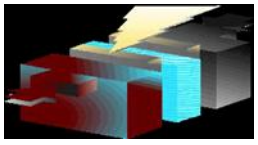
Rapport de la journée sur l'hydrogène sous le thème : « Hydrogène dé-carboné »

Date : mercredi 05 juin 2019

Lieu : Polytechnique Montréal
Salle A-604 Pavillon principal,

Journée organisée par

Polytechnique Montréal



Réalisée par le
Laboratoire de nouveaux matériaux pour l'énergie et l'électrochimie
Département de Génie Chimique

DOCUMENT DE TRAVAIL2-Rapport sur la journée sur l'hydrogène -05 Juin 2019

Préambule

La journée de l'hydrogène sous le thème : « Hydrogène dé-carboné » a été organisée sous la direction du Professeur Philippe. A. Tanguy, Directeur Général de Polytechnique Montréal. Elle a été réalisée par le groupe du Professeur Oumarou Savadogo du Laboratoire des Nouveaux Matériaux pour l'énergie et l'électrochimie du Département de génie de Chimique de Polytechnique Montréal le 05 juin 2019, dans le local A – 604. La journée a traité d'une question d'actualité sur la transition énergétique, déjà en marche pour faire face au défi carbone, en valorisant les électrons verts avec comme stratégie, l'hydrogène un vecteur énergétique en mettant l'accent sur son rôle dans le nouveau système énergétique qui devrait être développé.

Les travaux ont été conduits en neuf (9) sessions de présentations orales et de discussions sur cinq thèmes qui ont permis de répondre à une série de questions sur les axes de recherche pour soutenir le développement de la production et de l'utilisation de l'hydrogène au Québec. Les notes qui suivent décrivent le contenu des présentations orales, des discussions qui ont lieu après chacune des présentations et des échanges qui ont eu lieu entre participants sur les cinq thèmes de l'après midi.

8 h 25-12 h 05 : Présentations orales

8h 25 - 8 h 50 : Prof. Philippe A. Tanguy, directeur général, Polytechnique Montréal

8 h 25: Mot de bienvenue du directeur général

La séance d'ouverture a été présidée par le Prof. Philippe A. Tanguy, directeur général, Polytechnique Montréal, promoteur de l'hydrogène, en présence des orateurs (coordonnateurs de session) et 'une cinquantaine de participants.

8 h 30 Thème : « Hydrogène énergie et hydrogène mobilité »

La technologie de production de l'hydrogène dépend de l'application visée ; mais l'électrolyse à membrane alcaline est la méthode de **production de l'hydrogène** à privilégier, avec un rendement de plus de 70% selon les technologies.

La problématique est sur **le stockage et le transport de l'hydrogène** (hydrogène énergie et hydrogène mobilité). La thermodynamique et la physique n'aident pas.

Les options qui ont été prises, mais à un coût non négligeable, sont :

- Pipeline (gazoduc);
- Compression : transport sous forme de méthane ;
- Liquéfaction : le Japon et le Pays-Bas le font à 20°K (- 60°C), avec comme conséquence la perte d'énergie ;
- Voie chimique
- Voie NH_3 est possible, en particulier avec le Japon

Après la production, l'hydrogène trouve plusieurs applications :

- Train (Allemagne), Tram (Chine), Camions à H_2 (Canada en Alberta). Son application est plus développée dans les Autos : Hyundai, Toyota, Honda, Mercedes, …
- Transport aérien : avec des **drones aériens** (Skaï), l'H_2 pourrait jouer un rôle important et les avions à H_2 existent déjà ;

- Transport maritime : les bateaux à H_2 n'existent pas encore ; mais le NH3 peut être utilisé comme carburant du transport maritime ;
- Dans le futur collectif :
  - Courtes distances (transport urbain) ; c'est la batterie qui joue le rôle ;
  - Longues distances : la batterie ne joue aucun rôle et l'hydrogène pourrait jouer un rôle.

8h50 : M. Michel Archambault, Hydrogenics

Thème : « Production d'hydrogène renouvelable et survol de ses applications »

L'hydrogène est produit, depuis 1948, par l'électrolyse de l'eau ; l'objectif est d'atteindre 25% de production d'ici 2030 par rapport à la production mondiale. L'hydrogène est une excellente filière de stockage énergétique. De ce fait, deux volets pour l'utilisation de l'hydrogène :

- Mobilité électrique
  Des nouveaux marchés, depuis 2018, sont disponibles dans les véhicules électriques à H_2, trains électriques, Autobus électriques, Camions électriques (USA) et Ferris électriques avec moins de problèmes, à - 40°C, comparativement à la mobilité avec des batteries.
  Le coût de production, avec l'électricité : 0,05$/kWh x 55 kWh/kg = 2,75 $/kg
  Avec une estimation 8000 Kg H_2 / jour
  Un Autobus consomme 8 kg H_2 pour 100 km ce qui est impossible avec la batterie.

- Production de Biocarburants renouvelables ;
  Exemple de la production de Biocarburants renouvelables avec de l'H_2 renouvelable et du CO_2.

---

9 h 15 : Dr Michel Carreau, Hatch

Thème : « L'hydrogène et ses applications émergentes »

L'objectif est de zéro émission de gaz à effet de serre d'ici 2050.
La problématique de l'hydrogène est la densité d'énergie.

<u>L'hydrogène</u>

Il y a plusieurs technologies de production de l'hydrogène :
- Actuellement, il est produit par le procédé : $CH_4+H_2O = CO+3H_2$
- Electrolyse de l'eau : $2H_2O$+énergie électrique = $2H_2+O_2$
- Par le procédé : $3H_2O+N_2$+énergie électrique = $2NH_3+ 3/2O_2$

48% de H2 produit aujourd'hui est sous forme de SMR ; mais le NH_3 est la solution économique d'avenir au niveau de la densité énergétique par rapport l'H_2 liquide.

Après la production, il faut le transport :
- Le Pipeline est le moyen de transport le moins cher ;
- Pour des courtes distances, il faut le comprimer ;
- Pour des longues distances, il faut le liquéfier.

100 kg H_2 pourraient produire environ 4 MWh d'énergie. Il faut un réservoir pour assurer son stockage qui nécessite aussi beaucoup de tubes de connexion ; et ceci pour une utilisation rapide. La molécule H_2 est très petite pour être stockée pendant longtemps sans fuites. Il faut une soudure spéciale pour éviter ou minimiser les fuites.

Applications

L'hydrogène trouve plusieurs applications :

- Dans la métallurgie ferreuse comme gaz réducteur des oxydes de fer
  $Fe_3O_4+H_2 = 3FeO+H_2O$
  $FeO+H_2 = Fe+H_2O$

- Dans la mobilité, avec Tesla, dans les longs camions d'ici 2020 (Trucks électrique – H_2) pour 1000 km d'autoroute et de bennes de 700 T qu'aucune batterie de peut réussir.
- $Ar+H_2$ production d'une flamme plus chaude

---

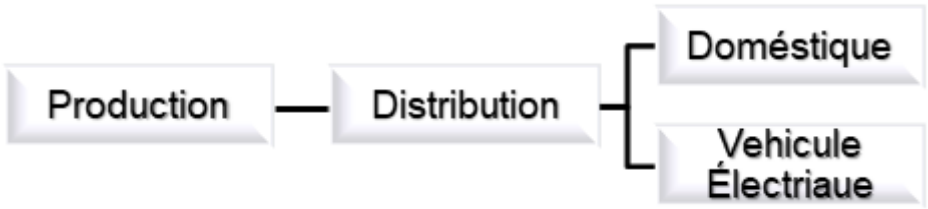
9 h 40 : Prof. Kodjo Agbossou, Institut de Recherche sur l'Hydrogène (IRH)

Thème : « *Gestion d'énergie et stockage d'hydrogène pour la mobilité et le réseau électrique* ».

La transition énergétique et la dé carbonisation est la problématique de la gestion d'énergie et son stockage pour la mobilité et le réseau électrique. Mais la préoccupation du Québec est axée sur la réduction de l'impact du carbone.
La capacité de stockage de l'Hydro-Québec est de 176 TWh. Mais la question : « Comment intégrer les énergies renouvelables dans le réseau de distribution ? » est toujours présente. Le schéma ci-dessous illustre deux axes de distribution après la production.
Pour répondre à la question ci-dessus, il faut de la sécurité dans le réseau de distribution.
Trois axes sont étudiés :

- **Axe 1 : Production et stockage de l'H_2**
  Après la production, l'H_2 peut être stocké sous trois formes : H_2 comprimé, H_2 liquéfié et lien chimique (NH_3).
  Très efficace en termes de densité énergétique (kg / GJ ou L / GJ) avec des projets sécurité de UQTR
- **Axe 2 : Véhicule électrique, c'est l'aspect moteur.**
  Dans l'utilisation véhicule électrique, c'est plus l'aspect moteur avec le PAC (piles à combustible) et les Batteries. Dans ce cas, le sujet de stockage d'énergie revient avec la question : « comment augmenter l'autonomie des PAC et des Batteries ? ».
  Les PAC peuvent avoir une autonomie pour atteindre 5 000 h d'utilisation.
  Le rendement des véhicules électriques est d'environ 60,4 % comparativement à celui des véhicules à essence qui est au plus de 40%.
  L'autonomie est pour une distance entre 500 à 600 km avec 5 à 6 kg d'hydrogène pour les systèmes de stockage utilisés présentement en Amérique du Nord pour les véhicules à PAC.
  Le coût estimé actuel de production par électrolyse varie entre 3 et 13 $ / kg de H_2. Ce prix varie selon la technologie et la capacité de production, la source de production de l'électricité qui sera utilisée et la tranche horaire de production de H_2 ; tranche qui fixe le

coût de l'électricité qui sera utilisé. L'optimisation de ces différents paramètres conduira à une baisse de coût à moins de 8$/kg de H_2 en 2025.



- **Axe 3 : Systèmes résidentiels intelligents avec stockage**

---

10 h 50 : M. Jean Michaud, consultant

Thème : « L'énergie et l'économie »

En 1800, on découvre un combustible industriel : le charbon. Cette découverte implique une augmentation du PIB et de la consommation d'énergie (x 4 en 50 ans).

Il y a une parfaite corrélation entre consommation d'énergie et PIB. Les pays développés ont une consommation d'énergie plus élevée et un PIB plus élevé ce qui répond à la corrélation classique entre utilisation de l'énergie et PIB, spirale qu'il serait bon de rompre, pour résoudre de manière plus efficace l'utilisation de l'énergie. Un autre facteur peut être lié au climat. Par exemple le Canada consomme plus d'énergie que d'autres pays nordiques comme l'Europe, cela est dû à la grandeur du pays et au climat plus rigoureux donc les besoins en énergie sont plus important pour se chauffer pendant les hivers par exemple.
Par ailleurs, la population augmente alors que la consommation d'énergie est multipliée par 25.

le Ratio ERol ou ERoEl (Energy return on Energy Investment): combien d'énergie consommée sert à la production d'énergie ? Cette notion a été mise en avant par un biologiste Américain. L'ERoEl de l'hydrogène par l'hydrolyse est nettement meilleur que celui de l'éthanol faite à partir de maïs qui n'est pas bon.
Si on a un EROI de 4 %, alors il faudrait retrancher 18 % de l'énergie disponible pour soutenir la réalisation de cet EROI à 4%.
example: l'EROI de PV = 4, Eolienne, Biomasse est de l'ordre de 1.1 à 2.1.
Une étude en Allemagne sur hydrogène qui vient de l'électrolyse de l'eau montre que l'ERoEI est de 4.4%.
Dans le cas des énergies renouvelables comme l'énergie solaire ou éolienne, le problème est que ce sont des énergies disponibles par intermittence. En plus, il faut aussi considérer les coûts de production des intrants sur les matières recyclées.

---

11 h 10: M. Éric Léger, conseiller en développement des énergies renouvelables, MERN

Thème : « Hydrogène : l'intérêt pour le Québec »

L'essor de l'hydrogène est notamment montré dans l'**actualité**. Le Québec présente un contexte industriel et énergétique intéressant.

- au Québec, 99% de l'électricité est produite des sources renouvelables abondantes.

- Ontario: production d'hydrogène à partir des forces hydrauliques pour exporter l'hydrogène en Asie et en Californie.

Pour le ministère, en 2016 débute le virage vers l'hydrogène, par la production d'un document d'orientation, et d'années en années des industriels se rajoutent et l'étude continue.
2018: projet pilote en mobilité
2020-2021: développement d'une vision stratégique:

- Documenter
- Agir et orchestrer (développer une vision stratégique et concentrée pour assurer la pérennité de la filière, mettre des actions structurantes)

---

11 h 25 : Dr Richard Gagnon, Transition Énergétique Québec

Thème : « Impact de l'hydrogène sur la transition énergétique du Québec »

Avec l'H_2, comme vecteur énergétique au Québec ; la Transition Énergétique Québec (TÉQ) et le Ministère de l'Énergie et des Ressources Naturelles ont, chacun, un rôle à jouer.

La **TÉQ** est une société d'état créée en 2017 qui soutient et stimule la transition énergétique au Québec. Elle crée des plans directeurs pour mettre en place des mesures pour une nouvelle politique énergétique. Les axes principaux sont la réduction des produits pétroliers consommés et la valorisation de la production, et de l'efficacité des énergies renouvelables.
Politique énergétique vision 2030 :

- Éliminer l'utilisation du charbon thermique ;
- Réduire de 40% la quantité de pétrole consommée

Et l'hydrogène dans tout ça ?
Il y a des secteurs à prioriser: la transformation, le stockage et l'utilisation

- Utilisation des processus de transformation,
- Injection d'hydrogène dans le réseau du gaz naturel ;
- Favoriser le recours à l'hydrogène vert ;
- Soutenir des projets de démonstration (conférence, …)

La MERN joue le rôle de gestionnaire du territoire et des ressources naturelles.
L'hydrogène pour la dé-carbonisation des activités socio-économiques de la société :

- À quel prix pour produire, stocker et transporter l'hydrogène d`-carbonisé ?
- Peut-on réellement dé-carboniser sans entreprendre une diminution de la consommation de l'énergie ?

Le secteur de transport génère 43% des émissions de gaz à effet de serre contre 30% de la consommation totale d'énergie au Québec. Le secteur de l'**industrie** au Québec utilise beaucoup l'hydrogène.
Les **réseaux autonomes** ('ENE-FARM) et le secteur des **transports** peuvent être touchés. L'hydrogène pourrait aussi être injecté dans le réseau de gaz naturel. À quelle teneur cette injection peut-elle se faire, à 2%, 5% ou 20% ?

---

11 h 35: Prof. Frédéric Sirois, Polytechnique Montréal

Thème : « *Synergie entre l'hydrogène et la supraconductivité dans le domaine de l'énergie et des transports »*

L'hydrogène liquide (densité 71 kg/m^3 intéressant pour le domaine des transports) est un très bon caloporteur.
Supraconducteur : zéro résistance sous un courant continu, opère sous de forts champs magnétiques.
Il existe 3 grandes familles de supraconducteurs industriels : Métalliques (pour le biomédical), Cuprates (à haute température), MgB_2 (peu cher et facile à mettre en forme). Les Cuprates sont des matériaux d'actualité, dans la recherche, comme matériaux supraconducteur. On note deux grandes applications :

- Application en énergie. L'H_2 peut servir au stockage et au transport (fournir) de l'énergie. Dans le transport, il sert à la conception des câbles supraconducteurs :
  - Câbles de transport supraconducteurs (réduction de l'encombrement souterrain) refroidis par l'H_2 (encore trop cher) ;
  - Réseau de transport dual (électricité et hydrogène).
- Application en aéronautique : conception d'avion tout électrique (NASA)
  - L'H_2 sert à refroidir d'autres systèmes ;
  - Propulsion « turbo générateur » électrique à H_2 à haut rendement ;
  - Câbles supraconducteurs MgB_2;
  - Remplacer les turbos réacteurs par une pile à combustible

---

11 h 50 : M^{me} Hélène Filion, InnovÉÉ

Thème : « *La recherche collaborative : une approche très avantageuse »*

La **recherche collaborative** veut pousser la recherche dans le domaine de l'hydrogène en apportant un soutien financier entre les industriels et les académiques. C'est une aide pour passer de l'idée à l'action et construire des projets de recherche.

12 h 10 : Best Kelly, University of British Columbia
Thème : « *UBC hydrogen opportunity »*

Les activités à UBC sur l'hydrogène portent sur :
L'intégration des énergies renouvelables dans l'assiette énergétique ;
Faire accroitre la résilience des systèmes énergétiques ;
Les modes de distribution de l'énergie dans les systèmes énergétiques ;
La dé-carbonisation des combustibles et de l'énergie.

---

13 h 30 - 17 h 30 : Discussion sur cinq thèmes

Discussions autour de l'ERoEI et les énergies renouvelables. Par exemple dans le cas de l'énergie solaire : l'ERoEI analyse le cycle de vie donc aussi le coût énergétique de la construction des

panneaux (sachant que la vie d'un panneau solaire est d'environ 7 ans). Un ERoEI supérieur à 1 est une preuve de production d'énergie, toujours mieux que pas de production d'énergie, mais on a aujourd'hui des technologies qui présentent des meilleurs ERoEI donc on a tout intérêt à développer ces sources d'énergie.
Les participants, sont donc d'accord sur :

- Production de l'hydrogène est liée à la technologie des sources primaires à utiliser.
  Il y a des technologies en émergence à développer et celles qui existent déjà (électrolyse de l'eau)
- Il faut développer des secteurs d'utilisation variés pour l'hydrogène

Les discussions étaient centrées sur les thèmes suivants :

- Production ;
- Infrastructure de transport, distribution, normes et sécurité ;
- Utilisation ;
- Développement de l'économie de l'hydrogène ;
- Stratégies.

1 - **Premier thème : Production**

Coordonnateurs de session :
M. Michel Archambault, Hydrogenics
Prof. Luc Fréchette, Université de Sherbrooke

- Quelles sont les méthodes de production de l'hydrogène dé-carboné ?
  Des technologies existent pour produire de l'hydrogène dé-carboné, mais tout dépend de l'application visée. Par exemple, les technologies basées sur l'électricité consomment environ 55 kWh :
  - *Photo catalyseur. Catalyseur métallique en étude ;*
  - *Électrolyse de l'H_2O basée sur l'électricité renouvelable telle que l'hydroélectricité ;*
  - *Reformage du gaz naturel renouvelable ;*
  - *Electrolyse PEM ou alcaline : craquage du gaz naturel avec une torche à plasma ;*
  - *Production par plasma ;*
  - *Cryogénie, pour la production du NH_3*

- Quel est le coût de production de l'hydrogène au Québec ?

  Dans la mobilité, par exemple, le coût dépend de l'utilité. Le prix doit s'aligner au plus près de celui de la solution concurrente que l'H_2 vient de remplacer. Il doit être moins de 1,50 $/ kg pour rendre rentable la plupart des applications. En tenant compte d'un élément qui tient de l'utilisation finale par l'utilisateur, le coût est estimé à environ une dizaine de dollar ou moins par kilogramme de H_2 produit *selon le coût de production de l'hydrogène dé-carboné..*

  ''La mobilité est responsable d'environ 40% des gaz à effet de serre émis au Québec. Donc l'utilisation de l'hydrogène dans le camionnage pourrait être intéressante car le coût ne s'applique pas directement au consommateur. Le prix pourrait devenir compétitif s'il s'accompagne de normes proposées par les pouvoirs publics. Comme pour le gaz naturel, certains consommateurs sont prêts à payer plus cher si c'est « vert ». Pour le moment le

coût est trop cher, il faut donc regarder sur le long terme parce que pour le moment la technologie est en développement''.

Pour le Québec, l'H_2 doit être placé dans le cadre du stockage et non de la mobilité.

- La production par l'éolien ou le solaire en régions isolées peut-elle être complémentaire à celle par l'hydro-électricité ?

  Aujourd'hui le coût de la production d'électricité par le solaire PV diminue, donc l'hydrogène produit par le solaire devrait aussi suivre également une baisse de coût.

- Quels sont les domaines de recherche et développement que le Québec devrait soutenir ?

  La valorisation de l'hydrogène comme sous-produit est déjà faite dans certaines industries, les défis sont autour de la concentration et de la compatibilité avec les compresseurs.

- Existent-ils des procédés industriels au Québec qui produisent de l'hydrogène comme sous-produit et comment en évaluer la quantité annuelle ?
  - *Recherche sur électrolyse à plus haute température pour 10% de plus d'efficacité que l'électrolyseur PEM ? Il est difficile d'atteindre les hautes pressions pour le moment.*
  - *L'hydrogène est un sous-produit de certaines usines (comme celle qui produisent du chlore ou par les procédés dans les usines de chlorate par exemple). C'est une production industrielle dans laquelle l'H_2 peut être récupéré comme sous-produit, car les installations sont déjà présentes. Ainsi on ferait la valorisation de l'excès d'hydrogène par certaines industries ;*
  - *Faire l'évaluation et la viabilité* d'une telle approche.

Quels enjeux pour l'utilisation des gaz renouvelables en substitution du gaz naturel ?

La production de l'hydrogène par le bio méthane et une technologie est une technologie carbo-neutre. Ainsi on pourrait utiliser des technologies de production qui sont carbo-neutre comme le procédé utilisant le bio-méthane. Mais le bio-méthane est déjà utilisé pour certaines applications énergétiques dans les activités socio-économiques.

- Les technologies de l'hydrogène peuvent être adaptées pour la production de l'ammoniaque (Cryogénie, pour la production du NH_3) ?

Oui, mais une problématique sécuritaire rentre en jeu.

Quelle évolution est-elle prévue ?

Le nœud de la production, c'est l'énergie nécessaire.
Si on prend l'exemple des éoliennes, la pression sociale a permis de rendre concurrentiel le prix de l'éolienne car des centrales nucléaires ont été fermées. L'hydrogène nécessite des batteries de stockage de préférence sans métaux rare., Ceci est une donnée importante à prendre en compte.

Si le nœud c'est l'électricité nécessaire, est-ce que les entités qui produisent de l'électricité au Québec peuvent accorder des aides ?

La réponse est Oui.
Conclusion : plus on va utiliser, plus on va produire donc plus les coûts vont baisser. Les prévisions des coûts au Japon et en Australie sont respectivement de 10$ / kg et 3 $ / kg. Le coût de l'électricité de production de H_2 joue un rôle important dans ce prix.

- *Dans le Cas d'un réseau électrique, le rôle de l'hydrogène serait de stocker de l'énergie pendant les périodes creuses d'utilisation de l'énergie où l'énergie n'est pas utilisée. Dans ces conditions, la question du coût devient secondaire, car c'est dans tous les cas de l'énergie qui sera perdue si elle n'est pas stockée.*

2 – **Deuxième thème : Infrastructures de transport, distribution, normes et sécurité.**

Coordonnateurs de session :
Prof. Kodjo Agbossou, IRH
M. Jacques Sénéchal, Air liquide

- Quels sont les obstacles technologiques (transport et distribution, normes, stockage) qui limitent la multiplication des infrastructures de transport ?

  - *Un refroidissement requis de l'H_2 sous une pression de 700 bars, ce n'est pas forcément évident parce que c'est très froid ;*
  - *Le transport est une force au Canada, le pays possède une bonne expérience dans ce domaine ; le transport d'hydrogène peut poser des problèmes de corrosion sous contraintes au niveau des soudures. On peut utiliser les conduites de gaz naturel (gazoduc) ; mais il faut faire attention à la concentration, car les canalisations ne sont pas adaptées. Les gazoducs, au Québec, n'ont pas été conçus pour multiplier les points d'injection. La solution est de faire des ajustements pour qu'il y est des points d'injection.*
  - *En Europe, l'hydrogène est bien introduit dans le réseau. Elle est de 4% en France, 10 à 12% en volume en Allemagne et aux Pays Bas. Selon une étude allemande, Pour assurer la sécurité, 15 à 20% en volume de H_2 peuvent être injectés dans le gazoduc. Si on injectait 20% de H2, Ceci correspondrait à un gain de CO_2 non émis de 13 kg de CO2/kWh d'énergie produite par un mélange de 20% en volume de H_2 dans le gaz naturel.*
  - *Des études sont en cours pour déterminer la quantité réelle d'hydrogène nécessaire à injecter dans le réseau de gazoduc, les coûts de sécurité peuvent être très élevés. Le Canada a la capacité de stockage d'hydrogène de 3 mois.*
  - *Vue la taille du Canada, par rapport à l'Europe, le vrai défi est la distribution car en Europe la population est beaucoup plus dense.*

- Comment établir un programme d'adaptation des normes internationales au Québec ?

Une des normes utilisées par le bureau canadien des normes est celle qui est liée à celle des USA et de l'UE. Une des priorités, c'est l'orientation de l'H_2 comme carburant alternatif en termes de normes parce que le Canada est engagé dans le défi de l'innovation.

- Quelles sont les limites technologiques et logistiques pour assurer le transport et la distribution de l'hydrogène par gazoduc pour l'industrie ?

  - *Les gazoducs, au Québec, n'ont pas été conçus pour multiplier les points d'injection. La solution est de faire des ajustements pour qu'il ait des points d'injection.*
  - *La limite principale, actuellement, est le coût et donc une forte concurrence.*

- Quels sont les sujets de recherche et développement qui seraient pertinents à soutenir au Québec dans ce domaine ?

  - *Plan pilote d'injection de l'H_2 dans le réseau de gazoduc pour développer, actualiser et valider les normes et technologies en collaboration avec un partenaire ayant l'expérience.*
  - *Stockage de l'H_2.*
  - *Développement et optimisation des technologies « power-to-liquids ». Notamment augmenter l'efficacité des procédés et catalyseurs « reserve-water-gas shift » et « fisher-tropsh » à des échelles compatibles avec la capture de carbone (base de capture de 200 à 1000 tonnes de CO_2 / jour).*
  - *Etudes technologiques et économiques de déploiement d'un secteur « power-to-liquids ». Notamment pour desservir les secteurs aéronautiques et ceux de la marine qui ont moins de flexibilités en termes de carburants alternatifs.*

''Si on regarde le problème dans la globalité ; le projet reste un marché de niche parce que dans la vision où les États-Unis sont devenus le plus gros producteur de pétrole, ils peuvent ne pas s'intéresser à une alternative énergétique autre que le pétrole. Il est vrai qu'on connaît les solutions économiquement viables pour l'économie de l'hydrogène ; c'est pour cela mais on est là aujourd'hui pour discuter des alternatives qui peuvent s'offrir''.

3 - **Troisième thème : Utilisation**

Coordonnateurs de session :
Dr Michel Carreau, HATCH
Dr Ali Seifitokaldani, Université McGill

- Quelles sont les applications potentielles de l'hydrogène au Québec ?

  - *Industrielle ; dans la réduction des minerais de fer et des ferrailles ;*
  - *Réduction des émissions de gaz à effet de serre (conversion du CO_2) dans l'industrie chimique, la métallurgie ferreuse, la métallurgie de l'Aluminium, l'industrie de pâte et papier en carburants liquides ;*
  - *L'aviation et le secteur maritime comme carburant ;*
  - *Exportation des électrons sous forme de d'H_2;*
  - *Production de gaz et liquid fuels;*
  - *Électrification des transports lourds.*

- *Biocarburant fait à partir de biomasse, besoin d'hydrogène comme produit de base. Pourrait-il être intéressant de faire une étude pour connaître les potentialités de l'hydrogène au Québec.*
- *Dans la logique de la transition énergétique qui devient très importante et nécessaire très importante, l'énergie de l'hydrogène constitue une force motrice ;*

- Quel est l'impact du coût de l'hydrogène sur les différentes applications ?

  Confer ERoI et ERoEI.

- Existe-t-il des applications qui nécessitent une utilisation importante d'hydrogène et pour lesquelles le coût de l'hydrogène pourrait compromettre leur développement et pourquoi ?
  Oui. Le « Power-to-liquids » et l'Hydrogénation de biocarburants.
  - *Pour le « Power-to-liquids »; le coût de la production et de l'utilisation de l'H_2 représente environ 75% du coût de production de carburants liquides;*
  - *L'Hydrogénation de biocarburants.*

- Quels procédés utilisant l'hydrogène le Québec devrait-il prioriser et pourquoi ?

  L'Hydrogène dans les procédés de fabrication de l'acier chez ARCELOR- Mittal et le procédé « Fischer -Tropsh »

- Est-ce que l'utilisation de l'hydrogène dans les procédés industriels conduirait à une amélioration significative de l'efficacité énergétique de la province et à une baisse importante de son empreinte carbone ?
  Oui selon la méthode de production de l'hydrogène et du procédé pour lequel il sera utilisé

- Quels sont les secteurs de recherche et développement qui devront être priorisés à moyens et longs termes ?
  Les projets pilotes dans différents secteurs de la production et de l'utilisation et de l'hydrogène. Ceci permettra de développer un savoir-faire dans ce domaine.

- En gestion des transports, serait-il approprié d'effectuer des études sur la complémentarité entre le véhicule électrique à pile à combustible utilisant l'hydrogène et le véhicule électrique à batteries ?
- *Cet aspect pourrait faire partie des projets pilotes indiqués ci-dessus qui devraient être développés ;*

4 – **Quatrième thème : Développement de l'économie de l'hydrogène**

Coordonnateurs de session :
M. Jean Michaud, Consultant
Prof. Pierre-Olivier Pineau, HEC

- Quel type de projet pilote sous forme de plateforme faut-il mettre en œuvre pour effectuer des études technico-économiques appropriées ?

L'hydro-électricité, l'éolien et la biomasse représentent 48,90% du bilan énergétique au Québec alors l'hydro-électricité et l'éolienne représentent 41,44% de ce bilan énergétique. Les

projets pilotes pourraient être focalisés le remplacement de l'énergie fossile par l'énergie renouvelable avec l'hydrogène comme vecteur énergétique.

- Quel type de plateforme est à développer pour optimiser les choix d'utilisation de l'hydrogène ?
  Ceci rejoint la question ci-dessus.

- Quels sont les axes de recherche et de développement à promouvoir ?

L'hydrogène est un vecteur énergétique. Il faut des voies et moyens pour que ça soit économiquement rentable pour diminuer les coûts.

5 – **Cinquième thème : Stratégies**

Coordonnateurs de session :
Dr Josh Byers, UQAM
Dr Richard Gagnon, TÉQ

- Les réponses aux questions ci-dessus nous permettent-elles de développer une stratégie de recherche et de développement pour ce secteur ?

Oui, il faut structurer les communautés.

- Si oui, quels sont les axes de recherche que vous préconisez pour soutenir le développement de la production et de l'utilisation de l'hydrogène au Québec ?

Oui, une nouvelle technologie coûte énormément chère. Il serait donc indiqué de passer par des projets pilotes pour assurer le développement des procédés et des systèmes énergétiques carbo neutres tout en formant une mai d'œuvre hautement qualifiée dans ce domaine.

- Est-il nécessaire de créer un centre d'excellence en recherche et développement sur l'énergie de l'hydrogène dé-carboné ? Ce centre regrouperait tous les chercheurs ayant des activités complémentaires dans le domaine de l'hydrogène.
- Faudrait-il prévoir des ouvertures de collaborations potentielles avec des collègues d'autres provinces du Canada avec, par exemple, l'Université de la Colombie-Britannique (UBC), car elle semble être en voie de développer un « Hydrogen roadmap » ?

Oui; il faut trouver des solutions dans l'intervention de la Professeure Kelly.

16 h 55 : Synthèse et conclusion

Des résultats attendus de cette journée sont, d'une part, mettre en place un système de valorisation des électrons verts dans la transition énergétique en marche avec l'H_2 comme vecteur du nouveau système énergétique impliquant toutes les parties prenantes pour soutenir le développement de la production et de l'utilisation de l'hydrogène au Québec.