

Rapport sur l'étude

# hydrogène vert

PROGRAMME D'ASSISTANCE TECHNIQUE POUR LA MISE EN ŒUVRE DES PROJETS  
SUNREF III – MAURICE

Développé par

Avec la participation  
financière de l'UE

En partenariat avec

Mis en oeuvre par



Depuis 2009, l'Agence française de développement (AFD) accompagne la transition de Maurice vers une économie bas carbone, résiliente au changement climatique et inclusive. Cet appui s'est d'abord illustré par deux premières lignes de crédit vertes, SUNREF I et SUNREF II. À ce titre, 100 M d'euros ont été déployés de 2009 à 2018, en partenariat principalement avec deux banques locales, la Mauritius Commercial Bank (MCB) et la SBM Bank (Mauritius) Ltd (SBM).



© Business Mauritius | Digital Kites

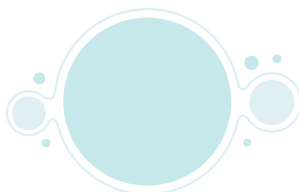


© Business Mauritius | Digital Kites

La troisième édition du programme (SUNREF Maurice) a été lancée en 2018 et est toujours en cours d'exécution. Il s'agit d'une ligne de crédit verte de 85 M€ mise à disposition du secteur privé (particuliers et entreprises) à travers trois banques locales : MCB, SBM et AfrAsia Bank Ltd. Des subventions à l'investissement au bénéfice des porteurs de projets vont de 5 à 16 % du montant du prêt éligible selon le type de projet (atténuation/adaptation/genre). L'Union Européenne, partenaire clé du dispositif SUNREF Maurice, finance une partie des primes sur investissements - qui sont remises aux porteurs de projets éligibles, après vérification de l'installation effective des équipements - et l'assistance technique du programme.

En effet, outre le soutien financier, SUNREF Maurice propose un appui technique délégué à Business Mauritius, un acteur local majeur pour la promotion du développement économique, du capital social et de la croissance durable et inclusive pour la communauté des affaires.

SUNREF Maurice propose une approche intégrée, spécifique et innovante, combinant à la fois une offre financière dans des conditions attractives et une assistance technique dédiée aux développeurs. Le but est d'une part d'encourager les entreprises à acquérir des technologies et des équipements verts innovants et à adopter des modèles de développement plus durables, et d'autre part accroître leur compétitivité, améliorer leur image de marque et accéder à de nouveaux marchés.



# Avant propos

## SUNREF Maurice innove pour mieux impacter



### Laetitia Habchi

#### Directrice de l'Agence française de développement à Maurice

L'Agence française de développement (AFD) accompagne, depuis 2009, la transition de Maurice vers une économie bas carbone, résiliente au changement climatique et inclusive. À travers le troisième volet du programme SUNREF, l'AFD encourage la création d'une filière de la finance verte grâce à une ligne de crédit de 85 millions d'euros accordés aux banques partenaires, en l'occurrence la Mauritius Commercial Bank Ltd, la SBM Bank (Mauritius) Ltd et AfrAsia Bank Ltd.

**La dimension innovante de ce programme est son dispositif d'assistance technique** qui permet aux banques d'identifier des opportunités d'investissements dans les projets d'atténuation et d'adaptation au changement climatique, ainsi que ceux favorisant l'égalité professionnelle femmes/hommes.

Elle sert également les entreprises à développer des projets verts éligibles, innovants et rentables en aidant à préparer les demandes de financement pour les banques partenaires. Le succès de SUNREF Maurice repose sur son offre intégrée qui propose, en sus des prêts à conditions préférentielles, des outils d'aide à la décision d'investissements.

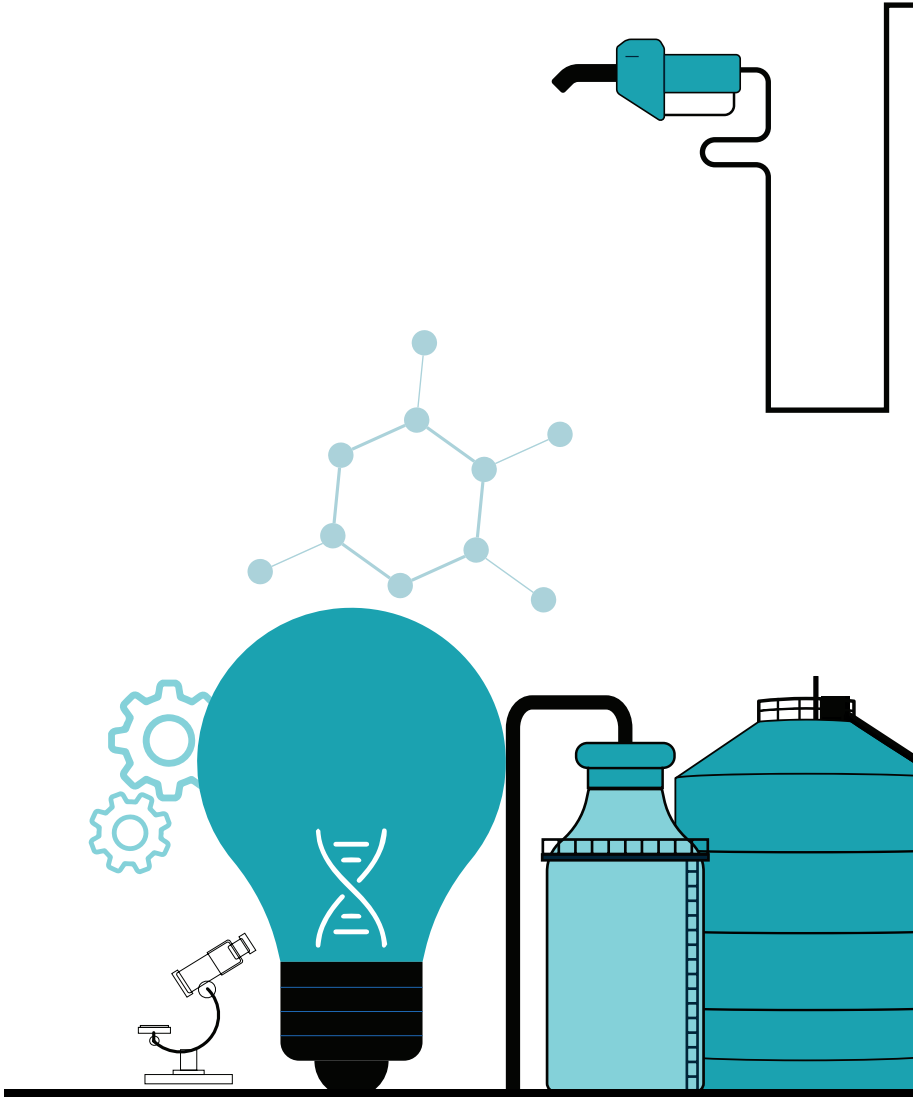
À cet effet, un Fonds d'études SUNREF a été mis en place dans l'objectif de produire une collection documentaire comprenant, entre autres, des rapports techniques, analyses de projets pilotes et études de faisabilité, aux thématiques très variées et multisectorielles.

Cette série est donc une exploration de sujets appelés à revêtir une importance capitale pour Maurice. Parmi ceux-ci on compte la mobilité électrique, la construction durable, les risques financiers climatiques, la gestion des effluents liquides dans l'industrie, l'impact du Pacte vert européen sur l'économie mauricienne, le potentiel de solutions durables comme l'hydrogène vert, l'agri-solaire, étude des mécanismes de la finance carbone et les opportunités ouvertes.

Cette collection est le fruit d'un travail de longue haleine et a pour objectif un partage d'expérience entre ceux qui souhaitent agir pour un développement soutenable de l'économie et contribuer à une transition plus juste de la société.

Par la présente, je voudrais féliciter l'équipe de l'assistance technique, notamment Business Mauritius, et les partenaires qui ont contribué à la réalisation de ces études et à leur publication. Je tiens également à exprimer ma gratitude vis-à-vis de l'Union européenne qui a permis le financement de ce fonds. Alors que nous entrons dans une nouvelle ère pour la finance durable, nous continuerons à œuvrer pour explorer de nouvelles méthodes et faire émerger des projets à faible impact pour Maurice.





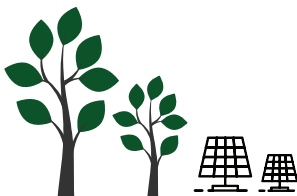
# TABLE DES MATIÈRES

## Rapport de l'étude sur le potentiel de l'intégration de l'hydrogène à Maurice

- Chapitre 1**    Objectif de l'étude et avantages de l'hydrogène vert
- Chapitre 2**    Marchés potentiels
- Chapitre 3**    La consultation et les partenariats
- Chapitre 4**    Synthèse des échanges avec les entités consultées
- Chapitre 5**    Conclusion et marche à suivre

## Étude de coût pour une station de recharge écologique pour véhicules légers préparés

- Chapitre 1**    Introduction
- Chapitre 2**    Recommandations
- Chapitre 3**    Prochaines étapes



# Chapitre 1

## Objectif de l'étude et avantages de l'hydrogène vert

L'objectif principal de cette étude est de démontrer la faisabilité technique et économique de la production d'hydrogène vert à Maurice en utilisant des sources d'énergie renouvelables, pour alimenter un électrolyseur alcalin. Il s'agit également d'encourager les acteurs locaux à s'engager dans des projets innovants liés à l'hydrogène vert et de mettre à disposition des données techniques et opérationnelles utiles à l'élaboration de politiques publiques alignées sur les objectifs de neutralité carbone.

L'hydrogène vert est une solution clé dans la transition énergétique mondiale. Produite grâce à des énergies renouvelables, cette source d'énergie est entièrement décarbonée et joue un rôle essentiel dans les secteurs difficiles à électrifier ou à décarboniser, comme :

- **Les industries lourdes** : la production d'acier, de ciment et de produits chimiques.
- **Le transport maritime et aérien** : où l'électrification directe est moins viable.
- **La production d'électricité** : comme vecteur de stockage d'énergie renouvelable pour pallier l'intermittence.

De nombreux pays, comme l'Allemagne, le Japon ou encore l'Australie, investissent massivement dans l'hydrogène vert<sup>1</sup>. Cela permet non seulement de réduire leurs émissions de carbone, mais aussi de renforcer leur autonomie énergétique. Maurice, à son échelle, peut tirer parti de cette dynamique mondiale pour devenir un acteur régional innovant et durable.

### UNE SOLUTION POUR MAURICE

Pour Maurice, l'intégration de l'hydrogène vert offre des perspectives uniques :

1. **Réduction des importations de combustibles fossiles**, en diminuant la dépendance énergétique vis-à-vis de l'extérieur.
2. **Opportunités économiques**, grâce à la création d'emplois spécialisés et au développement d'un nouveau secteur industriel.
3. **Un outil pour atteindre les objectifs climatiques**, en décarbonant les secteurs comme le transport et la production d'énergie dans les industries qui utilisent de l'huile lourde aujourd'hui.

<sup>1</sup><https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-updates-july2021/>

<https://www.agcs.allianz.com/content/dam/onemarketing/agcs/agcs/about-agcs/agcsgrd-autumn-winter-2022-green-hydrogen-map-pdf.pdf>



# Chapitre 2

## Marchés potentiels

Les marchés potentiels pour l'hydrogène vert sont vastes et comprennent :

**Transport public** : À Maurice, la conversion des bus à l'énergie verte à base d'hydrogène réduirait considérablement la dépendance de l'île aux combustibles fossiles. Ce secteur pourrait constituer une cible importante pour l'expansion future de la technologie de l'hydrogène.

**Aéroport** : La transition vers l'hydrogène vert pour alimenter les véhicules à l'aéroport de Maurice, comme le font déjà ADP en France, offrirait une visibilité importante et démontrerait l'engagement envers la durabilité environnementale.

**Approvisionnement énergétique dans les communautés éloignées** : L'utilisation de l'hydrogène pour la fourniture et le stockage d'énergie est une autre possibilité intéressante pour les communautés éloignées de Maurice, à travers le concept de micro-réseautage.

**Industrie chimique** : L'hydrogène est largement utilisé dans l'industrie chimique. La production d'hydrogène à l'échelle locale pourrait réduire la dépendance à l'importation de l'hydrogène provenant actuellement d'Afrique du Sud.

**Production d'ammoniac** : À plus long terme, l'utilisation de l'hydrogène pour la production d'ammoniac pourrait également présenter un grand intérêt et une grande valeur pour Maurice. Cependant, une usine d'hydrogène de plus grande taille serait nécessaire pour rendre un tel projet viable.

En se concentrant sur ces marchés potentiels et en développant des solutions adaptées, Maurice pourrait maximiser les avantages de l'hydrogène vert pour sa transition énergétique et son développement économique durable.



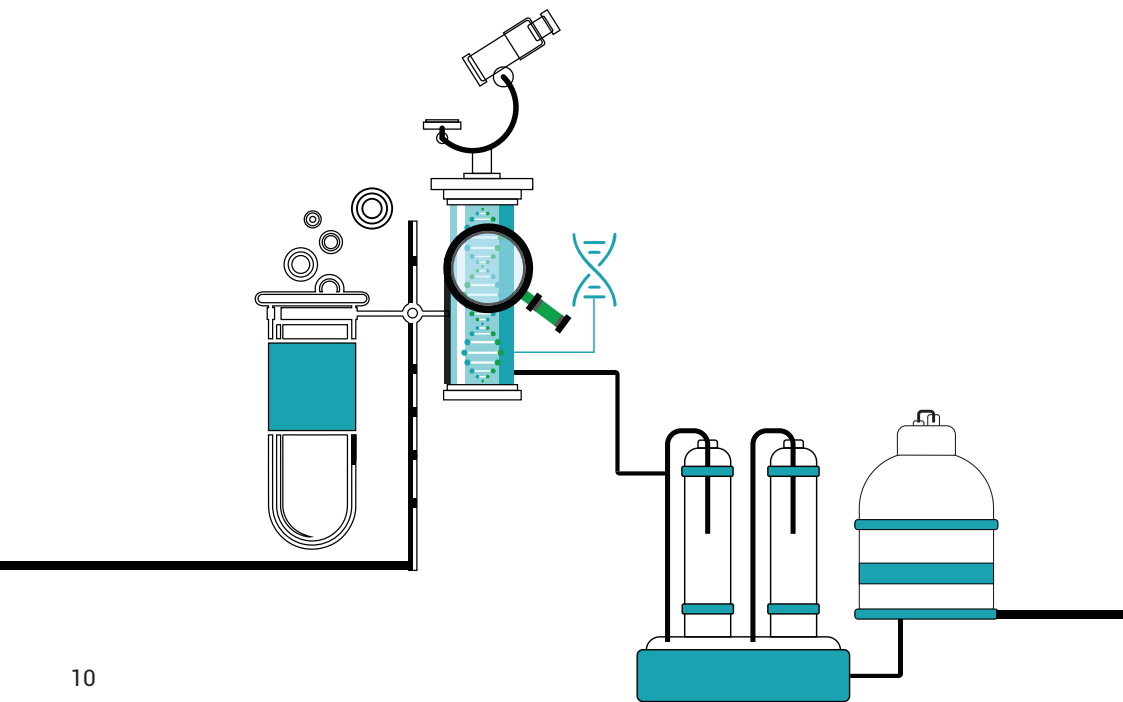
## Chapitre 3

# La consultation et les partenariats

Pour apporter les expertises techniques nécessaires pour la bonne exécution de l'étude, le consultant M. Jorge Ramos a été recruté sur la base des Termes de Références. Le consultant a été en poste du 19 avril 2023 au 12 juin 2023.

Une large consultation a été menée avec les parties prenantes locales afin de sensibiliser et d'identifier les partenaires potentiels pour contribuer à cette vision. Ces consultations ont permis d'établir des bases solides pour des collaborations futures, formalisées par des protocoles d'entente selon les apports spécifiques (techniques, financiers, opérationnels) de chaque partenaire.

Les données collectées comprennent une étude préliminaire des coûts de production de l'hydrogène vert, fournissant une base stratégique pour avancer. L'objectif de ces livrables était de fournir une aide à la décision au gouvernement pour l'élaboration de politiques publiques, ainsi que des informations sur les coûts et la faisabilité technique pour envisager un éventuel projet pilote en fonction des priorités définies. Après les consultations initiales, il a été convenu de réaliser une analyse des coûts pour un projet pilote potentiel, consistant en l'importation d'une solution clé en main pour une petite unité de production d'hydrogène vert, destinée à recharger un véhicule à hydrogène. L'analyse des coûts de ce projet pilote est présentée dans la deuxième partie du document.



# Chapitre 4

## Synthèse des échanges avec les entités consultées

Voici un tableau synthétique des résultats des consultations, respectant la confidentialité des parties prenantes :

Type d'intervenant	Objectifs principaux	Résultats
<b>Institutions financières</b>	Apport / soutien financier pour le projet via programmes durables.	Intérêt exprimé pour un éventuelle projet pilote et engagement conditionné à la présentation d'un dossier structuré.
<b>Institutions académiques</b>	Appui académique, expertise et transfert de capacités.	Contribution confirmée, partage de cartographie des besoins énergétiques prévu.  Intérêt conditionné à une rémunération pour ses interventions.
<b>Industrie gazière</b>	Expertise technique, logistique, normes de sécurité et financements potentiels.	Engagement ferme de participation et collaboration avec d'autres industriels.  Intérêt pour des projets de grande envergure (>1 MW) et collaboration future envisagée.
<b>Industrie énergétique</b>	Fourniture d'énergie renouvelable et site pour l'électrolyse.	Engagement ferme pour fournir l'énergie renouvelable et accueillir la station.
<b>Constructeur automobile</b>	Fourniture de véhicules fuel cell electric vehicle (FCEV) pour démonstration et maintenance associée.	Intérêt initial, mais arrêt de la production de véhicules FCEV par l'entreprise.
<b>Cabinet/conseil</b>	Expertise technique pour progresser davantage, développer des solutions et élaborer une stratégie nationale.	Intérêt confirmé.
<b>Organisation gouvernementale</b>	Appui institutionnel pour inclure l'hydrogène vert dans la stratégie nationale énergétique.	Participation active et engagement à soutenir l'étude présente.
<b>Organisations internationales</b>	Exploration de financements via des programmes européens et banques d'investissement.	Intérêt à explorer des partenariats, mais absence de financement direct disponible à ce stade.
	Soutien institutionnel et financier pour la recherche.	Intérêt confirmé avec possibilité de financement conditionné par d'autres apports.
	Appui pour identifier des experts et solutions techniques en hydrogène.	Mise en relation facilitée avec des acteurs français du domaine.

Les consultations ont permis de confirmer l'intérêt croissant des acteurs publics, privés et académiques pour ce projet, tout en mettant en lumière des enjeux clés liés à sa réalisation. 11

## Points marquants des échanges avec les parties prenantes :

### 1. Prise de conscience nationale :

Le sujet de l'hydrogène vert a été progressivement intégré aux discussions nationales sur la transition énergétique. Ce travail de sensibilisation a conduit à l'inclusion, dans le budget annuel de l'État mauricien, de l'élaboration d'une stratégie nationale dédiée à l'hydrogène vert.

### 2. Partenariats public-privé (PPP) :

Les échanges ont révélé un enthousiasme des acteurs privés et publics pour collaborer dans un cadre de partenariat. Les entreprises industrielles locales et internationales ont exprimé leur volonté de participer, notamment en fournissant des technologies adaptées aux besoins spécifiques de Maurice. Les universitaires, pour leur part, se sont montrés prêts à accompagner l'étude tout en bénéficiant d'un transfert de compétences.

### 3. Défis financiers :

Malgré l'intérêt général, le financement pour le projet pilote sous considération reste un obstacle majeur. Les contraintes identifiées incluent :

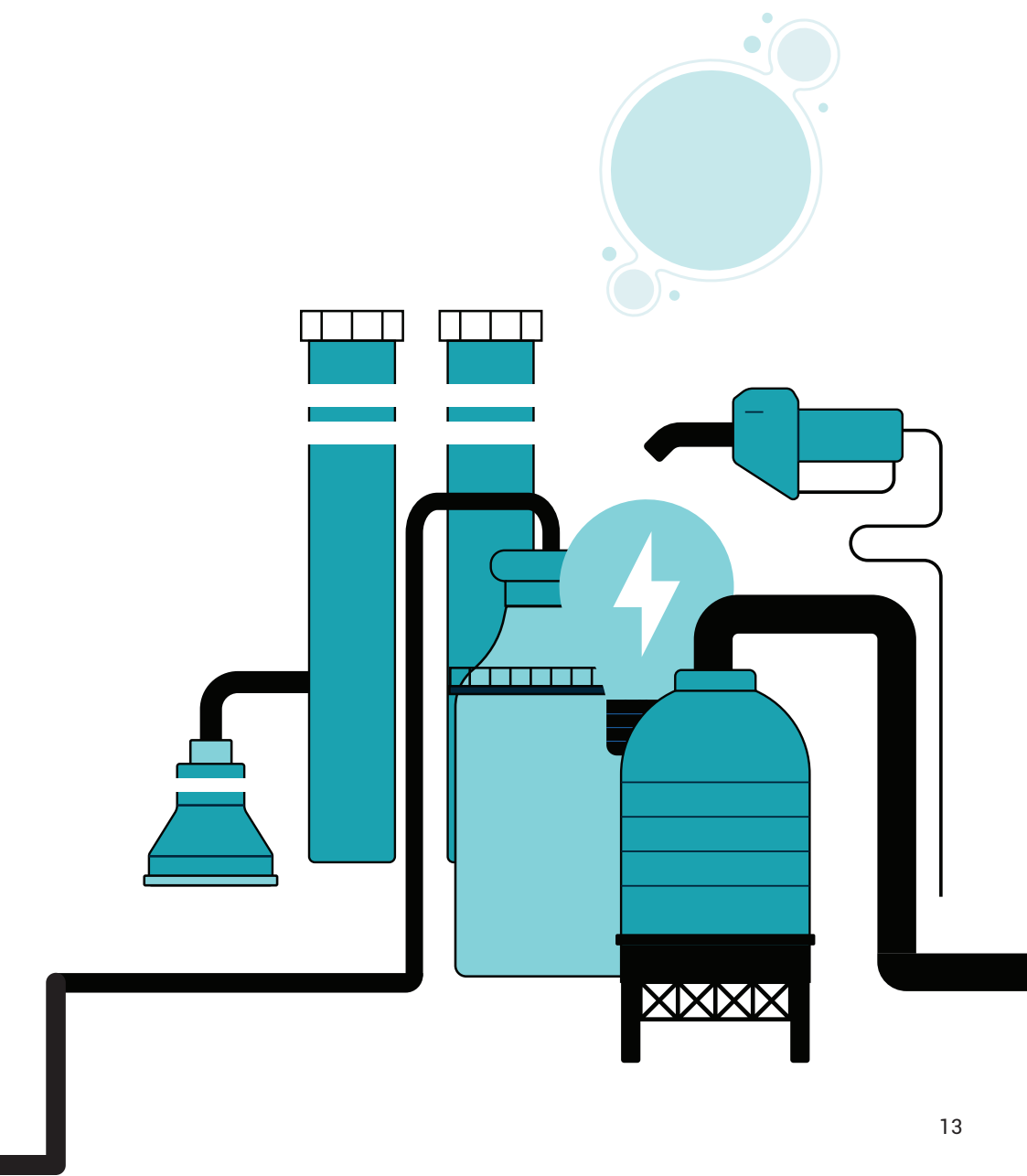
- L'ampleur des financements requis. Cette offre est cotée à 530 k€ ( $\pm 20\%$  en raison des contingences et des besoins opérationnels d'installation sur site). Il convient de noter que ces coûts n'incluent pas l'acquisition des véhicules à hydrogène (technologie FCEV), dont le coût unitaire est estimé à 60 k€.
- La nécessité d'un leadership fort de la part d'un ou plusieurs partenaires.
- Les cadres juridiques à établir pour mobiliser des fonds publics et privés.
- La gestion des risques associés à un projet innovant de cette envergure.

### 4. Table ronde sur l'hydrogène vert :

À la suite de l'annonce par le Ministère de l'Environnement, de la Planification et du Développement (MOFEPD) de l'élaboration d'une stratégie nationale sur l'hydrogène vert, et après la finalisation du rapport du consultant Jorge Ramos, l'Assistance Technique a organisé une table ronde le 6 juin 2023 avec les parties prenantes intéressées par le projet. Les participants incluent des représentants de diverses entités publiques et privées, telles que HSBC, Business Mauritius, MOFEPD, AFD, et des fournisseurs ou experts comme Atawey, Quair et Les Gaz Industriels.

Plusieurs sujets ont été abordés lors de cette rencontre :

- La solution technique pour la production d'hydrogène et l'installation d'une station de ravitaillement pour véhicules à Maurice.
- Les implications techniques, en particulier la conformité avec les meilleures pratiques internationales en matière de santé et de sécurité.
- Les coûts estimés des solutions proposées par les différents fournisseurs.
- L'importance d'une approche nationale, soutenue par tous les secteurs, pour faire avancer le projet.
- La possibilité pour le secteur public de diriger le projet avec une forte collaboration du secteur privé.



# Synthèse du rapport du consultant

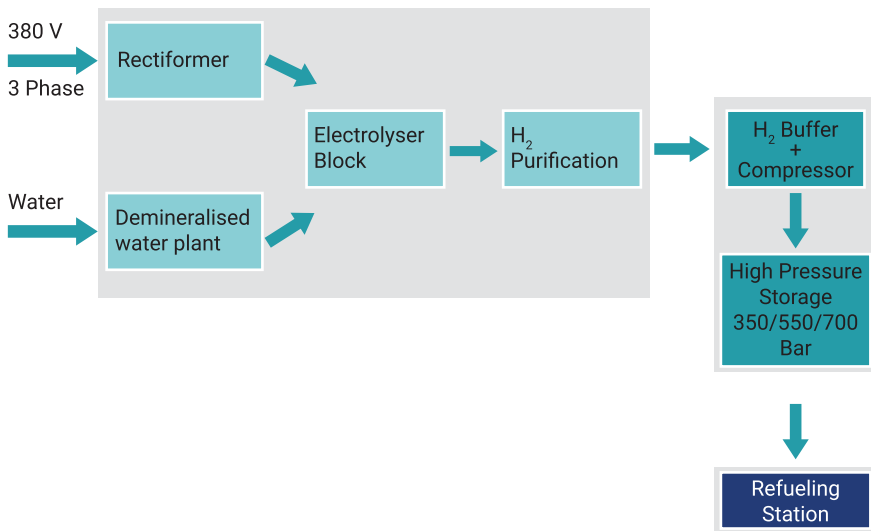
## Jorge Ramos

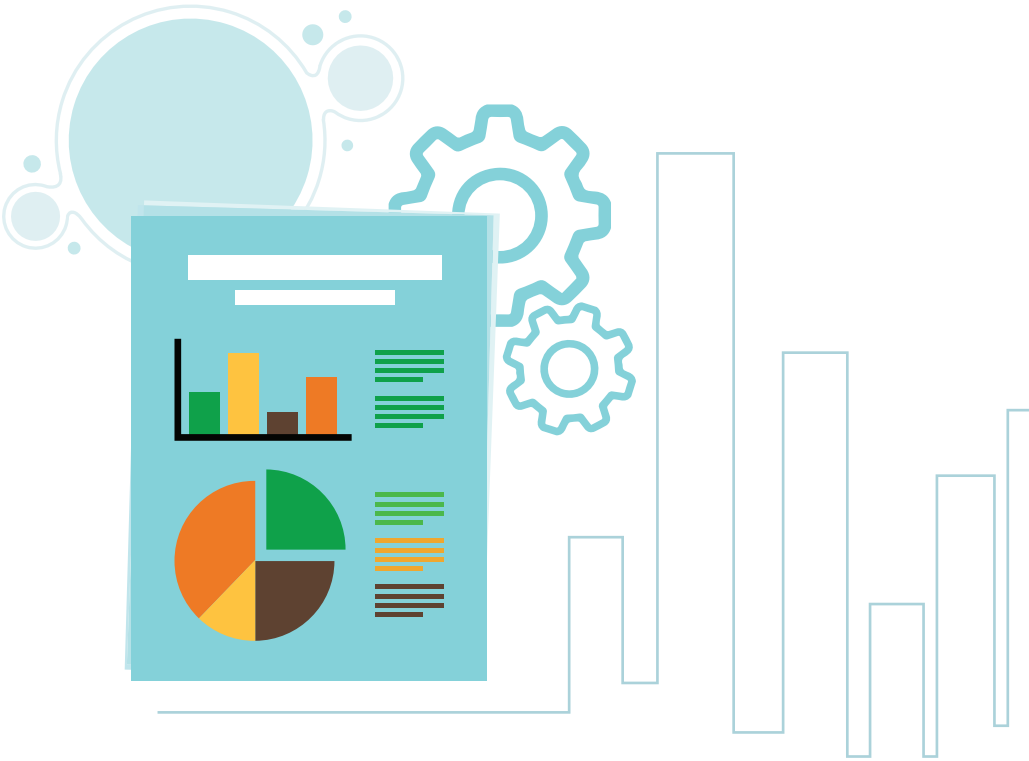
Après avoir été en contact avec un certain nombre de fournisseurs (utilisant à la fois son réseau de contact existant et les contacts mis à disposition par France Hydrogène). Le consultant a défini une solution type des infrastructures nécessaires selon les meilleures pratiques internationales en termes d'hygiène et de sécurité pour la conduite de Proof-of-Concept dans le cadre de l'étude proposée.

Également, les échanges avec les fournisseurs de solutions ont permis d'établir qu'il serait très compliqué de louer des solutions clés en main pour les besoins et la durée de l'étude car trop onéreux. En accord avec l'Assistance Technique, il fut décidé d'orienter les demandes de cotations

vers une acquisition permanente de ces solutions car, en définitive, une solution mise en place à Maurice pourrait être pérennisée dans le cadre de la transition vers une économie bas-carbone. Cette approche nécessite cependant de repenser les structures administratives à mettre en place pour la gestion de l'étude et la nécessité d'un accompagnement fort de l'état mauricien pour tirer un maximum de valeur des solutions acquises sur leurs durées de vie.

De façon schématique, la solution telle que définie par l'expert et à mettre en place pour les besoins de l'étude est reproduit ci-dessous :





# Chapitre 5

## Conclusions et marche à suivre

Cette étude a permis d'introduire et de démystifier le sujet de l'hydrogène vert dans les dialogues nationaux sur la transition énergétique bas-carbone de Maurice.

Les intérêts autour de l'hydrogène vert comme vecteur énergétique sont écologiques (l'hydrogène vert a le potentiel de décarboner les activités industrielles difficiles à décarboniser et de se compléter à l'électrification de certains besoins dont les systèmes de mobilité individuelle ou public), et aussi économiques et stratégiques pour asseoir la souveraineté énergétique de Maurice (création de nouveaux secteurs industriels verts, création de nouveaux métiers et de jobs, résilience face aux fluctuations des marchés internationaux énergétiques et adresser les problèmes d'intermittence des énergies renouvelables).

Les arguments présentés par l'équipe projet ont permis de convaincre le gouvernement mauricien d'élaborer une stratégie nationale sur l'hydrogène vert. Ceci constitue un grand accomplissement en soi et donne confiance en la volonté du gouvernement mauricien de développer le sujet de l'hydrogène comme un élément essentiel de sa stratégie énergétique.

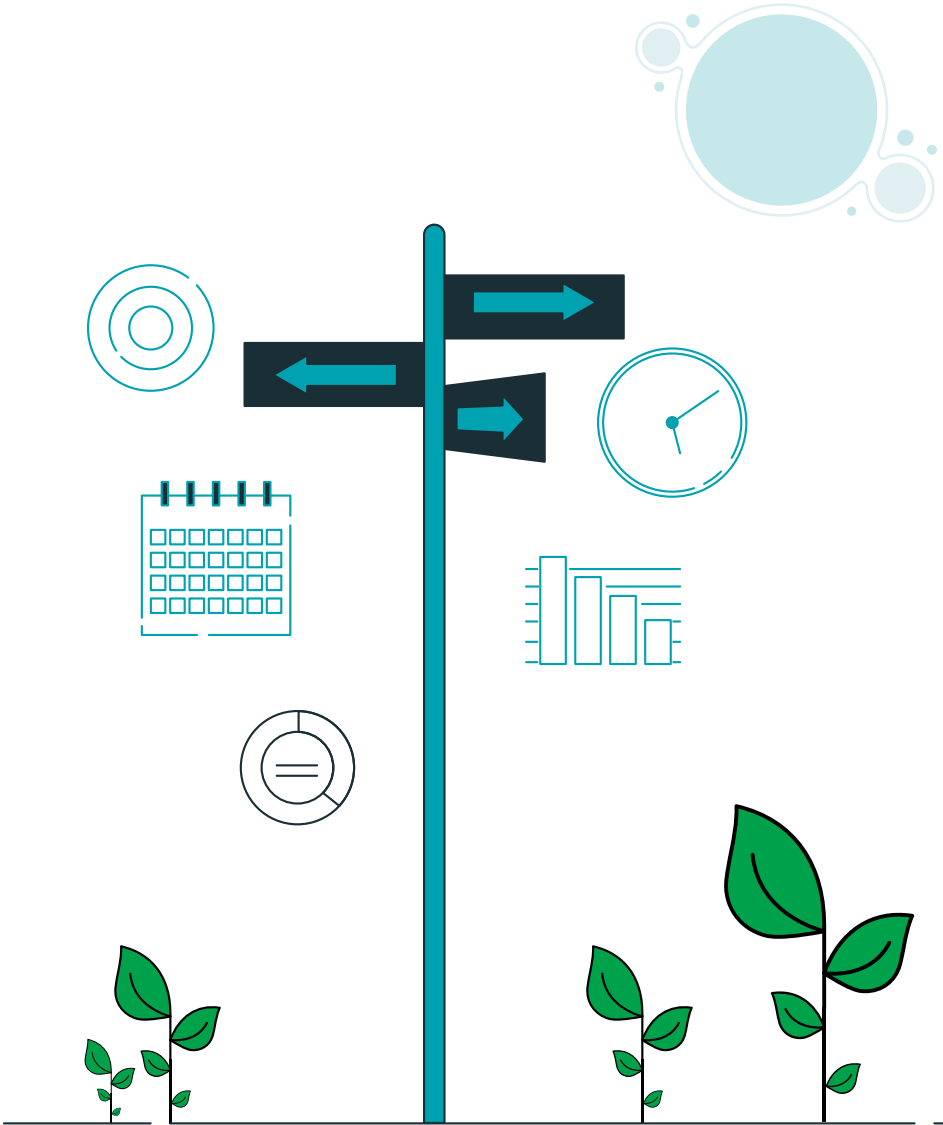
Les parties prenantes se sont, dans la majorité, montrées intéressées à participer à l'étude telle que défini par l'équipe projet. Celle-ci a par ailleurs été à l'écoute des suggestions des entités consultées et a modifié son approche en conséquence. Les travaux effectués par le consultant Jorge Ramos, ont par ailleurs, été d'une grande aide pour définir les solutions techniques applicables aux besoins de l'étude. Les résultats de ces travaux peuvent être élargis à des besoins plus larges si nécessaire.

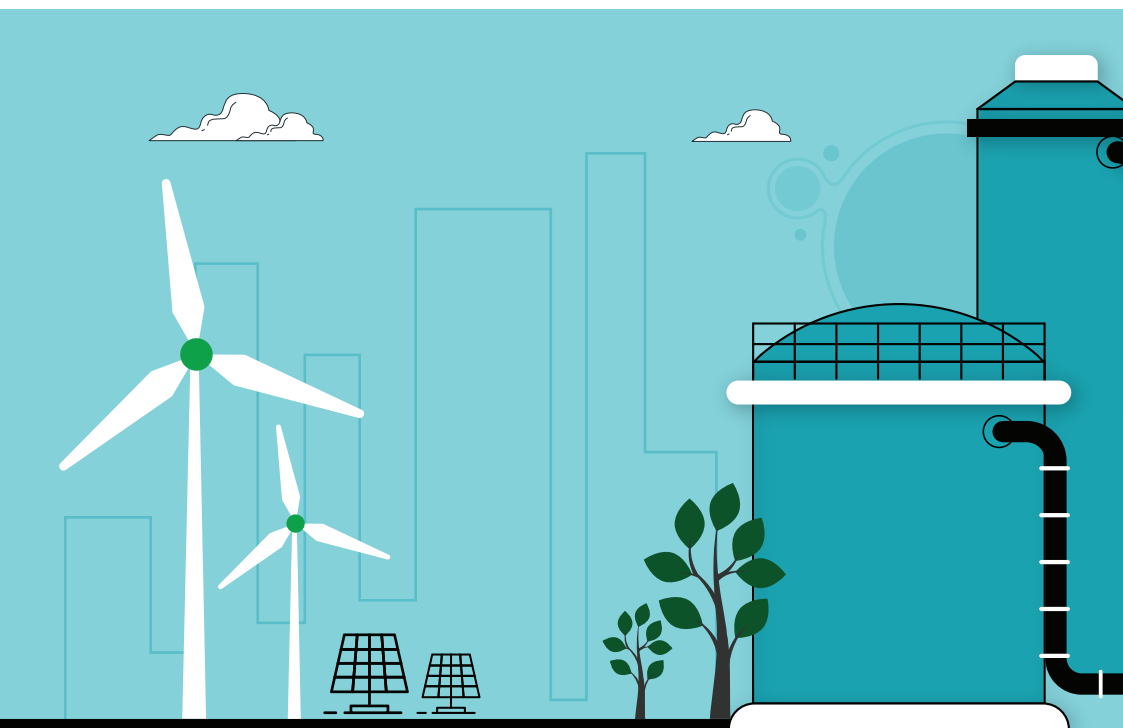
La mise en œuvre d'un projet pilote, si les parties le souhaitent, dépendrait des actions suivantes :

- 1) À rassembler le financement nécessaire pour l'acquisition, l'installation et l'opération & maintenance des infrastructures nécessaires. Pour cela, il faudrait poursuivre les discussions avec les instances publiques et privées avec une priorité donnée au secteur public en raison du rôle de leadership que celui-ci doit assumer pour l'implantation de l'hydrogène vert comme vecteur énergétique.
- 2) À mettre en place une structure juridique adéquate qui permettra à l'ensemble des parties prenantes d'être représentées dans le cadre d'un partenariat public-privé (PPP), à assurer une gouvernance en ligne avec les meilleures pratiques pour l'utilisation des fonds publics et privés, à canaliser le flux de capitaux nécessaires pour le bon déroulement de l'étude et finalement à pérenniser les investissements faits dans la solution de production de l'hydrogène dans le cadre de l'étude.

Nous estimons que la mise en œuvre réussie d'un tel projet pilote donnera confiance aux bailleurs de fonds et aux investisseurs privés pour l'implémentation de projets d'hydrogène vert à plus larges échelles.



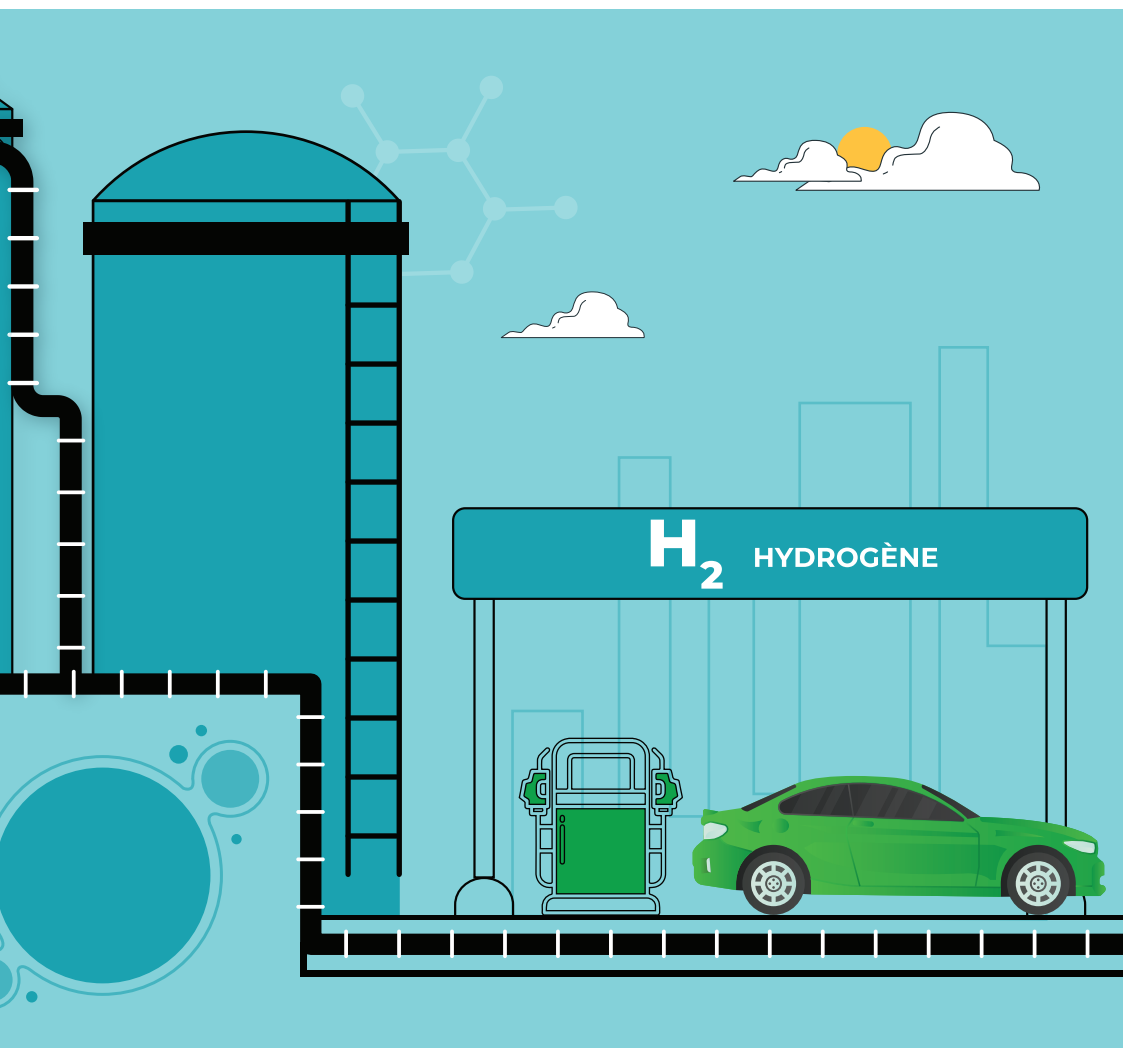




Étude de coût pour une station de recharge

# ÉCOLOGIQUE

pour véhicules légers préparés



# INTRODUCTION

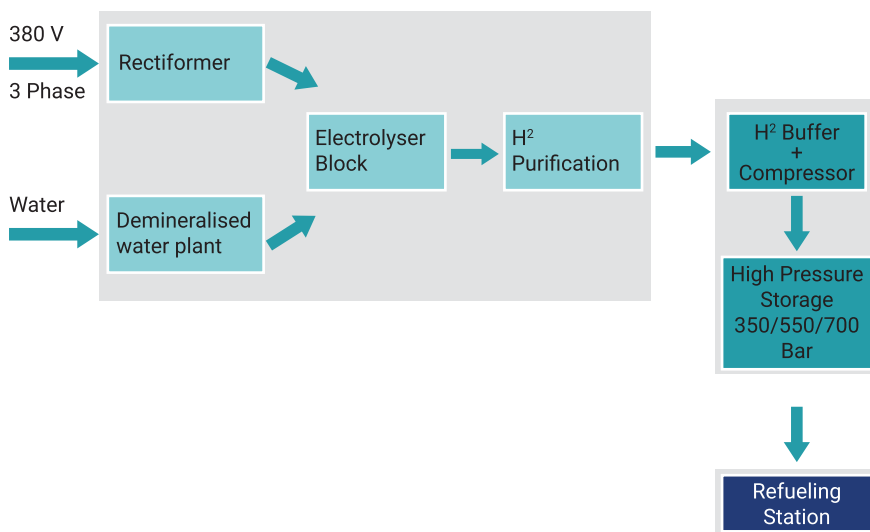
Le but de cette étude de cout était tout d'abord d'examiner les spécifications techniques des équipements optimaux répondant aux besoins du projet pilote où "proof of concept". Ensuite, il s'agissait de déterminer le coût de telles solutions. Le consultant désigné a contacté les entreprises du secteur de l'énergie verte

et obtenu des devis budgétaires pour une station de ravitaillement en hydrogène, avec une capacité initiale permettant à un véhicule léger de parcourir 2 000 km par mois. Cela signifie une consommation approximative de 200 kg (ou 2 225 Nm<sup>3</sup>) d'hydrogène par mois.

Cette analyse budgétaire des coûts facilitera éventuellement l'obtention des fonds nécessaires pour la mise en oeuvre du projet. Cette station de ravitaillement en hydrogène sera :

- Alimentée en électricité renouvelable triphasée 380V à partir d'un parc éolien existant dans le nord-est de Maurice ;
- Composée d'une unité électrolyseur (production), de stockage haute pression et d'une station de remplissage ;
- Modulaire, de sorte que toute augmentation de la demande future puisse être facilement réalisée en ajoutant des modules de production et/ou de stockage à la configuration initiale.

Pour une meilleure compréhension, un diagramme très générique du système est rappelée ci-dessous:



## **"Sécurité avant tout" - Systèmes d'hydrogène**

L'hydrogène est la plus petite molécule et, par conséquent, le gaz le plus léger sur Terre. Il est incolore, inodore et insipide, ce qui rend sa détection difficile et le rend susceptible aux fuites. De plus, l'hydrogène est hautement inflammable et nécessite très peu d'énergie pour s'enflammer ; même l'électricité statique suffit à provoquer une ignition. Lorsqu'il brûle dans l'air, l'hydrogène produit une flamme bleu pâle, presque invisible. À partir de concentrations aussi faibles que 4 %, il peut former des mélanges explosifs avec l'air<sup>2</sup>.

Compte tenu de ces propriétés particulières de l'hydrogène, il était essentiel de s'assurer que les entreprises consultées dans le cadre de cette étude disposent de l'expertise et du savoir-faire nécessaires pour gérer la production, la compression, le stockage et la logistique du transport de l'hydrogène.

### **Étude de coût**

Plusieurs entreprises ont été contactées dans 3 catégories différentes :

1. Entreprises de gaz industriels (producteurs traditionnels de grands volumes d'hydrogène)
  - 1.1. Air Liquide
  - 1.2. Air Products
  - 1.3. Linde/Afrox (via Les Gaz Industriels - Maurice)
  - 1.4. Total Energies
2. Entreprises d'ingénierie qui intègrent des équipements dans le domaine de l'hydrogène pour fournir des solutions clés en main
  - 2.1. Powidian
  - 2.2. HDF
  - 2.3. Spirare
  - 2.4. Arhyze
  - 2.5. Atawey
3. Fournisseurs d'équipements
  - 3.1. Enapter (Systèmes électrolyseur basés en France)
  - 3.2. Hydrogenics (Systèmes électrolyseur basés en Belgique, faisant partie de Cummins)
  - 3.3. Peric Hydrogen Technologies (Systèmes électrolyseur basés en Chine)
  - 3.4. BTIC (Bouteilles haute pression, basées en Chine)
  - 3.5. Haskel (Surpresseurs haute pression et stations de ravitaillement)

Il est rapidement devenu évident que la plupart des entreprises avaient très peu d'intérêt à estimer le coût d'un tel système (petite taille), même si cela ne représentait qu'un exercice théorique visant à élaborer le scénario budgétaire.

Ce qui a été demandé aux entreprises des catégories 1 et 2 était donc de fournir les coûts budgétaires pour la plus petite unité standard qu'elles avaient déjà conçue ou construite, en détaillant la capacité respective.

<sup>2</sup>AGA Gas Handbook 1985, page 312

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	Capacité de l'électrolyseur	High Pressure (HP) Capacité de stockage	Capacité de la station de ravitaillement	Estimation de coût k€	Délai de livraison (mois)	Commentaires
<b>Air Liquide (Achat)</b>	X	X	200 kg/jour -- 700 bar -- (200 bar inlet)	1 240 k€	14	
<b>Air Liquide (Location)</b>	X	12,8 kg	10 kg/jour	260 - 5 mois	TBA	Nécessite la disponibilité de H <sub>2</sub> à min 200 bar. Unité portable
<b>Air Liquide (Location)</b>	X	X	25 kg/jour	135 - 6 mois	TBA	Nécessite la disponibilité de H <sub>2</sub> à min 200 bar. Unité portable
<b>Enapter</b>	2,5Nm <sup>3</sup> /h 35 bar outlet	X	X	50 + 30		Plus 30 k€ pour l'expédition et main d'œuvre
<b>Haskel</b>	X	35 to 700 bar 10Nm <sup>3</sup> /h	25 kg/jour	350 + 40 (Main d'oeuvre)	9	HP Booster & Station de ravitaillement
<b>BTIC</b>	X	12x 65 Lt x 300 bar	X	20	4	Cylinder bundle
<b>Powidian (Enapter)</b>	2,5Nm <sup>3</sup> /h 35 bar outlet	10x50Ltx 350bar 17 kg	2 to 3 véhicules/ jour 350/700 bar 10 kg/ jour	760 + 170 (Main d'oeuvre)	12	Système entièrement intégré
<b>Spirare (Peric)</b>	10Nm <sup>3</sup> /h 30 bar outlet	Diaphragm Compressor 500 bar outlet; 10 kg storage	20 kg/jour (limité par la production)	1 680 k€ + 63 (Main d'oeuvre)	14	Système entièrement intégré
<b>Atawey (Arhyze)</b>	0,9Nm <sup>3</sup> /h (2 kg/jour)	15 kg	10 kg/jour	440 + 90 (transport, mise en service et formation)	7	Système entièrement intégré  Unité de seconde main d'oeuvre au prix de 350 k€ excluant les travaux
<b>Atawey (Qair) (Location)</b>	0,9Nm <sup>3</sup> /h (2 kg/jour)	15 kg	10 kg/jour	120 - 6 mois + 90 (transport, mise en service et formation)	7	Système entièrement intégré

Parmi les entreprises de la catégorie 1 :

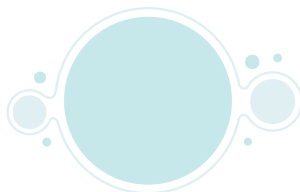
- Total Gas et Linde/Afrox ne sont pas intéressés par ce projet.
- Air Liquide et Air Products ne sont pas intéressés par la vente d'électrolyseurs d'hydrogène (l'une des raisons étant leur réseau d'approvisionnement en hydrogène déjà existant). Leurs stations de ravitaillement sont à échelle industrielle et trop grandes pour notre projet. Il est intéressant de noter qu'ils disposent de stations de ravitaillement portables, pouvant être louées pour des périodes limitées (voir les détails dans le tableau ci-dessus).

Parmi les entreprises de la catégorie 2 :

- Des propositions détaillées ont été reçues de Powidian, Atawey et Spirare. Powidian et Atawey sont des entreprises basées en France. Atawey a également proposé une option de location. Spirare est une entreprise basée en Inde.
- HDF n'était pas intéressé à participer à notre projet.
- Arhyze a refusé de participer à notre projet en raison de sa taille (ils ne s'intéressent qu'aux projets de plus de 1,0 MW). Ils ont recommandé que nous parlions à Atawey.

Parmi les entreprises de la catégorie 3 :

- Enapter (une entreprise française) nous a fourni une liste de prix pour leurs électrolyseurs d'hydrogène modulaires standard. De plus, ils nous ont conseillé de contacter Powidian pour une offre clé en main.
- Hydrogenics, faisant partie de Cummins et travaillant avec HDF, n'était pas intéressé par ce projet.
- Peric Hydrogen Technologies, de Chine, nous a conseillé que pour de telles installations, ils travaillent via Spirare.
- BTIC, de Chine, nous a fourni les coûts des bouteilles composites haute pression pour les besoins de stockage haute pression.
- Haskel, faisant partie d'Ingersoll Rand, nous a fourni les coûts du surpresseur à hydrogène pour augmenter la pression de 35 à un maximum de 700 bars. De plus, ils ont une option de fourniture d'un système intégré comprenant la station de ravitaillement, mais excluant l'électrolyseur.



## Analyse des propositions

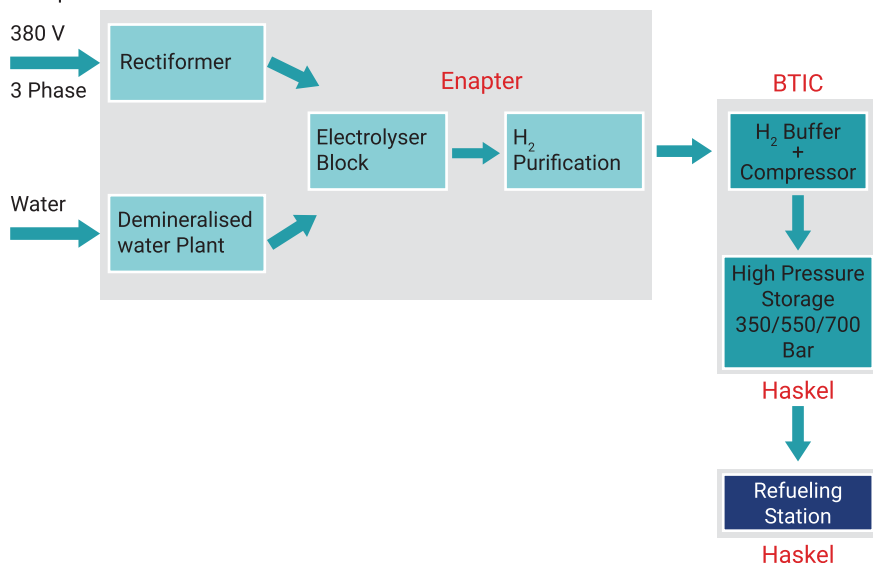
1. Toutes les propositions reçues ont abordé (certains de manière plus détaillée que d'autres) les exigences de conception et opérationnelles pour manipuler l'hydrogène sous pression de manière sûre. Ces exigences de sécurité de base sont incluses dans les différentes offres budgétaires reçues. Toutes les autres exigences de sécurité découlant généralement de l'approche de contrôle de l'usine sont couvertes dans la marge de  $\pm 20\%$ .

2. La proposition la plus proche de l'exigence initiale d'alimenter un véhicule léger pour 2 000 km par mois est celle reçue d'Atawey. Elle est également la plus rentable avec un coût budgétaire de 530 000 euros entièrement inclus et sur une base clé en main installée à Maurice. Il existe deux autres options à envisager :

- Une unité d'occasion d'un an, mais avec des garanties, en vente pour 350 000 euros départ usine. Un coût supplémentaire pour l'inspection de sécurité, les tests, le transport et la mise en service de 110 000 euros devrait être pris en compte, portant le coût total estimé à 460 000 euros installé.
- Location à 120 000 euros pour une période de 6 mois - cela pourrait être une approche intéressante pour définir une période de location initiale avec une option d'achat (en principe, le représentant d'Atawey n'a pas été opposé à ce concept). La conception de cette installation permet également une croissance limitée jusqu'à 5 400 km par mois.

3. Les offres de Powidian et Spirare, également pour des systèmes entièrement intégrés, mais pour des installations de plus grande taille, sont considérablement plus chères et ne sont pas recommandées à ce stade. Ils devraient néanmoins être consultés lorsqu'une demande formelle de devis sera émise.

4. Une autre approche possible est celle d'acheter l'équipement auprès de différents fournisseurs, de réaliser l'intégration et la mise en service sur site. Cette approche est illustrée ci-dessous, avec indication des fournisseurs d'équipement possibles, bien qu'il existe d'autres options potentielles.

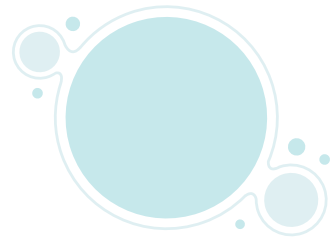




Bien que le coût budgétaire total soit de 470 000 euros, des dépenses supplémentaires seront nécessaires pour la conception l'ingénierie et la gestion du projet sur site. Une estimation de 120 000 euros devrait être prévue pour cela, ce qui porte le coût budgétaire total à environ 600 000 euros pour cette option. Bien que plus coûteuse (et un projet plus complexe à gérer), elle présente certains avantages, comme suit :

- Un électrolyseur de plus grande taille, avec possibilité d'expansion future, en raison de sa conception modulaire.
- Possibilité d'installer l'électrolyseur dans un emplacement et la station de ravitaillement dans un autre emplacement (dans ce cas, le transport d'hydrogène haute pression entre les deux emplacements sera nécessaire, et un coût supplémentaire de 30 000 euros devrait être pris en compte pour le stockage haute pression à sourcer auprès de Biogas Technology and Information Center).
- Si le travail de conception d'ingénierie était réalisé à Maurice, le savoir-faire et l'expérience resteraient dans le pays pour les projets futurs.

5. Les options présentées par les grandes entreprises de gaz industriels, Air Liquide et Air Products, ne sont pas appropriées à ce stade en raison de leur taille et des coûts associés.



# RECOMMENDATIONS

Suite à l'examen de tous les devis reçus et conformément aux exigences de la preuve de concept, le consultant a recommandé de retenir l'offre basée sur le système proposé par Atawey, avec un cout budgétaire de 530 000 euros ( $\pm 20\%$ ).

D'autre part, la possibilité d'acheter l'unité d'occasion chez Atawey à un prix réduit devrait davantage être étudiée.

Atawey a vendu 12 de ces unités dans le monde entier.

# PROCHAINES ÉTAPES

Une fois l'approbation du budget d'investissement (CAPEX) obtenue, le document de demande de devis (RFQ) devrait être émis, demandant (mais sans s'y limiter) :

- Rendements de l'usine et garanties
- Diagramme de procédé et d'instrumentation (PID)
- Description détaillée des contrôles de l'usine et des scénarios de défaillance
- Liste des fabricants d'équipements
- Programme de maintenance
- Liste de pièces de rechange pour 2 ans
- Détails des tests de performance
- Délai de livraison
- Prix (équipement et main-d'œuvre pour la supervision du montage et la mise en service)

Les propositions reçues devraient ensuite être examinées de près du point de vue de la santé, de la sécurité et de l'environnement (HSE), des performances et des prix, ce qui permettra l'acquisition de l'usine.

