

2IWH 2007, 27-29 Octobre 2007

Les Perspectives de l'utilisation de l'hydrogène dans le transport en Algérie

Dr. Abdelaziz SAMEUR & Dr. Abdelkrim RAOUECHE

NAFTAL-DCRD, Route des Dunes BP 73 Chéraga, ALGER

Tel : 021384356, N° Fax : 021381253

Email : asameur@yahoo.fr, araouech@naftal.dz

Résumé :

La croissance de la consommation énergétique et les risques environnementaux associés ont pris une importance tout à fait particulière. L'évolution de la situation environnementale conduit la quasi-totalité des spécialistes au même constat, à savoir l'augmentation de la concentration des Gaz à Effet de Serre (GES), ou les secteurs industriels et des transports sont responsables de près de 80% des émissions.

A cette préoccupation environnementale, il faut ajouter celle posée par la diminution des réserves mondiales des ressources fossiles.

Pour ces raisons, nous assistons à l'émergence de technologie énergétique moins polluante, et les années qui viennent seront celles de la diversification des sources énergétiques renouvelables (éolienne, solaire,...).

L'Hydrogène est un carburant propre et inépuisable. Il est soit obtenu par électrolyse de l'eau, soit formé à partir de la biomasse, ou encore produit par reformage du gaz naturel.

Dans cette communication, nous présenterons les avantages et les inconvénients de l'utilisation de l'Hydrogène et plus particulièrement son utilisation dans le domaine du transport en Algérie

Mots Clef :

Hydrogène, énergies renouvelables, environnement, Gaz à Effet de Serre.

1. Introduction

Au cours du XX^{ème} siècle, le monde a connu une multiplication surprenante des phénomènes climatiques inhabituels (canicules, sécheresse persistante, inondations, élévation du niveau de la mer, ouragans). A cette préoccupation environnementale, il faut ajouter celle posée par la diminution des réserves mondiales des ressources fossiles. Pour ces raisons, nous assistons à l'émergence de technologie énergétique moins polluante, et les années qui viennent seront celles de la diversification des sources énergétiques renouvelables.

L'hydrogène apparaît comme l'une des solutions adopter par un certain nombre de pays, plusieurs projets de recherche sur l'utilisation de cette énergie inépuisable et écologique sont en cours de développement.

Nous présenterons dans ce qui suit les différents procédés de sa fabrication, les moyens mise en œuvre pour son stockage et son transport, les différentes technologie adopter pour son utilisation dans le domaine du transport et nous finirons par des perspectives de son utilisation en Algérie comme carburant/combustible.

2. L'hydrogène

2.1. Production

La production annuelle d'hydrogène est d'environ 50 MT/an. Une forte proportion de cette production est destinée à la production d'ammoniac (*fabrication des engrais*) et au raffinage de pétrole. [7]

Les normes de qualité sur les carburants étant de plus en plus contraignantes (*en particulier concernant leur teneur en soufre*), les besoins en hydrogène pour le raffinage du pétrole sont donc en constante augmentation.

Le graphique ci-dessous présente la répartition de la production d'hydrogène en fonction des matières premières (*charges*) utilisées.

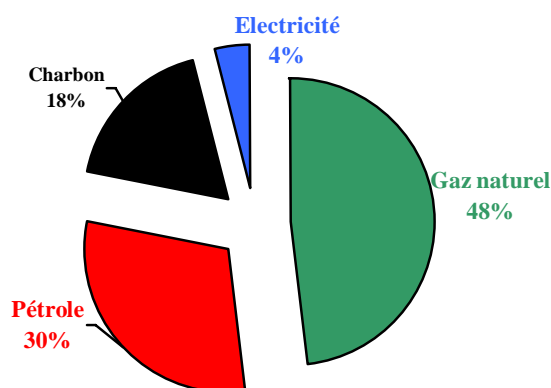


Figure 1: Répartition de la production d'hydrogène en fonction des matières premières utilisées [6]

Comme on peut le voir, aujourd'hui, environ 96 % de l'hydrogène est produit à partir de ressources fossiles. Les procédés de production les plus utilisés sont:

- Le vaporeformage de gaz naturel;
- L'oxydation partielle de résidus de pétrole;
- La gazéification de charbon;
- L'électrolyse.
- Le Procédé biologique [9]

Les procédés actuels émettent de grande quantités de CO₂ (vaporeformage de gaz naturel, oxydation partielle de résidus de pétrole, et gazéification de charbon) et sont coûteux (électrolyse). Les principaux défis sont d'assurer une production d'hydrogène durable, à grande échelle, à bas coût et ayant un impact environnemental réduit.

D'autres sources d'énergie (nucléaire, renouvelables et des procédés classiques intégrant des systèmes de capture et de stockage du CO₂), à moyen ou long terme, sont envisagées pour la production d'hydrogène à grande échelle. De nombreux autres procédés sont en développement comme la production d'hydrogène par voie biologique et par décomposition photochimique de l'eau.

2.2. Transport, stockage et distribution

2.2.1. Transport et distribution

Le transport de l'hydrogène liquide par camion est courant pour l'alimentation de clients industriels. Certaines stations services à hydrogène de démonstration mises en œuvre dans de nombreux pays sont également alimentées à l'aide de camions d'hydrogène liquide. L'hydrogène est contenu dans des réservoirs cryogéniques cylindriques à l'image des camions citernes transportant des liquides.

L'hydrogène est en général acheminé par gazoduc lorsqu'il est utilisé en grande quantité comme substance chimique de base (industrie pétrolière, synthèse de l'ammoniac).

L'utilisation industrielle de l'hydrogène dans le secteur chimique à grande échelle a débuté par la construction d'un pipeline d'hydrogène dans la Ruhr en 1938. Exploité encore aujourd'hui par Air Liquide, ce pipeline d'une longueur de 240 km et d'une capacité totale annuelle estimée à environ 250 millions de Nm³, transporte de l'hydrogène vers 14 sites industriels des secteurs de la chimie, de la pétrochimie. [2] Ce mode de distribution s'avère être le plus économique et sera probablement amené à connaître une forte croissance dans les années qui viennent.

L'Europe de l'Ouest possède le plus grand réseau de pipeline, environ 1500 km à comparer aux 900 km existants aux USA.

Le transport par mer depuis les lieux pouvant avoir une grande capacité de production à ceux de forte consommation est en cours développement. Les projets japonais WE-NET et euro-Québec EQHPP envisagent d'adopter à l'hydrogène liquide ce qui se fait pour le gaz naturel liquéfié. Les prototypes japonais sont deux cargos de 200 000 m³ pouvant transporter 14 000 t d'hydrogène liquide contenu dans quatre réservoirs sphériques. Le rayon d'action de ces navires est de 6 000 miles marins. [3]

2.2.2. Stockage

Le stockage est une des étapes clé de l'utilisation de l'hydrogène comme vecteur d'énergie. En effet, quelle que soit l'application visée, il est nécessaire d'avoir un système permettant de stocker l'hydrogène afin de conférer une certaine autonomie au système.

Actuellement il existe 3 grandes familles de systèmes de stockage d'hydrogène, chacune ayant des avantages et des inconvénients spécifiques lui permettant d'être intégrée, ou non, dans une application particulière:

- Le stockage d'hydrogène comprimé à haute pression (200, 350 et 700 bar);
- Le stockage cryogénique d'hydrogène liquide (-253°C) ;
- Le stockage solide d'hydrogène.

Le conditionnement de l'hydrogène sous forme gazeuse est une option prometteuse. Les contraintes sont toutefois nombreuses. Léger et volumineux, l'hydrogène doit être comprimé au maximum pour réduire l'encombrement des réservoirs. Des progrès ont été faits: de 200 bar, pression des bouteilles distribuées dans l'industrie, la pression est passée à 350 bar aujourd'hui, et les développements concernent maintenant des réservoirs pouvant résister à des pressions de 700 bar.

2IWH 2007, 27-29 Octobre 2007

L'hydrogène est d'ailleurs utilisé dans le domaine spatial sous forme liquide. Mais il est, après l'hélium, le gaz le plus difficile à liquéfier, cette solution entraîne une dépense énergétique importante et des coûts élevés qui rendent son application plus difficile pour le grand public.

Aussi, il peut être stocké dans des solides sous forme d'hydrure ou matériaux poreux. Des programmes de recherche sont aussi établis pour développer le stockage dans le charbon actif, nano fibres et nano tubes en carbone; le stockage dans ces cas se fait par adsorption. Les modes de stockage dans les nano fibres et les nano tubes en carbone semblent être beaucoup plus efficaces.

3. L'utilisation de l'hydrogène dans le transport

L'utilisation de l'hydrogène dans les transports représente un enjeu important pour la mise en place d'une politique de développement durable. En effet, la combustion d'hydrogène dans un moteur, ou l'utilisation d'hydrogène dans une pile à combustible ne libère pas localement de CO₂.

De nombreux progrès restent à faire dans le domaine des véhicules à hydrogène. Mais parallèlement, le développement des véhicules à hydrogène est également lié au développement des technologies de production d'hydrogène et à la mise en place d'une infrastructure de distribution.

Les différents constructeurs automobiles ont adopté depuis quelques années des programmes de développement de systèmes à pile à combustible ou de moteurs fonctionnant avec de l'hydrogène (*liquide, gazeux*). Tous n'adoptent pas la même stratégie, certains se concentrent sur les piles à combustible, d'autres sur les moteurs à combustion interne et encore d'autres sur les deux technologies. Des programmes de démonstration de véhicules, principalement aux Etats-Unis, en Europe et au Japon, ont déjà été mis en place et contribuent aujourd'hui à faire connaître cette nouvelle technologie et à en éprouver la fiabilité en conditions réelles d'utilisation [5].

L'utilisation de l'hydrogène dans les transports peut se faire soit par l'intermédiaire d'une pile à combustible, soit par l'intermédiaire d'un moteur à combustion interne.

3.1. Moteur à combustion interne

3.1.1. Véhicule à réservoir d'hydrogène comprimé :

Bien que moins favorable sur le plan de la quantité d'hydrogène emmagasinée par unité de volume, ce mode de stockage est d'une technologie très répandue et assez facile à mettre en oeuvre. Il a été retenu par plusieurs constructeurs: Daimler-Chrysler pour ses véhicules NECAR1 (1994) et NECAR 2 (1996), Peugeot pour son prototype Partner Taxi Pack (2001), Ford pour son prototype Focus FC (2000) et pour son véhicule hybride C 264 ; Toyota pour son prototype FCHV-4 et General-Motors pour sa voiture futuriste HY-wire (2002). Le réservoir à hydrogène comprimé des autobus à pile à combustible est le plus souvent logé sur leur toit comme c'est le cas pour ceux construits par Ballard, par Daimler-Chrysler-XCELLSiS (*NEBUS, EVOBUS*) et par Toyota (*FCHV-BUS1 et 2*). [5]

Pour la distribution il y a deux possibilités:

- Le transfert direct du gaz sous pression à partir de la réserve de gaz comprimé de la station;
- Le remplacement du réservoir vide par un réservoir plein préalablement rempli dans la station. Cette solution qui nécessite quelques moyens de manutention est plus rapide que la précédente et assez bien adaptée aux véhicules légers. C'est ce type de réservoir interchangeable qui équipe le véhicule de démonstration Partner Taxi Pack Peugeot: 9 bouteilles en fibres de carbone et époxy d'un

2IWH 2007, 27-29 Octobre 2007

volume total de 80 l remplies d'hydrogène comprimé à 30 MPa soit un équivalent de 1.5 kg. Le nouveau consortium H 700 (P.S.A., Hyundai, Nissan, Ford, Toyota) vise le développement d'une telle technologie à une pression de 70 MPa. [5]

3.1.2. Véhicules à réservoir d'hydrogène liquide

L'hydrogène sous la forme liquide offre le meilleur rapport quantité stockée/volume, donc à priori, devrait être bien adapté au stockage à bord des voitures particulières. Malheureusement, la faible ébullition du liquide due aux inévitables pertes thermiques, si réduites soient elles, exige un dégagement permanent d'hydrogène pour éviter l'accroissement de la pression dans le réservoir (*une perte en masse d'hydrogène de l'ordre de 1% par jour*). La conséquence est que l'utilisateur ne peut pas laisser son véhicule dans un lieu confiné, cela peut néanmoins se faire pour deux à trois jours avec des véhicules équipés d'un réservoir résistant à une pression de 0.5 à 0.8 MPa du type de celui qui équipe les prototypes de la firme BMW: prototypes 735 i (*année 1988*), 750 hl (*1999*), Mini Cooper et 745 h (*2001*). [5]

3.1.3. Véhicules à réservoir de GNV

Dans les moteurs à combustion interne (*de même que dans les utilisations industrielles*), il est aussi possible d'utiliser un mélange d'hydrogène et de gaz naturel nommé Hythane. Ce carburant/combustible mixte nécessite peu de modification des infrastructures et des systèmes d'utilisations. L'Hythane procure une réduction significative des émissions de GES et un accroissement de l'efficacité énergétique. De plus, sa distribution via les canalisations du gaz naturel exige peu de modification de celles-ci. En somme, l'Hythane est le carburant ou le combustible de transition idéal vers le tout hydrogène. Il suscite un très grand intérêt dans les pays industrialisés. [13]

3.2. La pile à combustible

Différents types de piles à combustible peuvent être utilisés dans les véhicules: la pile alcaline (AFC), la pile à membrane échangeuse de protons (PEM), la pile à méthanol direct (DMFC) ou la pile à acide phosphorique (PAFC). Les autres types de piles de par leur encombrement ou leurs caractéristiques de fonctionnement (*température, pression*) ne sont pas adaptées à la propulsion d'un véhicule.

Que ce soit pour les bus ou les voitures à piles à combustible, la technologie la plus utilisée est la pile PEM, et le carburant le plus utilisé est l'hydrogène gazeux comprimé [11] (Figure 2,3 et 4)

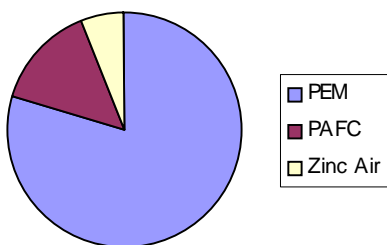


Figure 2: Technologie de pile à combustible utilisée pour les bus (1993-2005)

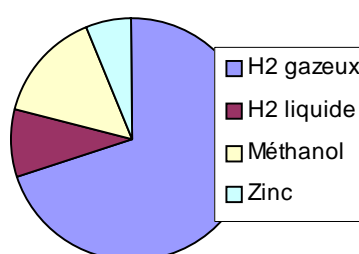


Figure 3: Carburant utilisé pour les bus (1993-2005)

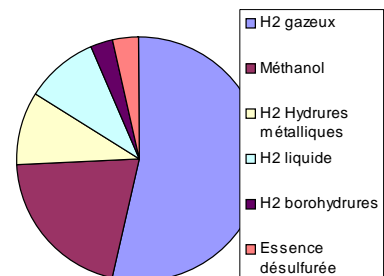


Figure 4: Carburant utilisé pour les voitures à pile à combustible (1994-2004)

2IWH 2007, 27-29 Octobre 2007

Aujourd'hui les nouveaux prototypes de voitures et de bus intègrent tous la technologie PEM et le stockage d'hydrogène sous forme de gaz comprimé. A partir de 2003, la technologie de stockage d'hydrogène à 700 bar (10 000 psi) a fait son apparition sur les prototypes de voitures à pile à combustible et devrait peu à peu remplacer la technologie de stockage à 350 bar. General Motors est le premier constructeur automobile à avoir intégré cette technologie. Le gain d'autonomie pour la voiture est d'environ 60 à 70% par rapport à un système à 350 bar.

A l'heure actuelle, le moteur à combustion interne à hydrogène est considéré comme une technologie de transition vers la pile à combustible (essentiellement car le rendement de la pile à combustible est théoriquement supérieur à celui du moteur à combustion interne). Cependant, certains constructeurs comme BMW pensent que le moteur à combustion interne est une solution à moyen et long terme.

La pile à combustible a fait l'objet du développement du plus grand nombre de prototypes, par rapport au moteur à combustion interne (Figure 5).

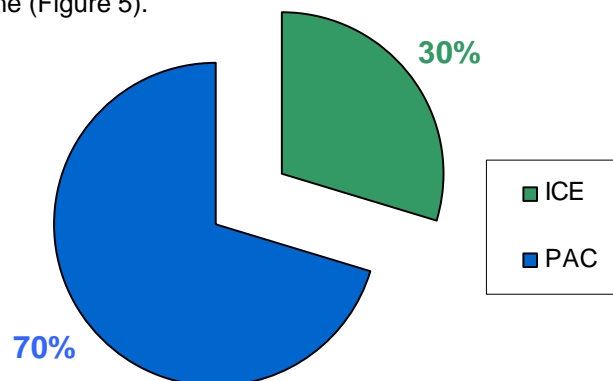


Figure 5 : Nombres de modèles de voitures à moteur à combustion interne (ICE) et à pile à combustible (PAC) présentés entre 1967 et début 2006 [12].

3.4. Projets futures de démonstration de véhicules à hydrogène [5]

3.4.1. USA – Programme « Freedom Fuel »

Le programme FREEDOM FUEL a été lancé le 28 janvier 2003 par le président Bush. Il prévoit un financement public de 1,2 milliards \$ sur 5 ans pour le développement de véhicules à hydrogène et d'une infrastructure de distribution d'hydrogène. Ce programme fait partie du programme FREEDOM CAR (1,7 milliards \$ sur 5 ans pour développer l'infrastructure de distribution d'hydrogène, les véhicules à pile à combustible et les véhicules à carburants alternatifs). Le budget prévu pour l'hydrogène et les piles à combustible dans le cadre de FREEDOM CAR représente environ 70% du budget total du programme. FREEDOM FUEL a pour objectif de permettre aux constructeurs d'automobiles et aux énergéticiens de débiter la commercialisation des véhicules à pile à combustible en 2015.

3.4.2. Japon

La stratégie du Japon consiste à promouvoir l'introduction de l'hydrogène et des piles à combustible entre 2005 et 2010, pour favoriser la diffusion de la technologie après 2010. Les prévisions en terme de nombre

2IWH 2007, 27-29 Octobre 2007

de véhicules à pile à combustible sont de 50 000 véhicules en 2010 pour atteindre 5 000 000 véhicules en 2020.

Au Japon, le gouvernement encourage ainsi fortement la Recherche et le développement sur les véhicules à pile à combustible; par exemple, le programme JHFC permet de tester près de 60 véhicules à pile à combustible et 12 stations avec des technologies de production d'hydrogène différentes.

3.4.3. Europe

Les objectifs pour l'Europe (définis dans le rapport *Deployment Strategy de la Plate-forme Technologique Européenne sur l'Hydrogène et les Piles à combustible*) à l'horizon 2020, pour les applications transports de l'hydrogène et des piles à combustible, sont les suivants :

| | |
|--|----------------------------------|
| Nombre de véhicules vendus / an, en 2020 | 0.4 -1.8 millions/an |
| Objectif de coût des systèmes à pile à combustible employés dans les véhicules | < 100 €/kW (à 150 000 unités/an) |

Tableau 1 : Objectifs des applications transports de l'hydrogène et des piles à combustible en Europe

4. Perspective de l'utilisation de l'hydrogène dans le domaine du transport en Algérie

4.1. Parc automobile Algérien

L'Algérie dispose d'un parc automobile assez important, plus de 3 200 000 véhicules en 2005 [14] (Figure6). L'amélioration des conditions de vie des Algérien et la présence sur le marché de concessionnaires (*Avantages commerciaux alléchants: facilité de paiement, crédit bancaire,...*) justifie la croissance enregistrée ces deux dernières années.

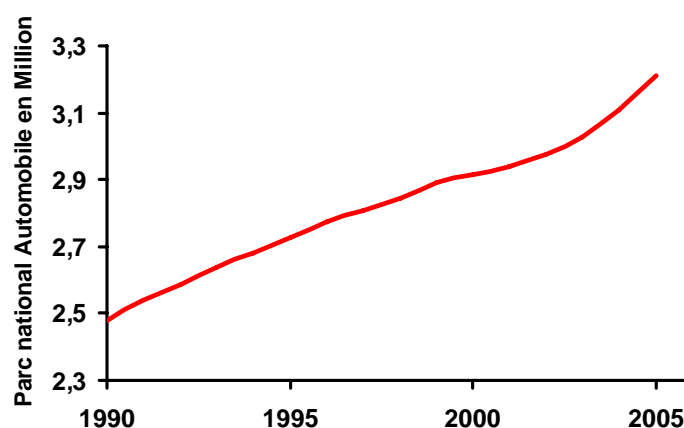


Figure 6 : Evolution du parc automobile Algérien de 1990 à 2005 [14]

2IWH 2007, 27-29 Octobre 2007

Aussi, la comparaison des consommations de carburants [4] durant ces dix dernières années montre que l'évolution du parc automobile est en pleine croissance (Tableau 2).

| | 1995 | 1998 | 2005 | |
|--------------------|------------------------------------|----------------|----------------------|--------------|
| | Quantité (10 ³ Tonnes) | | Q(10 ³ T) | % |
| GPL/C | 43,5 | 133,0 | 310,0 | 4,1 |
| Essence Normale | 1 702,5 | 1 578,3 | 1 244,0 | 16,4 |
| Essence Super | 347,0 | 366,0 | 535,0 | 7,1 |
| Essence sans Plomb | - | 0,1 | 106,0 | 1,4 |
| Gas oil | 3 000,0 | 3 230,0 | 5 371,0 | 71,0 |
| Total | 5 093,0 | 5 307,4 | 7 566,0 | 100,0 |

Tableau 2 : Consommation des carburants durant les exercices de 1995 et 2005

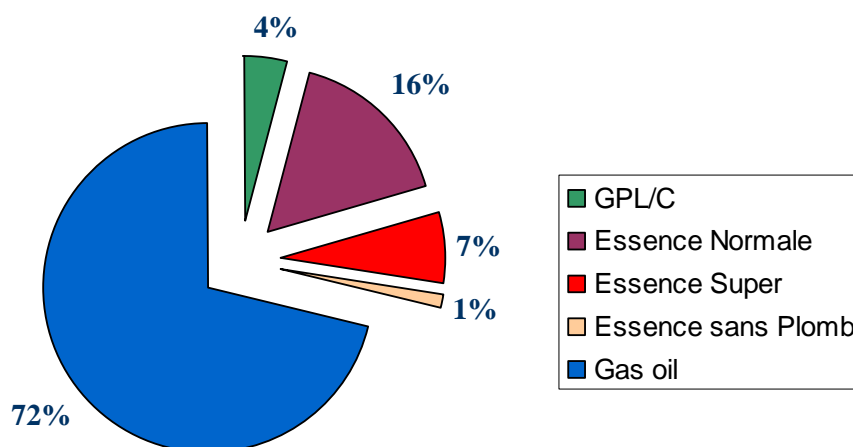


Figure 7 : Consommation des carburants durant les exercices de 1995 et 2005

Cette hausse de consommation induit des émissions de GES de plus en plus importantes, ce qui incite les pouvoirs publics à soutenir activement le développement de nouvelles sources d'énergie, plus écologique et moins polluantes.

4.2. Emission des GES en Algérie

En 1994, les émissions de GES en Algérie ont atteint 104 794 360 TE-CO₂ (tonnes équivalent CO₂). Bien que l'ensemble des états émettent des GES, les pays développés dont le développement s'est fait au détriment de la stabilité du climat sont les principaux émetteurs des GES. Par exemple, les émissions en Algérie, par habitant, sont 10 fois plus faibles que celles des Etats-Unis mais rapportée au nombre d'habitants, elles sont 60 fois plus faibles [1].

La répartition des émissions par secteur et par gaz est illustrée sur la figure 8.

2IWH 2007, 27-29 Octobre 2007

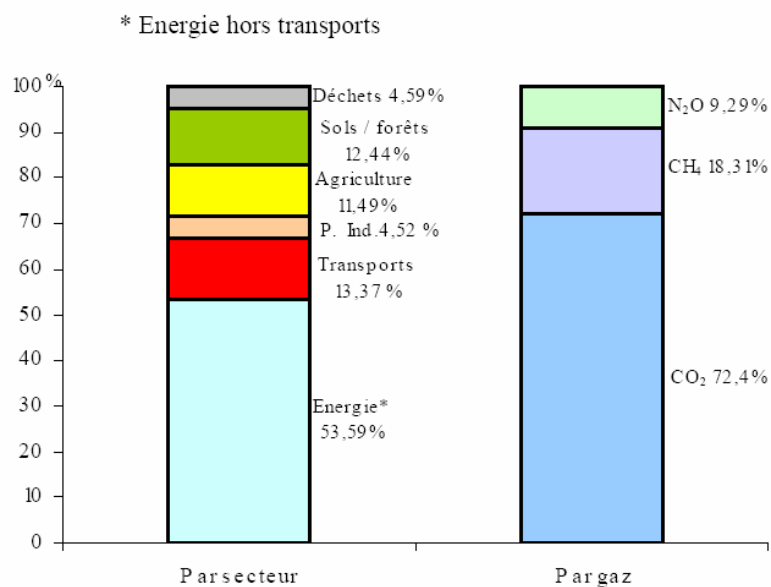


Figure 8 : Parts des émissions par secteur et par gaz, 1994 [1]

En Algérie, l'analyse de l'inventaire algérien (1994) montre une nette prépondérance du secteur de l'énergie et des transports, avec 67 % des émissions [1].

4.3. Perspective de l'Hydrogène dans le domaine du transport en Algérie

Face à la pollution en milieu urbain, aux changements climatiques causés par les gaz à effet de serre et à la nécessité de répondre aux besoins énergétiques dans les décennies à venir, l'Etat a encouragé le développement et l'utilisation d'énergie plus propres pour d'une part préserver l'environnement et le citoyen et d'autre part, valoriser nos richesses en énergie moins polluantes (*GPL/C, GNV, Energie solaire,...*).

4.3.1. Développement du GNV (Gaz Naturel Véhicule) en Algérie [10]

Les réserves algériennes récupérables, en ressources gazières sont estimées à 3 500 milliards de m³; l'Algérie est le sixième pays mondial producteur de gaz naturel avec un réseau de distribution de gaz naturel de plus de 23 000 Km composé de canalisations haute pression (20 et 70 bar) et basse pression (4 bar) implantés dans les villes.

Avec ces grands potentiels, le Ministère d'Energie et des Mines (depuis les années 80) a lancé un programme national pour le développement du GNV avec la participation de trois entreprises du secteur, il s'agit de NAFTAL, SONATRACH et SONELGAZ :

- Les premières expériences d'utilisation du GNV ont été lancées en Algérie, simultanément par NAFTAL, SONATRACH. Le programme d'expérimentation de NAFTAL, démarré en Avril 1989, a permis la transformation de deux bus, deux véhicules lourds, et un léger et l'acquisition de deux stations de compressions et leurs installations. Cette initiative a été définitivement arrêtée en septembre 1996. Entre temps et durant la même période NAFTAL s'est attelée à développer

2IWH 2007, 27-29 Octobre 2007

l'utilisation du GPL/C dont le coût d'investissement revenait beaucoup moins cher que le GNV sans compter le coût des kits de conversion GPL/C nettement inférieur à ceux du GNV.

- Le développement du GNV par SONELGAZ entre 1999-2002 a permis les réalisations suivantes:
 - ✓ Une station pour remplissage des autobus dans un dépôt de l'entreprise de transport urbain d'Alger (ETUSA);
 - ✓ Une station service mixte (GNV, GPL/C) ouverte au public et la conversion d'une flotte de véhicules du parc SONELGAZ et l'acquisition de cinq bus fonctionnant au GNV par l'ETUSA.

- Actuellement, un groupe de travail (NAFTAL, SONELGAZ, ETUSA et MATE (Ministère d'Aménagement du Territoire et de l'Environnement)) présidé par le MEM a élaboré un plan de développement (2007-2012) où il est prévu de:
 - ✓ Convertir 14 000 véhicules légers ;
 - ✓ Acquérir 175 bus dédiés au gaz naturel ;
 - ✓ Raccorder et équiper 40 stations services pour la distribution du GNV.

4.3.2. Possibilité d'introduire l'hydrogène en Algérie

Utiliser des véhicules à hydrogène, disent certains, n'est pas raisonnablement envisageable puisqu'il n'existe pas de réseau de distribution de l'hydrogène. Il est facile de rétorquer: les réseaux de distribution de l'hydrogène ne sont pas raisonnablement envisageables puisqu'il n'existe pas de véhicules à hydrogène, telle est le cas pour l'utilisation de l'hydrogène en Algérie.

Néanmoins l'idée d'utilisation de l'hydrogène pour la carburation/combustible n'est pas à écarter.

Des projets d'utilisation d'hydrogène dans le transport ont été développés, principalement des projets qui consistent à utiliser l'hydrogène en mélange avec le gaz naturel comme carburants[8].

L'utilisation du gaz naturel dans les moteurs à combustion interne est motivée par l'absence au niveau des gaz d'échappement d'oxyde de soufre, de plomb ainsi que la réduction des oxydes d'azote et le monoxyde et dioxyde de carbone. Néanmoins, le moteur à gaz naturel fonctionne généralement en limite pauvre (*richesse = 0,65*), ce qui conduit à une dégradation de la vitesse de combustion ce qui est traduit par l'augmentation des imbrûlés au niveau des gaz d'échappement et une perte de puissance [8].

L'ajout d'une quantité d'hydrogène dans le gaz naturel permet d'améliorer la combustion et de ce fait réduire significativement les GES, le mélange est baptisé Hythane [8] (*80% gaz naturel, 20% hydrogène*).

En attendant que les défis liés à l'utilisation de l'hydrogène comme carburant soient relevés de manière satisfaisante, le gaz naturel renfermant de l'hydrogène comme deuxième constituant prépondérant après le méthane est un carburant alternatif transitoire environnementalement acceptable. L'Hythane est utilisé dans des moteurs conventionnels non modifiés ou peu modifiés et il en résulte une réduction significative des imbrûlés et des NO_x et même du CO et du CO₂ (la combustion de l'hydrogène ne produit que de l'eau).

5. Conclusion

Le développement des véhicules à hydrogène a fait d'énormes progrès ces dix dernières années, notamment au niveau des performances et de la compacité des véhicules.

Le début de la commercialisation des véhicules à pile à combustible semble cependant encore loin, car de nombreux problèmes restent encore à résoudre: le coût prohibitif des véhicules, la fiabilité et la durée de vie des piles à combustible, l'autonomie des véhicules, l'absence d'infrastructure de distribution, l'absence de réglementation spécifique.

L'Hythane est une phase transitoire pour l'introduction de l'hydrogène comme carburant dans les moteurs à combustion interne. Dans les années à venir l'ajout d'installation de production et de stockage de l'hydrogène aux installations du GNV déjà existant est une solution très facilement réalisable et semble être la solution la plus appropriée pour l'utilisation de l'hydrogène à court terme en Algérie.

6. Bibliographie

- [1] Ali Bitouche. Carburants et changements climatiques, quelles solutions? cas particulier: contribution du programme GPL/C NAFTAL, JST 7, 2006.
- [2] Association Française d'Hydrogène. Mémento de l'hydrogène: Les réseaux de pipeline d'Hydrogène dans le monde. Source ALPHEA 2001.
- [3] Association Française d'Hydrogène. Mémento de l'hydrogène: Liquéfaction, stockage et transport de l'Hydrogène sous forme cryogénique. 2003.
- [4] Bilan Annuel. NAFTAL 2005.
- [5] Bulletin Veille Thématique n°6: Véhicule à Hydrogène, ALPHEA Hydrogène 2006.
- [6] Bulletin Veille Thématique n°2: Production d'Hydrogène, ALPHEA Hydrogène 2006.
- [7] Clefs CEA n°50/51, L'hydrogène les nouvelles technologies de l'énergie, Mars 2005.
- [8] F. Harouadi. Utilisation de l'Hydrogène dans un Moteur à Combustion Interne Mixte (Méthane – Hydrogène). 1^{er} WIH₂ 2005.
- [9] N. Loubette. Production d'hydrogène par voie biologique. ALPHEA Hydrogène 2004.
- [10] S. Haddadi, A.Raoueche. Gaz Naturel pour Véhicules, Avantages et Inconvénients, NAFTAL 2006.
- [11] www.fuelcells.org
- [12] www.h2mobility.org
- [13] www.irh.uqtr.ca (Institut de Recherche sur l'Hydrogène)
- [14] www.ons.dz