emphytéotique standard à destination des développeurs d'hydrogène et de ses dérivés (incluant la définition de la redevance applicable)																																								



#	Mesures	2022 Q1	2022 Q2	2022 Q3	2022 Q4	2023 Q1	2023 Q2	2023 Q3	2023 Q4	2024 Q1	2024 Q2	2024 Q3	2024 Q4	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050		
HYDROGEN MASTER PLAN																																									
38	Etude de faisabilité et d'impact environnemental pour l'implantation des premières et futures infrastructures de production d'énergies renouvelables et d'électrolyse																																								
39	Identification des zones géographiques en situation de pénurie d'électricité ou de non-raccordement au réseau et quantification des besoins en alimentation en électricité																																								
40	EPC des installations de production d'électricité renouvelable (éolien, solaire PV, transport) de manière continue, et pilotés par les objectifs de capacité installée suivants : - 13 GW d'électricité renouvelable hybride en 2030 - 36 GW d'électricité renouvelable hybride en 2040 - 70 GW d'électricité renouvelable hybride en 2050																																								
41	Raccordement au réseau et alimentation des zones géographiques en pénurie d'électricité à l'aide de l'électricité fatale de l'électrolyse Sous la condition que la production des dérivés de l'hydrogène (acier vert, méthanol, ammoniac, nitrate d'ammonium) et d'eau potable ne consomme pas la totalité de l'électricité fatale issue de l'électrolyse																																								
42	Mise à jour du plan national de l'eau : identification et quantification des besoins en eau en Mauritanie, et notamment dans les zones en situation de stress hydrique (notamment celles adjacentes à Nouadhibou) et dans les sites miniers ; construction d'un schéma directeur des infrastructures hydrauliques et estimation des besoins de financement																																								

90 | Page

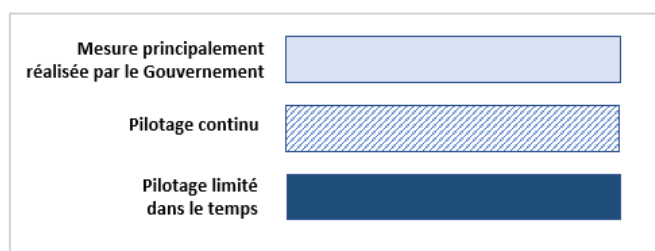
91 | Page



#	Mesures	2022 Q1	2022 Q2	2022 Q3	2022 Q4	2023 Q1	2023 Q2	2023 Q3	2023 Q4	2024 Q1	2024 Q2	2024 Q3	2024 Q4	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050		
61	Définition de la stratégie de production de l'acier et du type de produit destiné à l'export d'acier vert (feuille, tôle, produits longs...) en fonction de l'attractivité technico-économique																																								
62	Etudes de faisabilité et étude d'impact environnemental pour la construction d'aciéries vertes près du port de Nouadhibou																																								
63	EPC d'aciéries vertes incluant des phases de test relatives aux particularités du fer mauritanien (pouvant être réalisée à l'étranger), puis construction d'autres aciéries vertes à l'échelle, pilotés pour atteindre les objectifs suivants : - 2,7 Mt d'acier exportées en 2040 (soit 1 aciérie) - 18,7 Mt d'acier exportées en 2050 (soit 6 à 7 aciéries)																																								
64	Etudes de faisabilité/rentabilité de l'augmentation de la capacité et du passage à l'hydrogène ou à d'autres carburants durables des trains de la SNIM (pour la prise en compte des exigences du futur label acier vert)																																								
65	Conversion et certification du chemin de fer Zouerate-Nouadhibou en un transport durable utilisant des carburants bas carbone																																								
66	Travaux de renforcement de la capacité du chemin de fer Zouerate-Nouadhibou pour pouvoir y transporter différents produits (hydrogène, eau, ...), et mettre à niveau sa capacité																																								

#	Mesures	2022 Q1	2022 Q2	2022 Q3	2022 Q4	2023 Q1	2023 Q2	2023 Q3	2023 Q4	2024 Q1	2024 Q2	2024 Q3	2024 Q4	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050		
67	Etude de faisabilité et de rentabilité de l'augmentation de la capacité et du passage à des énergies durables pour les engins miniers (et la prise en compte des exigences du futur label acier vert)																																								
68	La conversion, le renforcement et la certification des engins miniers devront être initiés au début des années 2030, en prévision de la montée en puissance de la filière de l'acier vert, dont la première usine à taille industrielle serait mise en service vers 2040																																								
69	Etude de faisabilité sur la production de DAP à parti du phosphate présent dans le pays Opportunité à explorer uniquement si des investissements pour l'extraction sont considérés																																								
70	Etude de faisabilité d'une usine de nitrate d'ammonium, Recherche d'investisseurs, conception																																								
71	EPC d'une usine de nitrate d'ammonium, puis de plusieurs, pilotées pour atteindre les objectifs suivants : - 66 000 t de nitrate d'ammonium en 2030 - 90 000 t de nitrate d'ammonium en 2040 - 108 000 t de nitrate d'ammonium en 2050																																								
72	Planification de la construction d'espaces de stockage de nitrate d'ammonium sécurisés et à distance de la population																																								

#	Mesures	2022 Q1	2022 Q2	2022 Q3	2022 Q4	2023 Q1	2023 Q2	2023 Q3	2023 Q4	2024 Q1	2024 Q2	2024 Q3	2024 Q4	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050		
72	Planification de la construction d'espaces de stockage de nitrate d'ammonium sécurisés et à distance de la population																																								
73	Identification des renforcements de capacité - tel que la profondeur, la superficie - nécessaires des ports de Nouakchott et Nouadhibou pour pouvoir exporter l'hydrogène vert et ses dérivés, Nouadhibou demeurant la zone prioritaire d'études																																								
74	Qualification, quantification et définition de mesures d'atténuation relatives à l'impact socio-environnemental des ports, suivant les normes internationales de durabilité existantes ou à venir (protection de l'environnement, énergie et matériaux renouvelables, conditions de travail, etc.) pour garantir le label "Hydrogène vert"																																								
75	Définition d'une procédure d'autorisation d'implantation dans la zone du port, via une concertation avec les principaux acteurs, pour garantir des synergies (notamment énergétiques) entre les différentes usines et infrastructures																																								
76	Définition d'un modèle de financement pour les renforcements nécessaires à effectuer concernant les infrastructures portuaires																																								
77	EPC des infrastructures portuaires, pour exporter l'hydrogène vert et ses dérivés, prenant en compte les mesures d'atténuation et de conformité aux normes internationales relatives au label "hydrogène vert" et le renforcement des capacités portuaires																																								



Source : Analyse AFRY en co-construction avec le MPME. En hachuré, les mesures devant être pilotées de manière continue jusqu'en 2050 a minima. En bleu marine, des actions devant être pilotées dans un laps de temps fini.

7.3 La liste détaillée des mesures et gouvernance associée

Dans la présente section, une proposition d'institutions responsables est formulée pour chaque mesure du plan d'action de la feuille de route. Ces propositions ne sauraient couvrir de manière exhaustive le champ des acteurs concernés par les mesures. Il reviendra aux institutions de la filière hydrogène (Direction Hydrogène, Société Hydrogène, Agence Hydrogène, Départements Hydrogène) d'identifier les organismes concernés par la conduite de chaque mesure.

Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel des tableaux ci-dessous.

Gouvernance

Mesures*	Sous-chantier	Principaux responsables
Stratégie et orientations générales des prises de participations dans les projets de développement de l'hydrogène et de ses filières	Participations capitalistiques de l'Etat	MPME
Etablissement d'une entité responsable des prises de participations dans les projets d'hydrogène et de ses dérivés ("Société Hydrogène")	Participations capitalistiques de l'Etat	MPME
Etablissement d'une entité responsable du suivi opérationnel des projets d'hydrogène et de ses dérivés ("Agence Hydrogène")	Pilotage et promotion	MPME

Définition et développement du concept, de la stratégie de pilotage et de promotion de la filière hydrogène (communication, présence internationale, objectifs chiffrés...), et définition des activités et du plan budgétaire de la filière hydrogène, et accord avec les acteurs mauritaniens concernés par ces plans.	Pilotage et promotion	MPME
Création de la nouvelle Direction Hydrogène au sein du MPME, et définition de ses prérogatives et de son organisation	Pilotage et promotion	MPME
Définition d'une procédure d'appel d'offres par la nouvelle Direction Hydrogène	Pilotage et promotion	Direction Hydrogène
Lancement d'un premier appel d'offres par la nouvelle Direction Hydrogène (en parallèle du développement projets contractualisés de gré à gré), puis pilotage continu des appels d'offres, en fonction de la pertinence des résultats	Pilotage et promotion	Direction Hydrogène
Pilotage de la contribution aux objectifs de développement durable par la Direction Hydrogène	Pilotage et promotion	Direction Hydrogène, Agence Hydrogène
Pilotage de la contribution à la SCAPP par la Direction Hydrogène	Pilotage et promotion	Direction Hydrogène, Agence Hydrogène

Pilotage par la Direction Hydrogène de la certification de la durabilité de la chaîne de valeur hydrogène	Pilotage et promotion	Direction Hydrogène
Pilotage de la contribution au contenu local	Pilotage et promotion	Direction Hydrogène, Agence Hydrogène

**Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel du tableau.*

Formation

Mesures*	Sous-chantier	Principaux responsables
Planification et création du contenu du programme de formation accélérée aux métiers de l'hydrogène pour les centres professionnels existants	Centres de formation professionnelle	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de la Fonction Publique et du Travail, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Elaboration d'un plan de formation accéléré pour la réinsertion professionnelle de la population active en recherche d'emploi	Centres de formation professionnelle	
Construction et repurposing de lieux existants des centres de formation professionnelle aux techniques des énergies renouvelables, de l'hydrogène, et de l'ammoniac	Centres de formation professionnelle	
Création et supervision d'une filière transverse de formation professionnelle aux règles de sécurité destinée aux travailleurs opérant sur une installation de production, de stockage, d'export	Centres de formation professionnelle	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de la Fonction Publique et du Travail, Ministère du

Création et supervision d'une filière transverse de l'enseignement supérieur dédiée aux risques industriels au sein des nouveaux départements hydrogène des universités	Enseignement supérieur	Commerce, de l'Industrie et du Tourisme
Plan pour la création d'une filière hydrogène au sein de l'enseignement supérieur et l'élargissement des prérogatives des universités et écoles mauritaniennes pour l'intégration de départements hydrogène	Enseignement supérieur	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Création de Départements Hydrogène au sein des universités et écoles mauritaniennes	Enseignement supérieur	
Recrutement de professeurs et d'enseignants-chercheurs additionnels pour les Départements hydrogène	Enseignement supérieur	Universités (Départements Hydrogène), Direction Hydrogène (MPME), Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Lancement des cours, des travaux de recherche (projets de recherche, études des conditions spécifiques mauritaniennes...), de la veille technologique, et des partenariats avec des acteurs privés et publics internationaux	Enseignement supérieur	Départements Hydrogène

**Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel du tableau.*

Contrats, législation et normes

Mesures*	Sous-chantier	Principaux responsables
----------	---------------	-------------------------

Réforme du Code de l'Electricité : Mentionner les licences à accorder aux auto-producteurs parmi les exceptions à l'octroi de licences par appel publique à candidature	Code de l'électricité	MPME
Réforme du Code de l'Electricité : Définir les montants de redevances calculées sur les revenus de fourniture du surplus d'électricité	Code de l'électricité	MPME
Identification des systèmes normatifs relatifs à la sécurité des établissements concernés par la production et le transport d'hydrogène et de ses produits dérivés	HSE, Code de l'Environnement	MPME, Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Tourisme
Rédaction et promulgation du décret définissant la procédure de classification des ICPE	HSE, Code de l'Environnement	MPME, Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Tourisme
Rédaction d'un contrat de vente d'électricité type avec la Somelec	Contrats	Direction Hydrogène, Développeurs, SOMELEC
Rédaction d'un contrat de vente d'eau potable type avec la SNDE	Contrats	Direction Hydrogène, Développeurs, SNDE
Réforme de l'autorisation d'occupation du domaine public maritime : certaines assurances devraient être données à l'investisseur sur le renouvellement de l'autorisation d'occupation de manière à ce que cette durée corresponde à celle de l'occupation des terrains d'assiette des autres installations du projet et des	Autorisations	Direction Hydrogène, Ministère des Pêches et de l'Économie Maritime

terrains requis, le cas échéant pour réaliser l'usine de désalinisation.		
Rédaction et publication de conventions-cadres types pour les projets d'hydrogène	Contrats	Direction Hydrogène
Définition d'un processus de permis standardisé pour l'autorisation de développement et raccordement des énergies renouvelables	Autorisations	MPME
Définition d'un bail emphytéotique standard à destination des développeurs d'hydrogène et de ses dérivés (incluant la définition de la redevance applicable)	Autorisations	Direction Hydrogène
Planification foncière : cartographie des assiettes foncières allouables au projet d'hydrogène et de ses dérivés, s'assurer que les terrains nécessaires à l'implantation des futures installations de production, transport, export, pourront être disponibles en temps voulu	Autorisations	Direction Hydrogène
Renforcement de la gouvernance de la sécurité industrielle: redéfinition des objectifs, des tâches et des activités de supervision et de pilotage du risque industriel en Mauritanie	HSE, Code de l'Environnement	Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Tourisme
Communication sur la réforme légale et la simplification administrative auprès des potentiels partenaires financiers et opérationnels de la filière hydrogène	-	Direction Hydrogène

**Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel du tableau.*

Accords internationaux

Mesures	Sous-chantier	Principaux responsables
Organisation d'un sommet régional de l'hydrogène, à l'instar du Chili et du Maroc qui ont organisé respectivement le Green Hydrogen Summit 2020 en Amérique Latine et le World Power-to-X Summit 2021	Organisation d'évènements	Direction Hydrogène, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Procédure pour l'intégration des grandes organisations internationales existantes relatives à l'énergie et à l'hydrogène (IEA, Hydrogen Council, International Conference on Hydrogen Safety...), et procédure de veille des organisations internationales	Partenariats & Organisations	
Négociations diplomatiques d'accords bilatéraux avec des pays importateurs : Union Européenne (dont Allemagne, Pays-Bas, etc.), Japon, Corée du Sud	Partenariats & Organisations	
Procédure pour devenir un partenaire privilégié d'organisations régionales potentiellement importatrices (ex : European Clean Hydrogen Alliance)	Partenariats & Organisations	

**Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel du tableau.*

Electricité renouvelable

Mesures	Sous-chantier	Principaux responsables
---------	---------------	-------------------------

Etude de faisabilité et d'impact environnemental pour l'implantation des premières et futures infrastructures de production d'énergies renouvelables et d'électrolyse	Production d'électricité renouvelable	Direction Hydrogène, Développeurs, SOMELEC, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Identification des zones géographiques en situation de pénurie d'électricité ou de non-raccordement au réseau et quantification des besoins en alimentation en électricité	Electricité fatale	Direction Hydrogène, Développeurs, SOMELEC, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
EPC des installations de production d'électricité renouvelable (éolien, solaire PV, transport) de manière continue, et pilotés par les objectifs de capacité installée suivants : - 13 GW d'électricité renouvelable hybride en 2030 - 36 GW d'électricité renouvelable hybride en 2040 - 70 GW d'électricité renouvelable hybride en 2050	Production d'électricité renouvelable	Direction Hydrogène, Développeurs, SOMELEC, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Raccordement au réseau et alimentation des zones géographiques en pénurie d'électricité à l'aide de l'électricité fatale de l'électrolyse <i>Sous la condition que la production des dérivés de l'hydrogène (acier vert, méthanol, ammoniac, nitrate d'ammonium) et d'eau potable ne consomme pas la totalité de l'électricité fatale issue de l'électrolyse</i>	Electricité fatale	Direction Hydrogène, Développeurs, SOMELEC, Agence Hydrogène, Société Hydrogène

Eau dessalée

Mesures*	Sous-chantier	Principaux responsables
----------	---------------	-------------------------

Mise à jour du plan national de l'eau : identification et quantification des besoins en eau en Mauritanie, et notamment dans les zones en situation de stress hydrique (notamment celles adjacentes à Nouadhibou) et dans les sites miniers ; construction d'un schéma directeur des infrastructures hydrauliques et estimation des besoins de financement	-	Ministre de l'Hydraulique et de l'Assainissement, SNDE
Etude de faisabilité et d'impact environnemental pour une usine de dessalement, à effectuer dans chaque nouvelle localisation	-	Direction Hydrogène, Développeurs, SNDE, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Phases de test pour le dessalement d'eau de mer (capacité : quelques dizaines de m3 par jour) à effectuer dans chaque nouvelle localisation	-	Direction Hydrogène, Développeurs, SNDE, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Signature des premiers contrats moyen/long terme en approvisionnement à grande échelle des membranes et composants pour l'osmose inverse	-	Direction Hydrogène, Développeurs, SNDE, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
EPC d'une, puis de plusieurs unités de dessalement d'eau de mer (au moins à Nouadhibou en premier lieu) pour remplir les objectifs suivants : - 39 millions de mètres cubes par an en 2030 - 104 millions de mètres cubes par an en 2040 - 229 millions de mètres cubes par an en 2050	-	Direction Hydrogène, Développeurs, SNDE, Agence Hydrogène, Société Hydrogène

EPC des pipelines de transport d'eau selon les orientations précisées lors de la mise à jour du plan national de l'eau et conformément aux réglementations environnementales en vigueur	-	Développeurs, Direction Hydrogène, SNDE, Agence Hydrogène
---	---	--

**Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel du tableau.*

Hydrogène et ammoniac

Mesures	Sous-chantier	Principaux responsables
Etude pour l'évaluation et la quantification du potentiel de stockage de CO2 pour produire l'hydrogène bleu	H2 bleu	Développeurs, Direction Hydrogène, Agence Hydrogène
Etude pour évaluation et quantification du potentiel d'élimination du carbone solide issu de la pyrolyse du méthane en Mauritanie (ou à l'export)	H2 turquoise	Développeurs, Direction Hydrogène, Agence Hydrogène
EPC d'électrolyseurs incluant une phase de calibration des cellules, pilotés pour atteindre les objectifs de production suivants : - 1,2 Mt d'hydrogène en 2030, quasi exclusivement pour l'export - 3,3 Mt d'hydrogène en 2040, dont 2,8 Mt pour l'export - 6,5 Mt d'hydrogène 2050, dont 4,3 Mt pour l'export	H2 vert	Développeurs, Direction Hydrogène, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Sécuriser un approvisionnement en équipement d'électrolyse avec un/des industriels	H2 vert	Développeurs

Sécurisation des premiers contrats d'export d'ammoniac	Ammoniac	Développeurs, Société Hydrogène
EPC d'usines de production d'ammoniac (Haber-Bosch, séparation de l'air) essentiellement pour l'export : - 6,8 Mt d'ammoniac en 2030 - 15,9 Mt d'ammoniac en 2040 - 24,4 Mt d'ammoniac en 2050	Ammoniac	Développeurs, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Evaluer l'attractivité technico-économique de la construction d'un pipeline hydrogène connectant la Mauritanie à la péninsule ibérique, et le cas échéant construire le pipeline	H2 vert	Développeurs, Direction Hydrogène, Agence Hydrogène, Société Hydrogène

Méthanol et électro-carburants

Mesures	Sous-chantier	Principaux responsables
Etudes de faisabilité, de marché, tests et évaluation d'impact environnemental d'une production de e-méthanol en Mauritanie, afin d'identifier les adaptations technologiques à apporter en lien avec le contexte local	-	Direction Hydrogène, Agence Hydrogène, Développeurs, Société Hydrogène
Evaluation de la réutilisabilité des infrastructures pétrolières (sites de raffinage de pétrole, quais, dépôts) pour le méthanol	-	Direction Hydrogène, Agence Hydrogène, Développeurs, MPME, ports, SMH
EPC d'usines de e-méthanol à l'échelle industrielle avec unité de capture de CO2 à grande échelle, pilotés pour atteindre les objectifs annuels de production suivants : - 1,8 Mt de méthanol exportées en 2040 - 5,5 Mt de méthanol exportées en 2050	-	Direction Hydrogène, Agence Hydrogène, Développeurs, Société Hydrogène

Acier vert

Mesures	Sous-chantier	Principaux responsables
Etude géologique et minéralogique pour évaluer la possibilité de produire des boulettes DR-grade à partir du minerai présent	Bouletage	SNIM
Etudes de faisabilité et d'impact environnemental pour la construction d'usines de bouletage	Bouletage	Développeurs, Direction Hydrogène, SNIM, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
EPC d'une usine de bouletage respectant les normes environnementales en vigueur et appliquant les mesures prévues de mitigation d'impact, puis construction d'autres usines de bouletage pour répondre aux besoins des aciéries : - 4,3 Mt de boulettes de fer produites en 2040 - 30 Mt de boulettes de fer produites en 2050	Bouletage	Développeurs, Direction Hydrogène, SNIM, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Définition de la stratégie de production de l'acier et du type de produit destiné à l'export d'acier vert (feuille, tôle, produits longs...) en fonction de l'attractivité technico-économique	Acier	Développeurs, Direction Hydrogène, SNIM, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Etudes de faisabilité et études d'impact environnemental pour la construction d'aciéries vertes près du port de Nouadhibou	Acier	Développeurs, Direction Hydrogène, SNIM, Agence Hydrogène, Société Hydrogène

EPC d'aciéries vertes incluant des phases de test relatives aux particularités du fer mauritanien (pouvant être réalisés à l'étranger), puis construction d'autres aciéries vertes à l'échelle, pilotés pour atteindre les objectifs suivants : - 2,7 Mt d'acier exportées en 2040 (soit 1 aciérie) - 18,7 Mt d'acier exportées en 2050 (soit 6 à 7 aciéries)	Acier	Développeurs, Direction Hydrogène, SNIM, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Etudes de faisabilité/rentabilité de l'augmentation de la capacité et du passage à l'hydrogène ou à d'autres carburants durables des trains de la SNIM (pour la prise en compte des exigences du futur label acier vert)	Chemin de fer	Développeurs, Direction Hydrogène, SNIM, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Conversion et certification du chemin de fer Zouerate-Nouadhibou en un transport durable utilisant des carburants bas carbone	Chemin de fer	Développeurs, Direction Hydrogène, SNIM, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Travaux de renforcement de la capacité du chemin de fer Zouerate-Nouadhibou pour pouvoir y transporter différents produits (hydrogène, eau, ...), et mettre à niveau sa capacité	Chemin de fer	Développeurs, Direction Hydrogène, SNIM, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Etude de faisabilité et de rentabilité de l'augmentation de la capacité et du passage à des énergies durables pour les engins miniers (et la prise en compte des exigences du futur label acier vert)	Engins miniers	Développeurs, Direction Hydrogène, SNIM, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
La conversion, le renforcement et la certification des engins miniers devront être initiés au début des années 2030, en prévision de la montée en puissance de la filière de l'acier vert, dont la première usine à taille industrielle serait mise en service vers 2040	Engins miniers	Développeurs, Direction Hydrogène, SNIM, Agence Hydrogène, Société Hydrogène

Nitrate d'ammonium

Mesures	Sous-chantier	Principaux responsables
Etude de faisabilité sur la production de DAP à partir du phosphate présent dans le pays <i>Opportunité à explorer uniquement si des investissements pour l'extraction sont considérés</i>	Engrais phosphatés	SNIM
Etude de faisabilité d'une usine de nitrate d'ammonium, Recherche d'investisseurs, conception	Explosifs	Développeurs, Direction Hydrogène, Agence Hydrogène, Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Tourisme, Société Hydrogène
EPC d'une usine de nitrate d'ammonium, puis de plusieurs, pilotées pour atteindre les objectifs suivants : - 66 000 t de nitrate d'ammonium en 2030 - 90 000 t de nitrate d'ammonium en 2040 - 108 000 t de nitrate d'ammonium en 2050	Explosifs	Développeurs, Agence Hydrogène, Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Tourisme, Société Hydrogène
Planification de la construction d'espaces de stockage de nitrate d'ammonium sécurisés et à distance de la population	Explosifs	Développeurs, Agence Hydrogène, Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Tourisme, Société Hydrogène

Infrastructures transverses

Mesures*	Sous-chantier	Principaux responsables
----------	---------------	-------------------------

Identification des renforcements de capacité - tels que la profondeur, la superficie nécessaires des ports de Nouakchott et Nouadhibou pour pouvoir exporter l'hydrogène vert et ses dérivés, Nouadhibou demeurant la zone prioritaire d'études	Ports	Développeurs, Ports concernés, Direction Hydrogène, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Qualification, quantification et définition de mesures d'atténuation relatives à l'impact socio-environnemental des ports, suivant les normes internationales de durabilité existantes ou à venir (protection de l'environnement, énergie et matériaux renouvelables, conditions de travail, etc.) pour garantir le label "Hydrogène vert"	Ports	
Définition d'une procédure d'autorisation d'implantation dans la zone du port, via une concertation avec les principaux acteurs, pour garantir des synergies (notamment énergétiques) entre les différentes usines et infrastructures	Ports	Ministère des Pêches et de l'Économie Maritime, Ports concernés, Direction Hydrogène
Définition d'un modèle de financement pour les renforcements nécessaires à effectuer concernant les infrastructures portuaires	Ports	
EPC des infrastructures portuaires, pour exporter l'hydrogène vert et ses dérivés, prenant en compte les mesures d'atténuation et de conformité aux normes internationales relatives au label "hydrogène vert" et le renforcement des capacités portuaires	Ports	Développeurs, Ports concernés, Direction Hydrogène, Agence Hydrogène

**Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel du tableau.*

7.4 Indicateurs clés de performance

Dans la présente section, une proposition d'indicateurs clés de performance est formulée. Ceux-ci ont pour objectif de piloter la contribution de la filière hydrogène et de ses dérivés aux critères de développement durable de la Mauritanie.

La Direction Hydrogène, avec l'appui des organismes dédiés à l'hydrogène (Agence Hydrogène, Société Hydrogène Départements Hydrogène), sera responsable du pilotage de la feuille de route, et donc du suivi des indicateurs clés de performance.

Figure 36 : Proposition d'indicateurs clés de performance pour la feuille de route hydrogène

THEMATIQUE	INDICATEUR CLE DE PERFORMANCE (UNITE)
Maximiser les revenus du pays	– Volumes des exportations de la filière hydrogène (Mt/an) – Revenus mauritaniens générés par la filière hydrogène, tel que les royalties, dividendes, et les revenus fiscaux, etc. (MRU/USD/EUR) – Part des revenus mauritaniens dans les revenus totaux de la filière hydrogène (%)
Développer l'industrie mauritanienne	– Indice de la production industrielle (« IPI ») – Part de l'industrie dans le PIB national (%) – Volume de minerai de fer produit (Mt/an) – Volume de boulettes de fer produits (Mt/an) – Volume d'hydrogène vert produit (Mt/an) – Volume d'ammoniac produit (Mt/an) – Volume de méthanol produit (Mt/an) – Volume d'acier produit (Mt/an) – Volume de nitrate d'ammonium produit (Mt/an)
Améliorer l'accès au service public	– Densité du réseau de transport de l'électricité (km/km²) – Densité du réseau de distribution de l'électricité (km/km²) – Taux d'accès à l'électricité (% de la population des wilayas concernées) – Coût de l'électricité (MRU/MWh, dans les wilayas concernées)

	– Densité du réseau de transport de l'eau potable (km/km²) – Densité du réseau de distribution de l'eau potable (km/km²) – Taux d'accès à l'eau potable (% de la population des wilayas concernées) – Coût de l'eau potable (MRU/m³, dans les wilayas concernées)
Créer des emplois et inclure la société civile	– Nombre d'emplois mauritaniens de développement et construction créés pour chaque filière de l'hydrogène (ETP) – Nombre d'emplois mauritaniens d'exploitation et de maintenance créés pour chaque filière de l'hydrogène (ETP) – Nombre d'emplois indirects mauritaniens créés (ETP) – Part des emplois mauritaniens dans le total des emplois créés (%) – Part des femmes dans les emplois mauritaniens (%)
Développer des compétences et le savoir-faire technologique	– Nombre d'étudiants mauritaniens formés aux métiers de l'hydrogène – Nombre d'étudiants mauritaniens en formation à l'étranger sur les métiers de l'hydrogène – Nombre d'enseignants-chercheurs dans les Départements Hydrogène – Nombre de publications scientifiques réalisées par les Départements Hydrogène – Nombre de professionnels mauritaniens formés aux métiers de l'hydrogène – Nombre de demandeurs d'emploi mauritaniens formés aux métiers de l'hydrogène
Décarboner l'économie mauritanienne et préserver l'environnement	– Emissions nationales de dioxyde de carbone (MtCO₂) – Emissions nationales d'autres gaz à effet de serre (Mt) – Volume d'électricité « fatale » renouvelable fournie au réseau (TWh)

	– Bilan carbone de la chaîne de valeur de la filière hydrogène²³ (MtCO₂)
Renforcer le positionnement international de la Mauritanie	– Flux financiers issus des accords bilatéraux de la filière hydrogène (MRU ou USD ou EUR) – Nombre d'événements internationaux organisés en Mauritanie en lien avec l'hydrogène

Source : Analyse AFRY

7.5 Les risques pour l'implémentation, prévention et mitigation

Les principaux risques en lien avec le déploiement de la filière hydrogène résultent principalement des lacunes juridiques ou réglementaires (telles que l'absence de décret sur la classification des installations), des lacunes d'infrastructures (telles que la nécessaire mise en conformité de toute la chaîne de valeur pour obtenir les certifications « vertes » de l'hydrogène), ou de lacunes de compétences (absence de programme de formation et d'enseignement supérieur sur l'hydrogène, potentiels goulots d'étranglement sur l'emploi).

Ainsi, adresser ces écarts en amont du déploiement de la feuille de route hydrogène permet de minimiser la probabilité d'occurrence de ces risques.

Par ailleurs, certains risques peuvent être caractérisés de « force majeure », tels que les actes de violence, les catastrophes naturelles, ou l'instabilité politique. Les effets de ces risques peuvent être anticipés, dans la mesure du prévisible, par l'élaboration de plans de continuité d'activité ou la mise en application d'un état d'urgence.

Le tableau ci-dessous présente les risques identifiés pouvant impacter le déploiement de la feuille de route hydrogène. La quantification de la conséquence sur le déploiement de la feuille de route a été estimée selon la méthodologie suivante :

- Conséquence égale à 3 : le risque produit des effets irrémediables sur le long terme (i.e. plusieurs décennies), tels que la pollution chimique des fonds marins
- Conséquence égale à 2 : le risque produit des effets irrémediables sur le court terme (i.e. quelques mois) mais remédiable sur le moyen terme (i.e. plusieurs années) ou le long terme (plusieurs décennies), tels que des retards de construction à cause de blocages administratifs, sur le moment on ne peut rien faire et l'attractivité économique est dégradée, mais sur le moyen/long terme le Gouvernement peut modifier ses textes de loi et sa réglementation pour éviter le même écueil lors de futurs projets
- Conséquence égale à 1 : le risque produit des effets remédiables sur le court terme

Figure 37 : Risques pouvant impacter l'implémentation de la feuille de route hydrogène

Source de risques et menaces	Type de risque	Catégorie de la mesure concernée	Vraisemblance	Conséquence pour le déploiement
------------------------------	----------------	----------------------------------	---------------	---------------------------------

²³ 6,5 GW d'électrolyse permettrait d'éviter l'émission de 6 millions de tonnes de dioxyde de carbone par an, d'après France Hydrogène, soit 1,5 fois les émissions mauritaniennes de CO₂ en 2018.

				de la feuille de route
Retards significatifs dans la construction dus à un manque de main d'œuvre	Retards, Financier	EPC et O&M	Probable	Moyennement critique
Emissions de contaminants et de pollution atmosphérique par les industries au-delà des normes réglementaires : acier, ammoniac, nitrate d'ammonium	Environnemental, Réputationnel	EPC et O&M	Moyennement probable	Critique
Retards significatifs dans la construction dus à des problèmes d'approvisionnement (électrolyseurs, membranes d'osmose, etc.)	Retards, Financier	EPC et O&M	Moyennement probable	Moyennement critique
Blocage administratif et/ou législatif de la construction	Retards	EPC et O&M	Peu probable	Moyennement critique
Financement insuffisant pour atteindre les objectifs, voire abandon du projet	Financier	EPC et O&M	Moyennement probable	Moyennement critique
Catastrophe environnementale ou meurtrière conduisant à la dégradation de l'attractivité du pays et freinant les investissements	Environnemental, Réputationnel	EPC et O&M	Peu probable	Critique
Retards significatifs dans la construction dus à une mauvaise application des normes HSE	Retards, Financier	EPC et O&M	Peu probable	Moyennement critique
Tests non concluants (sur les plans technologique ou économique)	Retards, Financier	Etudes de faisabilité	Peu probable	Moyennement critique
Echec des négociations autour des contrats	Financier	Gouvernance	Moyennement probable	Moyennement critique
Blocage politique ou législatif lors de la création d'un organe de gouvernance	Retards	Gouvernance	Peu probable	Critique
Manques de transparence	Réputationnel, Financier	Gouvernance	Moyennement probable	Moyennement critique

Instabilité politique	Réputationnel, Retards	Gouvernance	Moyennement probable	Critique
Opposition de l'opinion publique à cause : des expropriations potentielles, des externalités négatives de l'activité industrielle, de l'absence de retombées économiques positives	Réputationnel, Retards	Gouvernance	Moyennement probable	Moyennement critique
Application lacunaire des normes environnementales, conduisant à une disqualification pour les futurs labels "hydrogène vert"	Environnemental, Réputationnel, Financier	Infrastructures transverses	Moyennement probable	Critique
Actes de violence, usage malintentionné des produits, ou terrorisme	Réputationnel, Sécuritaire	Sécuritaire	Moyennement probable	Critique

Afin de remédier à ces risques, deux types de solutions existent :

- **La prévention** : anticiper les risques en définissant préalablement des procédures, des normes, des textes de loi, des clauses contractuelles et indemnités, etc.
- **La correction** : remédier aux conséquences des risques après leur occurrence, par la promulgation de loi, par la mise en conformité des installations, par l'adaptation des textes juridiques, par le recrutement ou l'externalisation, etc.

Le tableau ci-dessous présente des exemples de mesures de prévention et/ou de mitigation pour les sources de risques susmentionnées.

Figure 38 : Exemples de mesures de prévention et de mitigation pour les risques identifiés

Source de risques et menaces	Mesures de prévention et de mitigation
Retards significatifs dans la construction dus à un manque de main d'œuvre	Externalisation ou recrutement
Emissions de contaminants et de pollution atmosphérique par les industries au-delà des normes réglementaires : acier, ammoniac, nitrate d'ammonium	Définition de normes strictes dans le cadre de la procédure de classification des installations à risque Prévision de clauses d'indemnisation - par exemple financière - dans le cas

	où les normes environnementales ne sont pas respectées
Retards significatifs dans la construction dus à des problèmes d'approvisionnement (électrolyseurs, membranes d'osmose, etc.)	Anticipation par la diversification des contrats Augmentation du prix d'achat des équipements
Blocage administratif et/ou législatif de la construction	Mise en conformité des installations ou adaptation ad hoc des textes réglementaires et juridiques si pertinent
Financement insuffisant pour atteindre les objectifs, voire abandon du projet	Anticipation par la définition de clauses contractuelles de dédommagement dans le cas d'abandon des projets Recherche de nouveaux partenaires/développeurs
Catastrophe environnementale ou meurtrière conduisant à la dégradation de l'attractivité du pays et freinant les investissements	Promulgation du décret sur les installations classées à risque Définition en amont de différentes procédures selon les niveaux de risques associés aux installations Elaboration de plans de continuité d'activité Adaptation du décret de classification en cas d'omission de certains scénarios de force majeure
Retards significatifs dans la construction dus à une mauvaise application des normes HSE	Définition de normes strictes dans le cadre de la procédure de classification des installations à risque Prévision de clauses d'indemnisation - par exemple financière - dans le cas où les normes environnementales ne sont pas respectées
Tests non concluants (sur les plans technologique ou économique)	Explorer d'autres types de technologies ou d'environnement pour le projet

Echec des négociations autour des contrats	En amont, mise en place de conditions avantageuses pour l'investissement (par ex. les zones franches), mise en place de procédures d'appel d'offres Recherche de nouveaux interlocuteurs pour le développement de projets
Blocage politique ou législatif lors de la création d'un organe de gouvernance	Implication en amont de tous les organismes étatiques concernés dans les processus de prise de décision Adaptation des mesures et recherche de consensus ou compromis
Manques de transparence	Définition en amont puis communication des critères d'intégrité et de transparence prérequis pour la signature de contrats et pour le pilotage des projets
Instabilité politique	<i>Dépend de la situation résultante</i>
Opposition de l'opinion publique à cause : des expropriations potentielles, des externalités négatives de l'activité industrielle, de l'absence de retombées économiques positives	Anticipation par la planification foncière pluri-décennale des projets hydrogène et par la mise en place de procédure d'appel à contribution auprès des populations locales en amont de toute construction Recherche de compromis
Application lacunaire des normes environnementales, conduisant à une disqualification de la certification pour les futurs labels "hydrogène vert"	En amont, pilotage continu de la certification de la filière Conduction de travaux pour la mise à niveau de la chaîne de valeur
Actes de violence, usage malintentionné des produits, ou terrorisme	Elaboration en amont d'une procédure d'état d'urgence adaptée aux risques de la filière hydrogène et mise en application

7.6 Zoom sur les 12 premiers mois

Certaines actions de la feuille de route sont critiques, et nécessitent une implémentation urgente car pouvant constituer des goulots d'étranglement ou des contraintes administratives ou juridiques.

Ces mesures correspondent principalement aux réformes légales et contractuelles à mettre en place, aux institutions de gouvernance de la filière hydrogène, et aux premières études de faisabilité.

Ci-dessous est présenté le tableau des mesures à lancer dans les 6 premiers mois d'implémentation de la feuille de route. Les mesures y sont classées selon la date de début de la mesure. Au total, 23 mesures pourront être initiées durant les 12 premiers suivant l'approbation de la feuille de route hydrogène.

Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel des tableaux ci-dessous.

Figure 39 : Liste des mesures à lancer dans les 12 premiers mois après l'approbation de la feuille de route

MESURES A LANCER DANS LES 12 PREMIERS MOIS*	DATE DE DEBUT	DUREE DE REALISATION	RESPONSABLES
Stratégie et orientations générales des prises de participations dans les projets de développement de l'hydrogène et de ses filières	2022 Q3	2 mois	MPME
Etablissement d'une entité responsable des prises de participations dans les projets d'hydrogène et de ses dérivés ("Société Hydrogène")	2023 Q2	3-6 mois	MPME
Etablissement d'une entité responsable du suivi opérationnel des projets d'hydrogène et de ses dérivés ("Agence Hydrogène")	2023 Q2	3-6 mois	MPME
Définition et développement du concept, de la stratégie de pilotage et de promotion de la filière hydrogène (communication, présence internationale, objectifs chiffrés...), et définition des activités et du plan budgétaire de la filière hydrogène, et accord avec les acteurs mauritaniens concernés par ces plans.	2022 Q3	1-3 mois	MPME

Création de la nouvelle Direction Hydrogène au sein du MPME, et définition de ses prérogatives et de son organisation	2023 Q1	1-3 mois	MPME
Définition d'une procédure d'appels d'offre par la nouvelle Direction Hydrogène	2023 Q3	2-4 mois	Direction Hydrogène
Planification et création du contenu du programme de formation accélérée aux métiers de l'hydrogène pour les centres professionnels existants	2022 Q4	6 mois	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de la Fonction Publique et du Travail, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Elaboration d'un plan de formation accélérée pour la réinsertion professionnelle de la population active en recherche d'emploi	2023 Q1	6 mois	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de la Fonction Publique et du Travail, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Construction et repurposing de lieux existants des centres de formation professionnelle aux techniques des énergies renouvelables, de l'hydrogène, et de l'ammoniac	2022 Q4	2 ans	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de la Fonction Publique et du Travail, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Plan pour la création d'une filière hydrogène au sein de l'enseignement supérieur et l'élargissement des prérogatives des universités et écoles mauritaniennes pour l'intégration de départements hydrogène	2022 Q4	3-6 mois	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Création de Départements Hydrogène au sein des universités et écoles mauritaniennes	2023 Q2	6 mois à 1 an	Direction Hydrogène (MPME), Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Réforme du Code de l'Electricité : Mentionner les licences à accorder aux autoproducteurs parmi les exceptions à l'octroi de licences par appel public à candidature	2022 Q3	6 mois	MPME
Réforme du Code de l'Electricité : Définir les montants de redevances calculées sur les revenus de fourniture du surplus d'électricité	2022 Q3	6 mois	MPME
Identification des systèmes normatifs relatifs à la sécurité des établissements concernés par la production et le transport d'hydrogène et de ses produits dérivés	2022 Q3	1 an	MPME, Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Tourisme
Rédaction et promulgation du décret définissant la procédure de classification des ICPE	2023 Q3	3-6 mois	MPME, Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Tourisme

Rédaction d'un contrat de vente d'électricité type avec la Somelec	2023 Q2	2-4 mois	Direction Hydrogène, Développeurs, SOMELEC
Rédaction d'un contrat de vente d'eau potable type avec la SNDE	2023 Q2	2-4 mois	Direction Hydrogène, Développeurs, SNDE
Réforme de l'autorisation d'occupation du domaine public maritime : certaines assurances devraient être données à l'investisseur sur le renouvellement de l'autorisation d'occupation de manière à ce que cette durée corresponde à celle de l'occupation des terrains d'assiette des autres installations du projet et des terrains requis, le cas échéant pour réaliser l'usine de désalinisation.	2022 Q3	6 mois	Direction Hydrogène, Ministère des Pêches et de l'Économie Maritime
Définition d'un processus de permis standardisé pour l'autorisation de développement et raccordement des énergies renouvelables	2022 Q3	6 mois	MPME
Définition d'un bail emphytéotique standard à destination des développeurs d'hydrogène et de ses dérivés (incluant la définition de la redevance applicable)	2022 Q3	6 mois	Direction Hydrogène
Planification foncière : cartographie des assiettes foncières allouables au projet d'hydrogène et de ses dérivés, s'assurer que les terrains nécessaires à l'implantation des futures installations de	2023 Q1	6 mois	Direction Hydrogène

production, transport, export, pourront être disponibles en temps voulu			
Renforcement de la gouvernance de la sécurité industrielle: redéfinition des objectifs, des tâches et des activités de supervision et de pilotage du risque industriel en Mauritanie	2022 Q3	6 mois	Ministère du Commerce, de l'Industrie et du Tourisme
Procédure pour l'intégration des grandes organisations internationales existantes relatives à l'énergie et à l'hydrogène (IEA, Hydrogen Council, International Conference on Hydrogen Safety...), et procédure de veille des organisations internationales	2023 Q3	Pilotage continu	Direction Hydrogène, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Etude de faisabilité et d'impact environnemental pour l'implantation des premières et futures infrastructures de production d'énergies renouvelables et d'électrolyse	2023 Q2	Pilotage continu 1 an en moyenne par étude	Direction Hydrogène, Développeurs, SOMELEC, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Identification des zones géographiques en situation de pénurie d'électricité ou de non-raccordement au réseau et quantification des besoins en alimentation en électricité	2023 Q2	Pilotage continu Durée moyenne estimée à 6 mois	Direction Hydrogène, Développeurs, SOMELEC, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
<i>Mise à jour du plan national de l'eau</i> : identification et quantification des besoins en eau en Mauritanie, et notamment dans les zones en situation de stress hydrique (notamment celles adjacentes à Nouadhibou) et dans les sites miniers ; construction d'un schéma directeur des infrastructures	2022 Q4	6 mois	Ministre de l'Hydraulique et de l'Assainissement, SNDE

hydrauliques et estimation des besoins de financement			
Etude de faisabilité et d'impact environnemental pour une usine de dessalement, à effectuer dans chaque nouvelle localisation	2023 Q1	Pilotage continu 1 an en moyenne par étude	Direction Hydrogène, Développeurs, SNDE, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Phases de test pour le dessalement d'eau de mer (capacité : quelques dizaines de m3 par jour) à effectuer dans chaque nouvelle localisation	2023 Q3	Pilotage continu 1 an en moyenne pour chaque phase de test	Direction Hydrogène, Développeurs, SNDE, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Etude pour l'évaluation et la quantification du potentiel de stockage de CO2 pour produire l'hydrogène bleu	2023 Q2	3-6 mois	Direction Hydrogène, Agence Hydrogène
Etude géologique et minéralogique pour évaluer la possibilité de produire des boulettes DR-grade à partir du minerai présent	2022 Q3	6 mois	SNIM, MPME
Identification des renforcements de capacité - tel que la profondeur, la superficie nécessaires des ports de Nouakchott et Nouadhibou pour pouvoir exporter l'hydrogène vert et ses dérivés, Nouadhibou demeurant la zone prioritaire d'études	2023 Q1	6 mois à 1 an	Ports concernés, Direction Hydrogène, Agence Hydrogène, Société Hydrogène

Qualification, quantification et définition de mesures d'atténuation relatives à l'impact socio-environnemental des ports, suivant les normes internationales de durabilité existantes ou à venir (protection de l'environnement, énergie et matériaux renouvelables, conditions de travail, etc.) pour garantir le label "Hydrogène vert"	2023 Q1	6 mois à 1 an	Ports concernés, Direction Hydrogène, Agence Hydrogène, Société Hydrogène
Définition d'une procédure d'autorisation d'implantation dans la zone du port, via une concertation avec les principaux acteurs, pour garantir des synergies (notamment énergétiques) entre les différentes usines et infrastructures	2022 Q4	3 mois	Ministère des Pêches et de l'Économie Maritime, Ports concernés, Direction Hydrogène

**Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel du tableau.*

7.7 Contribution des mesures au contenu local

Le tableau ci-dessous présente une évaluation de la contribution au contenu local pour chacune des mesures de la feuille de route hydrogène bas carbone.

Ces contributions peuvent être classées en 4 grandes catégories :

- **Contribution sociale** : création d'emplois pour la construction, l'exploitation et la maintenance, élargissement de l'offre d'enseignement supérieur et de formation professionnelle locale et internationale, transferts de compétences, augmentation de la production scientifique, amélioration du service public d'eau et d'électricité (en volume et en prix) en particulier pour les zones enclavées
- **Contribution économique et financière** : augmentation des revenus de l'Etat, autonomie ou indépendance stratégique dans certains secteurs clés (tels que la production d'énergie), amélioration de l'attractivité du marché mauritanien vis-à-vis d'investisseurs locaux et étrangers
- **Contribution environnementale** : décarbonation d'une partie de l'économie mauritanienne, réduction des risques industriels, réduction de la pollution dans certains secteurs stratégiques (tels que les mines)
- **Contribution technologique et industrielle** : amélioration du service public d'eau et d'électricité (en volume et en prix), augmentation des capacités d'importation et d'exportation, transferts technologiques, accompagnement de la croissance de l'activité minière, possibilité de création de nouvelles filières industrielles du fait de la compétitivité de certaines filières de l'hydrogène (tel que acier pour l'automobile), possibilité de réduction des coûts pour des industries existantes (tel que la récupération des co-produits du dessalement par les industriels du sel, réduction de la facture énergétique pour l'agroalimentaire, etc.)

Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel des tableaux ci-dessous.

Figure 40 : Contribution des mesures au contenu local

MESURES*	CHANTIER	CONTRIBUTION AU CONTENU LOCAL
Stratégie et orientations générales des prises de participations dans les projets de développement de l'hydrogène et de ses filières	(01) Gouvernance	-

Etablissement d'une entité responsable des prises de participations dans les projets d'hydrogène et de ses dérivés ("Société Hydrogène")	(01) Gouvernance	– Redistribution des dividendes de la filière hydrogène issus des prises de participations – Acquisition de compétences dans l'hydrogène
Etablissement d'une entité responsable du suivi opérationnel des projets d'hydrogène et de ses dérivés ("Agence Hydrogène")	(01) Gouvernance	-
Définition et développement du concept, de la stratégie de pilotage et de promotion de la filière hydrogène (communication, présence internationale, objectifs chiffrés...), et définition des activités et du plan budgétaire de la filière hydrogène, et accord avec les acteurs mauritaniens concernés par ces plans.	(01) Gouvernance	-
Création de la nouvelle Direction Hydrogène au sein du MPME, et définition de ses prérogatives et de son organisation	(01) Gouvernance	-
Définition d'une procédure d'appel d'offres par la nouvelle Direction Hydrogène	(01) Gouvernance	-
Lancement d'un premier appel d'offres par la nouvelle Direction Hydrogène (en parallèle du développement projets contractualisés de gré à gré), puis pilotage continu des appels d'offres, en fonction de la pertinence des résultats	(01) Gouvernance	-

Pilotage de la contribution aux objectifs de développement durable par la Direction Hydrogène	(01) Gouvernance	-
Pilotage de la contribution à la SCAPP par la Direction Hydrogène	(01) Gouvernance	-
Pilotage par la Direction Hydrogène de la certification de la durabilité de la chaîne de valeur hydrogène	(01) Gouvernance	-
Pilotage de la contribution au contenu local	(01) Gouvernance	-
Planification et création du contenu du programme de formation accélérée aux métiers de l'hydrogène pour les centres professionnels existants	(02) Formation	- Elargissement de l'offre d'enseignement supérieur pour les étudiants mauritaniens et étrangers - Insertion professionnelle des personnes en situation de précarité d'emploi - Amélioration de l'attractivité académique de la Mauritanie et recrutement d'enseignants-chercheurs et d'intervenants internationaux - Augmentation de la production scientifique par
Elaboration d'un plan de formation accélérée pour la réinsertion professionnelle de la population active en recherche d'emploi	(02) Formation	
Construction et repurposing de lieux existants des centres de formation professionnelle aux techniques des énergies renouvelables, de l'hydrogène, et de l'ammoniac	(02) Formation	

Création et supervision d'une filière transverse de formation professionnelle aux règles de sécurité destinée aux travailleurs opérant sur une installation de production, de stockage, d'export	(02) Formation	la publication d'articles et d'études en lien avec le contexte mauritanien de la filière hydrogène
Création et supervision d'une filière transverse de l'enseignement supérieur dédiée aux risques industriels au sein des nouveaux départements hydrogène des universités	(02) Formation	
Plan pour la création d'une filière hydrogène au sein de l'enseignement supérieur et l'élargissement des prérogatives des universités et écoles mauritaniennes pour l'intégration de départements hydrogène	(02) Formation	
Création de Départements Hydrogène au sein des universités et écoles mauritaniennes	(02) Formation	
Recrutement de professeurs et d'enseignants-chercheurs additionnels pour les Départements hydrogène	(02) Formation	
Lancement des cours, des travaux de recherche (projets de recherche, études des conditions spécifiques mauritaniennes...), de la veille technologique, et des partenariats avec des acteurs privés et publics internationaux	(02) Formation	

Réforme du Code de l'Electricité : Mentionner les licences à accorder aux auto-producteurs parmi les exceptions à l'octroi de licences par appel publique à candidature	(03) Contrats, législation et normes	– Fourniture d'électricité aux industries et aux populations : 4 à 10 TWh en 2030, 11 à 28 TWh en 2040, 22 à 54 TWh en 2050 – Cette électricité serait produite à faible coût (de 16€/MWh pour le solaire photovoltaïque à 23€/MWh pour l'éolien terrestre, en 2050)
Réforme du Code de l'Electricité : Définir les montants de redevances calculées sur les revenus de fourniture du surplus d'électricité	(03) Contrats, législation et normes	Génération de revenus additionnels grâce aux redevances (tarif non connu)
Identification des systèmes normatifs relatifs à la sécurité des établissements concernés par la production et le transport d'hydrogène et de ses produits dérivés	(03) Contrats, législation et normes	Amélioration et standardisation de la sécurité industrielle en Mauritanie
Rédaction et promulgation du décret définissant la procédure de classification des ICPE	(03) Contrats, législation et normes	Amélioration et standardisation de la sécurité industrielle en Mauritanie
Rédaction d'un contrat de vente d'électricité type avec la Somelec	(03) Contrats, législation et normes	-
Rédaction d'un contrat de vente d'eau potable type avec la SNDE	(03) Contrats, législation et normes	-

Réforme de l'autorisation d'occupation du domaine public maritime : certaines assurances devraient être données à l'investisseur sur le renouvellement de l'autorisation d'occupation de manière à ce que cette durée corresponde à celle de l'occupation des terrains d'assiette des autres installations du projet et des terrains requis, le cas échéant pour réaliser l'usine de désalinisation.	(03) Contrats, législation et normes	-
Rédaction et publication de conventions-cadres types pour les projets d'hydrogène	(03) Contrats, législation et normes	-
Définition d'un processus de permis standardisé pour l'autorisation de développement et raccordement des électricités renouvelables	(03) Contrats, législation et normes	Simplification de la procédure d'installation d'énergie renouvelable pour les futurs développeurs indépendants locaux
Définition d'un bail emphytéotique standard à destination des développeurs d'hydrogène et de ses dérivés (incluant la définition de la redevance applicable)	(03) Contrats, législation et normes	-
Planification foncière : cartographie des assiettes foncières allouables au projet d'hydrogène et de ses dérivés, s'assurer que les terrains nécessaires à l'implantation des futures installations de production, transport, export, pourront être disponibles en temps voulu	(03) Contrats, législation et normes	Visibilité donnée aux acteurs économiques locaux quant au foncier disponible
Renforcement de la gouvernance de la sécurité industrielle: redéfinition des objectifs, des tâches et des activités de supervision et de pilotage du risque industriel en Mauritanie	(03) Contrats, législation et normes	Amélioration et standardisation de la sécurité industrielle en Mauritanie

Communication sur la réforme légale et la simplification administrative auprès des potentiels partenaires financiers et opérationnels de la filière hydrogène	(03) Contrats, législation et normes	-
Organisation d'un sommet régional de l'hydrogène, à l'instar du Chili et du Maroc qui ont organisé respectivement le Green Hydrogen Summit 2020 en Amérique Latine et le World Power-to-X Summit 2021	(04) Accords internationaux	– Amélioration de l'attractivité de la Mauritanie auprès d'investisseurs étrangers – Opportunités commerciales pour les acteurs économiques mauritaniens
Procédure pour l'intégration des grandes organisations internationales existantes relatives à l'énergie et à l'hydrogène (IEA, Hydrogen Council, International Conference on Hydrogen Safety...), et procédure de veille des organisations internationales	(04) Accords internationaux	– Opportunités d'accords bilatéraux sur plusieurs champs : enseignement supérieur, formation, R&D, financement, transferts technologiques, etc.
Négociations diplomatiques d'accords bilatéraux avec des pays importateurs : Union Européenne (dont Allemagne, Pays-Bas, etc.), Japon, Corée du Sud	(04) Accords internationaux	Opportunités d'accords bilatéraux sur plusieurs champs : enseignement supérieur, formation, R&D, financement, transferts technologiques, etc.
Procédure pour devenir un partenaire privilégié d'organisations régionales potentiellement importatrices (ex : European Clean Hydrogen Alliance)	(04) Accords internationaux	
Etude de faisabilité et d'impact environnemental pour l'implantation des premières et futures infrastructures de production d'énergies renouvelables et d'électrolyse	(05) Electricité renouvelable	– Emplois de construction (le besoin total est estimé à 28 500 en 2030, 50 000 en 2040, 87 000 en 2050) – Emplois d'O&M (le besoin total est estimé à 8 500)

Identification des zones géographiques en situation de pénurie d'électricité ou de non-raccordement au réseau et quantification des besoins en alimentation en électricité	(05) Electricité renouvelable	en 2030, 23 500 en 2040, 45 500 en 2050) – Fourniture d'électricité aux industries et aux populations : 4 à 10 TWh en 2030, 11 à 28 TWh en 2040, 22 à 54 TWh en 2050
EPC des installations de production d'électricité renouvelable (éolien, solaire PV, transport) de manière continue, et pilotés par les objectifs de capacité installée suivants : - 13 GW d'électricité renouvelable hybride en 2030 - 36 GW d'électricité renouvelable hybride en 2040 - 70 GW d'électricité renouvelable hybride en 2050	(05) Electricité renouvelable	– Cette électricité serait produite à faible coût (de 16€/MWh pour le solaire photovoltaïque à 23€/MWh pour l'éolien terrestre, en 2050)
Raccordement au réseau et alimentation des zones géographiques en pénurie d'électricité à l'aide de l'électricité fatale de l'électrolyse <i>Sous la condition que la production des dérivés de l'hydrogène (acier vert, méthanol, ammoniac, nitrate d'ammonium) et d'eau potable ne consomme pas la totalité de l'électricité fatale issue de l'électrolyse</i>	(05) Electricité renouvelable	
Mise à jour du plan national de l'eau : identification et quantification des besoins en eau en Mauritanie, et notamment dans les zones en situation de stress hydrique (notamment celles adjacentes à Nouadhibou) et dans les sites miniers ; construction d'un schéma directeur des infrastructures hydrauliques et estimation des besoins de financement	(06) Eau dessalée	– Fourniture d'eau potable pour environ 17% de la population – Fourniture d'eau potable pour l'extraction minière, principalement pour le fer (19 M m3/an en 2030, puis 25M m3/an en 2040 et 32M m3/an en 2050),

Etude de faisabilité et d'impact environnemental pour une usine de dessalement, à effectuer dans chaque nouvelle localisation	(06) Eau dessalée	mais également pour le cuivre, l'or, etc.
Phases de test pour le dessalement d'eau de mer (capacité : quelques dizaines de m3 par jour) à effectuer dans chaque nouvelle localisation	(06) Eau dessalée	– Emplois de construction (le besoin total est estimé à 1 600 en 2030, 3 700 en 2040, 8 000 en 2050)
Signature des premiers contrats moyen/long terme en approvisionnement à grande échelle des membranes et composants pour l'osmose inverse	(06) Eau dessalée	– Emplois d'O&M (le besoin total est estimé à 400 en 2030, 1 000 en 2040, 2 200 en 2050) – Possibilité de récupération du sel issu du dessalement de l'eau de mer par les acteurs locaux de production et transformation du sel
EPC d'une, puis de plusieurs unités de dessalement d'eau de mer (au moins à Nouadhibou en premier lieu) pour remplir les objectifs suivants : - 39 millions de mètres cubes par an en 2030 - 104 millions de mètres cubes par an en 2040 - 229 millions de mètres cubes par an en 2050	(06) Eau dessalée	
EPC des pipelines de transport d'eau selon les orientations précisées lors de la mise à jour du plan national de l'eau et conformément aux réglementations environnementales en vigueur	(06) Eau dessalée	
Etude pour l'évaluation et la quantification du potentiel de stockage de CO2 pour produire l'hydrogène bleu	(07) Hydrogène et ammoniac	– Génération de revenus fiscaux et de dividendes issus de l'export d'hydrogène et/ou d'ammoniac

Etude pour évaluation et quantification du potentiel d'élimination du carbone solide issu de la pyrolyse du méthane en Mauritanie (ou à l'export)	(07) Hydrogène et ammoniac	– Emplois de construction (le besoin total est estimé à 24 000 en 2030, 50 000 en 2040, 80 000 en 2050) – Emplois d'O&M (le besoin total est estimé à 5 000 en 2030, 13 000 en 2040, 23 000 en 2050) – Possibilité d'utilisation de l'hydrogène vert par l'industrie minière locale pour la réduction des minéraux de cuivre, d'or, etc. – Possibilité d'utiliser l'ammoniac pour des procédés industriels locaux, tel que la production d'engrais phosphatés
EPC d'électrolyseurs incluant une phase de calibration des cellules, pilotés pour atteindre les objectifs de production suivants : - 1,2 Mt d'hydrogène en 2030, quasi exclusivement pour l'export - 3,3 Mt d'hydrogène en 2040, dont 2,8 Mt pour l'export - 6,5 Mt d'hydrogène 2050, dont 4,3 Mt pour l'export	(07) Hydrogène et ammoniac	
Sécuriser un approvisionnement en équipement d'électrolyse avec un/des industriels	(07) Hydrogène et ammoniac	
Sécurisation des premiers contrats d'export d'ammoniac	(07) Hydrogène et ammoniac	
EPC d'usines de production d'ammoniac (Haber-Bosch, séparation de l'air) essentiellement pour l'export : - 6,8 Mt d'ammoniac en 2030 - 15,9 Mt d'ammoniac en 2040 - 24,4 Mt d'ammoniac en 2050	(07) Hydrogène et ammoniac	
Evaluer l'attractivité technico-économique de la construction d'un pipeline hydrogène connectant la Mauritanie à la péninsule ibérique, et le cas échéant construire le pipeline	(07) Hydrogène et ammoniac	

Etudes de faisabilité, de marché, et tests et évaluation d'impact environnemental d'une production de e-méthanol en Mauritanie, afin d'identifier les adaptations technologiques à apporter en lien avec le contexte local	(08) Méthanol et électro-carburants	– Génération de revenus fiscaux et de dividendes issus de l'export de méthanol – Emplois de construction (le besoin total est estimé à 6 000 en 2040, 16 400 en 2050) – Emplois d'O&M (le besoin total est estimé à 1 800 en 2040, 5 500 en 2050)
Evaluation de la réutilisabilité des infrastructures pétrolières (sites de raffinage de pétrole, quais, dépôts) pour le méthanol	(08) Méthanol et électro-carburants	
EPC d'usines de e-méthanol à l'échelle industrielle avec unité de capture de CO ₂ à grande échelle, pilotés pour atteindre les objectifs annuels de production suivants : - 1,8 Mt de méthanol exportées en 2040 - 5,5 Mt de méthanol exportées en 2050	(08) Méthanol et électro-carburants	
Etude géologique et minéralogique pour évaluer la possibilité de produire des boulettes DR-grade à partir du minerai présent	(09) Acier vert	– Génération de revenus fiscaux et de dividendes issus de l'export d'acier – Emplois de construction (le besoin total est estimé à 12 800 en 2040, 84 500 en 2050) – Emplois d'O&M (le besoin total est estimé à 3 800 en 2040, 26 000 en 2050) – Possibilité de fournir une partie de la production d'acier aux acteurs économiques locaux, notamment ceux de la construction – Possibilité de fournir une partie de la production d'acier pour de futures industries locales
Etudes de faisabilité et d'impact environnemental pour la construction d'usines de bouletage	(09) Acier vert	
EPC d'une usine de bouletage respectant les normes environnementales en vigueur et appliquant les mesures prévues de mitigation d'impact, puis construction d'autres usines de bouletage pour répondre aux besoins des aciéries : - 4,3 Mt de boulettes de fer produites en 2040	(09) Acier vert	

- 30 Mt de boulettes de fer produites en 2050		consommatrices d'acier, tel que l'automobile
Définition de la stratégie de production de l'acier et du type de produit destiné à l'export d'acier vert (feuille, tôle, produits longs...) en fonction de l'attractivité technico-économique	(09) Acier vert	Attraction de capitaux pour la mise en place de ces nouvelles filières industrielles, du fait de la compétitivité de coût de l'acier mauritanien
Etudes de faisabilité et études d'impact environnemental pour la construction d'aciéries vertes près du port de Nouadhibou	(09) Acier vert	Possibilité d'exploiter une partie de la production de fer pour la densification du réseau national de chemins de fer, voire pour soutenir l'expansion des réseaux de chemin de fer africains et internationaux
EPC d'aciéries vertes incluant des phases de test relatives aux particularités du fer mauritanien (pouvant être réalisée à l'étranger), puis construction d'autres aciéries vertes à l'échelle, pilotés pour atteindre les objectifs suivants : - 2,7 Mt d'acier exportées en 2040 (soit 1 aciérie) - 18,7 Mt d'acier exportées en 2050 (soit 6 à 7 aciéries)	(09) Acier vert	
Etudes de faisabilité/rentabilité de l'augmentation de la capacité et du passage à l'hydrogène ou à d'autres carburants durables des trains de la SNIM (pour la prise en compte des exigences du futur label acier vert)	(09) Acier vert	Transport de produits industriels (hydrogène, carburants, etc.), de matériel voire de denrées alimentaires vers les zones minières enclavées environnant Zouerate
Conversion et certification du chemin de fer Zouerate-Nouadhibou en un transport durable utilisant des carburants bas carbone	(09) Acier vert	Réduction de l'impact environnemental du chemin de fer actuel, en transitionnant du diesel

Travaux de renforcement de la capacité du chemin de fer Zouerate-Nouadhibou pour pouvoir y transporter différents produits (hydrogène, eau, ...), et mettre à niveau sa capacité	(09) Acier vert	vers des carburants renouvelables
Etude de faisabilité et de rentabilité de l'augmentation de la capacité et du passage à des énergies durables pour les engins miniers (et la prise en compte des exigences du futur label acier vert)	(09) Acier vert	– Amélioration des conditions de travail des mineurs – Réduction de l'impact environnemental des activités minières et amélioration des conditions de vie des localités environnantes
La conversion, le renforcement et la certification des engins miniers devront être initiés au début des années 2030, en prévision de la montée en puissance de la filière de l'acier vert, dont la première usine à taille industrielle serait mise en service vers 2040	(09) Acier vert	
Etude de faisabilité sur la production de DAP à partir du phosphate présent dans le pays <i>Opportunité à explorer uniquement si des investissements pour l'extraction sont considérés</i>	(10) Nitrate d'ammonium	– Contribution à l'autonomie alimentaire – Création d'emplois dans un nouveau pôle au Sud à Bofal – Diversification de l'économie et du PIB mauritanien – Génération de revenus d'export – sous réserve de la faisabilité de la filière phosphate
Etude de faisabilité d'une usine de nitrate d'ammonium, Recherche d'investisseurs, conception	(10) Nitrate d'ammonium	– Emplois de construction (le besoin total est estimé à 80 en 2050)

EPC d'une usine de nitrate d'ammonium, puis de plusieurs, pilotées pour atteindre les objectifs suivants : - 66 000 t de nitrate d'ammonium en 2030 - 90 000 t de nitrate d'ammonium en 2040 - 108 000 t de nitrate d'ammonium en 2050	(10) Nitrate d'ammonium	- Emplois d'O&M (le besoin total est estimé à 25 en 2050) - Augmentation de la production minière actuelle (fer, cuivre, et or, principalement) et future (uranium, phosphate, etc.), avec les créations d'emploi et les revenus associées
Planification de la construction d'espaces de stockage de nitrate d'ammonium sécurisés et à distance de la population	(10) Nitrate d'ammonium	
Identification des renforcements de capacité - tel que la profondeur, la superficie nécessaires des ports de Nouakchott et Nouadhibou pour pouvoir exporter l'hydrogène vert et ses dérivés, Nouadhibou demeurant la zone prioritaire d'études	(11) Infrastructures transverses	- Augmentation des capacités d'import et d'export
Qualification, quantification et définition de mesures d'atténuation relatives à l'impact socio-environnemental des ports, suivant les normes internationales de durabilité existantes ou à venir (protection de l'environnement, énergie et matériaux renouvelables, conditions de travail, etc.) pour garantir le label "Hydrogène vert"	(11) Infrastructures transverses	- Amélioration des conditions de travail dans les infrastructures portuaires - Réduction des risques industriels au niveau des ports et de l'impact environnemental
Définition d'une procédure d'autorisation d'implantation dans la zone du port, via une concertation avec les principaux acteurs, pour garantir des synergies (notamment énergétiques) entre les différentes usines et infrastructures	(11) Infrastructures transverses	- Amélioration des conditions de vie des localités environnantes

Définition d'un modèle de financement pour les renforcements nécessaires à effectuer concernant les infrastructures portuaires	(11) Infrastructures transverses	
EPC des infrastructures portuaires, pour exporter l'hydrogène vert et ses dérivés, prenant en compte les mesures d'atténuation et de conformité aux normes internationales relatives au label "hydrogène vert" et le renforcement des capacités portuaires	(11) Infrastructures transverses	

**Les mesures devant être principalement réalisées par le Gouvernement Mauritanien correspondent aux lignes bleues-ciel du tableau.*

8. Conclusion

Synthèse

L'hydrogène bas carbone est une opportunité unique de développement pour la Mauritanie. L'exploitation des gisements d'énergie renouvelable et son positionnement géographique permettront de développer l'industrie, l'économie et la société.

Le pays peut d'ores et déjà construire des infrastructures qui sont sur le chemin critique de la filière hydrogène et qui bénéficieront dans tous les cas à la population et à l'industrie.

Tout d'abord, il est nécessaire de construire un site de production d'électricité renouvelable pour les besoins de l'électrolyse. Ce site pourra être de grande échelle - de quelques dizaines de GW, afin de capturer les économies d'échelle (14 à 40% de réduction du coût final de l'électricité). Combiner énergie solaire photovoltaïque et énergie éolienne permettrait de maximiser le facteur de charge de la production d'électricité renouvelable - soit environ 52% - garantissant une meilleure stabilité du système, tout en minimisant le LCOH (1,5 €/kg en 2030, 1,15€/kg en 2050).

Par ailleurs, ce site pourra être connecté à une unité de dessalement de l'eau issue de l'océan Atlantique, afin de produire de l'eau « verte », grâce à l'électricité renouvelable transmise. L'unité de dessalement devrait être également de grande taille - plusieurs centaines de milliers de mètres cubes par jour - pour maximiser les économies d'échelle. Cette unité de dessalement serait *a priori* située au Nord, au littoral, pour être au plus proche des zones urbanisées de la Mauritanie, tout en desservant les mines de Zouerate et autres sites miniers d'or et de cuivre.

L'électrolyse (hydrogène vert) est la technologie la plus pertinente pour la production d'hydrogène bas carbone, grâce à l'abondance des gisements d'énergie renouvelable en Mauritanie. L'hydrogène vert présente un potentiel bien plus significatif en volume que l'hydrogène bleu (SMR+CCS). Les production d'électricité et d'eau potable seront donc connectées dans un premier temps à un électrolyseur installé également au niveau du littoral. Les infrastructures portuaires devront être adaptées pour exporter l'hydrogène, l'ammoniac, et autres dérivés « verts ».

La production d'hydrogène bleu peut être envisagée dans un deuxième temps. Une étude plus précise du potentiel de stockage du dioxyde de carbone dans les champs pétroliers est un prérequis. D'après les premières estimations et les données à disposition, la Mauritanie pourrait stocker une partie mineure du gaz naturel vaporeformé dans le réservoir sec de Chinguetti et les champs abandonnés de Tevet et Tiof : l'équivalent de deux ans de stockage si la moitié de la production de gaz naturel est convertie en hydrogène, soit quelques pourcents du potentiel d'hydrogène vert. Cette solution ne serait donc soutenable que pour le « très court terme » : d'autres options de gestion de CO₂ seront à considérer sur le plus long terme, tel que le stockage dans les champs gaziers récemment découverts, ou encore le stockage dans des aquifères profonds.

A horizon 2030, les opportunités industrielles les plus prioritaires sont l'hydrogène liquide, l'ammoniac, le nitrate d'ammonium, l'acier et le méthanol. Des installations pilotes de taille intermédiaire pourront être mises en service dans un premier temps, avant d'envisager

une production à très grande échelle durant les années 2030. Aussi, les synergies avec les besoins miniers (explosifs avec le nitrate d'ammonium) devront être étudiées.

En parallèle, la Mauritanie peut initier des études de faisabilité, en priorité pour la production d'acier vert et de méthanol, mais également pour la production d'engrais, la production d'électricité, l'hydrogène pour les engins miniers, et l'usage à petite échelle pour le transport lourd et les industries enclavées. Parmi ces opportunités, seule la production d'engrais est à ce jour problématique : en effet, les études passées ont souligné que l'enclavement des mines de phosphate à Bofal porte préjudice à la production d'engrais phosphatés. En fonction des résultats de ces études de faisabilité, une mise à l'échelle pourra ensuite être implémentée pour 2040.

Dans le but d'encadrer au mieux ces investissements, la Mauritanie doit mettre en place un cadre normatif concernant les risques industriels et environnementaux. En effet, il n'existe *a priori* pas de procédure d'autorisation des installations classées prévue par le Code de l'Environnement. Par ailleurs, il faut adopter une réglementation relative aux risques spécifiques à la production et au stockage de l'hydrogène. Dans l'attente de cette réglementation, la Mauritanie pourra rendre contractuelles les normes et règles requises par référence à des normes internationales existantes.

Le benchmark conduit sur les cadres législatifs en vigueur a permis de conclure que le développement de projets n'a pas nécessité de modifications notables des Codes existants. L'encadrement réglementaire de l'hydrogène et de ses dérivés est par exemple similaire à celui d'industries chimiques. Néanmoins, le benchmark ne permet pas de totalement conclure, car les données de projets d'export demeurent confidentielles et peu d'informations sont publiquement disponibles.

La Mauritanie doit à la fois optimiser sa rémunération et attirer des investisseurs. Un équilibre est à trouver entre mettre en place des incitations financières et maximiser le profit de l'Etat. Sur la base du benchmark, la Mauritanie peut envisager 3 sources de revenus pour optimiser sa rémunération au moment de la signature de contrats d'export :

- Fonciers : un bail emphytéotique (permettant de garder la propriété sur le foncier)
- Financiers : pourcentage sur le revenu, dividendes et participation au capital
- Fiscaux : impôt sur le bénéfice, taxe environnementale

Les projets d'hydrogène sont également l'opportunité pour la Mauritanie de développer son savoir-faire industriel. Une attention particulière devrait être prêté aux accords de formation et d'échange. L'émergence industrielle de la Mauritanie ne saurait être pérennisée sans investissement sur le long terme dans l'enseignement supérieur et le transfert de technologie.

Des actions sont d'ores et déjà implémentables afin d'améliorer l'attractivité du pays : créer les organismes dédiés au pilotage de la filière hydrogène (Direction Hydrogène, Agence Hydrogène, Départements Hydrogène), construire un cadre légal et normatif clair et transparent, rendre publiques, claires et accessibles les données sur le potentiel hydrogène du pays, simplifier les procédures administratives pour l'investissement, et signer des accords bilatéraux.

Ces derniers permettraient d'asseoir la crédibilité de la filière hydrogène en Mauritanie, et donc d'améliorer son attractivité auprès des investisseurs. L'Etat pourra signer des accords bilatéraux avec d'autres pays ayant publié des objectifs ambitieux en termes d'imports d'hydrogène bas carbone. En particulier, l'Allemagne et les Pays-Bas font des pays les plus volontaristes en termes de « coopération hydrogène ». La proximité géographique de la Mauritanie garantit la compétitivité des exports d'hydrogène en termes de coûts.

Recommandations pour le Gouvernement

Le Gouvernement aura un rôle important à jouer dans le développement de la filière hydrogène. Il doit créer les conditions propices au développement de cette nouvelle industrie, concevoir les cadres juridiques et contractuels appropriés pour que les entreprises puissent prospérer et veiller à ce que les avantages sociaux et économiques profitent à la population et que le nouveau secteur contribue à une croissance économique durable.

Sur les 11 thèmes de la feuille de route, le gouvernement a un rôle critique et décisif à jouer dans 5 d'entre eux.

Gouvernance

La mise en place de la nouvelle industrie commence par une bonne organisation du Gouvernement, afin qu'il puisse préparer efficacement le pays à un avenir hydrogène, obtenir les compétences et les infrastructures nécessaires, et être un partenaire fiable et compétent pour les acteurs commerciaux internationaux et nationaux. Une bonne structure de gouvernance est indispensable pour commencer ce travail.

Il est bon de profiter des meilleures pratiques en Mauritanie et de proposer une structure similaire à celle d'autres activités économiques clés, comme les mines, les hydrocarbures et l'eau. Les mesures comprennent donc la mise en place d'une Direction d'hydrogène au sein de MPME, d'une Agence Hydrogène et d'une Société Hydrogène. Ces entités seront responsables du pilotage et de la promotion de la nouvelle industrie.

Une étape importante consiste à définir la stratégie et la vision du gouvernement sur la prise de participations dans des projets concernant l'hydrogène et ses dérivés, car cela pourrait représenter une partie de la rémunération du gouvernement et/ou un moyen de donner une direction à l'industrie. De même, le gouvernement devrait développer un concept solide pour promouvoir l'industrie de l'hydrogène en Mauritanie afin d'attirer les investisseurs.

En tant que pays attractif pour les investissements dans l'hydrogène, la Mauritanie devra mettre ses ressources et compétences à la disposition des développeurs de manière équitable. L'organisation d'une procédure d'appel d'offres et le lancement d'un premier appel d'offres contribueront à une industrie compétitive en termes de coûts.

La Direction Hydrogène pilotera également la contribution de la nouvelle industrie de l'hydrogène aux objectifs de développement durable, la contribution à la SCAPP. En outre, la Direction devra certifier la durabilité de la nouvelle chaîne de valeur de l'hydrogène.

Enfin, le gouvernement doit surveiller l'utilisation du contenu local dans l'industrie de l'hydrogène et s'assurer ainsi que l'industrie de l'hydrogène bénéficie à l'ensemble de la population.

Formation

En raison de sa taille, l'industrie de l'hydrogène aura besoin de ressources importantes en termes de main-d'œuvre qualifiée et professionnelle. Cette main-d'œuvre devra acquérir les compétences adéquates et un vaste programme de formation au niveau de l'enseignement professionnel et supérieur devra être mis en place.

Le Gouvernement devrait permettre cette formation à grande échelle. Pour l'éducation au niveau professionnel, le gouvernement a quatre actions à mener. Premièrement, créer et mettre en place un programme de formation pour les centres de formation professionnelle. Deuxièmement, élaborer un plan de formation accélérée pour la réinsertion professionnelle de la population active en recherche d'emploi. Troisièmement, les lieux de formation professionnelle doivent être adaptés aux objectifs. Prenant ses responsabilités, le gouvernement devra s'assurer de la mise en place d'un solide programme de SSE et d'éducation.

De même, pour l'enseignement supérieur, le Gouvernement devra établir un plan pour la constitution de Départements d'hydrogène dans les universités, grandes écoles et autres établissements d'enseignement supérieur, puis mettre en place ces départements afin de garantir le transfert des compétences existantes et nouvelles. Enfin, un programme dédié à l'éducation aux risques industriels sera mis en place.

Contrats, législation et normes

La nouvelle industrie de l'hydrogène devra être réglementée pour veiller à ce que les intérêts des pouvoirs publics, de l'industrie et de la population soient bien pris en compte. Si l'hydrogène implique également les activités existantes dans les domaines de l'électricité et de l'eau et ne constitue pas une activité nouvelle et isolée, les règles et les codes devraient être proches et comparables à ceux qui couvrent les domaines existants.

Dans le Code de l'électricité, nous proposons de prendre deux mesures. Premièrement, mentionner les licences à accorder aux autoproducteurs parmi les exceptions aux licences par appel d'offres. Deuxièmement, définir les montants des redevances calculées sur les revenus de la fourniture d'électricité excédentaire.

Une réglementation HSE est déjà en place. Pour s'assurer que la réglementation HSE existante est également bien adaptée à l'hydrogène, nous proposons trois actions. Premièrement, l'identification des systèmes normatifs relatifs à la sécurité des établissements impliqués dans la production et le transport de l'hydrogène et de ses sous-produits et deuxièmement le renforcement de la gouvernance de la sécurité industrielle: redéfinition des objectifs, des tâches et des activités de supervision et de pilotage du risque industriel en Mauritanie et troisièmement la rédaction et la promulgation du décret définissant la procédure de classification des ICPE.

Des contrats types pour l'industrie de l'hydrogène doivent être mis en place. Un type de contrat entre le Gouvernement et les développeurs d'hydrogène doit être défini. La structure d'un tel contrat a été fournie dans ce rapport. Un contrat type pour la vente d'électricité à la société d'électricité SOMELEC doit être défini et de même pour l'eau avec la société d'eau SNDE.

Certains changements dans les autorisations seront également nécessaires. Comme l'industrie de l'hydrogène nécessitera de grandes parcelles de terrain et que le Gouvernement recevra un remboursement pour la mise à disposition de ces terrains, certains changements dans les autorisations sont nécessaires, notamment la définition d'un bail emphytéotique standard pour les développeurs d'hydrogène et de ses dérivés (y compris la définition de la redevance applicable). Les zones portuaires vont devenir des zones industrielles importantes. Une réforme de l'autorisation d'occupation du domaine public maritime sera nécessaire : certaines assurances devraient être données à l'investisseur sur le renouvellement de l'autorisation d'occupation afin que cette durée corresponde à celle de l'occupation des terrains sur lesquels seront construites les autres installations du projet et des terrains nécessaires, le cas échéant, pour construire l'usine de dessalement.

Pour soutenir de manière optimale l'industrie naissante et identifier les sites favorables à la production d'énergie renouvelable, un aménagement du territoire est nécessaire. Ainsi, un prérequis essentiel consiste en la cartographie de l'assiette foncière pouvant être affectée au projet d'hydrogène et de ses dérivés, en veillant à ce que les terrains nécessaires à la mise en œuvre des futures installations de production, de transport et d'exportation puissent être mis à disposition en temps voulu.

Afin de promouvoir le climat d'investissement favorable en Mauritanie, nous proposons de communiquer clairement sur la réforme juridique et la simplification administrative auprès des partenaires financiers et opérationnels potentiels de la filière hydrogène.

La mise en place de contrats de production et d'exploitation des énergies renouvelables et de l'eau pourront inclure une caution qui dépendrait des bénéfices réalisés par le développeur. Cela pourrait protéger le Gouvernement mauritanien et anticiper d'éventuelles opportunités d'optimisation de ses contrats avec les développeurs.

Sécurisation des ressources foncières pour les énergies renouvelables

Afin de sécuriser la disponibilité des ressources foncières, une planification foncière devra être mise en place à l'échelle nationale.

Les zones les plus pertinentes pour l'installation de capacités d'énergies renouvelables pourront être alors sécurisées.

Une administration du Cadastre spécifiquement en charge de l'organisation et du pilotage foncier à l'échelle nationale pourra être mise en place.

Accords internationaux

L'hydrogène sera un marché mondial dans lequel la coopération entre les pays et les entreprises est nécessaire pour ouvrir des marchés d'exportation et obtenir les compétences et les ressources nécessaires. En outre, la présence de la Mauritanie sur la scène internationale renforcera sa crédibilité en tant que destination favorable aux investissements dans le domaine de l'hydrogène, ainsi que dans d'autres domaines de l'économie.

Afin d'établir la Mauritanie comme un acteur important dans le domaine de l'hydrogène, trois actions sont proposées. Premièrement, l'organisation d'un sommet régional sur l'hydrogène, à l'instar du Chili et du Maroc qui ont organisé respectivement le Green Hydrogen Summit 2020 en Amérique latine et le World Power-to-X Summit 2021. Deuxièmement, l'intégration des grandes organisations internationales existantes relatives à l'énergie et à l'hydrogène (IEA, Hydrogen Council, International Conference on Hydrogen

Safety...), en établissant une procédure de veille des organisations internationales. Troisièmement, le pays pourra entamer une procédure pour devenir un partenaire privilégié d'organisations régionales potentiellement importatrices (tel que European Clean Hydrogen Alliance).

Pour obtenir les compétences, les ressources et la technologie et avoir accès aux marchés d'exportation, le Gouvernement peut vouloir discuter avec d'autres gouvernements. Nous proposons donc d'entrer dans des négociations diplomatiques d'accords bilatéraux avec des pays importateurs : Union Européenne (dont Allemagne, Pays-Bas, etc.), Japon, Corée du Sud.

Eau

Grâce à d'importantes économies d'échelle, le dessalement de l'eau profitera à l'industrie et à la population locales ainsi qu'à l'industrie de l'hydrogène. Pour une utilisation optimale de l'eau, le Gouvernement devra jouer un rôle de planification et de stratégie.

Le Gouvernement devra également mettre à jour le Plan national de l'eau, en identifiant et quantifiant les besoins en eau en Mauritanie, notamment dans les zones en situation de stress hydrique et dans les sites miniers, en construisant un schéma directeur des infrastructures hydrauliques, et en estimant les besoins de financement.

Infrastructures transverses

L'industrie de l'hydrogène bénéficiera d'une infrastructure commune, comme les ports. De même, de multiples processus industriels peuvent bénéficier les uns des autres, en partageant des sources d'énergie. Le Gouvernement peut faciliter cela en définissant une procédure d'autorisation d'implantation dans la zone du port, via une concertation avec les principaux acteurs, pour garantir des synergies (notamment énergétiques) entre les différentes usines et infrastructures.

Pour accueillir à la fois la production et l'exportation d'hydrogène, d'ammoniac et d'acier vert, de grands renforcements sont nécessaires pour les ports, nécessitant de gros investissements, mais aussi de nouveaux modèles de rémunération. Le Gouvernement devra définir un modèle de financement pour les renforcements nécessaires à effectuer concernant les infrastructures portuaires.

Temporalité des investissements

L'échelonnement des investissements dans le temps peut être optimisé afin de s'assurer de maximiser deux paramètres :

- La rémunération de l'Etat
- La part de marché dans les exportations régionales et/ou mondiales

La mise en place d'installation d'échelle moyenne permettre de crédibiliser la filière dès le début et de sécuriser des parts de marché pour l'export, mais avec des revenus inférieurs. Néanmoins cela aura pour conséquence aussi de bénéficier d'un revenu fiscal plus élevé pour les projets qui démarreront plus tard et qui ont donc un profil de coût plus faible.

Les négociations lors de la contractualisation avec les développeurs privés permettront de spécifier cette temporalité.

9. Annexe - Potentiel de production d'hydrogène vert par wilaya

Les superficies utilisables par région pour la production d'électricité renouvelable ont été calculées en tenant compte des zones protégées pour chaque région, et en appliquant une hypothèse d'attribution territoriale de 5% de la superficie régionale (3% pour Nouakchott, celle-ci étant bien plus urbanisée que le reste du pays, et en anticipation du développement de la ville).

Figure 41 : Superficies utilisables par wilaya en Mauritanie pour la production d'énergie renouvelable

Wilaya	Superficie (km2)	Zones protégées	Facteur d'attribution	Superficie utilisable
Nouakchott	1000		3,0%	30
Hodh Chargui	182700		5,0%	9135
Assaba	36600		5,0%	1830
Gorgol	13600		5,0%	680
Brakna	33000		5,0%	1650
Hodh Gharbi	53400		5,0%	2670
Guidimaka	10300		5,0%	515
Trarza	67800		5,0%	3390
D. Nouadhibou	22300	4350	5,0%	898
Tagant	98340		5,0%	4917
Adrar	235000		5,0%	11750
Tiris Zemmour	252900		5,0%	12645
Inchiri	46800	1000	5,0%	2290
Total	1 053 740	5 350		52 400
Total côtier	137 900	5 350		6 608

Source : UICN – Union internationale pour la Conservation de la Nature, Université Laval

Ces superficies ont été utilisées en données d'entrée pour calculer le potentiel photovoltaïque et le potentiel éolien terrestre (voir figures ci-dessous).

Figure 42 : Potentiel photovoltaïque en Mauritanie par wilaya

Wilaya	MW de capacité installable	GWh / an par MW	Potentiel (TWh / an)
Nouakchott	1500	1,797	2,7
Hodh Chargui	456750	1,8	822,2
Assaba	91500	1,725	157,8
Gorgol	34000	1,706	58,0
Brakna	82500	1,724	142,2
Hodh Gharbi	133500	1,721	229,8
Guidimaka	25750	1,707	44,0
Trarza	169500	1,729	293,1
D. Nouadhibou	44875	1,838	82,5
Tagant	245850	1,822	447,9
Adrar	587500	1,85	1086,9
Tiris Zemmour	632250	1,872	1183,6
Inchiri	114500	1,806	206,8
Total	2 619 975		4 757
Total côtier	330 375		585

Source : Global Solar Atlas, IRENA

Figure 43 : Potentiel éolien terrestre en Mauritanie par wilaya

Wilaya	Vitesse moy. du vent (m/s)	Facteur de charge	Capacité installable (MW)	Potentiel (TWh / an)
Nouakchott	7	37%	150	0,5
Hodh Chargui	7,5	40%	45675	160,0
Assaba	6	32%	9150	25,6
Gorgol	6	32%	3400	9,5
Brakna	6	32%	8250	23,1
Hodh Gharbi	6	32%	13350	37,4
Guidimaka	5	23%	2575	5,2
Trarza	7	37%	16950	54,9
D. Nouadhibou	8,5	47%	4487,5	18,5
Tagant	7,5	40%	24585	86,1
Adrar	8	43%	58750	221,3
Tiris Zemmour	8,5	47%	63225	260,3
Inchiri	7	37%	11450	37,1
Total	2 619 975		261 998	940
Total côtier	330 375		33 038	111

Source : Global Wind Atlas, National Renewable Energy Laboratory

