

Stratégie hydrogène du Luxembourg



Résumé

À côté des électrons permettant une électrification directe et efficace, l'hydrogène (H_2) est une molécule prometteuse comme vecteur énergétique décarboné pour accompagner la progression de la transition énergétique dans certains secteurs difficiles à décarboner par électrification directe. Cette molécule permet de stocker de l'énergie de manière flexible, et de la libérer a priori sans empreinte carbone. Ce dernier atout est cependant directement lié au bilan écologique de la production de l'hydrogène. Seul l'hydrogène renouvelable produit à partir d'énergies renouvelables ne cause pas d'émissions de gaz à effet de serre, contrairement à l'hydrogène fossile.

Cette stratégie

(i) décrit le contexte de la décarbonation par le biais de l'hydrogène dans le cadre de l'ambition d'atteindre la neutralité climatique d'ici 2050,

Il est à noter que la priorité du Luxembourg va à l'efficacité énergétique et à l'électrification directe. L'hydrogène renouvelable pourra jouer un rôle dans l'intégration de secteurs de l'énergie, limité dans un premier temps aux secteurs difficiles à décarboner par électrification directe comme l'industrie lourde.

(ii) dresse un état des lieux, et estime le potentiel de décarbonation par l'emploi de l'hydrogène.

Au Luxembourg, une consommation annuelle d'hydrogène fossile d'environ 450 tonnes (H_2), a pu être identifiée en industrie. La substitution de cet H_2 fossile par de l' H_2 renouvelable devra constituer un objectif intermédiaire (émission de GES de >5.000 tonnes (CO_2) par an) avant de parvenir à la décarbonation progressive d'autres procédés difficiles à décarboner par le biais de l'électrification.

Visant la neutralité climatique d'ici 2050, il peut être estimé que l'emploi sensible et ciblé de l'hydrogène renouvelable et de ses dérivés renouvelables pourrait mener à une réduction des émissions de gaz à effet de serre entre 1 et 2 millions de tonnes de CO_2 équivalents par an, soit jusqu'à environ 20% des émissions actuelles. Ce potentiel de décarbonation est traduit en potentiel de demande en hydrogène pouvant dépasser les 125.000 et atteindre les 300.000 tonnes (H_2) par an, au Luxembourg pour les trois secteurs prioritaires de (I) l'industrie, du (II) transport et d'un (III) système énergétique intégré.

(iii) propose sept mesures clé pour la promotion de la production, de l'importation et de l'utilisation de l'hydrogène renouvelable visant une réduction des émissions de gaz à effet de serre, et donc d'assurer l'implémentation de la présente stratégie.

Mesure 1 : Contribuer à la définition du cadre légal, réglementaire et régulateur au niveau de l'UE

Mesure 2 : Coopérer avec les États membres de l'UE et des pays tiers

Mesure 3 : Identifier les opportunités au Luxembourg – Recherche et innovation

Mesure 4 : Passer au concret – Des projets phares à étudier et à réaliser

Mesure 5 : Prioriser les actions – Vers une décarbonation ciblée par l'hydrogène renouvelable

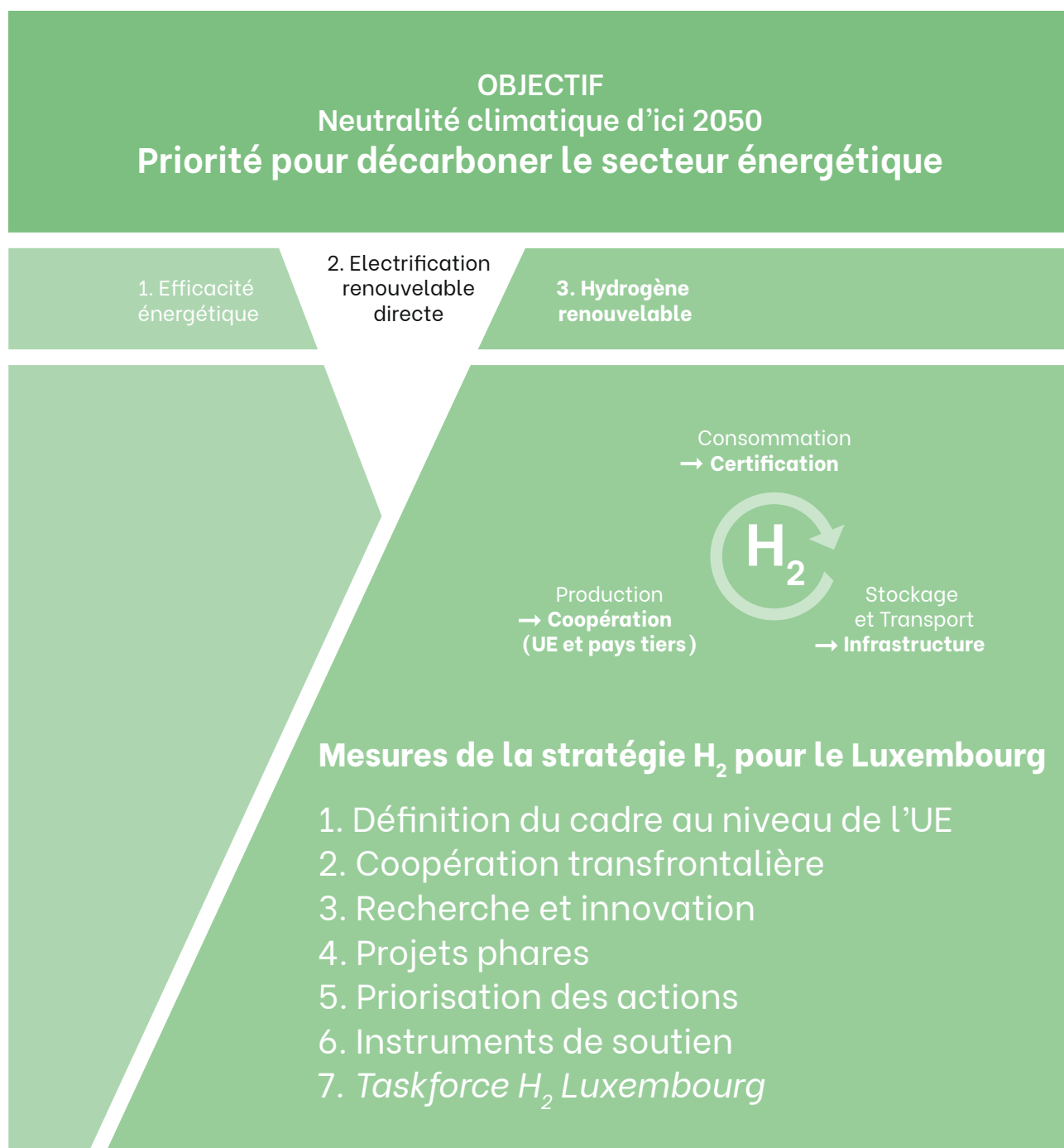
Mesure 6 : Développer les instruments pour un marché de l'hydrogène renouvelable

Mesure 7 : Implémenter et améliorer en continu – Taskforce H_2 Luxembourg

Sommaire

5.	1. Pourquoi envisager une stratégie hydrogène pour le Luxembourg ?
7.	1.1 Les différents types d'hydrogène
10.	1.2 Les ambitions de décarbonation et d'intégration de secteurs
12.	2. Mesures stratégiques à envisager pour le développement de l'hydrogène renouvelable au Luxembourg
12.	2.1 Etat des lieux et les potentiels de décarbonation de l'emploi de l'hydrogène
15.	2.2 Les sept mesures stratégiques de la stratégie hydrogène du Luxembourg
15.	MESURE 1 : Contribuer à la définition du cadre légal, réglementaire et régulateur au niveau de l'UE
17.	MESURE 2 : Coopérer avec les États membres de l'UE et des pays tiers
19.	MESURE 3 : Identifier les opportunités au Luxembourg – Recherche et innovation
23.	MESURE 4 : Passer au concret – Des projets phares à étudier et à réaliser
25.	MESURE 5 : Prioriser les actions – Vers une décarbonation ciblée par l'hydrogène renouvelable
26.	MESURE 6 : Développer les instruments pour un marché de l'hydrogène renouvelable
28.	MESURE 7 : Implémenter et améliorer en continu – Taskforce H ₂ Luxembourg

Figure 1. | Schéma sommaire de la stratégie H₂ pour le Luxembourg.



1. Pourquoi envisager une stratégie hydrogène pour le Luxembourg ?

La transition énergétique amorcée dans de nombreux États de l'Union Européenne (ci-après « UE ») et les lignes directrices du développement durable cherchent à combiner la protection de l'environnement, le développement économique, et la santé. Une des priorités de ces efforts est de limiter les effets néfastes du changement climatique. La limitation du réchauffement climatique nettement en dessous de 2°C (de préférence en dessous de 1,5°C) par rapport aux niveaux préindustriels, formulée comme objectif dans l'accord de Paris de 2015,¹ nécessitera la substitution des vecteurs énergétiques fossiles par des alternatives renouvelables et durables (comme les énergies renouvelables).²

L'hydrogène (ci-après « H₂ ») est utilisé depuis longtemps dans l'industrie ou dans la propulsion spatiale. Cette molécule, grâce à ses propriétés de pouvoir stocker de l'énergie de manière flexible, et de la libérer a priori sans empreinte carbone, présente des atouts pour accompagner la progression de la transition énergétique dans certains secteurs difficiles à décarboner (comme p.ex. certains procédés industriels), à condition d'être produite à partir d'énergies renouvelables.

La version finale du plan intégré national de l'énergie et du climat (ci-après « PNEC »)³ prévoit que le gouvernement élaborera une stratégie luxembourgeoise sur l'hydrogène. En amont de l'élaboration d'une stratégie H₂ pour le Luxembourg, le ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire a activement contribué à l'élaboration d'une déclaration politique du Forum Pentalatéral de l'énergie⁴ proposant des actions communes sur l'hydrogène renouvelable.⁵ Ce document a notamment demandé à la Commission européenne de développer une stratégie H₂ pour l'Europe. Dans la suite, deux stratégies ont été adoptées par la Commission européenne le 8 juillet 2020. L'une traite de l'intégration du système énergétique, alors que l'autre est dédiée à l'hydrogène.⁶

¹ Le Luxembourg est signataire de l'accord de Paris de 2015

https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/french_paris_agreement.pdf

² "A systematic review of the evidence on decoupling of GDP, resource use and GHG emissions, part II: synthesizing the insights" H. Haberl, et al. in Environmental Research Letters,

<https://www.iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab842a/pdf>

³ Le Plan national intégré en matière d'énergie et de climat (PNEC) - Actualités - Portail de l'environnement - emwelt.lu - Luxembourg (public.lu)

⁴ Le Forum Pentalatéral de l'énergie est un groupe de travail constitué de l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, la France, le Luxembourg, les Pays-Bas, et la Suisse (n'étant pas membre de l'UE).

⁵ Déclaration politique commune signée et envoyée à la commission UE à Bruxelles le 15.06.2020

<https://www.benelux.int/files/1615/9077/7640/jointpoliticaldeclaration.pdf>

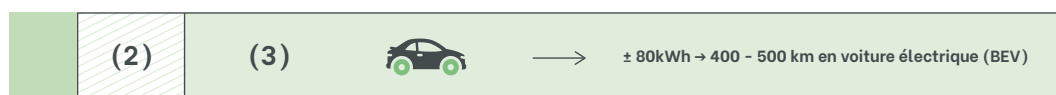
⁶ Energy system integration strategy, and European Hydrogen Strategy released on 8th of July 2020.

Avant que l'hydrogène ne permette une décarbonation de certains secteurs, certains défis notamment liés à son coût élevé devront être adressés. Ce dernier est une conséquence du faible rendement de la production d'hydrogène. La **figure 2** illustre l'efficacité énergétique supérieure d'une voiture électrique à batteries (BEV) par rapport à une voiture électrique à hydrogène, alimentée avec une pile à combustible (FCEV).

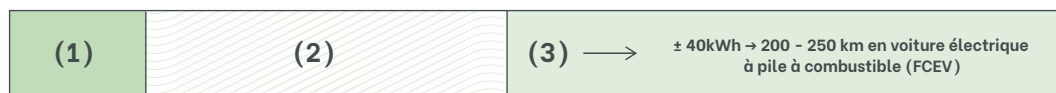
Du moins à court et à moyen termes, la tendance technologique actuelle montre que les voitures à pile à combustible ne seront pas compétitives face aux voitures électriques à batteries.

Avec l'amélioration technologique continue des batteries et des piles à combustible, la décarbonation des bus, poids-lourds ou camions, ainsi que des véhicules avec des temps de disponibilité élevés et devant parcourir de longues distances, pourrait être assurée par ces deux options.

A. Électrification renouvelable (± 80kWh de 100kWh produites sont utilisables)



B. Hydrogène renouvelable (± 40kWh de 100kWh produites sont utilisables)



(1) + (2) + (3) = 100 kWh d'électricité renouvelable (éolien ou photovoltaïque)

(1) Pertes énergétiques liées aux transport et stockage de l'énergie

(2) Pertes énergétiques liées à la transformation de l'énergie électrique, ou via une transformation en molécules et retransformation en électricité dans une pile à combustible.

(3) Partie réelle de l'énergie renouvelable pouvant être utilisée.

Figure 2. Basé sur différentes études, deux variantes d'utilisation d'énergie électrique renouvelable sont présentées ^{8, 9, 10, 11, 12, 7, 17, 23, 32, 37}: A. directe sans pertes énergétiques significatives, et B. indirecte, via l'hydrogène renouvelable avec des pertes énergétiques importantes de transformation et de stockage.

Néanmoins, le Luxembourg, compte tenu du manque d'alternatives de décarbonation dans certains secteurs, considère qu'il faut commencer dès à présent à investir, de façon ciblée, dans les diverses technologies de l'hydrogène comme :

- › la « photo-électrolyse », donc la conversion directe de l'eau en hydrogène et oxygène par l'énergie solaire;
- › la méthanation du dioxyde de carbone avec l'hydrogène; ou encore
- › la gazéification de déchets et la séparation puis valorisation de l'hydrogène.

⁷ Sachverständigenrat für Umweltfragen – Publikationen – Wasserstoff im Klimaschutz: Klasse statt Masse (umweltrat.de)

De nombreuses études et documents stratégiques ont été menées et élaborés sur le potentiel de l'hydrogène aux niveaux national, régional, européen et global^[8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16] et montrent les potentiels de cette technologie et les priorités que les différents pays réservent à ce potentiel. Il est fondamental que les scénarios étudiés et les objectifs formulés soient réévalués et actualisés régulièrement, car les technologies relatives à l'hydrogène renouvelable ainsi que les cadres législatifs et réglementaires évoluent rapidement.

1.1 | Les différents types d'hydrogène

L'hydrogène est un gaz incolore et inodore, les molécules stockent de l'énergie et n'émettent pas de gaz à effet de serre (ci-après « GES ») lors de la libération de l'énergie potentielle. Le produit final de la réaction avec l'oxygène est de l'eau. Le document stratégique de la Commission européenne a proposé des définitions précises des différents types d'hydrogène.¹⁸ Cependant elle a manqué de définir des facteurs d'émissions pour les différents types d'hydrogène. Afin de garantir une réelle décarbonation par le biais de l'hydrogène renouvelable, des définitions claires ainsi qu'une certification transparente et compréhensible seront essentielles. Ci-dessous les définitions sont reprises et adaptées au contexte du Luxembourg :

⁸ International Energy Agency (IEA). 2019 « The Future of Hydrogen » <https://www.iea.org/hydrogen2019/>

⁹ International Renewable Energy Agency (IRENA). 2019 « HYDROGEN: A RENEWABLE ENERGY PERSPECTIVE. » <https://www.irena.org/publications/2019/Sep/Hydrogen-A-renewable-energy-perspective>

¹⁰ Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, 2019 <https://www.fch.europa.eu>

¹¹ A. van Wijk; J. Chatzimakakis, Hydrogen Europe, 2019 "Green Hydrogen for a European Green Deal A 2x40 GW Initiative".

¹² Bloomberg New Energy Finance, 2020, <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Eco-nomy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf>

¹³ "Perspectives on a hydrogen strategy for the European Union" C. Philibert, IFRI, 2020.

¹⁴ Adoption d'une stratégie nationale sur l'hydrogène en Allemagne, 10.06.2020, <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html>

¹⁵ Stratégie du Portugal sur l'hydrogène adoptée en fin mai 2020, [https://economynews.pt/2020/05/22/government-approves-hydrogen-strategy-e7b-investments/-](https://economynews.pt/2020/05/22/government-approves-hydrogen-strategy-e7b-investments/)

¹⁶ Stratégie des Pays-Bas sur l'hydrogène adoptée en avril 2020, <https://www.government.nl/documents/publications/2020/04/06/government-strategy-on-hydrogen>

¹⁷ Selon Hydrogen Europe le marché de l'hydrogène en Europe était constitué de 325 TWh(H₂) / an en 2015.

¹⁸ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf

¹⁹ « 'Clean hydrogen' refers to renewable hydrogen. » p4 dans la stratégie H₂ de la Commission européenne https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf

²⁰ Le 21 avril 2021, la Commission européenne a adopté un acte délégué de la Taxonomy Regulation: [taxonomy-regulation-delegated-act-2021-2800-annex-2_en.pdf](https://ec.europa.eu/economy_finance/2021-2800-annex-2_en.pdf) (europa.eu)

²¹ **Hydrogène renouvelable par photo-électrolyse** est l'utilisation « directe » de l'énergie solaire pour dissocier les atomes de l'eau et former de l'hydrogène et de l'oxygène.

²² **Hydrogène renouvelable-biogénique** est en principe envisageable et accessible par pyrolyse ou par gazéification du biogaz ou de la biomasse ou même par fermentation directe, toujours en accord avec les principes de durabilité. Cependant l'utilisation directe de la biomasse et du biogaz sera priorisée dans les prochaines années.



Hydrogène fossile :

Jusqu'à présent la plupart de l'hydrogène est utilisé dans l'industrie du pétrole et dans la production de fertilisants.¹⁷ Cet H₂ est issu du reformage à la vapeur du charbon, pétrole ou gaz naturel et cause des émissions de 9 à 12 tonnes de CO₂ par tonne d'H₂. A l'échelle européenne, l'hydrogène fossile représente 96% des quantités produites.¹⁸



Hydrogène renouvelable (ou « hydrogène vert », ou « clean hydrogen »¹⁹) :

Seul l'hydrogène provenant de sources d'énergie renouvelables additionnelles offre l'option de décarboner de manière durable, aux niveaux local et global. La Commission européenne a récemment adopté des seuils d'émission dans un acte délégué pour que le financement des projets en lien avec l'hydrogène puisse être qualifié de finance durable.²⁰ A côté des procédés innovateurs cherchant à produire cet hydrogène renouvelable directement à partir de l'énergie solaire,²¹ ou à partir de sources biologiques,²² la méthode de production la plus mature et prometteuse de cet H₂ est l'électrolyse de l'eau en utilisant de l'électricité renouvelable.

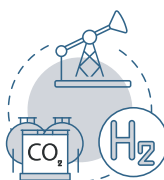
Néanmoins, l'utilisation de l'hydrogène renouvelable ne devient intéressante qu'à partir du moment où soit (i) il y a un excès d'électricité renouvelable dans le réseau, soit (ii) il est procédé à la construction de centrales de production d'énergie renouvelable dédiées à la production de l'hydrogène renouvelable. En effet, l'utilisation directe de l'énergie électrique renouvelable garantit une efficacité, c.à.d. un rendement élevé (> 90%) alors que l'étape supplémentaire de l'électrolyse diminue le rendement énergétique (50 – 80%, voire <50% pour une ré-électrification,²³ voir *figure 2*).

Selon la Commission européenne, le coût de production actuel de l'hydrogène renouvelable est estimé entre 2,5 et 5,5 €/kg(H₂), contre 1,5 €/kg(H₂) pour l'hydrogène fossile.²⁴ Une étude récente de « *Bloomberg New Energy Finance (BNEF)* » montre que cette différence de prix peut être éliminée d'ici 2030 par une taxation efficace des GES, une réduction du coût opérationnel des électrolyseurs, une amélioration technologique et des économies d'échelle.¹²



Hydrogène fatal

L'hydrogène fatal peut être défini comme étant le produit secondaire inévitable d'un procédé industriel ne pouvant être valorisé ailleurs. Les déchets non-recyclables, non-biodégradables et d'origine non-renouvelable peuvent en principe être transformés, par le biais de la pyrolyse ou de la gazéification en chaleur, en électricité et en hydrogène fatal. Cette forme d'hydrogène offre actuellement un certain potentiel, qui est pourtant transitoire à long terme. La stratégie « *Null Offall Lëtzebuerg* »²⁵ et la stratégie nationale de l'économie circulaire du Luxembourg « *Strategie Kreeslafwirtschaft Lëtzebuerg* »²⁶ visent en effet une réduction progressive des déchets inévitables.



Hydrogène fossile avec CCUS :

Certains acteurs plaident pour le couplage de la production d'H₂ fossile à des technologies de capture, de stockage ou d'utilisation du CO₂ (ci-après « CCUS »). Cet H₂ est toutefois incompatible avec certains prérequis pour une décarbonation profonde de la société, notamment en raison de la faible proportion de CO₂ effectivement captée, de coûts et d'acceptabilité publique. Il faut également souligner le problème posé par les émissions de gaz à effet de serre sur le cycle de vie de l'hydrogène fossile liées aux fuites de gaz naturel lors de sa production et de son transport,²⁷ aussi bien que l'inaptitude des technologies CCUS à réagir à la demande à très grande échelle. Au Luxembourg, la législation interdit le stockage géologique de CO₂ sur son territoire et le Luxembourg se situe géographiquement éloigné de la Mer du Nord ou de la Norvège, qui sont les seuls endroits en Europe où un stockage massif de CO₂ est envisageable. Cette option n'est donc pas envisageable pour décarboner quelconque secteur au Luxembourg.

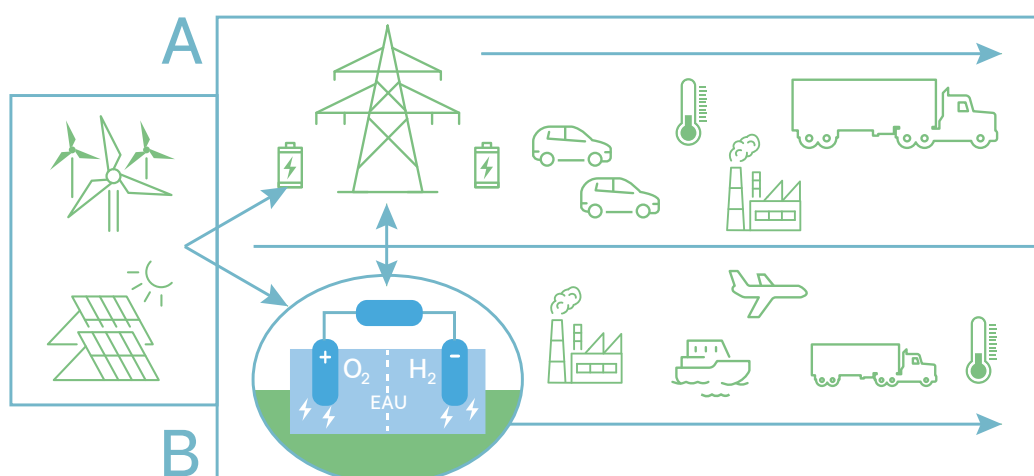


Hydrogène bas carbone – nucléaire :

La Commission européenne a proposé une catégorie additionnelle appelée « hydrogène bas carbone ». Cette catégorie inclut non seulement l'hydrogène fossile produit à l'aide de capture du CO₂ mais également l'hydrogène obtenu par électrolyse à partir de sources non renouvelables, dont l'énergie nucléaire. Le Gouvernement du Luxembourg souligne que l'énergie nucléaire n'est ni sûre, ni durable. En lien avec son engagement de continuer à militer pour une politique de la renonciation à la promotion du nucléaire et pour couper définitivement les subventions publiques pour le nucléaire, le Luxembourg s'opposera donc fermement à la promotion et à l'utilisation de l'hydrogène bas carbone – nucléaire.

D'autres formes d'hydrogène existent, mais celles-ci se trouvent à un stade de développement et sont jugées en ce moment non-matures.²⁸

Il importe dès lors de promouvoir exclusivement la production d'hydrogène renouvelable ainsi que l'installation de centrales à énergies renouvelables additionnelles, de diminuer ainsi le coût de production et de remplacer l'hydrogène fossile.



²³ Dans certains usages comme l'automobile les chiffres de Transport&Environnement montrent un rendement réduit <https://cleantechnica.com/files/2020/06/most-efficient-automobiles.png>

²⁴ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf

²⁵ MECDD, 2020: Stratégie « Null Offall Lëtzebuerg », <https://environnement.public.lu/fr/offall-ressourcen/null-offall-letzebuerg.html>

²⁶ Circular Economy Strategy Luxembourg (gouvernement.lu)

²⁷ Le méthane (CH₄) composante principale du gaz naturel est un gaz à effet de serre 25 fois plus puissant que le CO₂, les fuites de méthane sont donc à éviter.

²⁸ **Hydrogène renouvelable biogénique et photo-électrolytique.** (Voir en haut).

Hydrogène fossile produit par pyrolyse du gaz naturel génère comme coproduit du charbon actif, et n'est donc, a priori, pas accompagné d'émissions de GES.

1.2 | Les ambitions de décarbonation et d'intégration de secteurs

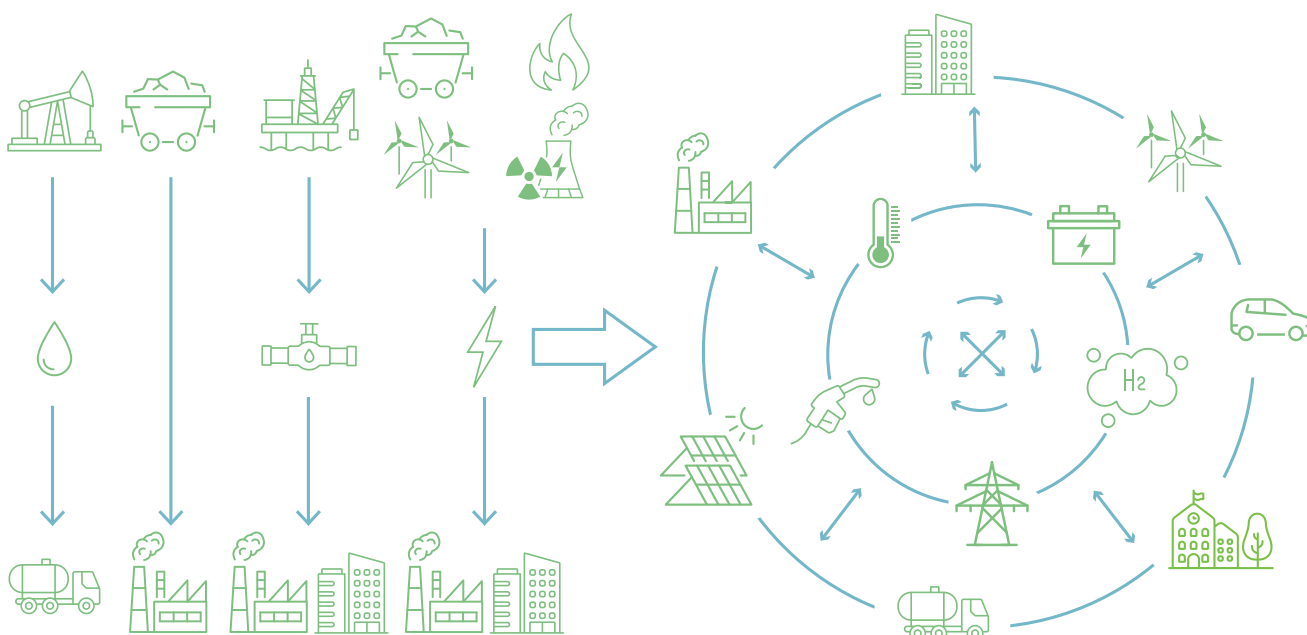
L'UE s'est donné une feuille de route ambitieuse contre le réchauffement climatique. Le pacte vert pour l'Europe (ci-après « Green Deal »)²⁹ cherche à faire de l'Europe le premier continent à atteindre la neutralité climatique, d'ici 2050. Un objectif intermédiaire de 55% de réduction d'émissions de GES pour 2030 a été proposé par la Commission européenne et validé par le Conseil Européen le 11 décembre 2020. Afin de parvenir à la neutralité climatique, de nombreuses directives et règlements européens définissent le cadre réglementaire en fixant des objectifs intermédiaires pour 2030 en matière d'énergies renouvelables (au moins 32%), d'efficacité énergétique (au moins 32,5%) et en définissant des critères concrets pour la finance durable.³⁰ Dans son « Climate Target Plan », la Commission européenne a modélisé que l'objectif climatique d'au moins 55% ne pourrait être atteint que si les objectifs sectoriels sont eux aussi revus à la hausse : entre 39 et 41% pour l'efficacité énergétique (consommation primaire) et entre 38 et 40% pour la part des énergies renouvelables. La Commission européenne présente ses propositions législatives visant à ajuster ces objectifs en juillet 2021.

Le système énergétique européen repose sur l'usage de l'électricité (23%) et d'autres types de carburants liquides et gazeux (77%), essentiellement fossiles. La part de l'électricité est amenée à augmenter considérablement. L'exploitation des potentiels domestiques/locaux en énergies renouvelables en vue d'une électrification permet d'atteindre une certaine indépendance énergétique de manière durable et avec un minimum de pertes énergétiques. Les scénarios de la Commission européenne menant à la neutralité climatique pour 2050 anticipent une part de 30% en 2030 et 50% en 2050.³¹ D'autres scénarios, émanant notamment du think tank « Agora Energiewende » anticipent une augmentation de la part des électrons jusqu'à 81%.³² Cependant même les scénarios les plus favorables à l'électrification réservent un rôle aux autres types de combustibles, notamment gazeux. Les molécules énergétiques resteront donc nécessaires pour le bon fonctionnement de la société. Elles devront toutefois diminuer significativement leur empreinte carbone. A côté des sources biologiques durables d'énergie, l'hydrogène renouvelable est capable d'assurer cela sans créer d'autres problèmes environnementaux ou de risques sociétaux.

L'établissement du PNEC constituant une feuille de route pour chaque État membre de l'UE est prévu dans le cadre du règlement européen sur la gouvernance de l'Union de l'énergie et de l'action pour le climat. Les ambitions de décarbonation du Luxembourg sont donc déclinées dans son PNEC et ont récemment été adoptées dans la loi relative au climat.³³ Les objectifs du Luxembourg en cette matière visent une réduction des émissions de GES (55%), une croissance des énergies renouvelables (25%) et une amélioration de l'efficacité énergétique (de 40 à 44%) à l'horizon 2030.³⁴

La priorité du Luxembourg va à l'efficacité énergétique et à l'électrification directe, en adéquation avec la stratégie européenne d'intégration sectorielle de l'énergie.³⁵ L'hydrogène renouvelable pourra jouer un rôle dans l'intégration de secteurs de l'énergie, limité dans un premier temps aux secteurs difficiles à décarboner par électrification directe.^{36,37} Par conséquent, le Luxembourg souhaite flécher l'usage de l'hydrogène renouvelable vers les secteurs où les alternatives comme l'électrification renouvelable directe ne permettent pas d'atteindre les objectifs de décarbonation.

²⁹ Le Pacte Vert a été dévoilé le 11.12.2019, https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fr



Au moyen et long termes la décarbonation du système énergétique engendrera une intégration sub-séquente de l'hydrogène renouvelable dans le secteur des entreprises grandes consommatrices d'énergie de l'industrie ou des parties du transport ne se prêtant pas à l'électrification.

³⁰ (i) Renewable Energy Directive (RED) – 28/2009/EC of April 23, 2009; Renewable Energy Directive II (RED II) – 2018/2001/EU of December 11, 2018; Electricity Market Design Directive – 2019/944/EU of June 5, 2019; Deployment of Alternative Fuels Infrastructure Directive – 2014/94/EU of October 22, 2014; etc.

(ii) Energy Performance of Buildings Directive – 2010/31/EU (EPBD); Energy Efficiency Directive – 2012/27/EU; Energy Efficiency Directive – 2018/2002/EU, etc.

(iii) Taxonomy Regulation – 2020/852/EU, Disclosure Regulation – 2019/2088/EU, Low carbon indices regulation – 2019/2089/EU etc.

³¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0773&from=EN>

³² <https://www.agora-energie-wende.de/en/publications/towards-a-climate-neutral-germany-executive-summary/>

³³ Loi du 15 décembre 2020 relative au climat et modifiant la loi modifiée du 31 mai 1999 portant institution d'un fonds pour la protection de l'environnement. – Legilux (public.lu)

³⁴ Plus de détails sur le PNEC du Luxembourg <https://environnement.public.lu/fr/actualites/2020/05/pnec.html>

³⁵ EU strategy on energy system integration | Energy (europa.eu)

³⁶ White paper de ETIP-SNET on energy system integration, https://www.etip-snet.eu/wp-content/uploads/2020/05/Implementation-Plan-2021-2024_WEB_Single-Page.pdf

³⁷ „Auf dem Weg zur Wasserstoffgesellschaft“, VDI, 08.05.2020.

<https://www.vdi.de/news/detail/auf-dem-weg-zur-wasserstoffgesellschaft>

2. Mesures stratégiques à envisager pour le développement de l'hydrogène renouvelable au Luxembourg

2.1 Etat des lieux et les potentiels de décarbonation de l'emploi de l'hydrogène

Au Luxembourg, une consommation annuelle actuelle d'hydrogène fossile d'environ 15 GWh (H_2)³⁸ ce qui équivaut à environ 450 tonnes (H_2) a pu être identifiée **dans industrie**.



› La substitution de cet H_2 fossile par de l' H_2 renouvelable devra constituer un objectif intermédiaire (émission de GES de >5.000 tonnes (CO_2) par an)³⁹) avant de parvenir à la décarbonation progressive d'autres procédés difficiles à décarboner par le biais de l'électrification. Certains procédés industriels nécessitant des températures très élevées ou une source réductrice pourraient diminuer leurs émissions de GES grâce à l'emploi de l'hydrogène renouvelable.⁴⁰ Dans le cadre de la mise en vigueur de cette stratégie une tâche consistera en l'identification d'autres procédés qui ne pourront être décarbonés que par l'hydrogène renouvelable.



› La décarbonation de certaines parties du **secteur du transport** pourra bénéficier d'une production croissante de carburants synthétiques renouvelables (*renewable fuels of non-biological origin* – *RFNBOs*) pour l'aviation et la navigation grâce à l'hydrogène renouvelable, ainsi que d'une amélioration de la technologie des piles à combustibles pour une application dans des véhicules utilitaires devant parcourir de longues distances. Parallèlement au déploiement massif des véhicules électriques à batteries, les véhicules à pile à combustibles (FCEV) pourraient devenir compétitifs dans des applications nécessitant des temps de disponibilité élevés.

Dans un court terme, il est à noter qu'au moins un acteur industriel luxembourgeois s'engage à produire des biocarburants du type huiles végétales hydrogénées (HVO) qui nécessitent de l'hydrogène. La faisabilité d'une substitution de cet hydrogène fossile par de l'hydrogène renouvelable importe à cet égard. D'un autre côté, des discussions sont menées en quelle mesure et à quelle hauteur l'aéroport national pourrait utiliser et mélanger du kérosène renouvelable, qui serait potentiellement produit en-dehors du Luxembourg et importé le cas échéant par le pipeline existant de l'OTAN.



› L'hydrogène renouvelable pourra jouer un rôle clé dans l'émergence d'un système énergétique intégré. La stabilisation des réseaux énergétiques pourra se faire par la conversion flexible entre l'électricité, la chaleur et les gaz renouvelables. A long terme les centrales de cogénération (qui sont majoritairement connectées à des réseaux de chaleur) seront confrontées au problème de la disponibilité limitée d'une biomasse durable. Si les sources prioritaires de chaleur renouvelable, (i) l'énergie aérothermique, (ii) l'énergie géothermique ou (iii) l'énergie fatale ne satisferont pas aux besoins des réseaux de chaleur, l'utilisation de l'hydrogène renouvelable pourra constituer une alternative décarbonée.

Visant la neutralité climatique d'ici 2050, et après les échanges avec le secteur, il peut être projeté que l'emploi sensible et ciblé de l'hydrogène renouvelable et de ses dérivés renouvelables nécessitera à terme un volume dépassant les 125.000 tonnes (H_2) par an et pouvant atteindre les 300.000 tonnes (H_2) par an, soit de 4 à 10 TWh(H_2) par an au Luxembourg.⁴¹

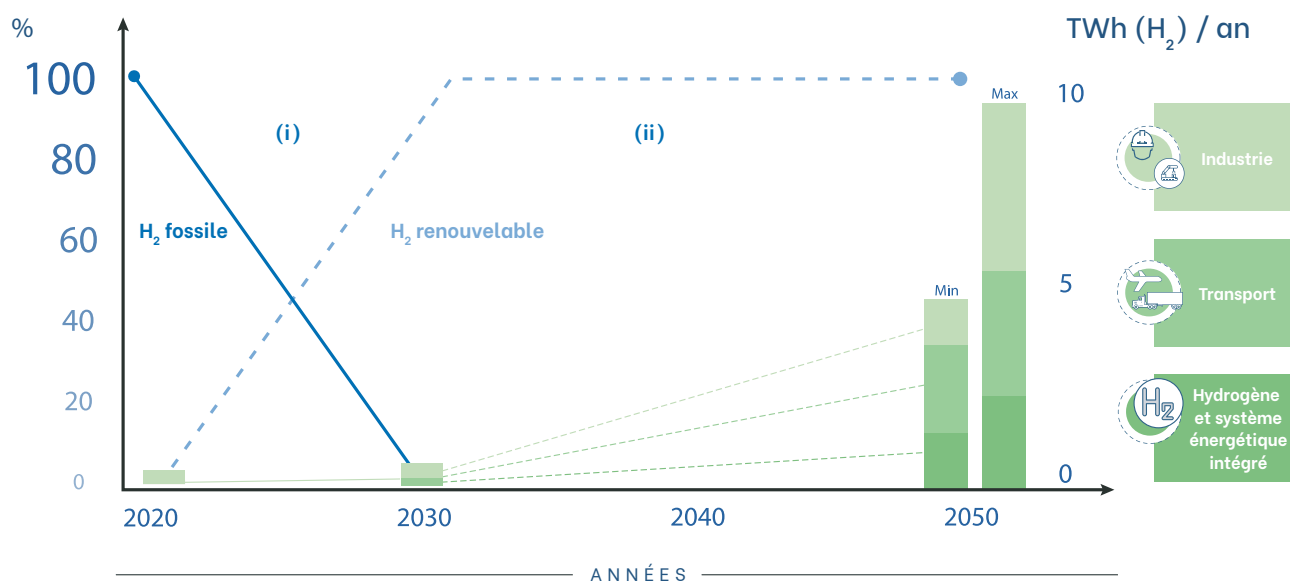


Figure 3. Représentation graphique de (i) l'évolution systémique nécessaire à court terme, avec le passage d'une utilisation de l'hydrogène fossile vers une consommation exclusivement basée sur l'hydrogène renouvelable, et de (ii) l'emploi sensible et ciblé de l'hydrogène renouvelable à plus grande échelle visant la décarbonation de trois secteurs prioritaires.

Sont visés notamment les secteurs susmentionnés de :

- (i) l'industrie aurait un potentiel de 1 à 4 TWh (H_2) par an,⁴⁰
- (ii) le transport routier, aérien, fluvial, ferroviaire pourrait générer une demande de l'ordre de 2 à 4 TWh (H_2 ou carburant synthétique renouvelable dérivé de l' H_2) par an,⁴² et
- (iii) l'émergence d'un système énergétique intégré avec la conversion flexible entre vecteurs énergétiques, p.ex. par le biais de la cogénération flexible de l'électricité et de la chaleur renouvelables pouvant alimenter les réseaux de chaleur/froid pourrait nécessiter de 1 à 2 TWh (H_2) par an.⁴³

³⁸ Il a été décidé de se référer au pouvoir calorifique inférieur (lower heating values LHV) dans ce document, car il est commun d'utiliser cette unité dans les analyses de systèmes énergétiques, y inclus des études publiées par la Commission européenne.

³⁹ A noter que seules les émissions provenant de l'hydrogène produit au Luxembourg sont comptabilisées au bilan national.

⁴⁰ "Hydrogen to decarbonise Luxembourg's industrial sector" FEDIL, <https://www.fedil.lu/fr/positions/hydrogen-to-decarbonise-luxembourgs-industrial-sector/#s-hydrogen-prices>

⁴¹ Première estimation interne du ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire.

⁴² A noter que ce secteur en 2017 a généré une demande totale en énergie de 27 TWh avec une demande totale en énergie tous secteurs inclus montant à 48,4 TWh pour le Luxembourg.

https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/Luxembourg_2020_Energy_Policy_Review.pdf

⁴³ Analyse nationale de 2016 sur les futurs besoins en cogénération au Luxembourg; https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160908-140506_LU_cogeneration_report.pdf

Ces premières estimations seront en principe élaborées, détaillées respectivement actualisées dans le cadre de la Taskforce H₂ Luxembourg (voir Mesure 7).

Or, la production de telles quantités d'hydrogène nécessiterait 6 à 15 TWh d'électricité renouvelable par an d'ici 2050. En 2019, le Luxembourg comptait une production en électricité renouvelable d'environ 1 TWh et une consommation totale en électricité de l'ordre de 7 TWh par an, essentiellement assurée par l'importation de l'électricité. En conséquent, le Luxembourg devra – à côté d'un certain nombre de projets (pilotes dans une première phase) de production d'H₂ alimentés directement par des installations de production d'énergie renouvelable – soit importer de l'électricité renouvelable supplémentaire pour alimenter des électrolyseurs sur son territoire, soit importer l'hydrogène renouvelable qui pourra être produit dans le cadre de coopérations européennes et transfrontalières. A noter qu'à court terme, le potentiel de consommation sera donc limité par le potentiel de production et d'importation et par le coût de l'hydrogène renouvelable.

L'importation d'électricité renouvelable pour produire de l'hydrogène au Luxembourg ou l'importation directe de ce gaz seront essentielles pour pouvoir satisfaire à la future demande. A terme, l'utilisation de ces quantités d'hydrogène et de ses dérivés renouvelables pourrait mener à une réduction des émissions de GES⁴⁴ de 1 à 2 millions de tonnes CO₂ équivalents par an, sur un total d'environ 11 millions de tonnes de CO₂ équivalents par an (2019)⁴⁵.

La question du transport et de stockage de l'hydrogène est importante. Alors que les discussions du développement d'un réseau dédié à l'hydrogène se trouvent encore à un stade très précoce, le Luxembourg, en tant que pays fortement interconnecté avec ses voisins, y attache d'ores et déjà une importance particulière.



2.2 | Les sept mesures stratégiques de la stratégie hydrogène du Luxembourg

■ MESURE 1

CONTRIBUER À LA DÉFINITION DU CADRE LÉGAL, RÉGLEMENTAIRE ET RÉGULATEUR AU NIVEAU DE L'UE

La stratégie sur l'hydrogène du 8 juillet 2020 de la Commission européenne⁴⁴ a pour objectif principal de susciter une réflexion sur les mesures dont l'adoption est nécessaire à l'atteinte d'un objectif d'au moins 6 GW d'électrolyseurs installés dans l'UE d'ici 2024 et 40 GW d'ici 2030. Cette stratégie se concentre sur l'hydrogène renouvelable tout en ouvrant la porte à l'hydrogène fossile équipé de CCUS. La Commission européenne estime que, d'ici 2030, il sera nécessaire d'investir entre 24 et 42 milliards d'euros dans la technologie de l'électrolyse ainsi que 220-340 milliards d'euros pour installer des capacités de production d'énergie renouvelable additionnelles (photovoltaïque et éolien). La stratégie européenne cherche à définir et à classer les différents types d'hydrogène, à assurer l'harmonisation des règles relatives à l'hydrogène sur le marché intérieur européen, à développer de manière coordonnée les infrastructures nécessaires (optimisation des infrastructures existantes et construction d'infrastructure dédiée), à établir des mécanismes de soutien financier à la production, à stimuler l'innovation et à établir un dialogue structuré entre partenaires internationaux.

Cette stratégie sera suivie dans les années à venir de propositions législatives concrètes sur les réseaux transeuropéens, la révision de la directive sur les énergies renouvelables, la certification de l'hydrogène, la révision des règles de marché intérieur.

A côté de ces aspects, une importance particulière est attachée à l'élaboration de nouvelles règles européennes en matière d'aides d'état dans les domaines de l'énergie et de l'environnement (lignes directrices, Règlement d'exemption) qui devront refléter les nécessités de supporter de manière adéquate l'émergence de la production, du transport et de la distribution de l'hydrogène renouvelable.

⁴⁴ Secteurs du marché ETS et bilan national. A noter que les émissions de GES de l'aviation internationale ne sont pas comptabilisées ici.

⁴⁵ 10.743 Mt CO₂eq en 2019 *Inventaire des gaz à effet de serre - Loft a Kaméidi - Portail de l'environnement - emwelt.lu - [Luxembourg \(public.lu\)](http://Luxembourg(public.lu))*

Le Luxembourg continuera à prendre une part active aux discussions européennes sur tous les sujets susmentionnés afin de s'assurer que les règles édictées au niveau de l'UE soient alignées avec les objectifs identifiés dans la présente stratégie. En accord avec la présente stratégie, le Luxembourg se concentrera sur quatre priorités :

- › **La certification de l'hydrogène renouvelable** (et des autres types, ainsi que de ses dérivés) devra être concrétisée par la Commission européenne. Le Luxembourg plaidera
 - a) pour des critères stricts de certification, de traçabilité et d'additionnalité pour l'hydrogène renouvelable, pour éviter les effets d'aubaine issus de l'utilisation de garanties d'origine (GOs), et pour assurer l'utilisation de 100% d'électricité renouvelable (connexions directes, capacité additionnelle ou contrats d'achat d'électricité (PPA)), et
 - b) pour que les différents instruments envisagés (mécanisme d'ajustement aux frontières, quotas, tarifs d'injection, etc.) soient strictement limités à l'hydrogène renouvelable.
- › **Production de l'hydrogène renouvelable dans le cadre de partenariats** européens et internationaux pour exploiter les potentiels de production d'hydrogène renouvelable les plus attractifs (voir aussi Mesure 2). Le Luxembourg exprimera son intérêt à participer aux coopérations transfrontalières et au nouveau mécanisme européen de financement des énergies renouvelables, pour réaliser des projets visant une production conjointe d'hydrogène à partir de l'électricité renouvelable additionnelle, et insistera pour que ce mécanisme soit doté des ressources adéquates.
- › **Les infrastructures de transmission, de stockage et de distribution de l'hydrogène devront être développées et régulées** pour faciliter les échanges transfrontaliers et le commerce de l'hydrogène sur le marché intérieur⁴⁶. Il faudra réévaluer les règles de rémunération des réseaux européens pour pallier aux problèmes d'investissements lors d'une conversion d'un réseau gazier existant, ou de la construction d'un nouveau réseau dédié à l'hydrogène.

Le Luxembourg soutiendra la limitation des conditions d'octroi du label « Projet d'Intérêt Commun » (PIC) dans le cadre de la révision du règlement sur les réseaux transeuropéens aux seuls projets d'infrastructure (nouvelle ou reconvertie) exclusivement dédiés à l'hydrogène et ses produits dérivés (carburants liquides), avec une priorité claire pour le transport d'hydrogène et de carburant renouvelables.

Les projets liés au gaz naturel fossile, y compris via l'injection potentielle d'une part d'hydrogène dans le réseau gazier traditionnel, demeureront strictement exclus du champ d'application du règlement. Dans une perspective de sécurité d'approvisionnement, les gestionnaires de réseau dédié à l'hydrogène devront assurer une transition en concertation avec les pays voisins.⁴⁷

Les potentiels projets concrets identifiés au Luxembourg ou avec une participation luxembourgeoise (voir aussi Mesures 1 et 2) dans la mise en œuvre de la présente stratégie sont invités de se promouvoir dans le cadre de l'Alliance Européenne pour l'Hydrogène propre (*ci-après « ECHA » pour European Clean Hydrogen Alliance*).

■ MESURE 2

COOPÉRER AVEC LES ÉTATS MEMBRES DE L'UE ET DES PAYS TIERS



L'économie de l'hydrogène ne connaîtra pas de frontières. L'évolution de toute la chaîne de valeur de l'hydrogène est transfrontalière. Le Luxembourg aura besoin de coopérer au niveau européen et international et dans son voisinage immédiat. Il s'agira d'un axe prioritaire à développer par le Luxembourg.

› Grande Région – Union Benelux – Mer du Nord – UE

Il faudra suivre les développements au sujet de l'H₂ dans les régions et pays limitrophes. Au niveau de la **Grande-Région**, une plateforme d'échange sur l'hydrogène a été instaurée pour les acteurs du secteur.⁴⁶ Certains projets sont analysés et ont été annoncés dans la Rhénanie-Palatinat (DE), le pays de la Sarre (DE), le Grand-Est (FR) et en Wallonie (BE). De premiers échanges ont eu lieu à ce sujet avec ces régions. Dans le cadre du projet MosaHYyc, une extension du réseau 100% H₂ vers le territoire luxembourgeois est actuellement analysée.

Au niveau de l'**Union Benelux**, le Luxembourg ainsi que la Belgique et les Pays-Bas se sont récemment engagés pour analyser et préparer la réalisation d'un réseau gazier transfrontalier dédié à l'hydrogène.⁴⁹ Il est projeté que l'hydrogène renouvelable à coût optimal sera essentiellement produit le long des côtes de la mer du Nord et/ou importé via les ports de la mer du Nord. L'analyse menée devra identifier, quantifier et cartographier les centres de production d'importation et de consommation, afin de pouvoir anticiper les besoins futurs en infrastructure dédiée à l'hydrogène. Un tel réseau gazier transfrontalier pourra servir d'exemple pour l'installation d'un réseau européen. Une attention particulière sera également dédiée à la certification de l'hydrogène renouvelable.

En matière de mobilité, le Luxembourg soutient le déploiement de stations de ravitaillement en hydrogène pour véhicules à pile à combustible à travers les trois pays, en assurant une coordination pour les aspects de la sécurité et de qualité de l'hydrogène. Concrètement, le projet H₂ Benelux vise l'installation de huit stations de ravitaillement en hydrogène pour véhicules à pile à combustible à travers les trois pays, dont une station au Luxembourg.⁵⁰

⁴⁶ La reconversion des réseaux de gaz naturel pour le transport de l'H₂ permettrait d'éviter l'obsolescence du capital des gestionnaires de réseau européens.

⁴⁷ Le gestionnaire du réseau de gaz naturel luxembourgeois participe à l'initiative « European Hydrogen Backbone » Analyse nationale de 2016 sur les futurs besoins en cogénération au Luxembourg; https://gasforclimate2050.eu/sdm_downloads/european-hydrogen-backbone/

Le Luxembourg participe également aux discussions et développements au niveau du **Forum Pentalatéral de l'énergie**.⁴ Suite à la déclaration politique commune sur l'hydrogène, un groupe de travail dédié à l'hydrogène a été formalisé. Ce groupe mène diverses analyses concernant les potentiels de demande, de l'offre et d'infrastructure, et prépare des recommandations pour la Commission européenne, par exemple par rapport à la régulation des futurs marchés et infrastructures de l'hydrogène en Europe.

Le Luxembourg contribue à la promotion de la production d'hydrogène renouvelable,

- (i) Dans le cadre de sa participation à la North Sea Energy Cooperation (NSEC), qui analyse les synergies potentielles entre les électrolyseurs et les sites de production d'électricité éolienne offshore,⁵¹
- (ii) Par le biais de certains échanges bilatéraux informels avec des pays de l'UE qui disposent de potentiels compétitifs en énergies renouvelables. Ainsi **le Luxembourg et le Danemark** ont récemment signalé la volonté de coopérer visant entre autres la production d'hydrogène renouvelable dans le cadre de la réalisation d'une « ile énergétique » et d'un grand parc éolien offshore.
- (iii) Au sein de l'**Union européenne**, par le biais de la participation aux divers instruments de coopération européens en matière d'énergies renouvelables p.ex le mécanisme de financement des énergies renouvelables de l'Union.⁵²

› Pays tiers

Concernant la coopération au-delà du territoire européen, le Luxembourg – comme d'autres pays⁵³ – voit un grand potentiel de production d'H₂ renouvelable dans certains pays tiers.

Lors de la coopération avec des pays tiers, le Luxembourg sera particulièrement attentif à trois éléments :

- (i) D'assurer une compatibilité avec les besoins nationaux et le contexte régional et d'assurer la supervision appropriée pour limiter tout risque lié aux propriétés inflammables et explosives de l'hydrogène,
- (ii) La nécessité d'éviter de potentiels conflits géopolitiques liés à une nouvelle dépendance énergétique et,
- (iii) La question du bilan carbone (en approche de cycle de vie), notamment pour l'importation de l'H₂ renouvelable et de ses dérivés.

Le Luxembourg a lancé une étude de faisabilité avec le Cap Vert, qui possède un potentiel d'énergie renouvelable considérable pour clarifier si le Cap Vert pourrait devenir un producteur et exportateur majeur d'hydrogène renouvelable. Cette étude est coordonnée par LuxDev.

⁴⁸ 210329_Creos_Deutschland_-_GRTgaz_und_Encevo_starten_die_Initiative_Grande_Region_Hydrogen.pdf (creos-holding.de)

⁴⁹ Joint Declaration Benelux Summit 07.10.2020, <https://gouvernement.lu/dam-assets/documents/actualites/2020/10-octobre/Declaration-Benelux-Summit-7-October-2020-.pdf>

⁵⁰ <https://www.waterstofnet.eu/en/projects-roadmaps/h2benelux>

⁵¹ https://www.agora-energiawende.de/fileadmin2/Projekte/2019/Offshore_Potentials/176_A-EW_A-VW_Offshore-Potentials_Publication_WEB.pdf

⁵² EU renewable energy financing mechanism | Energy (europa.eu)

⁵³ La DENA (Deutsche Energie Agentur) a récemment mené une étude analysant les potentiels de coopération de l'Allemagne en vue de l'importation de l'H₂ renouvelable répondant à la demande potentielle allemande. « Grüner Wasserstoff: Internationale Kooperations-potenziale für Deutschland » DENA, 2019.10.04, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/Gruener_Wasserstoff_Internationale_Kooperationspotenziale.pdf

⁵⁴ https://gouvernement.lu/fr/actualites/toutes_actualites/communiqués/2020/02-fevrier/25-meisch-strategie-recherche-innovation.html

⁵⁵ Entre 2020 et 2025 le LIST prévoit un budget de 7,5 millions d'€, dont 5,3 millions d'€ financés par des collaborateurs du secteur privé externes, et 2,2 millions d'€ correspondent à la dotation de base du LIST.

⁵⁶ <https://www.ademe.fr/analyse-cycle-vie-relative-a-lhydrogene>



L'innovation permettra au Luxembourg de compenser son manque de potentiel de production d'hydrogène renouvelable par un potentiel d'exportation de savoir-faire, et de produits innovants. Un nouveau marché offre des opportunités spécifiques pour lesquelles le Luxembourg dispose d'atouts.

Le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche s'est récemment donné une stratégie nationale de la recherche et de l'innovation.⁵⁴ Quatre piliers stratégiques ont été identifiés pour la période entre 2020 et 2030. Deux de ces piliers décrivent une feuille de route pour la recherche et l'innovation dans la transformation industrielle et des services ainsi que dans le développement durable et responsable. Ces piliers sont traduits dans des actions par les acteurs de **la recherche publique** au Luxembourg qui développent davantage leurs activités dans le domaine de l'hydrogène. Certains départements du *Luxembourg Institute of Science and Technology* (ci-après « LIST »)⁵⁵ et de l'Université du Luxembourg (ci après « uni.lu ») se sont lancés dans des projets directement ou indirectement en lien avec l'hydrogène renouvelable :

- (i) La recherche sur des matériaux spéciaux utilisés pour la photo-électrolyse de l'eau, dans des piles à combustible ou pour le stockage de l'hydrogène cherchant à chaque fois une utilisation optimale des ressources rares comme les métaux nobles (LIST),
- (ii) L'analyse de cycle de vie établissant des bilans de carbone détaillés pour différents secteurs p.ex. la mobilité en comparant différents vecteurs énergétiques⁵⁶ (LIST),
- (iii) L'initiative entre le département d'ingénierie et un acteur du secteur privé menant à la création de la « *Paul Wurth Chair in Energy Process Engineering* » (uni.lu),
- (iv) Le développement d'un *Digital Twin Luxembourg* pour l'analyse de systèmes complexes comme par exemple le système énergétique d'un pays entier (LIST et uni.lu)⁵⁷
- (v) La création d'une branche de la finance durable (uni.lu).

La *Luxembourg Space Agency* (LSA) discute d'un programme d'innovation en lien avec l'hydrogène pour le centre de compétence (ESRIC) récemment créé.⁵⁸

A côté des avancements au niveau de la recherche fondamentale auxquels ces projets contribuent, il faut souligner que ces acteurs de la recherche publique visent des retombées concrètes pour l'économie du Luxembourg.



De plus, avec l'Université du Luxembourg et l'*University of Luxembourg Competence Centre*, le Luxembourg est bien placé pour développer également des **formations continues et professionnelles universitaires dans le domaine de l'hydrogène**. La formation d'ingénieurs et d'experts pourra contribuer à la réalisation des études et des actions décrites dans la présente stratégie.



Des **acteurs industriels** de l'économie de l'hydrogène renouvelable sont présents au Luxembourg. Avec cette stratégie, le Luxembourg se donne une feuille de route pour leur fournir du support, tout en encourageant l'émergence de *start-ups* et PME dans ce domaine. L'innovation dans le secteur privé continuera avec les acteurs domiciliés au Luxembourg actifs entre autres dans l'optimisation du déploiement d'électrolyseurs (p.ex. la commercialisation des cellules d'électrolyse à oxyde solide (SOEC)) ou dans le développement de technologies innovantes et d'équipement spécialisé (p.ex. valves spéciales de qualité unique pour les cylindres à hydrogène à très haute pression (>700 bar)).



Compte tenu du bilan national des émissions en GES, le **secteur du transport** et de la mobilité et dont notamment celui des véhicules utilitaires lourds, ou ceux nécessitant des temps de disponibilité élevés, pourra aussi constituer un secteur propice à l'innovation visant la réduction des émissions de GES à l'aide de l'hydrogène renouvelable.

⁵⁷ Un Digital Twin a la promesse de pouvoir modéliser les interdépendances complexes, dans ce cas-ci au niveau national. Un tel modèle serait particulièrement utile pour le secteur de l'énergie. <https://www.list.lu/en/institute/strategic-priorities/digital-twin/>

⁵⁸ European space resources innovation centre (ESRIC) a récemment été créé. https://gouvernement.lu/en/actualites/toutes_actualites/communiqués/2020/11-novembre/18-luxembourg-spaceresources.html



Au niveau du **secteur des finances**, le Luxembourg est devenu un centre mondial de premier plan pour les investisseurs internationaux souhaitant investir dans des actifs verts et durables.

Ainsi, l'écosystème du secteur financier, y compris des initiatives phares comme l'agence de labélisation *LuxFLAG*,⁵⁹ la bourse verte (*Luxembourg Green Exchange*)⁶⁰, la *Luxembourg-EIB Climate Finance Platform*,⁶¹ le *International Climate Finance Accelerator*,⁶² ou le *Sustainability Bond Framework*,⁶³ qui sont aussi décrits dans la stratégie de la Luxembourg Sustainable Finance Initiative, contribuent à la mobilisation d'investissements dans le domaine de l'énergie renouvelable et de la transition énergétique, dont pourra évidemment bénéficier le secteur de l'hydrogène renouvelable. Dans ce contexte, il importe de suivre de près les évolutions au niveau européen et notamment les discussions en cours sur la taxonomie définissant les activités durables et vertes. Le développement de labels pour les produits financiers nécessite une forte compétence en analyse de cycle de vie, un atout du secteur de recherche publique au Luxembourg.⁶⁴ Le Luxembourg dispose donc de savoir-faire à la fois financier en général, et dans l'analyse de cycle de vie en particulier pour définir de tels labels et pour renforcer sa position de leader européen et global dans ce secteur. En 2021, le Luxembourg a introduit une taxe d'abonnement réduite pour les fonds qui investissent dans des activités durables en ligne avec la taxonomie européenne. Avec la mise en place de la *Luxembourg Sustainable Finance Initiative*,⁶⁵ en tant que partenariat public-privé, le Luxembourg s'est d'ailleurs doté d'une plateforme dédiée pour soutenir le développement de nouvelles initiatives dans le domaine de la finance durable et verte. Certaines institutions européennes, comme la banque européenne de l'investissement (BEI), qui jouent un rôle clé sont situées au Luxembourg.



L'économie au Luxembourg très ouverte aux services constitue un environnement intéressant pour l'établissement d'entreprises de services spécialisées dans la **certification** des différents types d'hydrogène.



La **navigation maritime** zéro-émission (voile, électrique, hydrogène ou dérivés) et le transport transocéanique d'hydrogène renouvelable (et dérivés) pourraient être privilégiés par de nouveaux instruments.⁶⁶

De manière générale, les projets d'innovation liés à l'hydrogène renouve-

lable avec une participation luxembourgeoise seront éligibles pour des financements nationaux, européens et internationaux par exemple dans le cadre de Horizon Europe⁶⁷ ou du *Clean Hydrogen Joint undertaking* (CHJU) qui est en cours de réalisation.⁶⁸

A photograph of several wind turbines in a field at sunset or sunrise. The sky is filled with soft, orange and yellow clouds, and the turbines are silhouetted against the bright horizon. The overall mood is serene and hopeful, representing renewable energy.

■ MESURE 4

PASSER AU CONCRET DES PROJETS PHARES À ÉTUDIER ET À RÉALISER

Les retombées du secteur RD&I pour l'économie sont décrites ci-dessus et pourront aussi jouer un rôle clé dans la réalisation de projets phare au Luxembourg.

Une étude de décarbonation des procédés industriels analysant parmi d'autres sujets le potentiel afférent de l'hydrogène renouvelable sera menée par le ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable, le ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire ainsi que le ministère de l'Économie. Cette étude sera élaborée en étroite collaboration avec les autres ministères concernés, la Taskforce H₂ Luxembourg (voir Mesure 7) pour le volet de l'hydrogène, et la FEDIL. Dans le cadre de cette étude les potentiels technico-économiques de décarbonation qu'offrent une électrification directe et l'hydrogène renouvelable devront notamment être déterminés. De plus, le rôle potentiel des technologies *carbon capture and use* (CCU) sera analysé pour les procédés difficiles à décarboner. La faisabilité d'écosystèmes luxembourgeois autour de l'H₂ renouvelable sera analysée et évoluera en fonction des potentiels de production, d'acheminement, de stockage et de consommation d'hydrogène renouvelable des secteurs de l'industrie et du transport. Le Sud-Ouest du pays offre la présence simultanée d'un potentiel théorique d'énergies renouvelables non-exploité, des consommateurs actuels d'hydrogène fossile, des acteurs du transport public et logistique, et la proximité des différentes institutions privées et publiques d'innovation.

⁵⁹ <https://www.luxflag.org>

⁶⁰ <http://sc.vund.eib.org>

⁶² [Home \(icfa.lu\)](http://Home.icfa.lu)

⁶³ [Sustainability Bond Framework \(gouvernement.lu\)](https://www.gouvernement.lu)

⁶⁴ Gibon, T., Popescu, I. Ş., Hitaj, C., Petucco, C., & Benetto, E. (2020). Shades of green: life cycle assessment of renewable energy projects financed through green bonds. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104045. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abaa0c>

⁶⁵ <https://lsfi.lu/>

⁶⁶ <https://www.cluster-maritime.lu/>

⁶⁷ [Energy - European Partnership for clean hydrogen \(Horizon Europe programme\) \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/energy/european-partnership-for-clean-hydrogen)

⁶⁸ <https://www.fch.europa.eu/news/eu-proposal-set-clean-hydrogen-partnership-europe-1>

La réalisation de projets pilotes de production domestique d'hydrogène renouvelable est visée même si l'électricité renouvelable (excédentaire) domestique est susceptible d'émerger au plus tôt à l'horizon 2030. De tels projets seront orientés à chercher les synergies entre les secteurs et à offrir la possibilité de produire et/ou de convertir de manière flexible les différents vecteurs énergétiques (électricité, chaleur et gaz renouvelables).

La méthanation du CO₂ contenu dans le biogaz peut être réalisée grâce à l'hydrogène renouvelable. La possibilité de connecter les différentes technologies par un procédé de méthanation biologique permettrait d'assurer une viabilité économique à chaque technologie et d'offrir une flexibilité dans la production d'énergie; chaleur, gaz (méthane et hydrogène) et électricité renouvelables. De plus, cette approche pourrait s'inscrire dans la stratégie d'économie circulaire et constitue le nexus avec la future stratégie nationale biogaz.

L'installation d'une première station-service à hydrogène contribuera à la densification d'un réseau européen de points de ravitaillement en hydrogène, et visera surtout la satisfaction d'une demande future de transit et du transport routier. Le Luxembourg vise à réaliser l'installation de cette station-service dans les délais les plus brefs possible. En même temps, le Luxembourg suivra de près l'évolution des différents modes de propulsion pour le transport lourd à faible ou zéro émissions de roulement et le besoin en infrastructure, soit bornes de recharge rapides ou stations-service H₂.

La connexion à un réseau interconnecté dédié à l'H₂ pourrait assurer dans le long terme une sécurité d'approvisionnement en hydrogène renouvelable. Concernant le développement des infrastructures transfrontalières, le Luxembourg prend un rôle actif dans les discussions au niveau de l'Union Benelux,⁶⁹ et au Forum Pentatléral de l'énergie (*voir aussi Mesure 2*). Le Luxembourg veillera à ce que, pendant la transition vers la neutralité climatique, tout développement de réseau (transfrontalier) dédié à l'hydrogène par le biais de construction neuve ou, plus probablement consistant partiellement de gazoducs convertis, ne conduit pas à des effets « *lock-in* ». Dans les court et moyen termes, pendant que la transition vers une infrastructure de gazoducs dédiée à l'hydrogène prend son cours, la faisabilité technico-économique d'une importation d'hydrogène renouvelable par voie fluviale, ferroviaire ou routière se posera. Dans le cadre de l'étude de potentiel, cette analyse sera menée.

Les projets phares développés à l'étranger avec une participation luxembourgeoise seront soutenus pour chercher une exploitation du potentiel de décarbonation à coût optimal (*voir aussi Mesures 1 et 2*). Un appel à manifestation d'intérêt pour participer au projet important d'intérêt européen commun (IPCEI) dans le domaine de la « chaîne de valeur de l'hydrogène »⁷⁰ a été lancé par le ministère de l'Économie⁷¹ Neuf projets ont été présentés et visaient au total des investissements dépassant les 100 millions €. Une première présélection au niveau national sera suivie d'une phase de concertation au niveau européen.

⁷⁰ IPCEI en lien avec toute la chaîne de valeur de l'hydrogène se trouve actuellement en préparation <https://www.hydrogen4climateaction.eu/ipcei-on-hydrogen> Un manifeste a été adopté par 22 États membres de l'UE et la Norvège le 17.12.2020 s'engageant à supporter la création d'un tel IPCEI. Parmi les signataires, le Luxembourg et 4 autres États membres soulignent l'importance que seule la chaîne de valeur de l'hydrogène renouvelable puisse bénéficier des fonds publics et de l'allègement des règles d'aide d'État. <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/five-eu-countries-object-to-eus-latest-hydrogen-manifesto/>

⁷¹ Appel à manifestation d'intérêt (gouvernement.lu) entre le 15.03.2021 et le 15.04.2021.

⁷² *Home* (destination2050.eu) et *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)* (icao.int)

⁷³ Synthetic aviation fuels (SAF) correspondent aux biocarburants et aux e-carburants.

⁷⁴ <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12251-Revision-of-Alternative-Fuels-in-infrastructure-Directive>



■ MESURE 5

PRIORISER LES ACTIONS VERS UNE DÉCARBONATION CIBLÉE PAR L'HYDROGÈNE RENOUVELABLE

En considérant le principe de la primauté de l'efficacité énergétique, l'offre limitée et le coût élevé de l'hydrogène renouvelable dans le moyen terme, l'importance d'une priorisation de la demande, pour ne pas artificiellement augmenter son prix, semble l'option la plus logique.

Un déploiement organisé dans une perspective d'optimisation systémique devrait prioriser les actions selon un nombre d'aspects:

- (a) Quelles applications de l'hydrogène seront économiquement, à ce stade, les plus viables ?
- (b) Quels secteurs non-électrifiables offrent le plus grand potentiel de décarbonation ?
- (c) Quels sont les acteurs prêts à investir dans la production ou la décarbonation via l'hydrogène ?
- (d) Quelles actions permettraient la création d'écosystèmes interconnectés ?
- (e) Quelles actions seront à déployer dans les court, moyen et long termes en fonction de, si oui ou non une infrastructure est disponible ?

En considérant ces aspects, il convient dans un premier temps d'établir un fléchage de l'hydrogène renouvelable vers les secteurs qui répondent le mieux aux critères énoncés ci-dessus. La priorité sera attribuée aux secteurs suivants au Luxembourg :



› **Industrie.** Les procédés difficiles à décarboner (à températures très élevées ou de réduction) auront assez rapidement besoin d'une alternative renouvelable et durable comme l'hydrogène renouvelable. Au sein de la taskforce H₂ (voir aussi Mesure 7), en se basant sur l'étude de décarbonation de l'industrie susmentionnée, les ministères élaboreront avec les administrations et les industriels une feuille de route pour l'utilisation d'hydrogène renouvelable dans l'industrie.



› **Transport.** Certains secteurs, comme l'aviation,⁷² ne pourront pas être directement électrifiés et seront dépendants des évolutions des technologies d'hydrogène et de carburants synthétiques renouvelables.⁷³ Les efforts de certaines industries dans cette direction et en vue d'une production d'huiles végétales hydrogénées avec de l'hydrogène renouvelable seront supportés. L'opérateur de l'aéroport national analysera la faisabilité d'un déploiement des carburants synthétiques obtenus à base d'hydrogène renouvelable au Luxembourg. D'autre part, le Luxembourg poursuivra sa coopération transfrontalière visant à finaliser l'installation d'une station-service H₂ proche du système autoroutier de l'UE afin de faciliter des trajets en véhicules à pile à combustible à travers l'Europe. D'autant plus,

il est proposé d'étudier les besoins futurs en matière de points de ravitaillement en hydrogène, dont notamment pour le transport international de fret, et de mettre en place le cadre nécessaire pour la mise en œuvre d'une telle infrastructure ainsi que des éventuels objectifs minimaux requis par la version révisée de la directive 2014/94/UE sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs qui est attendue pour mi-2021.⁷⁴



- › **L'hydrogène contribuera à l'émergence d'un système énergétique intégré.** La conversion flexible entre les vecteurs énergétiques gaz, chaleur et électricité renouvelables. La limite de l'exploitation durable de la biomasse demande sur le moyen terme une alternative durable qui assure la substitution de carburants fossiles. Sur la base d'une étude d'impact, le Luxembourg analysera l'utilisation d'hydrogène renouvelable dans les centrales de cogénération à haut rendement. L'opération décentralisée, voire à plus long terme centralisée, d'une telle application pourra jouer un rôle dans la production flexible d'électricité et de chaleur en consommant de l'hydrogène renouvelable et pourra donc contribuer à stabiliser le réseau électrique. A moyen et long termes cette approche d'intégration sectorielle pourra aussi mener à la production nationale d'hydrogène renouvelable.



■ MESURE 6

DÉVELOPPER LES INSTRUMENTS POUR UN MARCHÉ DE L'HYDROGÈNE RENOUVELABLE

Les instruments de marché serviront à orienter les décisions des acteurs économiques. Ces instruments chercheront à stimuler l'offre et la demande en hydrogène renouvelable.

Une piste y relative est un système de quotas de carburant synthétique renouvelable (dans l'aviation), et une analyse des instruments possibles pour subventionner une production nationale d'H₂ renouvelable comme des appels d'offre transfrontaliers (nouvelles centrales d'énergie renouvelable et électrolyseurs). La certification renouvelable de l'hydrogène consommé y jouera encore un rôle clé.

En ce qui concerne les contrats de concession sur les aires d'autoroute, et en suivant de près l'évolution des technologies, une obligation de mise en place d'une infrastructure hydrogène (et/ou de bornes de recharge électrique rapides) pour véhicules électriques à pile à combustible (et/ou pour véhicules électriques à batteries), dont notamment les poids lourds, pourra être formulée.

Au Luxembourg d'éventuels futurs paquets de relance pourraient être utilisés pour faire les premiers pas et préparer le terrain au déploiement de l'hydrogène renouvelable. Le paquet permettrait des investissements anticycliques importants qui aideraient à définir la direction future des entreprises domestiques. Le subventionnement relatif aux véhicules lourds est un exemple de subside à développer.

L'étude de BNEF¹² a montré qu'une taxation minimale des GES est un des moyens les plus adaptés pour accélérer la décarbonation de l'économie et de permettre à l'hydrogène renouvelable de devenir compétitif avec l'hydrogène fossile. La taxe CO₂ (instrument national)⁷⁵ a été introduite dès janvier 2021 à un tarif fixé à 20 € par tonne (CO₂) pour la première année. Elle sera prélevée sur toute consommation de ressources fossiles pour tous les acteurs au Luxembourg à l'exception du secteur agricole et des acteurs soumis au marché EU ETS. La taxe CO₂ a été conçue avec un élément de compensation sociale.

Au niveau de l'UE, un budget conséquent a été débloqué pour gérer les effets économiques de la crise sanitaire du Covid-19 : 750 milliards d'euros sont prévus dans le cadre du Next generation EU (Recovery plan), ⁷⁶ le budget long terme de l'UE (2021-2027) a été révisé à 1.100 milliards d'euros, avec une série d'instruments comme HORIZON pour le financement de la recherche et de l'innovation et le MEI (Mécanisme Européen d'Interconnexion) pour le finan-

cement de l'infrastructure énergétique européenne.⁷⁷ Le marché EU-ETS (instrument de l'UE) concerne les grands sites industriels et l'aviation. Il vise une réduction progressive des certificats d'émissions en circulation afin que le prix pour chaque tonne de CO₂ émise augmente.⁷⁸ Il est prévu que l'Innovation Fund alimenté par le marché des émissions en GES de l'UE (EU ETS) collectera 10 milliards d'euros entre 2020 et 2030, qui pourront être utilisés pour financer des projets de démonstration commerciale de procédés industriels décarbonés.⁷⁹ Ce fonds a le potentiel de réduire le risque pour les grandes installations en finançant la démonstration de mise à échelle de produits et procédés innovants. La banque européenne d'investissement (BEI) gèrera l'instrument Invest EU, et la Commission va proposer l'établissement d'un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières.⁸⁰ (voir aussi Mesure 1).

A cet égard il convient d'identifier et de soutenir des projets avec une participation luxembourgeoise⁷⁵ susceptibles de bénéficier de ces fonds. De tels projets pourraient être de nature industrielle ou faire partie de grands projets d'infrastructure.

Tableau 1. Liste d'instruments envisageables.

INSTRUMENT	EXEMPLES	INCITATIF	NIVEAU
Quotas	Quotas de mélange de carburant synthétique	Infrastructure – Offre – Demande	LU et UE
Subsides	Aide à l'investissement ou réduction du coût opérationnel (tarif d'injection ou carbon Contracts for Differences (cCFDs)) ou appel d'offre	Infrastructure – Offre – Demande	LU et UE
Obligations	Présence d'infrastructure H ₂ dans les contrats de concession sur les aires d'autoroute	Infrastructure – Offre – Demande	LU
Prix sur les émissions de CO₂	Taxe CO ₂ , et le marché EU-ETS	Création de conditions favorables à concurrence égale entre nouvelles technologies zéro-carbone et les technologies intensives en carbone	LU et UE
Mécanisme d'ajustement aux frontières	Taxe à l'importation sur produits à empreinte climatique élevée	Sécurité de planification pour entreprises domestiques et européennes	UE

⁷⁵ Introduction de cet instrument est prévu pour 2021.

⁷⁶ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_940

⁷⁷ https://ec.europa.eu/info/publications/2020-commission-work-programme-key-documents_en

⁷⁸ Le prix a augmenté d'environ 25 en 2020 à environ 50 € par tonne (CO₂) en 2021.

⁷⁹ [Innovation Fund | Climate Action \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/innovation-fund/)

⁸⁰ Projet de Directive sur un mécanisme d'ajustement carbone aux frontières 2020, <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12228-Carbon-Border-Adjustment-Mechanism>

⁸¹ Un (ou plusieurs) bureau(x) d'études devront être mandatés pour suivre avec leur expertise le développement au Luxembourg.

■ MESURE 7

IMPLÉMENTER ET AMÉLIORER EN CONTINU TASKFORCE H₂ LUXEMBOURG

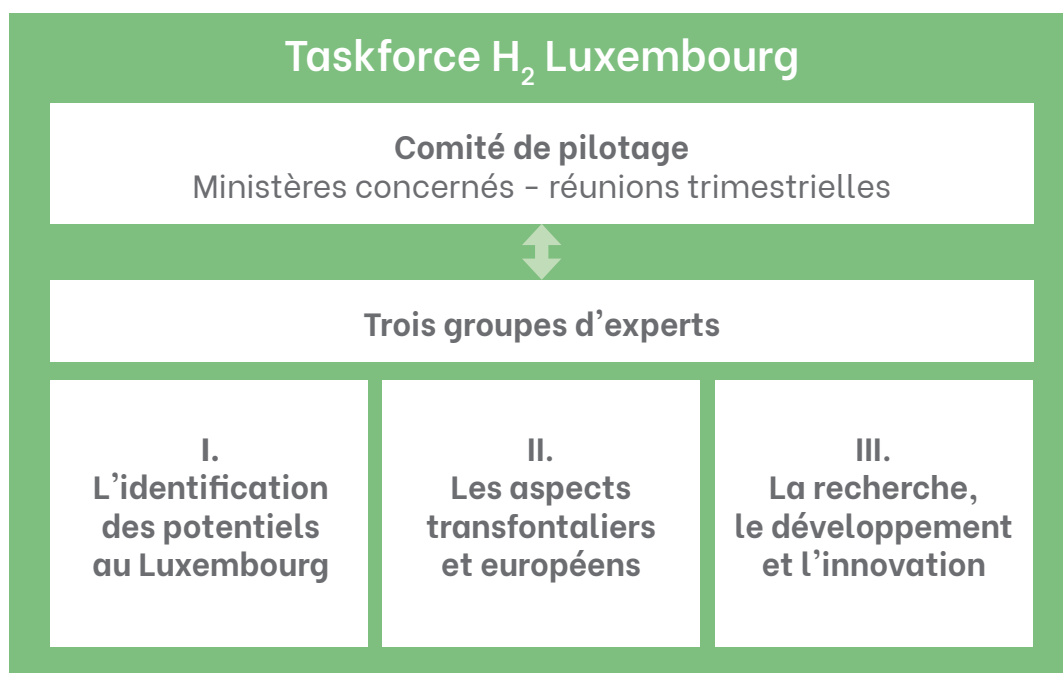


Figure 4. Représentation schématique de la structure de gouvernance proposée pour la taskforce H₂ Luxembourg.

Deux niveaux seront complémentaires dans cette taskforce H₂ Luxembourg :

1. Le comité de pilotage permanent avec des représentants de différents ministères concernés et intéressés se réunira de manière ordinaire en principe de manière trimestrielle pour présenter les avancements dans l'implémentation de la présente stratégie. Les réunions régulières serviront aussi à identifier des obstacles et à définir et mandater les études nécessaires comme support décisionnel.

Le comité de pilotage consulte des groupes d'experts nationaux⁵⁷ et internationaux⁸¹ dont la mission est de veiller à la mise en œuvre de cette stratégie.

2. Des **groupes d'experts** se réuniront régulièrement. En principe toutes les parties impliquées dans une économie de l'hydrogène pourront participer à ces réunions des groupes d'experts afin d'établir un dialogue transparent. Les acteurs en question seraient issus des différents ministères, des administrations concernées, des observateurs externes,⁸² des industries, des gestionnaires de réseau, du secteur des transports, des instituts financiers, du monde académique, des organisations non-gouvernementales et d'autres secteurs concernés.

Une première division thématique pour les trois groupes est proposée :

I. L'identification des potentiels au Luxembourg est essentielle pour pouvoir développer une infrastructure des projets dimensionnés de manière adéquate. Ainsi le potentiel de décarbonation qu'offre l'hydrogène au Luxembourg devra être analysé en détail. Ensuite les potentiels de production nationale, en tenant compte des potentiels en énergies renouvelables additionnelles, devront être identifiés. In fine, les besoins potentiels en infrastructure et en quantité d'importation pourront être déduits.

II. Les aspects transfrontaliers et européens : ce groupe se focalisera sur les aspects transfrontaliers concernant une (i) future infrastructure pour l'hydrogène, (ii) le développement d'un cadre légal et régulateur pour les futurs marchés et infrastructure de l'hydrogène, (iii) la certification de l'hydrogène, ainsi que (iv) les projets de coopération transfrontalière pour l'hydrogène.

III. La recherche, le développement et l'innovation constitueront le nexus entre la recherche fondamentale et l'industrie via des projets pilotes. Le groupe se concentrera sur l'élaboration de projets pilotes pertinents.

Ces groupes permettront d'évaluer de manière régulière les mesures prises, de quantifier les nécessités budgétaires, d'affiner les objectifs et d'assurer une amélioration continue. Cette structure de gouvernance sera formalisée avec l'adoption de la présente stratégie.

⁸² Les régions et pays voisins seront invités d'envoyer un observateur à chaque fois en vue de trouver des alliances et de développement de projets transfrontaliers.

Neutralité climatique jusqu'en 2050 au plus tard
 Priorité pour décarboner le secteur énergétique :
HYDROGÈNE RENOUVELABLE

2020	2030	2040	2050
			
Etat des lieux • H₂ fossile : 15 GWh/an Ambitions • Réduire les émissions de GES au LU (-55 % vers 2030) • Promouvoir l'H₂ renouvelable	Ambitions • Réduire les émissions de GES – neutralité climatique • Coupler les secteurs • Garantir sécurité d'approvisionnement en hydrogène et dérivés renouvelables • Promouvoir l'H₂ réellement renouvelable		
MESURES National • Installer station(s) service H₂ • Focaliser sur coopération, infrastructure et certification • Analyser faisabilité d'un projet phare • Identifier les potentiels d'offre, d'importation et de demande • Développer instruments pour stimuler l'offre et la demande International • Promouvoir tous les points en haut aux niveaux Benelux, Penta et UE • Analyser faisabilité d'un projet de coopération avec un pays tiers	MESURES National • Gagner de l'expérience et innover dans les technologies H₂ • Réaliser un projet phare transformant de l'énergie renouvelable domestique additionnelle en hydrogène renouvelable à proximité de consommateurs • Identifier domaine(s) d'innovation prometteur(s) lié(s) à l'H₂ renouvelable • Développer des instruments financiers soutenant l'H₂ renouvelable • Former les acteurs du terrain International • Participer au développement d'une infrastructure européenne 100% H₂ • Assurer une certification adéquate de l'hydrogène renouvelable • Réaliser un (des) projet(s) de coopération pour produire de l'H₂ renouvelable • Réaliser un projet de coopération avec un pays tiers.		

En collaboration avec :

Ministère de l'Économie
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche
Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable
Ministère des Finances
Ministère de la Mobilité et des Travaux publics
Ministère des Affaires étrangères et européennes

Auteurs :

Pit Losch et Georges Reding



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Énergie et de
l'Aménagement du territoire

Ministère de l'énergie et de l'aménagement du territoire
4 place de l'Europe - L-2918 Luxembourg