



Hydrogène pour l'Île de La Réunion, Etat de l'art sur la planète, Potentialités pour l'Île de La Réunion

EnR-Eau-H2-02-PAC-Electricité-Chaleur

**Proposition de programme
d'actions 2005 – 2008
en vue d'un plan 2008 - 2050**



Téléchargez les dossiers d'études

« Hydrogène pour l'Île de La Réunion » sur le site :

<http://www.arer.org>

Info Energies Renouvelables et développement durable - Conseil gratuit au 0262 257 257.

www.arer.org * mail : arer@arer.org

Association loi 1901 à but non lucratif * Siège social : 40 avenue de Soweto * BP 226 * 97456 Saint-Pierre Cedex

Tel : 0262 38 39 38 * Fax : 0262 96 86 91 * n° siret : 43928091800020

SOMMAIRE

I /HYDROGÈNE ET L'ILE DE LA RÉUNION : QUELQUES POINT DE REPÈRES.....	3
A /2004 : UNE BASE DE DONNÉE HYDROGÈNE ENFIN DISPONIBLE À LA RÉUNION :.....	3
B /UN CONSTAT : L'ÉCONOMIE DE L'HYDROGÈNE POUR L'ÎLE DE LA RÉUNION, UN VECTEUR ÉNERGÉTIQUE D'AVENIR, UNE RÉPONSE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE, AUSSI BIEN EN TERME D'ADAPTATION AUX CONSÉQUENCES, QUE DE MODÉRATION DES CAUSES.....	3
C /UN SCÉNARIO DE DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE H2 À VALIDER : ENR-EAU-H2-O2-PAC-ELECTRICITÉ-CHALEUR.....	5
II /UN GROUPE DE TRAVAIL POUR ORGANISER L'ÉVENTUEL LANCEMENT DE LA FILIÈRE H2 RÉUNION.....	5
A /PHASE DE PRÉFIGURATION ET PLAN D'ACTION DÉTAILLÉ 2005-2008 :.....	5
B /3 MODULES SONT À RÉUSSIR DURANT CETTE PHASE DE PRÉFIGURATION :.....	6
<u>1. MODULE 1 : Veille technologique, information et éducation des acteurs locaux :.....</u>	<u>6</u>
<u>2. MODULE 2 : Opérer des transferts de technologies démonstratives.....</u>	<u>6</u>
<u>3. MODULE 3 : Préparation du plan de développement 2008-2050.....</u>	<u>6</u>
III /ANNEXES	7
A /ANNEXE 1 : SOMMAIRE RAPPORT RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT : PRODUCTION D'HYDROGÈNE.....	7
C /ANNEXE 2 : SOMMAIRE RAPPORT RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT : MISE EN PLACE D'UNE FLOTTE DÉMONSTRATIVE DE BUS À HYDROGÈNE SUR LA ROUTE DES TAMARINS À L'ÎLE DE LA RÉUNION.....	9
D /ANNEXE 3 : POSTERS.....	11

I / Hydrogène et l'île de La Réunion : quelques point de repères

A / 2004 : Une base de donnée Hydrogène enfin disponible à La Réunion :

L'ARER est mandatée par ses administrateurs pour assurer la promotion des énergies renouvelables et de la maîtrise de l'énergie à l'île de La Réunion et la préservation des ressources énergétiques. Le Conseil Régional de La Réunion met en place une politique énergétique visant à produire la totalité de l'électricité réunionnaise avec les énergies propres : sur le long terme, assurer pour l'île de La Réunion la sécurité d'approvisionnement en énergie fondée sur les énergies propres et renouvelables. De nombreuses études ont conduit à la programmation du PRERURE (Plan Régional des Energies Renouvelable et de l'Utilisation Rationnelle de l'Energie) : la faisabilité technique de ces objectifs a été démontrée. Le Conseil Régional et ses partenaires (ADEME, EDF, Sideléc, ARER) s'attachent dorénavant à développer à grande échelle cette stratégie énergétique insulaire.

Parmi toutes les ressources et filières technologiques envisagées, le PRERURE recommande la veille technologique et la mobilisation progressive du vecteur énergétique Hydrogène et de sa technologie associée, la Pile à combustible.

Dans le cadre de sa plate forme recherche développement appliquée 2004, l'ARER en collaboration avec 5 élèves ingénieurs en stage Recherche et Développement longue durée, a rassemblé une base de données parcourant l'état de l'art sur la planète et le potentiel d'application pour un système énergétique insulaire tel que l'île de La Réunion. Nous avons décomposé notre approche en quatre thématiques :

- Filière hydrogène - production d'hydrogène et d'oxygène fondée sur l'électricité propre et renouvelable et l'électrolyse de l'eau en territoire insulaire
- Filière hydrogène - Stockage et distribution de l'hydrogène en territoire insulaire
- Filière hydrogène - Production d'électricité avec de l'hydrogène, état de l'art et applications possibles pour les systèmes énergétiques insulaires
- Filière hydrogène - Examen des conditions de mise en place d'un réseau de bus en flotte captive sur les quatre voies de l'île de la Réunion - Examen des inter modalités avec le TCSP et des funiculaires implantés sur les ensembles urbains de mi-pentes traversés par la route des tamarins.

B / Un constat : l'économie de l'hydrogène pour l'île de La Réunion, un vecteur énergétique d'avenir, une réponse au changement climatique, aussi bien en terme d'adaptation aux conséquences, que de modération des causes

La croissance de la consommation mondiale des énergies fossiles a pour conséquence l'accroissement des émissions de gaz à effet de serre dans notre atmosphère, et l'épuisement des réserves mondiales des combustibles pétrolier et gazier prévu, respectivement, d'ici 40 et 60 ans. Face à cette situation alarmante, de nouveaux vecteurs d'énergie doivent être mobilisés, pour conduire les adaptations nécessaires de notre civilisation, en réponse au changement climatique.

C'est le cas de l'hydrogène qui peut aussi bien couvrir les besoins énergétiques des secteurs du transport et du résidentiel/tertiaire par le biais des piles à combustibles. En développement à l'échelle planétaire, l'économie hydrogène est amenée résoudre d'importante difficultés d'approvisionnement énergétique dans les territoires insulaires.

L'hydrogène est l'élément chimique le plus répandu sur terre. Son pouvoir énergétique est bien supérieur à celui des autres énergies fossiles et son utilisation (PAC, ou combustion) n'émet que de la vapeur d'eau. Mais il n'existe pas à l'état pur. Sa production nécessite donc un apport d'énergie nécessaire à son extraction de la molécule dans laquelle il se trouve.

Les deux principaux moyens de production sont :

- Le reformage à la vapeur d'eau d'hydrocarbures ou d'alcool provenant de végétaux qui représente, aujourd'hui, 95% de la production d'hydrogène. Cette méthode ne présente pas un bon bilan environnemental à cause de ses émissions d'oxydes de carbone.
- L'électrolyse de l'eau. C'est un procédé plus coûteux mais une solution durable à condition d'utiliser de l'électricité verte. La demande électrique de l'électrolyse est estimée à environ 5kWh/Nm³ d'hydrogène.

L'île de la Réunion est dépourvue de ressources fossiles mais possède un potentiel de valorisation des sources d'énergies propres et renouvelables très important démontré dans les études conduites par la Région Réunion pour la mise en œuvre du PRERURE¹. L'intérêt de La Réunion pour la filière hydrogène rentre donc dans le cadre du programme d'indépendance et de diversification énergétique de l'île ainsi que du développement durable et de la protection de l'environnement. Nous avons donc écarté d'emblée les techniques de production d'hydrogène à partir des énergies fossiles. Nous nous sommes pour l'instant focalisé, sur la production d'hydrogène à partir de l'électrolyse de l'eau alimentée par l'électricité d'origine renouvelable.

240 millions de m³ d'eau sont prélevés sur la ressource en eau réunionnaise chaque année pour les besoins en eau des réunionnais. 2 millions de m³ d'eau serait nécessaire pour produire l'hydrogène en substitution de la consommation fossile annuelle réunionnaise dédiée au transport terrestre, soit à peine 1 % de la consommation d'eau réunionnaise totale. La question de fond n'est donc pas la ressource en eau mais bien le productible d'électricité renouvelable nécessaire pour la transformation de l'eau en hydrogène. Nous avons aussi raisonné en développant ces systèmes de production d'électricités renouvelables nécessaires, en complément de la programmation prévue par le PRERURE 2002.

Nous avons aussi pu constater la maturité des technologies d'électrolyse et leur essor planétaire. La ressource en eau est présente partout sur l'île à des degrés divers, de même que les ressources d'énergies renouvelables. La production d'hydrogène peut être envisagée de façon décentralisée, aussi bien pour des applications stationnaires dans les constructions que pour des usines d'hydrogène dédiées aux applications des transports.

Les techniques pour le transport et le stockage de l'hydrogène sont à un stade significatif de maturité et de fiabilité et progressent rapidement. La réglementation se met en place progressivement aussi bien en applications stationnaires que transportées, le vecteur hydrogène devient une réponse adéquate à la problématique de régulation de l'offre et de la demande en électricité ou en carburant pour nos espaces insulaires.

Pour un réseau énergétique insulaire, l'intégration de la production et du stockage de l'hydrogène dans des constructions équipées de pile à combustible et de système de production d'énergie renouvelable permet d'alimenter le réseau de distribution public d'électricité en énergie renouvelable stocké sous forme d'hydrogène, pour répondre à la demande électrique aux heures de pointes. Ce qui est un élément très important de la gestion du réseau.

Le gisement éolien à La Réunion est bon sans être exceptionnel mais la puissance éolienne installable est limitée par la nature du réseau insulaire et le PRERURE programme 100 MW de production éolien à l'horizon 2025. Pour autant, une puissance éolienne bien supérieure pourrait être installée, dédiée à la production d'hydrogène à grande échelle, servant aux multiples applications stationnaires et mobiles. Le même raisonnement peut être tenu avec les systèmes énergies des vagues, les systèmes solaires, la géothermie et la biomasse.

¹ []PRERURE : Plan Régional d'Exploration et d'Exploitation des Energies Renouvelables et Utilisation Rationnelle de l'Energie 2000-2025-2050 - Conseil Régional de l'île de la Réunion - Energies propres, sécurité d'approvisionnement énergétique, développement durable, adaptations et atténuations changements climatiques

Nous avons aussi évalué la faisabilité d'un parc de bus démonstratif à hydrogène évoluant sur la ligne St Denis – St Pierre, utilisant la Route des Tamarins et desservant les grands ensembles urbains entre le Nord et le Sud de l'île. S'appuyant sur les expériences en cours par les programmes CUTE, HECTOS et STEP, en matière de transport public par bus hydrogène dans différentes villes européennes, japonaises et australiennes, nos travaux démontrent la viabilité d'un tel système pour notre île.

les questions de rendements sont à bien comprendre : le couplage énergie renouvelable, électrolyse de l'eau, stockage de l'hydrogène, production d'électricité et de chaleur par pile à combustible, constitue un cycle énergétique de faible rendement mais de grande viabilité environnementale. Si nous intégrons les calculs d'énergie grise dans les rendements comparés entre ce cycle énergétique et celui des moteurs thermiques à combustible fossiles, alors les rendements du cycle hydrogène propre sont supérieurs aux cycles des combustibles fossiles.

C / Un scénario de développement de la filière H2 à valider : EnR-Eau-H2-02-PAC-Electricité-Chaleur

Le scénario de long terme que nous avons examiné porte sur la généralisation de cette combinatoire EnR-Eau-H2-02-PAC-Electricité-Chaleur :

- Pour toutes les constructions de La Réunion en compléments du programme PRERURE : L'intérêt est de transformer ces constructions en systèmes de régulation pour la gestion de l'offre et de la demande d'électricité. L'hydrogène devenant alors un moyen essentiel de stockage de l'énergie renouvelable, en particulier solaire.
- L'introduction à moyen terme de l'hydrogène produit localement et à grande échelle à partir de système à énergie renouvelable complémentaire à la programmation EnR du PRERURE : alimenter les besoins en carburant pour tout ou partie de transports terrestres insulaires.

Ce scénario est fondé sur le grand potentiel de ressource local d'énergie identifiée à La Réunion.

Les principaux obstacles identifiés sont : l'image négative actuelle de l'hydrogène, le coût élevé de ces installations et la méconnaissance de ces systèmes par la plupart des acteurs réunionnais.

Plus généralement, nos conclusions démontrent que l'économie de l'hydrogène peut être au service des systèmes énergétiques insulaires et renouvelables en assurant cette importante fonction de transformation et de stockage des ressources locales d'énergies : l'ensemble des îles de la planète bleu peuvent envisager à moyen terme une autonomie énergétique fiable et sécurisée, par cette stratégie énergétique combinant la maîtrise de l'énergie, l'intégration à grande échelle de système énergies renouvelables décentralisées, l'adaptation de réseau de distribution de l'énergie, et la fondation d'une entité spécifiquement dédiée au développement de ce plan énergétique 2005-2050.

II / Un groupe de travail pour organiser l'éventuel lancement de la filière H2 Réunion

A / Phase de préfiguration et plan d'action détaillé 2005-2008 :

Notre Recherche et Développement souligne aussi la nécessité d'organiser la poursuite de ces travaux en vue de mettre en perspective le développement et la programmation de ce vecteur énergétique pour l'île de La Réunion. Nous recommandons que soit constituée une équipe hydrogène composée d'un ingénieur expérimenté et de stagiaires, chargés de mission, équipés de moyens logistiques et de publications nécessaires pour préfigurer et lancer « L'Agence de l'Hydrogène »

Le plan de travail sur 3 ans de cette équipe induit comme charge financière 60 kEuros/an. Cette équipe pouvant, dans un premier temps être intégré au sein de l'Agence Régionale de l'Energie de La Réunion.

Cette phase de préfiguration devant mener à bien la programmation pluriannuelle du vecteur hydrogène de 2005 à 2050 et le lancement d'opérations démonstratives.

Les travaux 2004 sur l'Hydrogène sont téléchargeables sur notre site Web (www.arer.org) (posters, diaporama et rapports). Votre contact en charge de la filière hydrogène au sein de l'ARER est :

Idriss INGAR, Chargé d'Opération Secteur Est. idriss.ingar@arer.org

Téléphone : 02 62 92 29 28 Fax : 02 62 96 86 81

B / 3 Modules sont à réussir durant cette phase de préfiguration :

1. MODULE 1 : Veille technologique, information et éducation des acteurs locaux :

Poursuite de la veille technologique et de l'état de l'art de la filière hydrogène (Production, stockage, distribution, transport, application, acteur)

Diffusion de l'information, séminaires et voyages d'études édition et publication à destination des acteurs de l'Île de La Réunion, ainsi que les états insulaires, sessions de formations.

2. MODULE 2 : Opérer des transferts de technologies démonstratives

Mise en place de transfert de technologies (Etudes, Réalisation, mise en exploitation de différentes applications adaptées au contexte réunionnais)

- Couplage PV- Electrolyse -Stockage H2 – PAC pour la maison individuelle
- Couplage PV- Electrolyse -Stockage H2 – PAC pour les immeubles tertiaires et d'enseignement (Application sur le site démonstratif Energie Renouvelable de l'IUT de Saint-pierre)
- Couplage Eolien - Electrolyse -Stockage H2 – PAC pour usine de production d'hydrogène et d'oxygène
- Intégration de la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau dans un mini réseau de village isolé
- Intégration de la production d'oxygène et d'hydrogène et de la Pac dans le milieu hospitalier.
- Intégration de la production d'oxygène et d'hydrogène et de Pac sur les sites aéroportuaires.
- Mise en place d'une flotte démonstrative de bus à hydrogène sur la route des tamarins.

3. MODULE 3 : Préparation du plan de développement 2008-2050

- A partir des travaux des modules 1 et 2, pérennisation de l'action. Elaboration, concertation, validation du plan d'action hydrogène de l'Île de La Réunion 2008-2050.

III / ANNEXES

A / ANNEXE 1 : Sommaire rapport Recherche et Développement : Production d'hydrogène

II / LE CONTEXTE REUNIONNAIS

- 1) LA REUNION, L'ILE INTENSE
- 2) DEPENDANCE ENERGETIQUE
- 3) LA POLITIQUE REGIONALE

III / PRESENTATION DE L'ARER

- 1) ORGANISATION GENERALE
- 2) OBJECTIFS
- 3) LA PLATE-FORME RECHERCHE&DEVELOPPEMENT
- 4) LE GROUPE H2

IV / LA GESTION DU STAGE

- 1) DIAGRAMME DE PERT
- 2) DIAGRAMME DE GANT

V / ETAT DE L'ART DE LA FILIERE HYDROGENE

- 1) CONTEXTE ENERGETIQUE MONDIAL
- 2) POURQUOI L'HYDROGENE
- 3) QUELLES SOURCES D'Énergie POUR LA PRODUCTION D'HYDROGENE ?
- 4) QUELLES SOLUTIONS POUR LE STOCKAGE, LE TRANSPORT ET LA DISTRIBUTION DE L'HYDROGENE
- 5) QUELLES APPLICATIONS POUR L'HYDROGENE ?

VI / PRODUCTION DE L'HYDROGENE FONDEE SUR L'ELECTROLYSE DE L'EAU

- 1) L'EAU
- 2) LA REACTION D'ELECTROLYSE
- 3) LES ELECTROLYSEURS

VII / RESSOURCES & ENERGIES RENOUVELABLES A LA REUNION

- 1) L'EAU
- 2) L'HYDRAULIQUE
- 3) LE SOLAIRE
- 4) LA BIOMASSE

5) L'EOLIEN

6) LA GEOTHERMIE

7) LES VAGUES

VIII / ETUDE DE CAS

1) APPLICATION DE LA PILE A COMBUSTIBLE DANS L'HABITAT

2) FLOTTE DE 3 BUS À HYDROGENE SUR LA FUTURE « ROUTE DES TAMARINS »

3) ILET DE LA NOUVELLE, CIRQUE DE MAFATE :

4) SITE DEMONSTRATIF DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DE LA PILE À COMBUSTIBLE A L'IUT DE SAINT-PIERRE

5) INTEGRATION DE LA PILE A COMBUSTIBLE EN MILIEU HOSPITALIER

IX / CONCLUSION

X / BIBLIOGRAPHIE & WEBOGRAPHIE

C / ANNEXE 2 : Sommaire rapport Recherche et Développement : Mise en place d'une flotte démonstrative de bus à hydrogène sur la route des tamarins à l'île de La Réunion

- I. SOMMAIRE
- II. REMERCIEMENTS
- III. EMPLOI DU TEMPS ET RESUME DES TACHES EFFECTUEES
- IV. RESUMES DU STAGE – FRANÇAIS, ANGLAIS
- V. INTRODUCTION
- VI. L'ARER : L'AGENCE REGIONALE DE L'ÉNERGIE REUNION
 - A. ORGANISATION GENERALE
 1. OBJECTIFS
 2. MISSIONS
 3. LES OUTILS
 4. SCHEMA DE DEVELOPPEMENT DE L'ARER
 5. ORGANIGRAMME
 - B. LA PFRD : PLATE FORME RECHERCHE & DEVELOPPEMENT
- VII. TRAVAUX REALISES
 - A. PREAMBULE
 1. CONTEXTE ENERGETIQUE
 - a) CONTEXTE ENERGETIQUE MONDIALE (Perspectives à long et moyen termes)
 - b) CONTEXTE ENERGETIQUE A LA REUNION
 2. LE CHOIX DES ENR (Energies Renouvelables) :
 3. ETAT DE L'ART DE LA FILIERE HYDROGENE
 - a) POURQUOI L'HYDROGENE ?
 - b) PRODUCTION ET CONSOMMATION D'HYDROGENE
 - B. L'ANALYSE DES CONDITIONS RELATIVES A LA MISE EN PLACE D'UN RESEAU DEMONSTRATIF DE BUS À HYDROGENE SUR LA FUTURE 4-VOIES « LA ROUTE DES TAMARINS »
 1. L'ETUDE
 - a) DESCRIPTION
 - b) OBJECTIFS
 - c) CARACTERISTIQUES
 - d) INTERETS
 - e) PROBLEMATIQUES
 2. PHASE
 - a) PHASE 1 / Recherche documentaire (papier et Web) et assemblage de synthèse
 - b) PHASE 2 / Enquête Diagnostic
 - c) PHASE 3 / Orientation et Proposition

- d) PHASE 4 / Finalisation rapport de stage global
- 3. ETAT D'AVANCEMENT
 - a) LES TECHNOLOGIES
 - b) LES PROJETS DE RESEAUX
 - c) LES DEPLACEMENTS
 - d) 1er DIMENSIONNEMENT
 - e) NUANCE AUTOCAR/AUTOBUS
 - f) RESEAUX REUNIONNAIS
 - g) L'INTEGRATION DES ENERGIES RENOUVELABLES
- C. L'ELABORATION DE PARTENARIATS TECHNIQUES ET FINANCIERS AFIN DE PERENNISER LE PROJET
- D. ROLE TRANSVERSE : LA COORDINATION DU GROUPE HYDROGENE
- E. ROLE TRANSVERSE : ASSISTANCE DANS LE MONTAGE DU BUSINESS PLAN DE LA FILIERE HYDROGENE
- F. LE DEVELOPPEMENT D'UNE NOUVELLE FILIERE
- VIII. CONCLUSION
- IX. BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

D / ANNEXE 3 : Posters

- Filière hydrogène - production d'hydrogène et d'oxygène fondée sur l'électricité propre et renouvelable et l'électrolyse de l'eau en territoire insulaire
- Filière hydrogène - Stockage et distribution de l'hydrogène en territoire insulaire
- Filière hydrogène - Production d'électricité avec de l'hydrogène, état de l'art et applications possibles pour les systèmes énergétiques insulaires
- Filière hydrogène - Examen des conditions de mise en place d'un réseau de bus en flotte captive sur les quatre voies de l'île de la Réunion - Examen des inter modalités avec le TCSP et des funiculaires implantés sur les ensembles urbains de mi-pentes traversés par la route des tamarins.
- Hydrogène pour la maison individuelle