

Le cochon à son meilleur... pour votre moteur!

Par Viviane Desbiens

Article présenté dans le cadre du
concours de la Bourse Fernand-Seguin

Association des communicateurs scientifiques du Québec

5 avril 2011

Le cochon à son meilleur... pour votre moteur!

Les voitures à hydrogène posent de nombreux défis. En remplaçant l'hydrogène par l'ammoniac, on en résoudrait plusieurs. Heureux hasard : nos fosses à lisier débordent d'ammoniac!

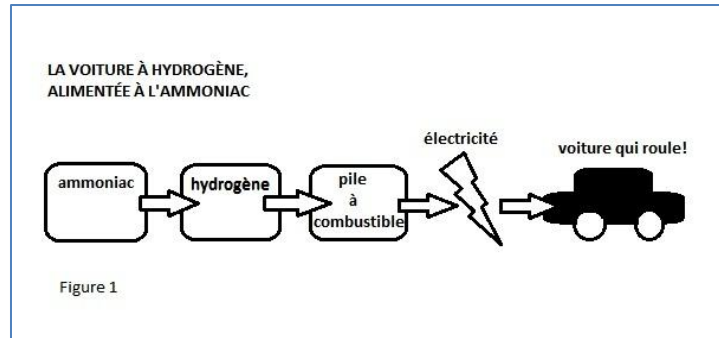
Si l'envie de se boucher le nez en passant près d'une grande porcherie est si grande, c'est à cause de l'ammoniac. C'est lui qui rend le purin si nauséabond. Avec à peu près autant de porcs que d'humains au Québec, soit près de 8 millions, il y a une manne à exploiter. Car, l'ammoniac est un véritable réservoir à hydrogène! On l'utilise surtout aujourd'hui comme fertilisant en agriculture ou comme fluide de refroidissement, par exemple dans les arénas. C'est aussi l'élément actif principal de la plupart des nettoyeurs à vitre. Lorsqu'on le décompose, on obtient directement de l'azote et de l'hydrogène. Cela le rend intéressant pour alimenter les voitures à hydrogène.

Tout comme la voiture électrique, la voiture à hydrogène produit zéro émission de gaz à effet de serre (GES). Elle n'émet que de l'eau, sous forme de vapeur. C'est pourquoi elle est si intéressante du point de vue de l'environnement. Pourquoi, alors, est-elle si peu développée comparée à sa cousine électrique? « L'hydrogène pose un problème de stockage important », explique Jean Hamelin, professeur et chercheur en physique à l'Institut de recherche sur l'hydrogène (IRH) de l'Université du Québec à Trois-Rivières. « Il est beaucoup moins dense que l'air. Dans le cas d'une voiture standard, même avec un immense réservoir, seulement peu d'autonomie est possible, soit entre 100 et 200 kilomètres. Ce réservoir doit aussi être soumis à une pression très forte, ce qui amène le risque qu'à la moindre fissure, il décolle comme une fusée! » De plus, la molécule d'hydrogène est tellement fine qu'elle est extrêmement difficile à confiner à long terme puisqu'elle finit par s'échapper par les joints du réservoir.

Voilà pourquoi, à l'IRH, on s'intéresse à celui qu'on surnomme le « deuxième hydrogène » : l'ammoniac. Ses propriétés physiques le rendent beaucoup plus simple à stocker que l'hydrogène. On le compare aisément au propane : une légère pression suffit pour l'entreposer à l'état liquide. « En utilisant l'ammoniac, c'est 500 kilomètres d'autonomie qu'on peut aller chercher », nous dit Jean Hamelin. Quand on sait que 25 litres d'ammoniac peuvent libérer 33,6 litres d'hydrogène, il y a de quoi s'enthousiasmer! Avec 2 molécules d'ammoniac (NH_3), on obtient 6 molécules d'hydrogène (H_2)!

Mais comment l'ammoniac fait-il concrètement pour faire avancer la voiture à hydrogène? « Il faut voir à court, à moyen et à long terme », explique le professeur Hamelin. « À court terme, on peut envisager d'utiliser directement l'ammoniac dans un moteur à combustion interne. » Avec seulement quelques modifications, votre moteur à essence pourrait fonctionner à l'ammoniac. Mais, cette solution n'est pas parfaite. D'abord, la combustion de l'ammoniac n'est pas complète et cause des émissions d'oxydes nitreux, des gaz toxiques à effet de serre qu'on appelle aussi des NOx. « Mais, on peut régler ce problème si on ajoute 10 %, voire moins, d'hydrogène au carburant d'ammoniac. La combustion est alors complète et on évite les NOx », ajoute M. Hamelin. De son côté, Marc Lefebvre, doctorant en génie mécanique à l'IRH, étudie aussi cette solution : « On peut aussi installer un catalyseur à la sortie du moteur à ammoniac pour neutraliser les NOx », complète-t-il. Ce n'est pas d'hier qu'on a pensé à utiliser l'ammoniac dans le moteur à combustion. Dans les années 1940, alors qu'il y avait pénurie de diesel, les Belges s'en sont servi pour faire fonctionner des autobus. Et dans les années 1960 et 1970, les États-Uniens ont mené des études intensives en vue d'utiliser l'ammoniac comme carburant pour leur transport militaire. Ces recherches ont été abandonnées à l'époque, puisque le moteur à ammoniac consomme 2,4 fois plus que le moteur à essence. Même si l'utilisation de l'ammoniac est plus écologique que l'essence, il faut donc regarder d'autres méthodes.

« Dans un avenir de 5 à 15 ans, on peut envisager une voiture électrique, fonctionnant avec une **pile à combustible**, alimentée en hydrogène par l'ammoniac. D'abord en modèle hybride avec l'essence, puis uniquement avec la pile à combustible », s'emballe M. Hamelin. On doit donc d'abord fournir de l'ammoniac à la voiture. Ensuite, il faut extraire l'hydrogène de l'ammoniac. Puis, cet hydrogène alimentera la pile à combustible qui fournira l'électricité nécessaire pour faire fonctionner l'automobile (voir figure 1). Dans un labo de l'IRH, entre les bouts de métal, de polymère et de tissu carbone, on trouve tous ces éléments pour faire fonctionner la voiture à hydrogène.



Mais comment extraire l'hydrogène de l'ammoniac à l'intérieur même de la voiture? « La clé, c'est l'électrolyseur! », affirme M. Hamelin, qui travaille à mettre au point le parfait électrolyseur d'ammoniac, compact et peu énergivore. Avec le bon électrolyseur, la voiture à hydrogène alimentée à l'ammoniac serait gagnante! Émissions? De l'eau! Mais si toutes les voitures n'émettaient que de l'eau, les grandes villes ne seraient-elles pas sujettes à être recouvertes d'un brouillard constant? Le professeur Hamelin se fait rassurant : « La voiture à hydrogène n'émet pas plus de vapeur d'eau que la voiture à essence. La différence, c'est qu'elle est propre. On pourrait même la boire! Bon, il ne faudrait pas en boire trop parce que les électrolytes ne sont pas équilibrés; ce serait comme boire uniquement du *Gatorade*. »

Pile à combustible à hydrogène

Contrairement à une pile classique dont les éléments chimiques s'épuisent au bout d'un certain temps, la pile à combustible à hydrogène fournit de l'électricité aussi longtemps qu'on lui fournit son combustible : l'hydrogène. L'électricité y est produite par une réaction chimique, qu'on appelle oxydation, entre l'hydrogène et l'oxygène (ou l'air), qui agit comme oxydant. Pour accélérer cette oxydation, on utilise un catalyseur, fait généralement de platine. Cette pile ne produit que des gaz inoffensifs et de l'eau. L'utilisation du platine la rend cependant assez dispendieuse. Elle peut servir tant dans un cellulaire, que dans une voiture ou une maison. Elle peut aussi être très utile dans les banques et les hôpitaux, pour pallier les fractions de seconde nécessaires avant qu'un système d'appoint n'entre en fonction lors d'une panne d'électricité. Pratique pendant une opération à cœur ouvert!

La voiture à l'hydrogène n'émet aucun GES. Est-elle verte pour autant? Ça dépend de comment est produit son carburant. C'est là un problème de la technologie actuelle de la voiture à

hydrogène. Sur Terre, pas de puits, comme pour le pétrole, où l'on peut récolter l'hydrogène. Il faut le produire. Comment? En électrolysant de l'eau, qui se décompose alors pour donner de l'hydrogène et de l'oxygène. Seulement, il faut énormément d'énergie pour effectuer ce procédé et, le problème, c'est qu'on obtient généralement cette énergie avec des combustibles fossiles. Cela est très coûteux et produit des tonnes de gaz carbonique (CO₂).

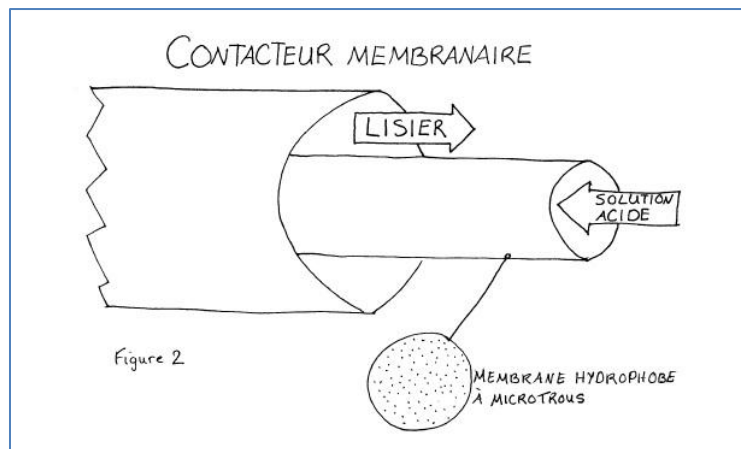
Même si la production d'hydrogène ne se fait pas à partir d'énergies fossiles, mais à partir par exemple d'hydroélectricité ou de biomasse, le processus est plus vert, mais n'est pas rentable. Il faut en effet fournir énormément d'énergie pendant le procédé d'électrolyse de l'eau. De toute cette énergie, l'hydrogène ne pourra en redonner qu'une petite fraction. C'est donc beaucoup d'efforts et beaucoup de coûts pour peu de résultats.

Et ce n'est pas en remplaçant l'hydrogène par l'ammoniac qu'on règle ce problème. Parce que pour produire l'ammoniac, qui lui non plus ne peut être extrait d'un puits, on doit recourir à un procédé chimique qui demande de l'hydrogène. On doit donc produire de l'hydrogène, pour produire l'ammoniac... pour le retransformer en hydrogène! Autant laisser tomber l'idée, sauf si on a accès à une grande quantité d'ammoniac que l'on n'aurait pas besoin de produire...

Et justement, au Québec, nous avons plusieurs « puits à ammoniac »... dans les fosses à lisier de porc! « Autrefois, c'était en distillant du purin que l'on fabriquait l'ammoniac », énonce Serge Alex, professeur et chercheur en chimie au Centre d'étude des procédés chimiques du Québec (CÉPROCQ), affilié au Collège Maisonneuve à Montréal. Puis, au début du XX^e siècle, on a abandonné cette distillation coûteuse au profit du procédé chimique, lequel est toujours utilisé. Mais on pourrait bien revenir au lisier. « Aujourd'hui, on n'a plus de raison de fabriquer de l'ammoniac par procédé chimique », estime le professeur Alex, qui travaille à mettre au point une méthode peu coûteuse et simple. En effet, le prototype qui trône au milieu de son labo semble pouvoir être construit par n'importe qui d'un peu débrouillard et prend vraiment peu d'espace. « Il ne s'agit pas de transformer le fermier en technicien chimique! », ajoute-t-il. Les agriculteurs sont effectivement déjà bien assez occupés sans avoir à veiller sur une machine à extraire l'ammoniac du purin de leurs animaux.

Dans la méthode préconisée par M. Alex, le lisier est pompé directement de la fosse. La suite se déroule dans un contacteur membranaire (voir figure 2). Une sorte de tube dont l'intérieur des parois est creux, un peu comme un tube dans un tube. Entre ces deux tubes, on trouve une

membrane parsemée de microtrous. Dans le contacteur, le lisier circule à l'intérieur des parois dans un sens, alors que, de l'autre côté de la membrane, dans le conduit central, passe dans l'autre sens une solution acide. L'ammoniac contenu dans le lisier est basique et c'est en jouant sur le pH de la solution acide qu'on arrive à le faire réagir, par réaction de neutralisation. Il passe alors de l'autre côté de la membrane. Comme elle est hydrophobe, l'eau ne peut pas y pénétrer, seul l'ammoniac gazeux traverse par les minuscules trous, alors que le liquide continue son chemin pour retourner à la fosse. En réagissant dans la solution acide, l'ammoniac devient solide et précipite sous une forme minérale appelée la struvite. La struvite est bien connue des médecins : elle forme certaines pierres au rein! Elle immobilise l'ammoniac, mais peut facilement se retransformer en ammoniac gazeux si on la chauffe. Un technicien peut venir occasionnellement sur la ferme pour équilibrer le pH de la solution acide et la recueillir quand elle est usée, mais le processus demande peu de surveillance, ce qui laisse l'agriculteur à ses occupations principales. Une grande partie de l'ammoniac sera ainsi retiré de la fosse. Mais, il en restera suffisamment dans le lisier pour que l'agriculteur l'utilise comme engrais dans ses champs, mais sans les effets néfastes de contamination de la nappe phréatique ou des cours d'eau avoisinants. L'odeur désagréable diminue aussi de façon considérable.



Alors, suffirait-il de faire le plein de quelques granules de struvite pour alimenter en carburant sa voiture à hydrogène? « Les concentrations d'ammoniac dans le lisier sont là, la technologie serait là », affirme Serge Alex. Pour un même poids, l'ammoniac liquide fournit cependant beaucoup plus d'hydrogène que l'ammoniac solide. Mais, comme l'ammoniac solide provient d'une opération non polluante, il présente un tout autre intérêt! De plus, le stockage de l'ammoniac solide est plus sécuritaire que celui de l'ammoniac liquide. Ainsi, la struvite extraite

de purin est plus intéressante en ce qui concerne les couts énergétique et environnemental que l'ammoniac produit par procédé chimique. Les quantités d'ammoniac contenues dans la struvite ne sont cependant pas si importantes. Car, elle ne contient pas que de l'ammoniac, mais aussi du phosphate de magnésium. Une molécule de struvite contient une seule molécule d'ammoniac, en plus du phosphate de magnésium. Cet élément devient un déchet (tout de même recyclable, voire réutilisable) après qu'on y enlève l'ammoniac.

Au Danemark, pays grand producteur de porcs, la compagnie Amminex a réussi à créer une intéressante pastille d'ammoniac formée d'un autre minéral, avec des concentrations qui la rendent intéressante pour le professeur Jean Hamelin. Il voudrait bien alimenter une voiture avec ce genre d'ammoniac solide une fois son électrolyseur mis au point. Il y a donc espoir que l'ammoniac solide du professeur Alex puisse combler le professeur Hamelin. En ce moment, les concentrations de la struvite sont tout de même suffisantes pour alimenter des piles à combustible de petits formats pour la télécommunication (dans un téléphone cellulaire, par exemple) ou encore pour fournir l'énergie à un bâtiment de ferme.

On semble donc avoir au Québec un pôle de recherche sur l'ammoniac. D'une part, l'ammoniac fabriqué de façon écologique et, d'autre part, la voiture pouvant utiliser l'ammoniac comme carburant et n'émettre aucun GES. Si on donne les moyens à nos chercheurs, la première voiture à ammoniac de lisier de porc pourrait bien être québécoise. Pourra-t-on bientôt faire le plein d'ammoniac... certifié « porc du Québec »?