Comportement des gaz : faire le plein de H_2

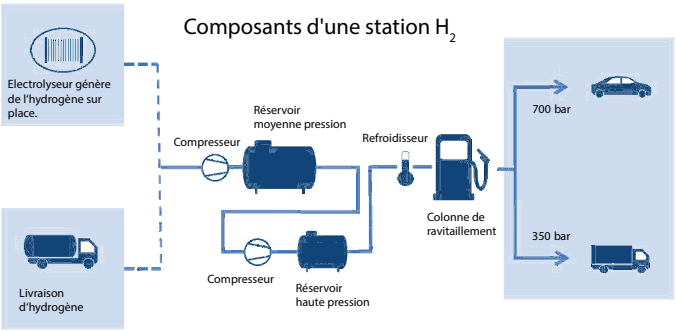
La loi des gaz parfaits décrit le comportement des gaz. La pression p en bar, la température T en kelvin et le volume V en m^3 se trouvent dans un état physique momentané. Si, par exemple, de la chaleur est ajoutée, la pression change et l'état entre avant et après peut être décrit par l'équation : $(p_1 \times V_1) : T_1 = (p_2 \times V_2) : T_2$.
Nous rencontrons ce phénomène au quotidien à l'ateliers : le compresseur d'air pour les outils pneumatiques aspire de l'air ambiant et le comprime. La pression dans les conduites d'air augmente. Le compresseur, son réservoir et l'air chauffent, leur température augmente, l'air comprimé présente un volume plus faible et une pression plus élevée que lors de l'aspiration. Inversement, lorsque la pression d'un gaz diminue, il retire de l'énergie thermique de son environnement. Nous observons également ce phénomène lorsque nous dévissons la valve d'un pneu. En se détendant, le gaz qui s'échappe extrait de la chaleur au niveau de la valve, ce qui est facilement perceptible lorsqu'il se forme du givre. Le principe de compression et de détente représente un cycle de l'équation des gaz, cela se produit également dans la climatisation.

Gaz parfait et gaz en pratique

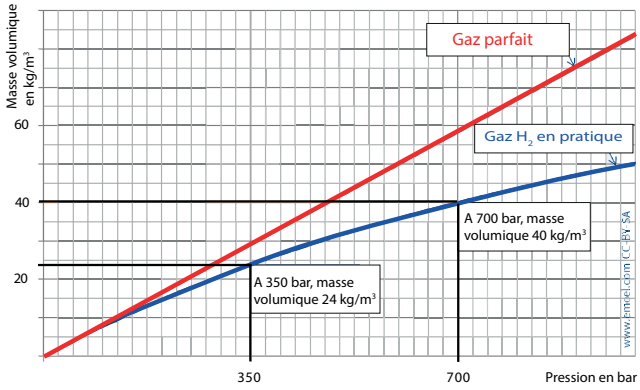
L'équation des gaz ne fonctionne toutefois qu'en théorie et dans des conditions parfaites. Si un gaz est comprimé dans la pratique, il ne se comporte pas de manière proportionnelle. La pression n'augmente donc pas linéairement par rapport à la réduction du volume. Dans la pratique, le rapport entre la masse volumique et la pression n'est donc pas linéaire, mais dégressif.
Le graphique en haut à droite illustre cette relation. Concrètement, cela signifie que l'hydrogène H_2 stocké à 700 bars dans une voiture de tourisme ne contient pas deux fois plus d'énergie qu'un véhicule utilitaire avec un réservoir de gaz de même taille stockant le gaz à 350 bars. En réalité, la voiture H_2 ne peut emporter qu'environ deux tiers de H_2 en plus en faisant le plein.

Le défi de la station-service à hydrogène

Lorsque l'on veut faire le plein de H_2 gazeux dans un véhicule à pile à combustible, la station-service doit créer une pression supérieure à celle régnant finalement dans le réservoir de gaz.
Le gaz est comprimé jusqu'à 900 bars par plusieurs étages de compresseurs et se réchauffe en même temps. Après chaque étape de compression, le gaz est refroidi via un échangeur de chaleur qui absorbe cette énergie thermique. Lorsqu'un véhicule H_2 fait le plein, le gaz s'écoule du réservoir haute pression de la station-service

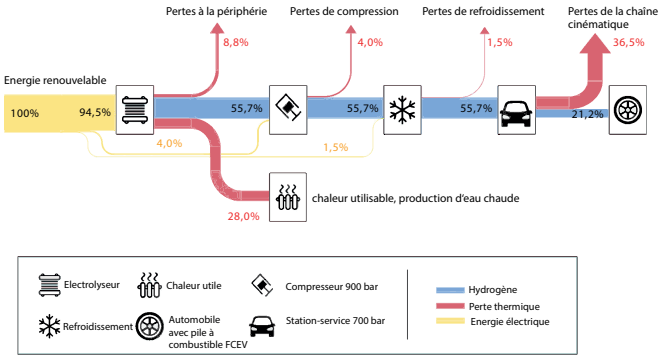


Une station-service de gaz H_2 a besoin d'étapes de compression et d'un stockage intermédiaire pour comprimer le gaz à 900 bars. Comme le gaz est détendu et recomprimé lorsqu'il s'écoule dans le réservoir du véhicule, il est refroidi à -40°C avant le transfert, afin d'achever rapidement le processus de ravitaillement. Pour le véhicule utilitaire, aucun refroidissement n'est actuellement utilisé, c'est pourquoi le ravitaillement dure jusqu'à 20 minutes au lieu d'environ 5 minutes.



L'exemple de l'hydrogène H_2 permet de montrer la différence entre un gaz selon la loi des gaz parfait et un gaz dans la réalité pratique. Étant donné que la masse volumique n'est pas proportionnelle à la pression, il n'est pas possible, en faisant le plein d'une voiture de tourisme H_2 à 700 bars, de partir du principe qu'il contient deux fois plus d'énergie pour le même volume. La voiture automobile légère peut stocker environ deux tiers de H_2 en plus à 700 bars, pour le même volume.

vers le réservoir du véhicule. Il se produit alors une détente régulée par la station-service, puis une compression dans le réservoir de gaz du véhicule qui se réchauffe de ce fait. Pour que le processus de ravitaillement puisse s'effectuer en cinq minutes, le gaz est refroidi à environ -40°C par la station-service. Lors du remplissage, des capteurs de pression mesurent la pression dans le réservoir du véhicule. Aussi l'étanchéité du raccord du pistolet de remplissage et le conduit du réservoir est contrôlée. De courtes pauses lors du remplissage permettent d'atteindre la pression nominale de 700 bars. Dans le cas des véhicules utilitaires, il n'y a pas de communication entre le véhicule et la station-service. La pression est uniquement mesurée dans la conduite de carburant. L'opération dure nettement plus longtemps (environ 20 minutes) en raison des phases nécessaires de refroidissement (pauses).



L'échauffement lors de la compression du H_2 nécessite des étapes de refroidissement entre les compresseurs. Aussi, le gaz est refroidi à -40°C après accumulation haute pression à 900 bars, afin de débiter le plus de gaz possible vers le réservoir du véhicule. Cela nécessite de l'énergie supplémentaire.

Règle générale:
La loi des gaz décrit le comportement des changements de pressions, températures et volumes. Les gaz sont compressibles. La pression augmente et le volume diminue. Une pression de gaz élevée engendre toujours des températures élevées. Celles-ci doivent être maîtrisées en évacuant de la chaleur.

Objectifs:	Explication de l'objectif:
MA 4.7.07	Décrire le comportement des gaz lors de changements de température
MM	Identique
AM	Aucun objectif

Sources : uwa, Emcel, Empa
© A. Senger/U. Wartenweiler/ trad. E.Schaer/ESA
Réalisé en 11.2023

Comportement des gaz : faire le plein de H_2

Questions sur le basic-sheet, le check.

1. Que signifie la loi des gaz?

2. Pourquoi parle-t-on de gaz parfaits dans la loi des gaz?

3. Quelle est l'influence sur le gaz en pratique lors du ravitaillement d'un véhicule à gaz?

4. Quel est le rendement de la production d'hydrogène jusqu'au réservoir de la voiture?

5. Quels sont les défis que doit relever la station-service H_2 pour alimenter les véhicules à gaz?

© A. Senger/U. Wartenweiler/ trad. E.Schaer/ESA