

Véhicule Autonome Connecté : Nouvelle Motorisation : Hydrogène



Etudiants :

Théotim BARBIER-LAFFITTE

Kenza BENNANI

Raimbault DESCHILDRE

Enseignant-responsable du projet :

Abdelaziz BENSRAIR

Date de remise du rapport : **11/06/2022**

Référence du projet : **STPI/P6/2022 – 3**

Intitulé du projet : **Véhicule Autonome Connecté : Nouvelle Motorisation : Hydrogène**

Type de projet : **Bibliographie – Etat de l’art**

Objectifs du projet :

- **Comprendre et présenter le fonctionnement des voitures autonomes et leur utilisation**
- **Découvrir et appréhender la technologie de la motorisation hydrogène**
- **Discuter de l’utilisation et de la démocratisation de ces technologies**
- **Analyser les différents enjeux pour l’avenir de ces technologies**
- **Discuter de l’opinion de la société sur ces technologies**

Mots-clefs du projet : **Véhicule autonome, énergie hydrogène, écologie, social**

Table des matières

1. Introduction	6
2. Méthodologie / Organisation du travail	6
3. Les moteurs Hydrogène	7
3.1. Histoire et présentation des moteurs hydrogène.....	7
3.2. Les différents moteurs à hydrogène	8
3.2.1. Le moteur à combustion interne	8
3.2.2. La Pile à Combustible (PAC).....	9
3.3. Production et stockage de l'Hydrogène	11
3.4. Comparaison des différentes technologies	13
3.4.1. Comparaison des différents types de motorisation :	13
3.4.2. La motorisation hydrogène au cœur des problématiques d'avenir.....	14
4. Le véhicule autonome	15
4.1. Histoire et présentation du véhicule autonome	15
4.1.1. Historique.....	15
4.1.2. Fonctionnement	15
4.2. Les enjeux des véhicules autonomes	17
4.2.1. Les avantages des voitures autonomes	18
4.2.2. Les limites des voitures autonomes.....	18
4.2.3. Les différents enjeux	18
4.2.3.1. Les enjeux sécuritaires.....	18
4.2.3.2. Les enjeux sociaux.....	19
5. Une solution d'avenir	19
5.1. Comment ces technologies vont changer notre quotidien.....	19
5.2. Plan du gouvernement et opinion du grand public	20
5.3. Les recherches actuelles.....	20
6. Conclusion	21
7. Bibliographie	22
8. Annexes	23
8.1. Résultats du sondage.....	23
8.2. Vidéos d'ouverture	26

NOTATIONS, ACRONYMES

PAC : Pile à Combustible

MCI: Moteur à Combustion Interne

LIDAR: Light Detection and Ranging

RADAR: Radio Detection and Ranging

GPS: Global Positioning System

CASE: Connected, Autonomous, Shared, Electric

1. INTRODUCTION

Dans un monde qui ne fait qu'évoluer, la mobilité représente un enjeu crucial dans le maintien du confort de vie et de l'environnement.

L'émergence de l'automobile a été depuis le 19ème siècle la preuve d'un réel essor révolutionnant le monde, cependant de nombreux problèmes environnementaux accompagnèrent cette dynamique.

Le rôle des ingénieurs a donc été de trouver une alternative plus respectueuse de l'environnement et de la santé publique. Nous assistons donc au 20ème siècle à l'émergence d'une nouvelle technologie révolutionnaire qui puise son énergie d'une pile à combustible et à combustion par l'hydrogène : les véhicules à motorisation hydrogène.

Bien plus tard, au 21ème siècle, le monde se retrouve illuminé par une innovation technique et technologie optimisant la conduite et les dépenses de carburant : les véhicules autonomes.

Ainsi, se pose la problématique suivante : quels sont les rôles des véhicules autonomes et de la motorisation hydrogène dans la transition écologique et sociale des mobilités ?

Pour répondre à cette problématique, nous porterons tout d'abord notre attention sur l'histoire et le fonctionnement des moteurs hydrogènes. Nous aborderons également la question de la production et du stockage de l'hydrogène.

Dans un second temps, nous nous pencherons sur les véhicules autonomes et leurs utilisations. Nous parlerons notamment des enjeux de ce type de véhicules dans notre société.

Enfin, dans une dernière partie nous nous demanderons si la motorisation hydrogène est une solution d'avenir. Nous parlerons de son adaptation à notre quotidien et également des projets gouvernementaux vis-à-vis de cette technologie.

2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Nous nous réunissons chaque lundi matin avec M. BENSRAHAI pour avancer sur notre projet. Les deux premières séances ont été dédiées à l'explication du projet et à la mise en forme du rendu. Les autres séances quant à elles nous ont permis d'avancer sur le projet et de rédiger notre rapport. En plus de cela, tout de suite après le choix de nos axes de recherches, nous avons établi un calendrier d'échéances pour concorder avec la date de remise du rapport. Pour ce faire, hormis les séances dédiées au projet de physique, nous nous sommes réunis plusieurs fois les jeudi après-midi pour avancer sur notre projet.

Afin de mener à bien notre projet et en raison du nombre peu important de personnes qui compose notre groupe, nous avons décidé d'avancer ensemble sur chaque partie du projet.

En effet, chaque sous partie des différents axes du projet a été traité par un membre du groupe. Cependant nous revenions tous ensemble sur chaque partie pour en faire une relecture et vérifier les informations données. Cela nous a permis d'être plus efficaces et d'avancer ensemble sur le projet.

Pour ce faire, nous avons créé un drive où l'on écrivait toutes les informations et documents nécessaires pour que nous puissions voir l'avancée de chacun. Ainsi, nous pouvions tous écrire en même temps. Enfin, nous nous sommes réunis pour valider les informations et créer la première version de notre rapport sur Word.

3. LES MOTEURS HYDROGENE

3.1. Histoire et présentation des moteurs hydrogène

Dans cette partie, nous allons tout d'abord présenter l'histoire des technologies basées sur l'hydrogène, puis nous verrons les différents moteurs utilisés dans les voitures d'aujourd'hui.

L'hydrogène est d'abord découvert au XVIème siècle. Cependant il est à cette époque mal compris et c'est en 1785 que Antoine de Lavoisier comprend que la combustion de ce gaz forme de l'eau. C'est ainsi qu'il le nomme "Hydrogenium" qui signifie "qui forme l'eau".

C'est après cette découverte que plusieurs scientifiques se penchent sur le potentiel de l'hydrogène, notamment en 1800, où deux scientifiques anglais décident de mettre deux fils électriques dans un canal, expérimentant ainsi la première électrolyse. Cela consiste à faire passer un courant électrique dans l'eau, qui va former du dihydrogène et de l'oxygène.

C'est sur ce principe que se base Sir William Grove en 1839 pour créer la pile de Grove. Cette pile va produire de l'électricité en réalisant le chemin inverse de l'électrolyse, c'est-à-dire, faire réagir du dioxygène et de l'hydrogène pour créer de l'eau et un courant électrique. Cette pile sera améliorée et changera de nom pour s'appeler "pile à combustible", mais ne possède pas encore, à cette époque, de véritables applications concrètes.

Dans le même temps, un autre type de moteur à hydrogène voit le jour. Il s'agit du moteur à combustion. Le principe est simplement de faire brûler de l'hydrogène pour faire tourner le moteur. Plusieurs essais concluants ont été réalisés durant le XIVème siècle, mais seulement à petite échelle, notamment à cause de la difficulté pour produire l'hydrogène.

En 1959, un tracteur est équipé d'une pile à combustible, il sera alors le tout premier véhicule fonctionnant avec une pile à hydrogène. S'ensuit alors diverses applications, comme dans l'industrie aérospatiale, qui cherche un moyen de produire de l'électricité de manière fiable et simple. Les piles à combustibles seront donc produites à échelle industrielle, mais elles perdront de leur intérêt dans les années 1980 à cause d'accidents récurrents et du coût de production trop élevé. [\[1\]](#)

Cependant, avec l'arrivée des nouveaux enjeux écologiques et la nécessité de limiter les gaz à effet de serre, la pile à hydrogène et le moteur à combustion regagnent de l'intérêt. C'est alors que dès 1990, les recherches reprennent afin de créer des moteurs plus puissants, plus compacts et plus abordables. De nombreux constructeurs automobiles s'y sont donc intéressés, et plusieurs voitures fonctionnant à l'hydrogène ont vu le jour.

Nous allons maintenant passer en revue les différents types de moteurs utilisés dans les voitures de nos jours.

Tout d'abord, dans les véhicules d'aujourd'hui, le moteur le plus fréquemment utilisé est le moteur thermique ou moteur à combustion. Ce moteur permet de transformer la combustion d'un gaz en un travail mécanique. Plus précisément, il consiste en la compression et la combustion d'un gaz qui va permettre de mettre en mouvement les pistons du moteur et d'entraîner ainsi un axe rotatif. Il est aujourd'hui énormément utilisé (notamment les moteurs diesel) car il reste le plus rentable. Cependant ce moteur marche grâce à la combustion d'un gaz et va donc rejeter du CO₂, un gaz à effet de serre nocif pour l'environnement. [\[2\]](#)

Pour contrebalancer cette pollution produite par les moteurs à combustion, il existe différentes alternatives :

On a premièrement les moteurs électriques. Ces moteurs, dont les premiers modèles ont été produits vers 1888 par Nikola Tesla permettent de transformer l'électricité en un mouvement mécanique. Il est de nos jours de plus en plus utilisé car, contrairement au moteur thermique, il ne rejette pas de CO₂. Malheureusement, ce type de moteur n'a encore qu'une petite place dans la motorisation des voitures actuelles. En effet, il est plus cher qu'un moteur classique et son autonomie est plus petite. [3]

On a ensuite les moteurs hybrides qui allient un moteur thermique et un moteur électrique. Ce type de véhicule est un bon compromis car il possède l'autonomie d'un véhicule classique tout en étant plus respectueux de l'environnement sur des trajets courts à de petites vitesses. [2]

Enfin, on retrouve assez récemment les moteurs hydrogène. En effet, depuis 2006 avec la BMW Hydrogen 7, les entreprises automobiles se sont mises à produire des voitures hydrogène. Ce type de véhicule a vu le jour suite aux recherches de solutions pour contrebalancer la pollution des moteurs thermiques. Il existe aujourd'hui deux types de moteurs à hydrogène : les moteurs à combustion hydrogène, et les moteurs électriques à pile à combustible. [4]

3.2. Les différents moteurs à hydrogène

Comme nous avons pu le voir précédemment, il existe deux moyens de motorisation à hydrogène. Le premier est d'utiliser le moteur à combustion interne (MCI) que l'on utilise actuellement pour les moteurs essence et diesel, et d'utiliser l'hydrogène comme combustible. Le second est d'utiliser un moteur électrique que l'on branche à une pile à combustible (appelée aussi « fuel cell » en anglais) fonctionnant avec de l'hydrogène.

3.2.1. Le moteur à combustion interne

Le fonctionnement du moteur à combustion interne reste donc le même que dans la majorité de nos voitures. L'innovation réside dans le combustible qu'on fournit au moteur, l'hydrogène.

Regardons comment ce moteur fonctionne. Tout d'abord de l'hydrogène est injecté par la soupape d'admission dans le moteur pour être brûlé. La bougie d'allumage, qui va engendrer l'explosion, n'a pas besoin d'être très puissante car l'hydrogène est très inflammable et s'enflamme à faible température. Il va y avoir une combustion de l'hydrogène avec l'oxygène de l'air suivant la réaction :



Cette combustion rejette de la chaleur et de l'eau pure. L'explosion causée par la réaction va pousser le piston, qui, à l'aide de la bielle, va faire tourner le vilebrequin et créer le mouvement.

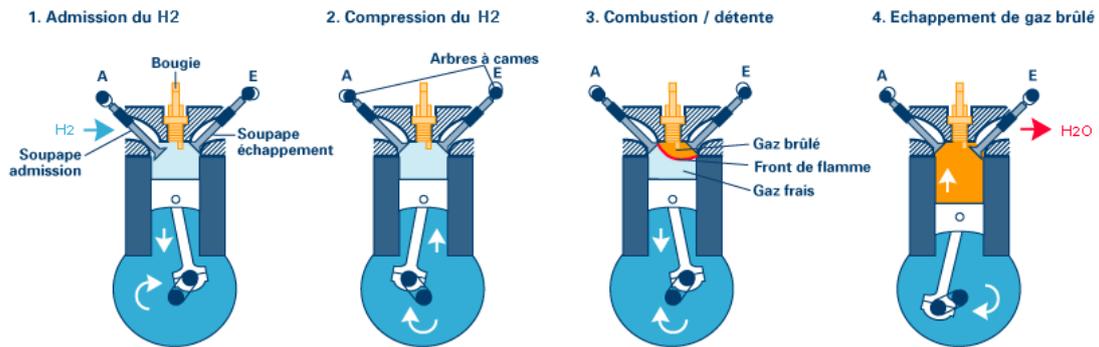


Figure 1 – Schéma du Cycle à 4 temps

Pour finir le cycle, la soupape d'échappement va s'ouvrir et faire sortir l'eau du moteur.

Ce moteur est intéressant car il est capable de fournir une puissance comparable aux moteurs diesel. C'est un type de moteur que nous maîtrisons déjà, et qui pourrait être facilement adaptable avec de l'hydrogène. [5]

3.2.2. La Pile à Combustible (PAC)

De la même manière que l'hydrogène est adapté sur les moteurs thermiques, il l'est ici sur des moteurs électriques. En effet, l'électricité va être fournie par la pile à combustible.

Etudions tout d'abord son fonctionnement. Comme nous avons pu le voir précédemment, le principe de cette pile est de réaliser une électrolyse dans le sens inverse, c'est-à-dire pouvoir faire $Hydrogène + Oxygène \rightarrow Electricité + Eau$

Pour ce faire, la pile à combustible a été conçue de la manière suivante :

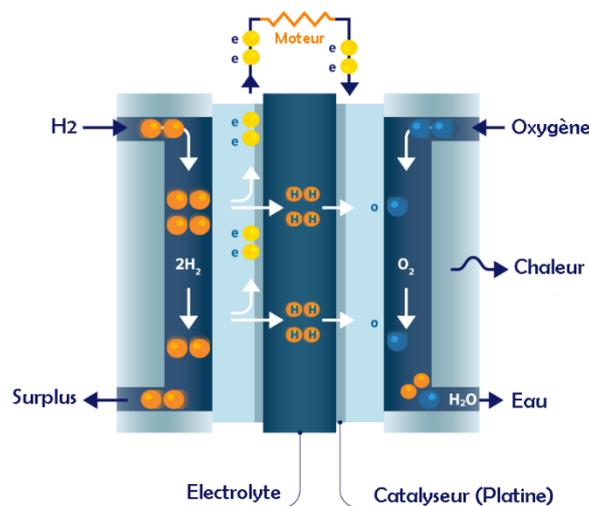


Figure 2 - Schéma de la PAC

Tout d'abord, les deux gaz vont entrer dans la pile : l'hydrogène (du réservoir) du côté de l'anode, et l'oxygène (de l'air) du côté de la cathode. L'anode va alors oxyder l'hydrogène, c'est-à-dire qu'elle va faire perdre un électron à l'hydrogène.



L'électrolyte va permettre aux protons H^+ de traverser vers la cathode, et de bloquer les électrons qui vont devoir passer par l'anode pour aller vers le moteur électrique. Le déplacement de ces électrons va créer un courant électrique, qui va alors alimenter le moteur.

Pour finir le circuit, les électrons vont revenir vers la cathode. Elle va alors faire subir une réduction au dioxygène.



L'oxygène va s'associer aux protons H^+ afin de former de l'eau.



Cette réaction va aussi produire de la chaleur, qui peut être utilisée pour le chauffage par exemple. Pour accélérer la réaction, on ajoute un catalyseur, qui sera ici le platine et que l'on met sur les électrodes. [6]

Cette pile à hydrogène va fournir de l'électricité au moteur électrique. A l'intérieur de celui-ci, on va retrouver les deux composantes principales : le rotor et le stator.

Le principe de base de ce moteur est de faire parcourir le courant à travers une bobine (le stator), qui aura pour effet de créer un champ magnétique. Ce dernier entraîne un aimant à tourner sur lui-même (le rotor), et ainsi créer un mouvement que l'on pourra transmettre jusqu'au roues. [3]

Pour pouvoir avoir une grande puissance avec la pile à combustible, il faudrait qu'elle soit très grande afin de fournir beaucoup d'électricité au moteur, mais cela serait trop lourd et trop volumineux. On ajoute donc au circuit une batterie située après la pile pour stocker de l'énergie en avance et pouvoir réduire la taille de la pile.

Il existe donc 2 technologies de moteurs à hydrogène équivalentes. Celles-ci possèdent toutes les deux des points positifs et négatifs que nous verrons dans un second temps. Mais tout d'abord nous allons nous concentrer sur la façon de se fournir en hydrogène.

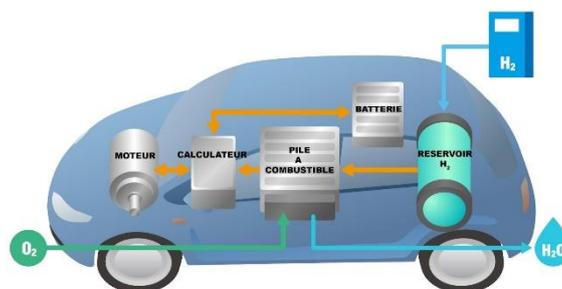


Figure 3 - Schéma d'une voiture hydrogène

3.3. Production et stockage de l'Hydrogène

La production de l'hydrogène est l'un des plus grands enjeux dans l'utilisation de cette énergie dans les véhicules d'aujourd'hui. En 2018, la production d'hydrogène est d'environ 74 millions de tonnes. Cependant, seulement une petite partie de cet hydrogène est utilisé pour la motorisation des transports, la plupart (environ 95 % en 2012) étant utilisés dans l'industrie chimique et la métallurgie. [7]

Dans l'optique de la décarbonation des véhicules, il est donc important de regarder de quelle manière l'hydrogène est produit. Il existe aujourd'hui différentes façons de produire de l'hydrogène : électrolyse de l'eau, vaporeformage d'un composé hydrogéné, oxydation partielle, pyrolyse, etc... Nous allons ici vous présenter deux de ces technologies :

- **Electrolyse de l'eau :**

L'électrolyse de l'eau est la technologie la plus ancienne permettant de produire de l'hydrogène. Le principe de base est de séparer l'hydrogène et l'oxygène contenu dans l'eau.

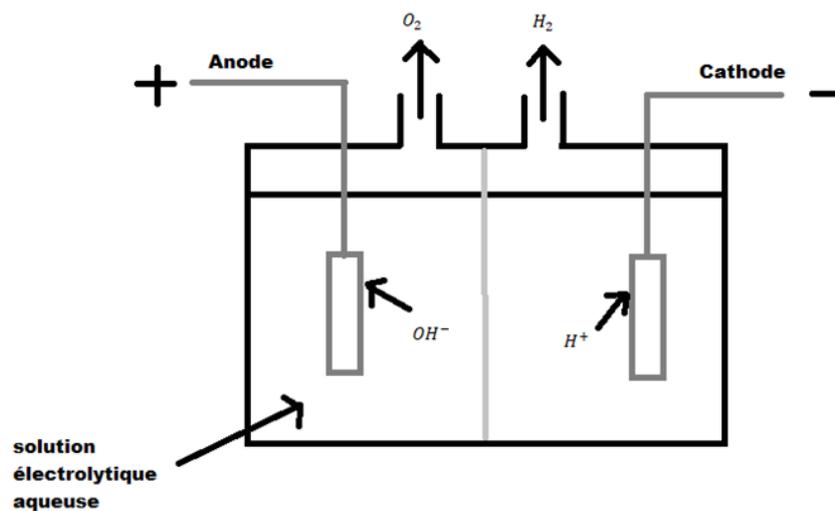


Figure 4 - Schéma d'un électrolyseur alcalin

L'électrolyseur va séparer la solution électrolytique aqueuse (souvent de la potasse KOH ou de la soude NaOH) grâce à l'électricité amenée par les électrodes et ainsi produire du dihydrogène et du dioxygène.

L'électrolyseur correspond au fonctionnement de la pile à combustible avec la cathode et l'anode inversées. [8]

Il existe 3 grands types d'électrolyseurs :

- Electrolyseur alcalin

C'est l'électrolyseur le plus répandu et utilisé dans le monde. L'hydrogène récupéré peut varier entre 10 et 200 bars selon les modèles. Ce type d'électrolyseur à un rendement d'environ 70%.

- Electrolyseur PEM (Proton Exchange Membrane)

Une membrane solide à base de polymère va jouer le rôle de la solution électrolytique. Ces électrolyseurs sont un peu plus chers que les électrolyseurs alcalins mais s'utilisent facilement avec les énergies renouvelables.

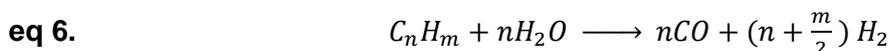
- Electrolyseur SOEC (Solid Oxide Fuel Cell)

Cet électrolyseur utilise lui de la céramique solide à la place de l'électrolyte. C'est l'un des électrolyseurs les plus récents. Il a un rendement très élevé (environ 95%). Cependant il nécessite des températures extrêmement élevées (de 500 à 1000°C) pour son utilisation.

En général, le rendement des électrolyseurs est assez élevé (environ 70 %) et ils vont produire un hydrogène très pur. Cependant cette technologie n'est utilisée à grande échelle que dans les pays où l'électricité est peu chère (par exemple au Canada).

- **Vaporeformage :**

Ce procédé est celui le plus utilisé pour la production de l'hydrogène dans le monde (environ 50% de l'hydrogène produit en 2015). Il consiste en la réaction entre un composé hydrogéné et de la vapeur d'eau. Les principaux combustibles utilisés pour ces réactions sont l'essence, le gazole, le méthanol ou encore le méthane. La formule de la réaction sera donc équivalente à celle-ci-dessous [9] :



Le vaporeformage le plus utilisé est celui du méthane (Steam Methane Reforming) car abondant dans le milieu naturel. On a donc comme réaction :



Cette réaction se produit entre 700 et 1000°C. On utilisera également du nickel ou du platine comme catalyseur de la réaction. De plus, dans les faits, cette réaction produit 70% d'hydrogène et entre 10 et 15 % de CO. Ce monoxyde de carbone peut ensuite également servir à produire du dihydrogène par la réaction suivante :



Après sa production, l'hydrogène se retrouve à l'état gazeux. Il doit alors être comprimé ou liquéfié pour pouvoir le stocker et le transporter.

De nos jours, on peut comprimer l'hydrogène jusqu'à une pression de 700 bars. Ainsi on peut stocker de l'hydrogène avec une masse volumique de 42 kg/m³. Par exemple, à cette pression à 0° C, on peut stocker 46 Nm³ d'hydrogène dans un réservoir de 100L. Les réservoirs d'hydrogène sont généralement composés d'une première couche métallique ou polymère et potentiellement d'une seconde permettant d'absorber les chocs. Ce type de réservoir est particulièrement utilisé pour des applications mobiles.

Le stockage de l'hydrogène sous forme liquide est principalement utilisé pour les lanceurs spatiaux. La liquéfaction de l'hydrogène nécessite de l'amener à une température de -258°C. Ainsi, liquéfier l'hydrogène et le stocker est très coûteux en énergies et donc peu adapté à notre application pour des véhicules terrestres [\[10\]](#).

Il existe également d'autres technologies de stockage de l'hydrogène comme sous forme d'hydrates ou dans des composés comme les hydrures. Cependant, ces technologies n'ont pas encore abouti et ne sont donc pas utilisées aujourd'hui. [\[11\]](#)

3.4. Comparaison des différentes technologies

Depuis de nombreuses années, l'énergie constitue le leitmotiv du progrès et du développement de l'humanité. C'est la raison pour laquelle son utilisation doit répondre à plusieurs contraintes tels que son impact environnemental (rejet de gaz à effet de serre) ou encore sa durée de vie et ainsi son accessibilité. Différentes technologies ont vu le jour et dont le rendement et les impacts divergent tout aussi. Nous allons donc dans un premier temps comparer les différents types de motorisation et dans un second temps s'intéresser particulièrement à la motorisation hydrogène qui constituera le cœur de notre recherche.

3.4.1. Comparaison des différents types de motorisation :

Nous nous intéresserons dans cette partie aux principales technologies concurrentes que sont : les moteurs thermiques, les moteurs électriques et les moteurs hydrogènes (pile à combustible et moteurs à combustions internes). Pour ce faire, notre étude se portera sur la comparaison de 4 différents critères : la production du carburant, le rendement, l'autonomie et son impact environnemental.

Dans un premier temps, comparons les moteurs à combustible interne classique et ceux alimentés par hydrogène. Le premier, constitué d'alliage de métaux présente un carburant alimenté par le pétrole tandis que l'autre présente un carburant potentiellement "vert". Ainsi, utiliser de l'hydrogène comme carburant lutte contre la pollution et préserve la santé publique de la pollution sonore et des rejets de CO₂. Cependant, une différence majeure se trouve au niveau de l'autonomie de ces deux technologies passant de 600 à 1200 km pour un moteur à combustible interne classique à seulement 500 km d'autonomie pour un moteur à combustible interne à hydrogène. [\[12\]](#)

Dans un second temps, comparons les moteurs électriques classiques et les moteurs électriques alimentés par pile à combustible hydrogène.

Les piles à combustibles contrairement aux batteries doivent être alimentées par des réactions (comburant ou combustible), elles ont donc besoin d'un grand nombre d'intermédiaires pour fonctionner tels que l'hydrogène ou l'alimentation en air. De plus, ses électrodes sont constituées d'un métal rare et très cher, le platine. En effet, d'après J.-M Jancovici, partisan affirmé de l'énergie nucléaire, il nous faudrait « 20 à 600 ans pour changer le parc automobile mondial en véhicules à pile à combustible ». Enfin, le nombre très important de composants d'une pile à combustible rend son utilisation très complexe, sa densité d'énergie suffisamment faible qui les rend inaptes aux trajets de longues distances.

D'autre part se trouve la batterie qui se suffit à elle-même c'est-à-dire que l'énergie est stockée à l'intérieur sous forme électrochimique. De plus, contrairement aux piles à combustible, les électrodes reconstituent pendant la recharge ce qui rend leur coût d'utilisation beaucoup moins conséquent. Cependant, la question de rendement remet les deux technologies en concurrence.

En effet, les voitures à batterie utilisent l'électricité directement ce qui leur permet d'avoir un rendement d'environ 85%. Contrairement aux voitures à pile à combustible dont l'efficacité est très faible pour plusieurs raisons. En effet, le rendement de l'électrolyse est de d'environ 70% et l'efficacité du système pile à combustible est d'environ 40%, ce qui entraîne un pourcentage de rendement global d'environ 25%.

3.4.2. La motorisation hydrogène au cœur des problématiques d'avenir

L'hydrogène est un vecteur énergétique aux nombreuses utilisations, du stockage de l'énergie produite à partir d'électricité renouvelable aux véhicules électriques alimentés par des piles à hydrogène.

C'est l'une des solutions dont le but est de favoriser les échanges entre les différentes énergies et réduire ainsi les émissions de gaz à effet de serre liées à la production d'énergie et au secteur des transports.

L'article 121 de la loi de transition énergétique pour la croissance verte [\[13\]](#) prescrit l'élaboration d'un plan de développement des énergies renouvelables décarbonées hydrogène, qui a fait l'objet de démonstrations pour l'utilisation des excédents de production intermittents et ainsi équilibrer l'offre et la demande d'électricité.

Le plan portera spécifiquement sur la promotion des innovations, en particulier les déploiements de piles à combustible et de livraison d'hydrogène, et sur l'adaptation pour permettre de nouveaux déploiements tels que la conversion de l'électricité en gaz

4. LE VEHICULE AUTONOME

4.1. Histoire et présentation du véhicule autonome

Les véhicules autonomes sont des véhicules pouvant circuler sans aide ou avec l'aide partielle d'un conducteur. Cela est possible par l'automatisation partielle ou complète du système de conduite de la voiture.

4.1.1. *Historique*

La voiture autonome a été testé pour la première fois au Japon dans les années 1970. Ces premiers prototypes auraient atteint les 30 km/h et seraient déjà capables de suivre une trajectoire grâce au marquage au sol. En 1984, l'entreprise Mercedes-Benz réalise un test concluant sur plusieurs prototypes de véhicules autonomes. Ils ont ainsi réussi à atteindre les 100 km/h sur une route sans trafic. Dans les années 1990, on voit apparaître les premiers véhicules capables de réaliser certaines manœuvres comme des dépassements ou des changements de file. Cependant, c'est seulement en 2010 que cette technologie va réellement commencer à attirer l'attention. En effet, c'est à ce moment que l'entreprise Google commence à s'intéresser aux voitures autonomes. Ainsi, en 2014 sort la « Google car ». Depuis, de nombreux constructeurs automobiles se sont intéressés à cette technologie. On retrouve ainsi parmi les plus connues, les véhicules Tesla ou encore la récente startup NIO.

4.1.2. *Fonctionnement*

Quand on pense aux voitures autonomes, on s'imagine souvent une voiture conduisant toute seule sans aucune aide. Cependant il existe différents niveaux d'autonomie d'un véhicule [\[14\]](#):

- Niveau 0 : le véhicule n'est pas du tout automatisé. C'est le conducteur qui pilote entièrement le véhicule.
- Niveau 1 : La conduite commence à être simplifiée grâce à différents systèmes comme la direction assistée, l'ABS ou encore le régulateur de vitesse.
- Niveau 2 : La voiture commence à pouvoir faire différentes actions comme des manœuvres de stationnement et permet à certains moments au conducteur de lâcher le volant en restant cependant en alerte.
- Niveau 3 : la voiture est semi-autonome et le conducteur n'a plus besoin d'être constamment attentif à la route mais doit toujours pouvoir reprendre le volant quand le véhicule le lui dit.
- Niveau 4 : Le véhicule peut s'adapter à énormément de situations comme certaines intempéries et le conducteur n'a quasiment plus besoin d'intervenir.
- Niveau 5 : Le véhicule est totalement autonome et peut se passer de conducteur.

De nos jours, la plupart des voitures sont de niveau d'autonomie 1 ou 2. Cependant des véhicules avec une autonomie de niveau 3 et 4 sont en cours de développement et devraient pouvoir circuler dans les années qui viennent.

Un véhicule autonome fonctionne grâce à une intelligence artificielle qui lui permet de prendre des décisions. En effet, grâce à énormément de capteurs placés sur la voiture, l'IA va prendre en considération les différentes données enregistrées en temps réel par les capteurs pour prendre les décisions sur la conduite du véhicule.

Les voitures autonomes fonctionnent donc tout d'abord grâce à un système de perception constitué d'un grand nombre de capteurs. Il existe différents types de capteurs utilisés dans les voitures autonomes :

On a tout d'abord les caméras. Elles sont situées généralement à l'avant, à l'arrière et sur les côtés du véhicule. Elles vont ainsi permettre d'obtenir une image en temps réel de l'environnement autour du véhicule. Ainsi, un logiciel va pouvoir traiter cette image et repérer les différents éléments (véhicules, piétons, ...) entourant la voiture.



Figure 5 - Exemple d'utilisation du logiciel de vision de la caméra

Il y a ensuite les radars. Ce sont des appareils qui vont utiliser des ondes pour prendre connaissance du terrain et de la distance séparant les véhicules des obstacles. En effet, l'émission et la réception d'une onde va permettre de calculer son temps de trajet et donc la distance qu'elle a parcourue. Ainsi, comme l'onde rebondit sur les obstacles on peut donc calculer la distance les séparant du véhicule. Il existe différents types de radars :

- Les radars classiques fonctionnent à l'aide d'ondes électromagnétiques. Ces radars ont une très grande portée et permettent de calculer la distance avec les autres véhicules et leur vitesse.
- Le LIDAR qui fonctionne grâce à l'émission de faisceaux laser. Ces radars ont une assez grande portée. Ils permettent également, avec les modèles plus récents, d'avoir une vision en 3 dimensions de l'espace. Ils sont cependant assez coûteux.
- Les capteurs ultrasons fonctionnant avec des ondes sonores. Ces radars émettent des ondes sonores à hautes fréquences, dites ultrasons, pour appréhender l'espace. Ce type de radars est utilisé pour identifier les obstacles assez proches car les ondes sonores n'ont pas une grande portée et ne permettent pas d'avoir une précision énorme.

Tous ces appareils de mesures sont donc très importants dans l'élaboration des voitures autonomes. De plus, ils doivent être présents en très grand nombre pour être sûr de l'information qu'ils fournissent. En effet, le système d'intelligence artificielle va pouvoir regrouper les différentes informations fournies par les capteurs afin d'être sûr de leur véracité. En outre, le fait d'avoir un très grand nombre de capteurs permet également de continuer à recevoir les informations malgré la défaillance d'un des capteurs.

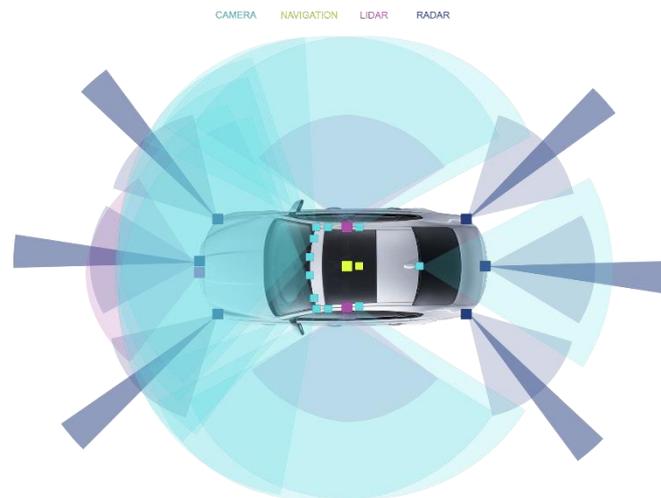


Figure 6 - Zone couverte par les différents capteurs

Les véhicules autonomes sont également équipés d'un système de localisation et de guidage grâce à un GPS. Ils vont ainsi pouvoir calculer par eux même la meilleure route pour rejoindre leur destination.

Pour finir, les véhicules possèdent également différents moyens de communications avec le conducteur et les passagers. En effet, la plupart des voitures autonomes possèdent un écran central permettant au conducteur de fournir les informations de navigation au véhicule et inversement. De plus, le véhicule peut également prévenir le conducteur des dangers via des bruitages sonores ou bien encore des lumières.

4.2. Les enjeux des véhicules autonomes

Longtemps confinée au monde de la science-fiction, la voiture autonome fait petit à petit son entrée dans le monde et ses constructeurs entendent démocratiser son utilisation. Avant de pouvoir révolutionner le monde de l'automobile, la voiture autonome doit répondre à de nombreuses attentes, et faire face à de nombreux défis.

Quels sont alors les atouts et les inconvénients des voitures autonomes et quels enjeux présente-t-elle ?

4.2.1. Les avantages des voitures autonomes

Présentant une opportunité en or pour les constructeurs automobiles, les particuliers voient leur quotidien évoluer grâce à ces voitures nouvelles génération.

En effet, l'un des principaux avantages des voitures autonomes est la réduction du stress lors d'un trajet. Les conducteurs ne se soucieront plus d'éléments comme la gestion de la vitesse ou encore l'embrayage et pourront ainsi être détendus au cours des trajets. De plus, le nombre d'accidents sur le long terme pourrait être limité car la quantité d'erreurs humaines serait moins conséquentes.

Le véhicule autonome pourrait être un très grand atout pour les personnes en situation de handicap. Par le fait d'éviter le recours aux services d'un tiers, le véhicule autonome contribue à favoriser l'autonomie.

Enfin, les voitures autonomes facilitent les manœuvres pour se garer et optimisent l'espace de stationnement qui est très bénéfique dans les villes où le stationnement n'est pas toujours facile.

4.2.2. Les limites des voitures autonomes

Bien qu'elles présentent de nombreux attraits, les voitures autonomes font face à de nombreux défis et interrogations.

Malgré le fait que l'erreur humaine au volant soit omniprésente, cela peut tout aussi être le cas des véhicules autonomes. En effet, les conditions météorologiques extrêmes sont des facteurs qui peuvent perturber le fonctionnement du véhicule et des caméras dont il est équipé.

De plus, le système informatique contenu dans les voitures autonomes peuvent faire l'objet de défaillance ou de tentative de piratage. Les risques d'ingérence informatique est une problématique qui ne faut pas négliger.

Enfin, les voitures autonomes ne sont pas accessibles à tous. En effet, leur coût est plus important que les voitures classiques en raison de leur technologie avancée.

4.2.3. Les différents enjeux

Afin de favoriser son adoption par le plus grand nombre, plusieurs enjeux doivent être pris en compte autour de la voiture autonome. Nous avons donc identifié les principaux enjeux auxquels cette dernière doit faire face.

4.2.3.1. Les enjeux sécuritaires

Malgré les avancées technologiques sur l'amélioration des risques d'accidents, les voitures autonomes comprennent tout de même leurs lots d'incertitudes.

En effet, l'un des plus gros défis concernant les voitures autonomes connectées porte sur la cybersécurité et l'utilisation des données récoltées. De nombreuses réticences autour de la protection et de l'usage des données personnelles enregistrées par le véhicule persistent. Développer un système de cybersécurité est donc primordial pour l'instauration des voitures autonomes.

4.2.3.2. Les enjeux sociaux

Le monde qui nous entoure s'étend rapidement et l'intelligence artificielle prend une part de plus en plus importante dans la construction des véhicules autonomes. Cependant le développement de ces véhicules permettra-t-il d'atteindre de meilleures normes de sécurité et d'équité sociale ? Une étude menée par l'observatoire Cetelem en 2016 [15] a révélé que 3 automobilistes sur 4 soutiennent l'idée que la voiture autonome deviendra une réalité, cependant seulement 55% d'entre eux pensent en acheter une. Cette étude est la preuve même du scepticisme du grand public à l'idée de voyager dans véhicules pilotée par une intelligence artificielle.

Malgré le fait que les véhicules autonomes permettent aux personnes en situation de handicap d'être plus autonomes, ce type de technologies reste tout de même au cœur de quelques réticences.

En effet, de nombreuses personnes doutent de la fiabilité du système au respect du code de la route ou encore à la sécurité des données personnelles des conducteurs. C'est la raison pour laquelle les constructeurs automobiles devront fournir des efforts conséquents pour tenter de reconforter les sceptiques.

5. UNE SOLUTION D'AVENIR

5.1. Comment ces technologies vont changer notre quotidien

Les moteurs à hydrogène et les véhicules autonomes sont tous deux des technologies très prometteuses. Elles sont vouées à changer et à améliorer notre utilisation actuelle des véhicules. Pour le moment, les voitures autonomes sont en phase d'essai et les moteurs à hydrogène ne sont pas encore produits en quantité industrielle. Cependant, les spécialistes s'accordent à dire que de telles technologies vont changer nos habitudes.

L'industrie automobile s'est lancée dans le concept de CASE pour Connectée, Autonome, Partagée (Shared) et Électrique. Ces quatre mots décrivent comment les constructeurs, producteurs, designers conçoivent la voiture de demain. Dans notre utilisation de tous les jours, la voiture pourrait alors devenir partagée et non personnelle. En effet, avec une autonomie totale, on peut facilement s'imaginer commander une voiture sur une application, comme on pourrait le faire aujourd'hui sur Uber, mais avec la possibilité d'aller plus loin et d'utiliser la voiture plus longtemps. La voiture peut se déplacer seule à n'importe quel endroit et peut emmener l'utilisateur où il le souhaite facilement, et en sécurité grâce à la connectivité entre tous les équipements de la route. Plus besoin donc d'acheter sa voiture ou d'avoir le permis pour se déplacer seul dans une voiture.

Actuellement, les voitures autonomes fonctionnent majoritairement avec des batteries. Mais les moteurs hydrogène pourraient améliorer celles-ci. On sait que les batteries posent un grand problème au niveau écologique, et une grande autonomie demande d'avoir une grande batterie. Aussi, le rechargement électrique nécessite une plus importante production d'électricité, alors qu'elle devra déjà être plus grande pour supporter la gestion des données de tous les véhicules en temps réel. La motorisation hydrogène peut donc aider face à ces freins car elle utilise des batteries plus petites pour fonctionner et que le moteur hydrogène à une durée de vie plus longue. De plus, un chargement entier en hydrogène dure 5 minutes pour 500km, contrairement à l'électrique où cela prend plusieurs heures, ce qui permet d'aller beaucoup plus loin en moins de temps, et d'utiliser moins de véhicules.

Les véhicules autonomes mêlés à la motorisation hydrogène promettent donc de belles avancées et de grands changements dans le futur du transport.

5.2. Plan du gouvernement et opinion du grand public

Ces grandes avancées promises par le milieu de l'automobile ne se feront pas sans l'opinion publique et des aides du gouvernement. C'est pour cela que nous allons voir ce qu'il en est, d'abord des mesures prises par le gouvernement puis l'avis général sur la motorisation hydrogène d'une partie de nos camarades de STPI2 à l'aide d'un sondage que nous avons réalisé.

Comme nous avons pu le voir brièvement dans la partie sur les enjeux du moteur hydrogène, le gouvernement planifie le lancement de l'hydrogène en France via le plan de la transition écologique dirigé par les ministères de la transition écologique, du transport et des finances [16]. Il mise tout d'abord sur l'utilisation d'un hydrogène décarboné et sur une diminution de l'empreinte carbone actuelle de la production de l'hydrogène et planifie en 2028 que la production d'hydrogène soit décarbonée de 20 à 40%. Le gouvernement souhaite aussi investir dans l'hydrogène afin de lancer une production à échelle industrielle et ainsi baisser les coûts et atteindre une rentabilité de la production pour tous les types de motorisation hydrogène. Pour finir, le gouvernement souhaite aussi que les moteurs hydrogène soient non seulement développés pour les voitures et les petits véhicules mais aussi sur de plus gros moyens de transport, comme les trains, les bateaux et les poids-lourds.

Malgré la promotion de l'hydrogène par le gouvernement, la motorisation hydrogène reste assez peu connue par le grand public. Nous avons donc décidé de faire un sondage auprès de nos camarades de 2ème année afin de voir quels avis portent des étudiants-ingénieurs sur le sujet de l'hydrogène. Après avoir recueilli 61 réponses nous avons pu les étudier. (Voir Annexes)

Nous avons pu apprendre de ce sondage que même parmi des étudiants en école d'ingénieurs, l'hydrogène reste peu connu. Cependant l'énergie hydrogène porte tout de même une image très positive et écologique. Elle est d'ailleurs considérée comme utile à la transition écologique. Il reste malgré tout des appréhensions sur cette motorisation, notamment sur le coût ainsi que le caractère explosif de l'hydrogène. Néanmoins, 1 personne sondée sur 5 choisirait une voiture hydrogène si elle en avait la possibilité.

5.3. Les recherches actuelles

Dans le contexte actuel, il est intéressant de se pencher sur les recherches effectuées aujourd'hui pour améliorer la motorisation hydrogène.

Tout d'abord, au niveau de la production hydrogène, les recherches s'orientent principalement sur l'utilisation de l'électrolyse pour produire de l'hydrogène moins impactant écologiquement. En effet, comme dit précédemment, l'hydrogène est aujourd'hui principalement produit à partir de méthane ou de pétrole de manière polluante. Ainsi, la production de cet hydrogène par l'électrolyse est une solution prometteuse. Cependant, elle est bien plus onéreuse. Les chercheurs cherchent donc à optimiser cette technologie pour réduire son coût.

On observe également des recherches sur les moteurs utilisant l'hydrogène pour fonctionner. Par exemple, la start-up Keyou effectue des recherches sur les moteurs thermiques adaptés à l'hydrogène. Cette entreprise propose également de rénover des moteurs diesels pour les adapter à l'hydrogène.

Enfin, on remarque également l'arrivée récente de moteurs hybrides électriques-hydrogène. Ces types de moteurs possèdent tous les avantages des deux moteurs tout en profitant d'une autonomie plus grande. De grandes marques se sont donc appropriées cette technologie comme avec le nouveau Renault Scénic Vision [17].

6. CONCLUSION

Jusqu'à présent les véhicules autonomes sont au cœur de l'admiration des constructeurs automobiles. Présenté comme le futur de la mobilité motorisée, que ce soit en termes de sécurité, d'écologie ou de services, la voiture autonome semble interroger la pertinence des autres moyens de transports. Pourtant de nombreuses questions persistent encore au niveau des risques d'ingérence informatique ou encore sur les conditions météorologiques extrêmes. De plus, le véhicule autonome apparaît aux côtés de l'hydrogène comme une réponse technique à la crise écologique. En effet, le développement d'une filière hydrogène répond à la fois aux enjeux climatiques mais aussi à une mobilité économique viable.

De nos jours, la récession de la précarité et la dégradation environnementale menacent l'équilibre du modèle social. Alors que l'essor numérique prend de plus en plus place dans notre société, l'investissement dans les véhicules autonomes trouve son intérêt de plus en plus important. L'ensemble des interrogations soulevées par cette étude méritent donc leur place dans un débat entre experts.

Sur le plan personnel, ce projet nous a ouvert l'esprit sur de nouvelles perspectives sur ce que signifie véritablement le rôle d'un ingénieur et son impact dans l'avenir de la société.

Nous avons également beaucoup appris au sujet du fonctionnement des véhicules autonomes, de ses enjeux et de son rôle dans l'avenir d'une transition écologique.

Enfin, pour donner notre avis sur les enjeux de la motorisation hydrogène. Nous pensons que son utilisation ne sera malheureusement jamais généralisée face aux avantages du moteur électrique. Cependant, les recherches sur l'hydrogène ne s'arrêtent pas aux moteurs. En effet, les recherches actuelles sur l'hydrogène pourraient permettre par exemple son utilisation pour stocker de l'énergie. Par ailleurs, concernant les voitures autonomes, nous pensons que cette technologie va de plus en plus se démocratiser dans les années à venir.

7. BIBLIOGRAPHIE

PARTIE MOTEUR HYDROGENE

- [1] <https://youtu.be/-UHW1THD5yw>, consulté le 4 mars 2022
- [2] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur>, consulté le 4 mars 2022
- [3] https://fr.wikipedia.org/wiki/Machine_%C3%A9lectrique, consulté le 4 mars 2022
- [4] https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_%C3%A0_hydrog%C3%A8ne, consulté le 4 mars 2022
- [5] https://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/bulletin_019_08.pdf, consulté le 14 mars 2022
- [6] https://fr.wikipedia.org/wiki/Pile_%C3%A0_combustible, consulté le 4 mars 2022
- [7] https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/developpement-durable/les-promesses-de-l-hydrogene_152259, consulté le 13 mars 2022
- [8] <https://hydrogentoday.info/tout-savoir-sur-lhydrogene/fiche-n2-fonctionnement-dun-electrolyseur/>, consulté le 13 mars 2022
- [9] <https://www.hydrogene.discoverthegreentech.com/production-hydrogene/vaporeformage-methane/>, consulté le 14 mars 2022
- [10] https://fr.wikipedia.org/wiki/Stockage_de_l%27hydrog%C3%A8ne, consulté le 7 mars 2022
- [11] https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrure#Hydrures_interstitiels_des_m%C3%A9taux_de_transition, consulté le 7 mars 2022
- [12] <https://www.connaissancedesenergies.org/tribune-actualite-energies/le-duel-batteries-hydrogene-pour-la-motorisation-decarbonee-du-transport-routier>, consulté le 19 mars 2022
- [13] https://www.legifrance.gouv.fr/loda/article_lc/LEGIARTI000031047991, consulté le 19 mars 2022
- BLUNIER Benjamin et MIRAQUI Abdellatif, *20 questions sur la pile à combustible* : Technip, 2009
- BOUDELLAL Méziane, *La Pile à combustible : L'hydrogène et ses applications* : Dunod, 2012

PARTIE VOITURE AUTONOME

- [14] <https://www.matmut.fr/assurance/auto/conseils/fonctionnement-voitures-autonomes>, consulté le 23 avril 2022
- [15] <https://observatoirecelem.com/voiture-autonome>, consulté le 23 avril 2022
- LOUVEL Phillipe, EZERZERE Pierre, JOURDES Phillipe, ROBIN Fabienne, KHIMECHE Gaël, *Systèmes électroniques embarqués et transports*, 3^{ème} édition : Dunod, 2021

PARTIE SOLUTION D'AVENIR

- [16] https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Plan_deploiement_hydrogene.pdf, consulté le 30 avril 2022
- [17] <https://www.numerama.com/vroom/970929-renault-scenic-vision-melange-hydrogene-et-electrique-le-meilleur-des-deux-mondes.html>, consulté le 23 mai 2022

CREDIT D'ILLUSTRATION

Figure 1 - <http://autoreparateur.blogspot.com/2016/12/fonctionnement-du-moteurs-essence.html>

Figure 2 - <http://www.chfca.ca/fr/piles-a-combustible-et-hydrogene/a-propos-des-piles-a-combustible/>

Figure 3 – <https://static.latribune.fr/1802566/hef.jpg>

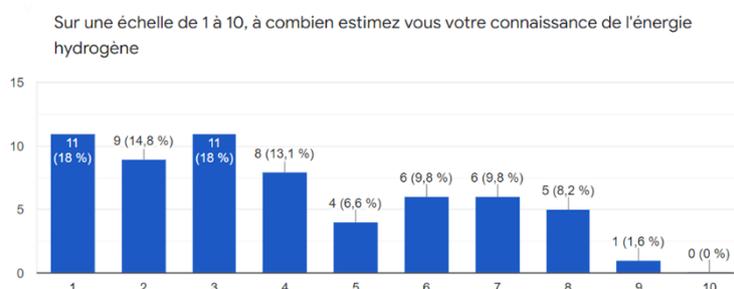
Figure 5 - https://www.autobild.es/reportajes/dummy-por-dia-seguridad-volvo-xc90-242237#modal_511

Figure 6 - https://www.sciencesetavenir.fr/high-tech/transports/interactif-les-capteurs-qui-permettent-au-vehicule-autonome-de-voir-son-environnement_124176

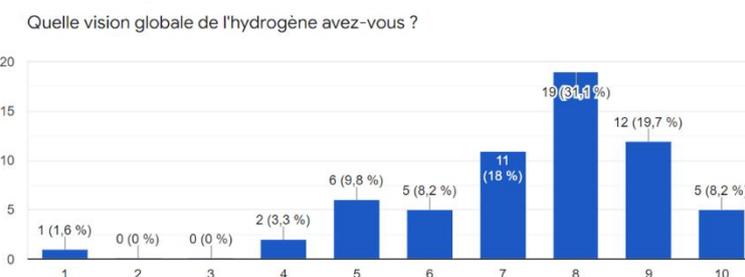
8. ANNEXES

8.1. Résultats du sondage

Tout d’abord, sur la première question « Sur une échelle de 1 à 10, à combien estimez-vous votre connaissance de l’énergie hydrogène », nous pouvons constater que plus de la moitié des sondés considèrent avoir une faible connaissance de l’énergie hydrogène. Avec une note moyenne de 4, nous pouvons dire que même parmi des étudiants-ingénieurs, l’hydrogène reste peu connu.



La deuxième question porte sur l’avis général sur cette énergie et on peut remarquer que l’hydrogène, malgré le fait qu’il soit peu connu, garde une image très positive, avec une moyenne de 7.5. On peut dire que l’hydrogène possède bien une place dans le secteur des énergies de demain, au vu de ces réponses très favorables.



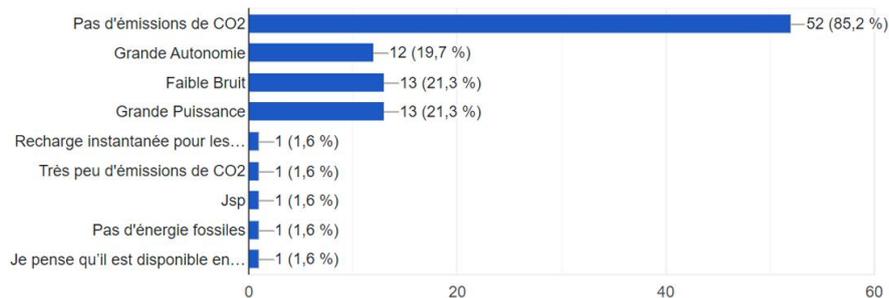
La troisième question confirme aussi la vision très positive de l'hydrogène, ici sur la transition écologique. Avec seulement 3% de réponses négatives, nous pouvons observer que l'hydrogène est une énergie considérée comme utile à la transition écologique. Il faut cependant aussi remarquer que 31% se disent ne pas être assez informés pour pouvoir répondre. La promotion de l'énergie hydrogène va donc aussi devoir s'axer sur l'impact environnemental pour convaincre.

Pensez-vous que l'hydrogène est une bonne solution pour la transition écologique ?

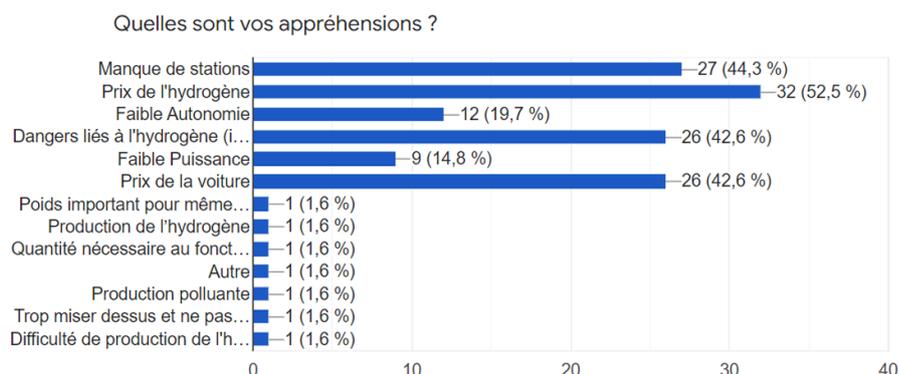


La quatrième question traite des points positifs de l'hydrogène. La proposition « pas d'émissions de CO2 » arrive largement en tête avec 85% des personnes. Comme nous avons pu le voir, le moteur hydrogène ne rejette effectivement que de l'eau lorsqu'il est utilisé mais sa production peut en rejeter. Les sondés ont donc majoritairement retenu le caractère 0 émission de l'utilisation de l'hydrogène uniquement. Arrivent ensuite quelques propositions sur une bonne autonomie/puissance, qui ne sont pourtant pas les points clés de la motorisation hydrogène puisque les moteurs utilisés sont les mêmes que ceux du quotidien. Il y a ensuite des personnes plus informées sur le sujet qui rapportent le côté inépuisable de l'hydrogène.

Quels sont les avantages que vous attribuez à l'hydrogène ?

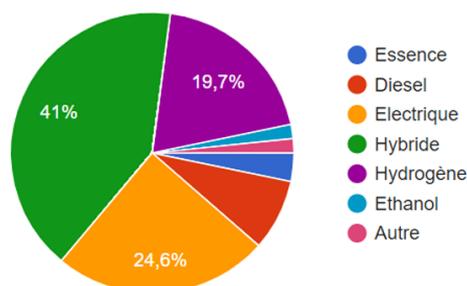


La cinquième question porte sur les points négatifs de l'hydrogène. On peut tout de suite voir que le coût, du véhicule comme de l'hydrogène, est un point très préoccupant pour les sondés. Un point de préoccupation valide puisque la production des véhicules et de l'hydrogène n'est pas encore très importante, cela faisant monter les prix. Un autre point négatif est le manque de station, là aussi légitime puisqu'il existe seulement une cinquantaine de stations en France. Les personnes sondées sont aussi inquiètes sur le caractère explosif de l'hydrogène, et le danger des fuites. Le système est pourtant très sécurisé et ne présente pas plus de risques que d'autres motorisations, la promotion de l'hydrogène doit donc aussi montrer la sécurité accordée à cette motorisation. Enfin, il y a des interrogations au sujet de la production de l'hydrogène, pas toujours écologique, ainsi que le poids du véhicule



Dans la dernière question, nous demandons aux personnes sondées quel véhicule elles achèteraient s'ils avaient tous le même prix. Le véhicule préféré est le véhicule hybride avec 41%. Il s'agit du véhicule le plus adapté et écologique avec nos installations actuelles, il est donc fortement choisi. Arrivent ensuite le véhicule électrique (24,6%) et le véhicule hydrogène (19,7%) qui sont tous les deux des véhicules importants dans la transition écologique. L'hydrogène a donc sa place et avec les installations nécessaires, pourrait séduire beaucoup de consommateurs. Enfin 8,5% choisissent de garder un véhicule diesel

Si vous aviez le choix entre plusieurs voitures au même prix, vous choisiriez :



8.2. Vidéos d'ouverture

Utilisation plus générale de l'hydrogène :

<https://youtu.be/7Bn9Gp5kuyI>

Pour un hydrogène plus vert :

https://www.youtube.com/watch?v=Z9rX1Uv_7CA

Autres utilisations de l'hydrogène :

<https://www.youtube.com/watch?v=dUv3U9w1xz4>