



# STOCKAGE ET DISTRIBUTION

## Transport et stockage de l'hydrogène liquide et gazeux

Cyrille Millet

### Summary Transportation and storage of liquid and gaseous hydrogen

Industrial gases like oxygen, nitrogen, carbon monoxide and hydrogen are produced and distributed all around the world for a large range of applications : petrochemicals and chemicals, steel, welding, float glass... The quantity of gas may be quite small (a one liter bottle per year) or very large (a few hundred of thousands of normal cubic meter per hour !). Therefore the way to produce and distribute gas is really adapted to the customer. For small to medium quantities hydrogen is compressed up to 200 bars in bottles or cylinders. For medium to large quantities it is necessary to liquefy hydrogen in order to minimize the cost of transportation. For very large quantities it is better to invest in 100 bars pipeline network. Up to now the industrial offer fulfills the needs.

With the coming of new energy applications for hydrogen (like rockets, fuel cells, turbine...), new technologies (on-site production, fuelling station, packaging, local network...) and new safety rules are to be developed. Air Liquid is intending to be a major actor in this field.

**Mots-clefs** Hydrogène, distribution, transport, stockage, pile à combustible.

**Key-words** Hydrogen, distribution, transportation, storage, fuel cell.

Air Liquide vend les gaz industriels et médicaux, et les services associés, à travers le monde entier.

Les principaux gaz exploités sont l'oxygène, l'azote, le dioxyde de carbone, le monoxyde de carbone et l'hydrogène. Le mode de conditionnement et les niveaux de pureté requis dépendent de l'application du client. Les quantités de gaz consommées varient fortement. Certains clients artisans consomment quelques litres de gaz par an tandis que des grandes industries consomment plusieurs centaines de milliers de m<sup>3</sup> par heure.

Les économies d'échelles ont une très forte influence sur le prix du gaz. On peut ainsi noter plusieurs ordres de grandeurs de différence entre un gaz vendu en très petites quantités et un gaz vendu en fortes quantités.

La logique de distribution des gaz industriels est représentée dans la *figure 1*. Une unité centrale génère de grandes quantités de gaz. Pour l'hydrogène, il s'agit en général d'unités de reformage à la vapeur de gaz naturel. Ces unités produisent quelques centaines à quelques milliers de kilogrammes d'hydrogène par heure. L'hydrogène ainsi produit sous une pression de 10 à 30 bars est purifié dans des bouteilles d'adsorption, puis il est comprimé à une pression comprise entre 75 et 100 bars pour être injecté dans un réseau de pipelines (*figures 2, 3 et 4*).

Ce réseau hydrogène permet de connecter les principaux points de production de l'hydrogène aux principaux points de son utilisation. Il a également un rôle de réservoir : lorsqu'une consommation exceptionnelle se produit (pourquoi pas le plein

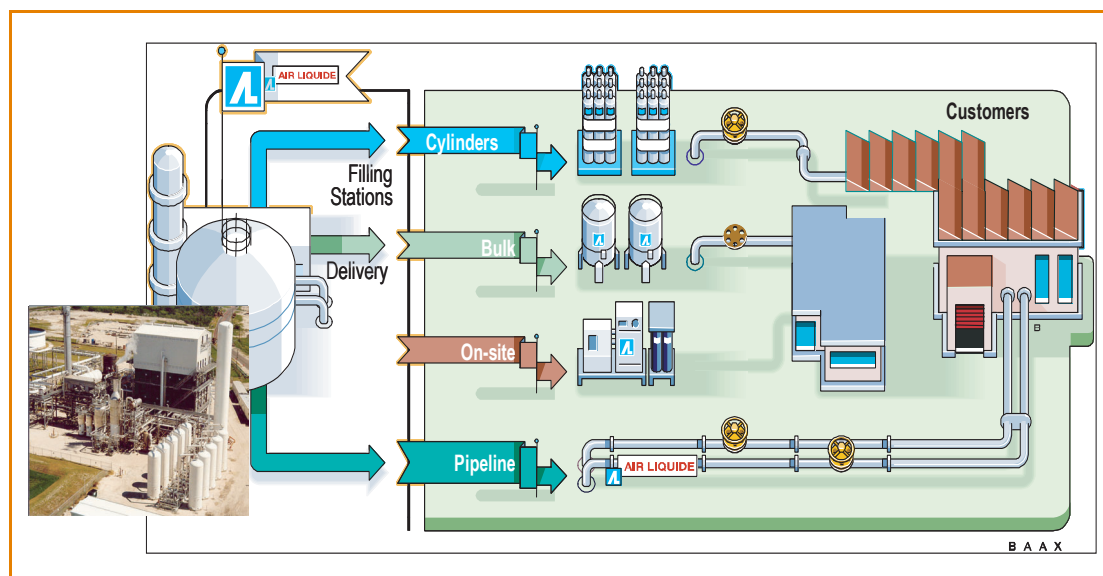


Figure 1 - Logistique de distribution des gaz industriels.

# STOCKAGE ET DISTRIBUTION



simultané de bus hydrogène qui rentrent au dépôt le soir !), alors l'ensemble des canalisations répond à la demande.

Comme le montrent les figures 2, 3 et 4, ce réseau a une couverture importante, mais insuffisante pour répondre à la demande de consommateurs moins

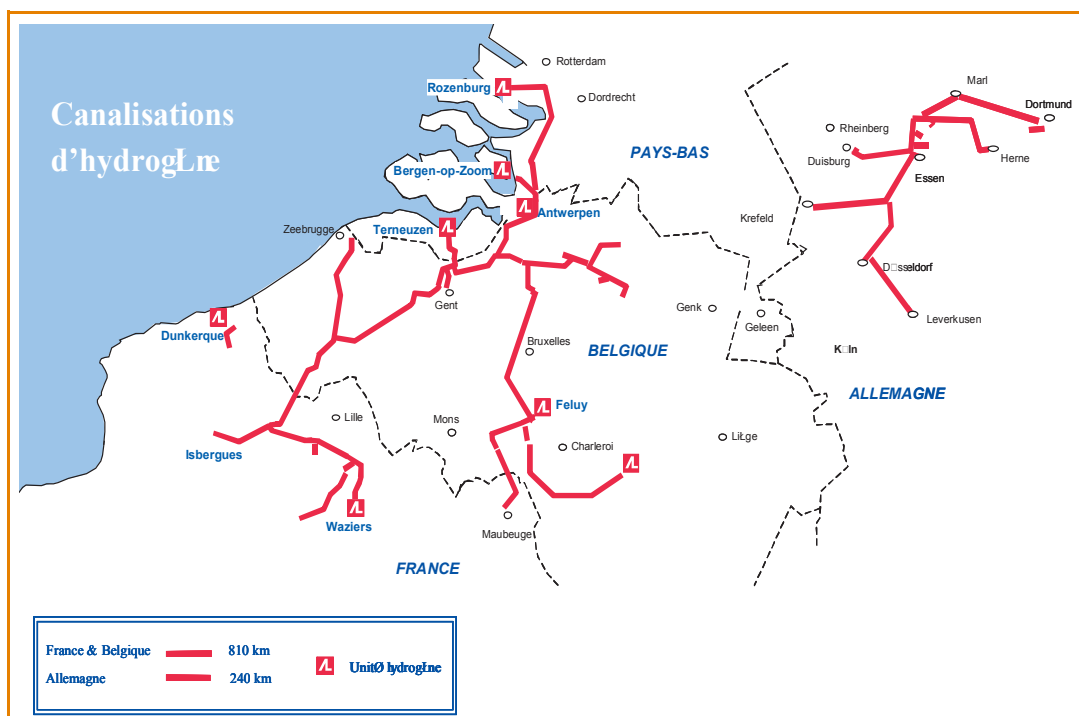


Figure 2 - Réseaux Nord de distribution d'hydrogène gazeux par pipelines.

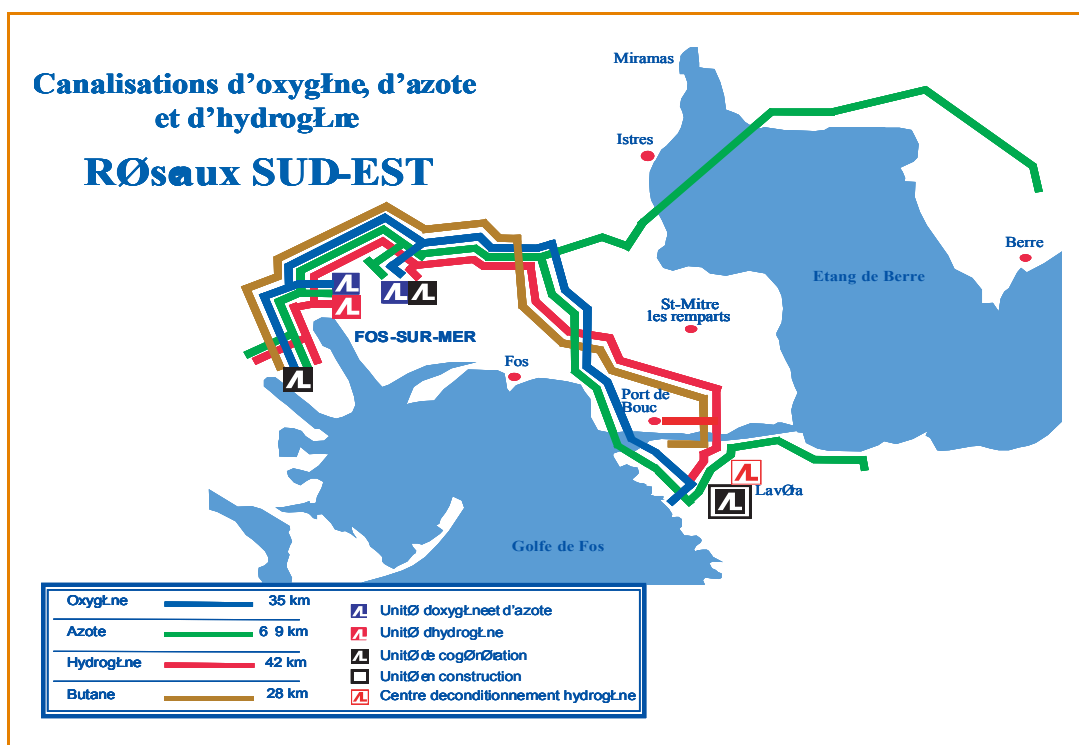


Figure 3 - Réseaux Sud-Est des canalisations d'oxygène, d'azote et d'hydrogène.



# STOCKAGE ET DISTRIBUTION

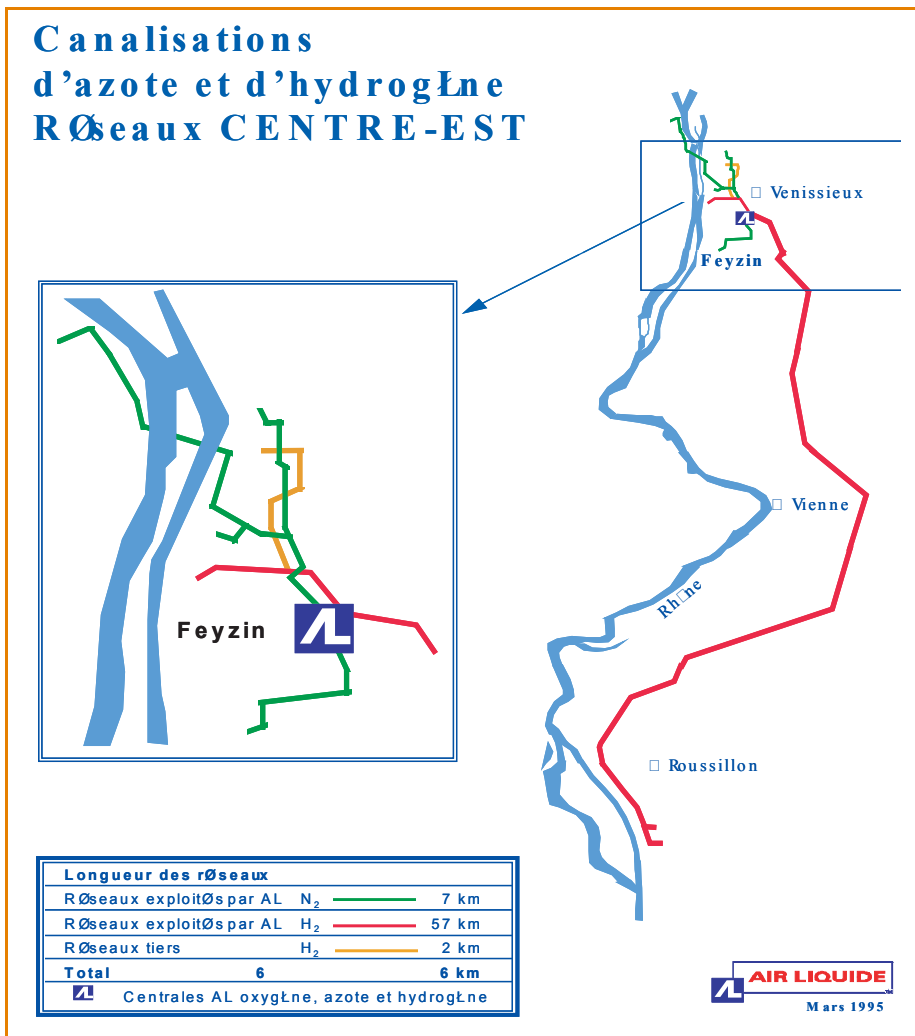


Figure 4 - Réseaux Centre-Est des canalisations d'azote et d'hydrogène.



Figure 5 - Boîte froide de liquéfaction de l'hydrogène à Waziers et turbine de détente de l'hydrogène conçue à la division des Technologies Avancées d'Air Liquide.

importants et éloignés des bassins de production de l'hydrogène. Dans ce cas, l'hydrogène est transporté sur route et stocké auprès du consommateur.

Pour transporter quelques tonnes d'hydrogène, et de manière la plus économique possible, il s'agit de le liquéfier. Les unités de liquéfaction d'hydrogène opérées par Air Liquide sont les suivantes : Kourou (2,3 t/jour), Waziers (10 t/jour) (figure 5), Oita au Japon (1,5 t/jour) et Bécancour au Canada (10 t/jour).

L'unité de liquéfaction est en général alimentée par un reformer dédié, ou bien par le réseau de pipelines. L'hydrogène liquide produit est stocké





Figure 6 - Semi-remorque pour le transport d'hydrogène liquide.

dans de très importants réservoirs à super isolation sous vide. L'unité de liquéfaction de Waziers est ainsi équipée de quatre réservoirs de 250 000 litres, soit au total un stockage de près de 70 tonnes d'hydrogène.

Cette réserve d'hydrogène peut être particulièrement utile en cas de secours. En effet, si la quantité d'hydrogène insufflée dans le réseau par les unités de production est momentanément insuffisante, alors des pompes compriment l'hydrogène liquide, il est ensuite vaporisé et injecté dans le réseau.

En fonctionnement normal, ces réservoirs sont reliés à des stations de remplissage de camions semi-remorques d'une capacité de 50 m<sup>3</sup>, soit un peu plus de 3 tonnes d'hydrogène (figure 6). Le temps de remplissage d'une semi-remorque est de plusieurs heures.

Les risques de l'installation sont maîtrisés. Le site est équipé de nombreux détecteurs de fumée, d'explosimètres, de caméras UV, de sondes de température, ainsi que de systèmes d'extinction automatiques.

Le camion d'hydrogène se rend ensuite sur le site consommateur d'hydrogène qui peut être fort éloigné, c'est-à-dire à plusieurs milliers de kilomètres. Le site consommateur d'hydrogène est équipé d'un réservoir pour stocker l'hydrogène liquide apporté par le camion. Ce réservoir a en général une capacité comprise entre 16 et 100 m<sup>3</sup>.

Avant de se connecter au réservoir, le camion effectue une mise à la terre. Ensuite, un flexible de dégazage et un flexible de transfert du gaz liquéfié sont mis en place. Des étapes de balayage à l'azote permettent de s'assurer que l'hydrogène n'est pas

mis en contact avec de l'air. Le « dépotage » (terme consacré par les gaziers pour exprimer l'étape où le camion vide son chargement dans le réservoir de réception) dure une bonne heure.

L'hydrogène liquide peut ainsi être transporté et stocké aisément grâce à sa densité accrue (près de 70 kg/m<sup>3</sup>). Cependant, la réglementation limite parfois son utilisation à cause des périmètres de sécurité imposés qui sont très importants.

Outre l'intérêt économique, inhérent à tout transport d'un gaz préalablement liquéfié, l'intérêt de l'hydrogène liquide est aussi son utilisation en tant qu'ergol cryogénique.

Ariane 4 emporte 1,9 tonne d'hydrogène liquide, et Ariane 5 en emporte 27 tonnes (figure 7). Ces réservoirs ultralégers ne sont pas super isolés. Le remplissage en hydrogène se fait très peu de temps avant le décollage de la fusée, et il s'agit seulement d'éviter la formation de givre sur la paroi du réservoir.



Figure 7 - Réservoirs d'hydrogène d'Ariane 4.

L'hydrogène gazeux, comprimé à 200 bars, est également distribué par des camions. Les quantités d'hydrogène transportées sont plus faibles, il s'agit au maximum de quelques centaines de kilogrammes. Ce mode de transport est adapté à des distances ne dépassant pas quelques centaines de kilomètres, et à une consommation en hydrogène suffisamment faible (quelques kilogrammes par heure).

Le volume intérieur des bouteilles va d'un litre à plus de 1 000 litres. Les bouteilles de 50 L verticales peuvent être groupées en cadre (un cadre peut contenir jusqu'à 28 bouteilles), et les bouteilles de 560 ou de 1 128 L sont fixées horizontalement sur des semi-remorques (figure 8).

Malgré la quantité d'hydrogène transportée assez faible (jusqu'à 370 kg), le poids plein de la



# STOCKAGE ET DISTRIBUTION

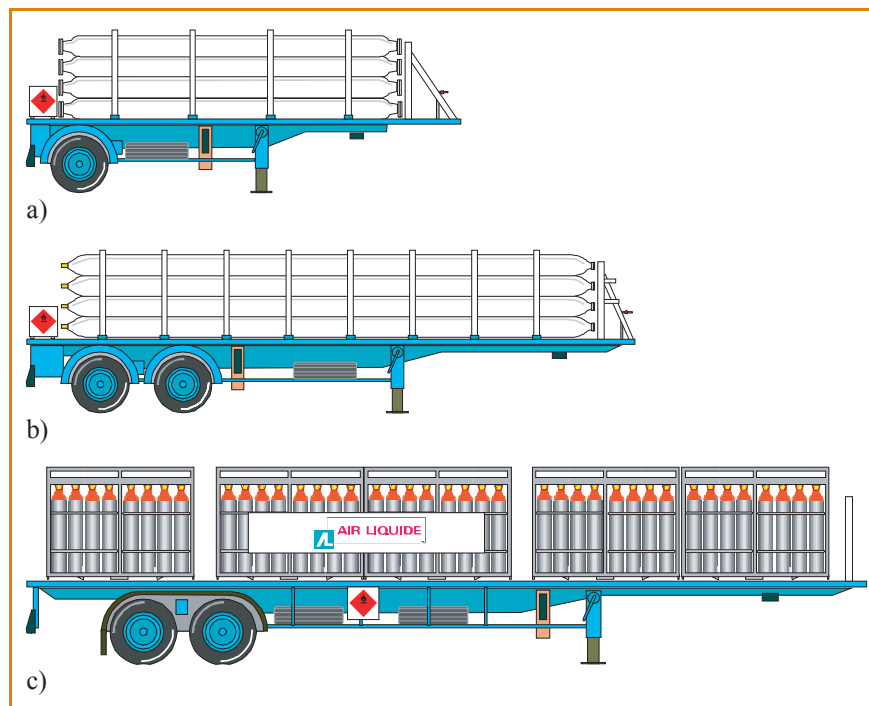


Figure 8 - Transport des bouteilles d'hydrogène : a) 1 600 Nm<sup>3</sup> ; b) 3 360 Nm<sup>3</sup> et c) 2 460 Nm<sup>3</sup> d'hydrogène.

semi-remorque n'en demeure pas moins important (aux environs de 30 tonnes).

Pour conclure, le transport et le stockage d'hydrogène liquide et gazeux répondent à la demande industrielle d'aujourd'hui.

De nombreux projets de démonstration de nouvelles technologies (piles à combustible, turbines, moteurs thermiques) utilisent l'hydrogène comme source d'énergie. Ce type d'application est nouveau pour les gaziers. En effet, ceux-ci vendent des gaz pour leurs propriétés chimiques : oxydant, réducteur, inerte, synthèse... Les lanceurs de satellites sont les seuls engins qui utilisent l'hydrogène comme source d'énergie. Si l'hydrogène devient un vecteur d'énergie, la demande va fortement s'accroître et les infrastructures industrielles devront s'adapter. De par leurs compétences et leurs infrastructures existantes, les gaziers comme Air Liquide ont un rôle majeur à jouer dans :

- la mise au point de générateurs à faible débit pour produire directement auprès du consommateur,
- la définition des unités de liquéfaction à faible coût,
- l'extension du réseau de pipelines,

- le développement de technologies pour conditionner l'hydrogène sous pression ou sous forme liquide avec une ergonomie accrue (poids, volume, mise en œuvre),

- la proposition des règles de sécurité pour l'exploitation de l'hydrogène vecteur d'énergie,...

Les freins liés à la réglementation, au coût et à la logistique sont certainement les plus contraignants. Cependant les solutions existent, et les avantages liés à l'hydrogène sont tels que l'économie de l'énergie de demain y viendra certainement.

**Air Liquide entend participer activement à cette évolution du marché, et devenir un acteur majeur de l'hydrogène de demain, comme il est un acteur majeur de l'hydrogène d'aujourd'hui.**

## Cyrille Millet

est coordinateur technique de l'offre hydrogène pour les piles à combustible chez Air Liquide\*.

\* Air Liquide DTA, 2 rue de Clémencière, BP 15, 38360 Sassenage.

Tél. : 04 76 43 63 99. Fax : 04 76 43 60 90.

E-mail : cyrille.millet@airliquide.com