

ALLONS-NOUS CHOISIR L'ÉLECTRIQUE, L'HYDROGÈNE OU D'AUTRES ÉNERGIES POUR DÉPLACER NOS VOITURES ?



Constat des énergies alternatives en 2024

En 2024, les énergies alternatives comme le solaire, l'éolien et l'hydrogène vert continuent de se développer rapidement. Les avancées technologiques rendent ces sources d'énergie plus abordables et efficaces, tandis que les véhicules électriques gagnent en popularité. Malgré des défis persistants, notamment en matière de stockage et d'infrastructures, les énergies alternatives jouent un rôle croissant dans la transition vers un avenir énergétique durable.

VERS UN MIX ÉNERGÉTIQUE DÉCARBONÉ ET RÉSILIENT : EFFICACITÉ D'UNE TRANSITION RÉUSSIE !



Carburants alternatifs bas carbone

- **Biocombustibles** comme les biocarburants, le méthanol et l'éthanol
- **Gaz naturel** liquéfié (GNL)
- Pile à **combustible Ammoniac et hydrogène** produits de manière durable, considérés comme des carburants zéro carbone
- La **combustion de l'hydrogène** vert est actuellement visée comme le meilleur choix Zéro carbone. (Il ne s'agit pas du moteur à eau de M. Paul Pantone) Ce choix est sans doute celui qui demandera le plus d'investissement à court terme avant d'atteindre le meilleur taux de rentabilité
- Développement de biocarburants de première génération comme l'éthanol et le biodiesel à partir de **biomasse renouvelable** (déchets agricoles, alimentaires, algues)
- Projet de recherche sur l'utilisation potentielle du **Sargassum** comme précurseur pour la production de bioéthanol et biodiesel

Propulsion électrique et hybride

- Développement de systèmes de **propulsion électrique et hybrides** pour réduire la dépendance à la propulsion mécanique

- Utilisation de batteries et **piles à combustible** comme sources d'énergie alternatives

Nouvelles technologies de propulsion

- **Moteurs à plasma** offrant une poussée 300 fois supérieure aux moteurs chimiques conventionnels avec une fraction de la masse de carburant
- Propulsion utilisant des **alliages à mémoire de forme** qui se contractent et se dilatent pour générer la poussée, remplaçant les hélices bruyantes et visibles
- Systèmes de **propulsion utilisant des lasers** au sol pour chauffer des plaques métalliques dans l'avion et produire un jet de vapeur métallique propulsif

Carburants spatiaux alternatifs

- Utilisation d'**iode sous forme solide** comme carburant alternatif aux gaz rares coûteux comme le xénon et le krypton pour la propulsion des satellites et sondes spatiales
- Développement de techniques de **spectroscopie laser** pour caractériser les performances des moteurs à plasma à iode

QUELLE ÉNERGIE POUR LES AVIONS ?



Propulsion électrique

De nombreux acteurs de l'aéronautique, qu'il s'agisse de grands groupes comme Airbus ou de start-ups, travaillent activement sur des projets d'avions à propulsion électrique, avec des objectifs de vols d'essai dès 2024 et de mise en service commerciale d'ici 2030 pour les plus ambitieux. Bien que des défis technologiques restent à relever, l'électrification de la propulsion aérienne semble bien engagée.

Airbus développe un démonstrateur de moteur à hélice électrique alimenté par des batteries à hydrogène, qui pourrait aussi utiliser une turbine à gaz à hydrogène. L'objectif est de construire un avion à propulsion décarbonée pour 100 passagers d'ici 2035

Le **programme RISE** (Revolutionary Innovation for Sustainable Engines) de Safran et General Electric vise à créer un moteur thermique 20% plus sobre, compatible avec les carburants durables et l'hydrogène pour réduire de 80% les émissions de CO2

Avantages :

- Meilleure efficacité énergétique, moins de pertes
- Réduction des émissions de gaz à effet de serre
- Coût d'entretien réduit
- Fonctionnement silencieux

Inconvénients :

- Autonomie limitée
- Temps de recharge plus long
- Réseau de recharge encore limité
- Coût d'achat plus élevé

Propulsion hydrogène



Plusieurs acteurs majeurs de l'aéronautique comme Airbus et Pratt & Whitney travaillent activement au développement de moteurs à hydrogène pour les avions, avec des projets de vol d'essai dès 2024. Des partenariats sont aussi lancés pour équiper les aéroports en infrastructures hydrogène.

Avantages

- L'hydrogène ne produit pas de CO₂ lors de la combustion, permettant de réduire drastiquement l'empreinte carbone de l'aviation.
- Avec une technologie hybride combinant pile à combustible et turbines à hydrogène, on peut atteindre des rendements énergétiques de 70 à 90%, bien supérieurs au kérosène actuel (45-50%).
- L'hydrogène liquide permet d'envisager des avions régionaux et moyen-courriers zéro émission, même si le volume des réservoirs est un défi.
- Réduction du bruit

Inconvénients

- L'hydrogène nécessite des réservoirs 4 à 6 fois plus volumineux que le kérosène pour une même capacité énergétique. Leur forme cylindrique ou sphérique est moins adaptée que les ailes.
- L'hydrogène doit être stocké à très basse température (-250°C) et sous haute pression, ce qui complexifie la conception des réservoirs.
- La production d'hydrogène est actuellement très polluante si elle se fait par extraction de méthane. L'électrolyse de l'eau n'est propre que si l'électricité est renouvelable.
- Les avions à hydrogène n'auront probablement pas la même autonomie que les long-courriers actuels, limitant leur rayon d'action

Propulsion hybride



Airbus explore la propulsion électrique hybride pour réduire les émissions de CO₂ de ses avions de ligne, se détournant maintenant de l'hydrogène vers cette option. Ils étudient l'utilisation d'un turbopropulseur avec des moteurs électriques montés sur les ailes. Les motoristes explorent également les moteurs à rotor ouvert pour les futurs remplacements de l'Airbus A320 et du Boeing 737. L'hydrogène pourrait être limité aux petits avions en raison des défis de stockage, ce qui rend la propulsion électrique hybride plus prometteuse pour le futur remplaçant de l'A320.

Avantages :

- Combine les atouts de l'électrique et du thermique
- Réduit la consommation et les émissions
- Conserve l'autonomie et la flexibilité des véhicules thermiques

Inconvénients :

- Complexité et coût du système hybride
- Poids supplémentaire des batteries

Propulsion par biocarburants



Plusieurs projets sont en cours pour adapter les moteurs d'avions aux biocarburants, en particulier des carburants de synthèse produits à partir d'énergie solaire ou de procédés combinant gaz naturel et captage de CO₂. Cela devrait permettre de réduire drastiquement les émissions de CO₂ du transport aérien dans les années à venir, en attendant l'arrivée de solutions de propulsion plus radicales comme l'hydrogène ou l'électrique.

Avantages :

- Réduction des émissions de CO₂
- Utilisation de ressources renouvelables

Inconvénients :

- Disponibilité et coût des biocarburants
- Potentiels impacts sur l'alimentation

Aérodynamique avancée



- La NASA et Boeing collaborent sur le programme SFD (Sustainable Flight Demonstrator) pour développer un avion monocouloir économe en carburant, avec des ailes plus longues et minces créant moins de traînée, visant une réduction de 30% de la consommation

Carburants alternatifs



- Les compagnies Lufthansa et Swiss prévoient des vols dès 2023 avec du kérosène solaire produit par la firme suisse Synhelion, en concentrant le rayonnement solaire pour séparer l'eau et le CO₂ de l'air et les transformer en gaz synthétique

- Le Japon relance un projet d'avion commercial utilisant "de nouvelles technologies environnementales" comme l'hydrogène, nécessitant 5000 milliards de yens d'investissements publics et privés sur 10 ans

QUELLE ÉNERGIE POUR LES BATEAUX - NAVIRES ?



Propulsion électrique et hybride

- Développement de systèmes de propulsion électrique pour les bateaux, utilisant des moteurs électriques alimentés par batteries ou piles à combustible hydrogène
- Projet de retrofit d'un remorqueur de 105 pieds avec un système de propulsion à l'ammoniac par Amogy Inc., prévu pour fin 2023

Énergies renouvelables

- Intégration de voiles modernes ou cerfs-volants comme propulsion d'appoint sur certains navires pour réduire la consommation de carburant
- Projet de la société Aloft Systems pour déployer des systèmes de propulsion par voiles robotisées conteneurisées afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre

Biocarburants

- Développement de biocarburants de première génération comme l'éthanol et le biodiesel à partir de biomasse renouvelable (déchets agricoles, alimentaires, algues)
- Projet de recherche sur l'utilisation potentielle du *Sargassum* comme précurseur pour la production de bioéthanol et biodiesel

Autres projets

- Utilisation de l'ammoniac comme carburant alternatif zéro carbone pour les navires de charge, avec une demande potentielle de 670 à 946 millions de tonnes par an d'ici 2050
- Développement du méthanol comme deuxième carburant alternatif le plus populaire en 2022, permettant de réduire les émissions de GES

On voit une diversité de projets miser sur l'électrification, les énergies renouvelables, les biocarburants et de nouveaux carburants comme l'ammoniac ou le méthanol pour réduire drastiquement les émissions des navires. L'objectif est de permettre une navigation maritime plus verte et durable.

1 - LA COMBUSTION D'HYDROGÈNE



Principe de fonctionnement

Les moteurs à combustion interne à hydrogène (Hydrogen ICE) fonctionnent sur le même principe que les moteurs à essence ou diesel traditionnels

. L'hydrogène stocké dans un réservoir est injecté dans les cylindres où il est enflammé, faisant bouger les pistons et générant l'énergie mécanique. Cependant, quelques adaptations sont nécessaires par rapport à un moteur essence :

- Utilisation d'un taux d'excès d'air plus important (rapport air/carburant plus élevé) pour limiter la formation d'oxydes d'azote (NOx)
- Injection directe de l'hydrogène dans les cylindres plutôt que dans le collecteur d'admission pour éviter les risques de retour de flamme
- Utilisation d'huiles et matériaux compatibles avec les fortes températures et pressions de combustion de l'hydrogène

Avantages et inconvénients

Les principaux avantages des moteurs à hydrogène sont :

- Émissions nulles (seule de la vapeur d'eau est rejetée) si l'hydrogène est produit de manière propre
- Possibilité de convertir des moteurs existants (retrofit) pour décarboner rapidement
- Coûts de production et maintenance potentiellement plus faibles qu'une pile à combustible

Mais ils présentent aussi des défis :

- Performances encore inférieures à un moteur essence, surtout en mode retrofit
- Nécessité d'adapter en profondeur la conception du moteur pour optimiser les performances
- Manque actuel de déploiement des infrastructures de distribution d'hydrogène

Projets en développement

Plusieurs constructeurs travaillent sur des moteurs à hydrogène :

- BMW a testé la berline Hydrogen 7 équipée d'un moteur 12 cylindres essence/hydrogène
- Tata a investi 400 millions d'euros pour construire une usine en Inde visant une production de 4000 moteurs à hydrogène par an
- L'entreprise française EHM développe un moteur de 350 chevaux pour la mobilité lourde (autocars, camions)

Le moteur à combustion hydrogène apparaît comme une solution intéressante pour décarboner rapidement les transports, en s'appuyant sur les technologies existantes. Mais des progrès restent nécessaires pour optimiser ses performances et son efficacité face à d'autres solutions comme les piles à combustible.

2 - LES PILE À COMBUSTIBLE



Principe de fonctionnement

Une pile à combustible convertit l'hydrogène et l'oxygène en électricité et en eau. Cette électricité produite alimente ensuite un moteur électrique destiné à la propulsion du véhicule, comme dans une voiture électrique ou hybride. Une batterie stocke le surplus d'énergie.

Les véhicules à pile à combustible représentent une technologie émergente complémentaire aux véhicules électriques à batterie, constituant ainsi une nouvelle génération de véhicules "propres" avec une autonomie accrue. Contrairement aux véhicules électriques, les véhicules à hydrogène n'ont pas besoin d'être rechargés par une source d'électricité externe, mais sont alimentés par de l'hydrogène, permettant un processus de chargement plus rapide. De plus, ils offrent une autonomie supérieure, facilitant les déplacements sur de plus longues distances sans nécessiter de recharge externe, puisque l'hydrogène se régénère naturellement.

Par ailleurs, la chaleur produite par la pile à combustible peut être utilisée pour chauffer l'habitacle en hiver, sans solliciter la batterie. Comme les véhicules électriques, les véhicules à hydrogène sont silencieux en circulation, offrant un confort de conduite appréciable, sans restrictions d'utilisation géographique par rapport à certains carburants traditionnels.

Ainsi, les véhicules à hydrogène combinent les avantages des véhicules électriques tout en palliant certains de leurs inconvénients, offrant ainsi une solution plus flexible et autonome pour les déplacements écologiques.

Avantages et inconvénients

Les principaux avantages des piles à combustible sont :

- Rendement de 50 à 70%
- Très performantes pour les moteurs de petite cylindrée

Mais elles présentent aussi des défis :

- Coûts encore élevés
- Durabilité et fiabilité inférieures à un moteur à combustion interne pour une utilisation intensive
- Poids du véhicule + 25%

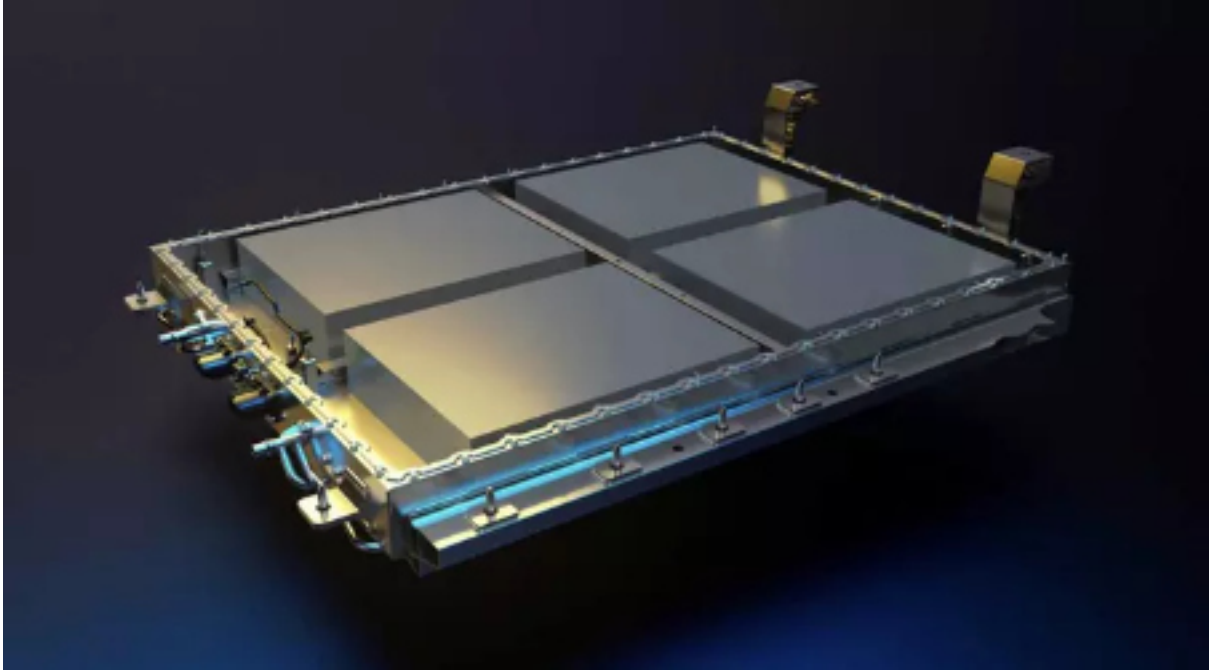
Comparaison avec les moteurs à combustion interne

La principale différence est le processus d'utilisation de l'hydrogène :

- Pile à combustible : conversion en électricité pour alimenter un moteur électrique
- Moteur à combustion : mélange avec de l'air dans une chambre de combustion, inflammation pour créer une explosion contrôlée générant de l'énergie mécanique

Certains estiment que les moteurs à combustion interne à hydrogène sont supérieurs aux piles à combustible en termes de durabilité, fiabilité et coûts, les rendant plus adaptés pour une utilisation intensive sur les véhicules lourds. Mais pour les petits moteurs, les piles restent plus performantes. En résumé, la pile à combustible apparaît comme une solution intéressante pour la propulsion électrique des véhicules, avec un bon rendement, mais qui doit encore progresser sur les coûts et la durabilité face aux moteurs à combustion interne à hydrogène pour certaines applications.

3 - LES BATTERIES SOLIDES



Les batteries solides utilisent un électrolyte solide au lieu de l'électrolyte liquide des batteries lithium-ion classiques. Cet électrolyte solide permet de transporter les ions lithium entre l'anode et la cathode.

Avantages potentiels

Les batteries solides promettent plusieurs avantages par rapport aux batteries lithium-ion :

- Meilleure sécurité grâce à l'électrolyte solide, réduisant les risques d'incendie
- Densité énergétique plus élevée permettant des autonomies supérieures à 1000 km
- Rechargement plus rapide
- Coûts de production potentiellement plus faibles à terme

Défis technologiques

Malgré ces promesses, les batteries solides font encore face à des défis technologiques importants :

- Maîtrise de la production à grande échelle pas encore acquise
- Problèmes d'interface entre l'électrolyte solide et les électrodes
- Nécessité de travailler sous forte pression lors de l'assemblage

Projets de développement

Plusieurs constructeurs automobiles et entreprises investissent massivement dans les batteries solides :

- ProLogium prévoit une production dès 2026 après 5,2 milliards d'euros d'investissements
- Volkswagen vise une production en 2025 via sa filiale Quantum Space
- Toyota ambitionne aussi une production en 2025

Mais les experts estiment que la production industrielle ne sera pas maîtrisée avant la fin de la décennie, voire 2035. En résumé, les batteries solides apparaissent comme une technologie prometteuse pour l'avenir des véhicules électriques, mais nécessitent encore des progrès avant d'être déployées à grande échelle. Les constructeurs misent gros sur ce pari technologique.

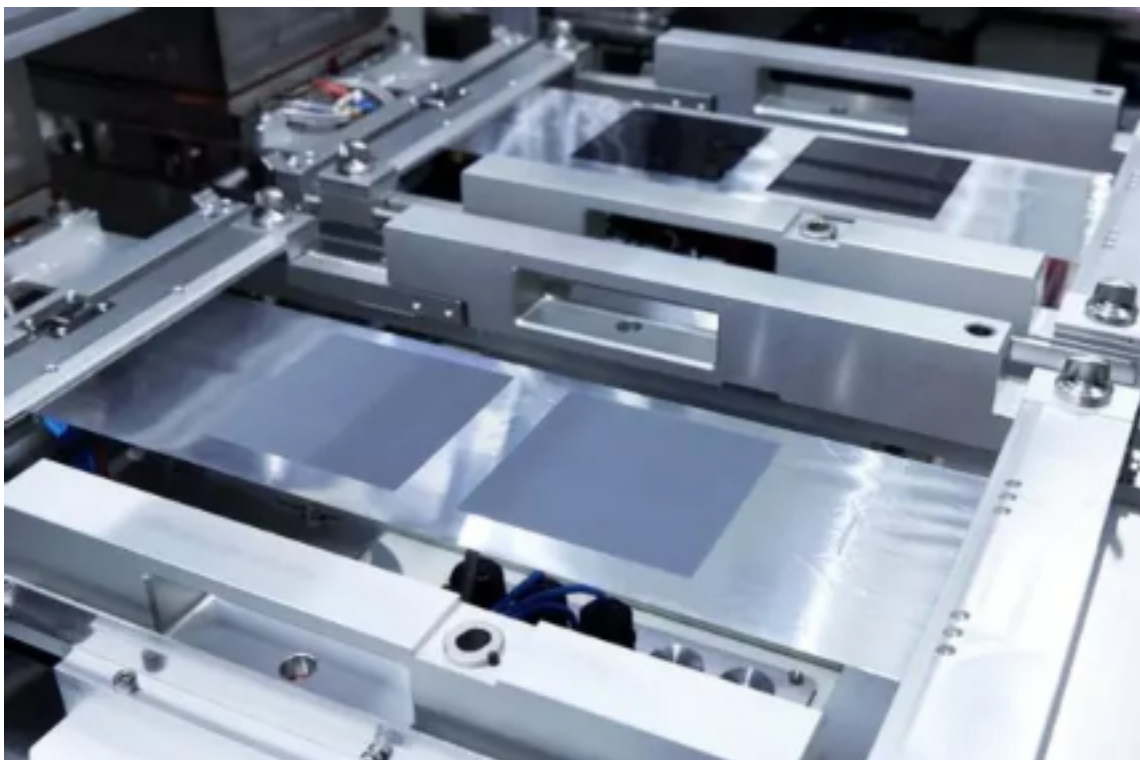
Principe de fonctionnement

- L'électrolyte solide, généralement composé de céramique, de polymères ou de verre, est inséré entre l'anode et la cathode
- Lors de la charge, les ions lithium s'éloignent de la cathode et traversent la structure atomique de l'électrolyte solide pour atteindre l'anode
- Le processus s'inverse lors de la décharge, les ions lithium retournant de l'anode vers la cathode à travers l'électrolyte

Avantages potentiels

- Meilleure sécurité grâce à l'absence de liquide inflammable
- Densité énergétique plus élevée permettant des autonomies supérieures à 1000 km
- Rechargement plus rapide
- Meilleure endurance avec jusqu'à 10 000 cycles de recharge

Comment est fabriquée une batterie solide



Composition

Une batterie solide est composée de trois éléments principaux :

- Une anode (borne positive)
- Une cathode (borne négative)
- Un électrolyte solide inséré entre les deux, qui remplace l'électrolyte liquide des batteries lithium-ion classiques

Principe de fonctionnement

Lors de la charge :

- Les ions lithium s'éloignent de la cathode
- Ils traversent la structure atomique de l'électrolyte solide pour atteindre l'anode

Le processus s'inverse lors de la décharge :

- Les ions lithium retournent de l'anode vers la cathode à travers l'électrolyte solide

Défis de fabrication

La fabrication à grande échelle de batteries solides fait face à plusieurs défis technologiques :

- Maîtrise de la production industrielle pas encore acquise
- Problèmes d'interface entre l'électrolyte solide et les électrodes
- Nécessité de travailler sous forte pression lors de l'assemblage
- Risque de réaction de l'électrolyte avec l'humidité, obligeant à une fabrication en atmosphère contrôlée

Matériaux de l'électrolyte solide

Trois familles de composés sont envisagées pour l'électrolyte solide :

- Les oxydes, qui conduisent très bien les charges mais alourdissent la batterie
 - Les polymères (plastiques haute performance), moins bons conducteurs mais plus faciles à fabriquer à grande échelle
 - Les sulfures, qui présentent une forte conductivité ionique
-

LES CARBURANTS UTILISÉS POUR LES FUSÉES SONT-ILS BAS CARBON ?



Types de carburants courants

Les combinaisons de carburants les plus courantes pour les fusées sont :

- Oxygène liquide (LOX) et hydrogène liquide (LH2)
- Oxygène liquide (LOX) et méthane liquide
- Oxygène liquide (LOX) et kérosène

Le moteur RS-25 utilisé par la NASA pour le système de lancement spatial Artemis fonctionne avec le couple LOX/LH2. Mais certaines fusées en développement comme le lanceur Raptor de SpaceX utilisent plutôt le couple méthane liquide/LOX.

Caractéristiques de performance

Deux caractéristiques importantes des carburants de fusées sont :

- La poussée, qui mesure le potentiel de force de réaction du carburant et le poids que la fusée pourra soulever
- L'impulsion spécifique (Isp), qui définit l'efficacité du carburant pour convertir sa masse en poussée sur une durée donnée

Le couple LOX/LH2 présente la plus haute impulsion spécifique, mais une poussée moindre que le LOX/kérosène. Les moteurs à LOX/LH2 ont besoin de moins de carburant mais ont une poussée plus faible.

Défis techniques

Certains carburants comme l'hydrogène liquide ont un point d'ébullition extrêmement bas, nécessitant un refroidissement cryogénique. Cela peut compliquer leur utilisation pour la

propulsion des fusées. Pour justifier leur choix, les avantages des carburants doivent surpasser les coûts et difficultés liés à ces exigences techniques. En résumé, le choix du carburant pour une mission de fusée dépend d'un compromis entre poussée, impulsion spécifique et contraintes techniques. Les couples LOX/LH2 et LOX/méthane sont actuellement les plus utilisés pour leur performance.

QUE FAUT-IL ENCORE POUR CONVAINCRE LES CONDUCTEURS À CHANGER POUR UN VÉHICULE À ZÉRO ÉMISSION OU BAS CARBONE ?



Avantages environnementaux

- Les **véhicules électriques** ont une empreinte carbone deux fois moindre que les voitures thermiques sur l'ensemble du cycle de vie, en prenant en compte la fabrication et la fin de vie des batteries.
- Avec le développement des énergies renouvelables et l'amélioration des **technologies des nouvelles batteries "SOLIDES"**, l'empreinte carbone des voitures électriques va probablement encore diminuer dans les prochaines années.
- L'empreinte carbone des **véhicules utilisant l'hydrogène** pour les **piles à combustible** ou par **combustion interne** dépend fortement du mode de production de l'hydrogène. En effet, l'empreinte carbone des véhicules à hydrogène dépend fortement de la façon dont est produit l'hydrogène. Avec de l'hydrogène vert, l'empreinte carbone devient nulle ou très proche du Zéro.

Réglementation

- L'Union Européenne a voté l'interdiction de la vente de voitures thermiques neuves d'ici à 2035 (diesel, essence et hybride).

- La norme CAFE limite à 95 g par kilomètre le taux de CO2 émis par les véhicules mis sur le marché.

Praticité

- 95% des déplacements en voiture des Français ne dépassent jamais les 300 km, autonomie moyenne des voitures électriques avec une batterie de 50 kWh.
- Le déploiement des bornes de recharge, notamment en zones urbaines, facilite l'utilisation des véhicules électriques au quotidien.
- Remplacement progressif du pétrole (essence, diesel, GPL...) dans les stations services par de l'hydrogène ou de bornes électriques

Incitations financières

- Les pouvoirs publics misent de manière importante sur le véhicule électrique pour répondre aux objectifs de décarbonation des transports d'ici 2050.
- Des aides à l'achat et des bonus écologiques existent dans de nombreux pays pour favoriser la transition vers des véhicules plus propres.

LES DIVERSES MÉTHODES DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE : QUELLES SONT-ELLES ?



Hydrogène vert

L'hydrogène vert est produit par électrolyse de l'eau en utilisant uniquement des énergies renouvelables comme source d'électricité (énergie hydraulique, éolienne, solaire). C'est le procédé le plus propre pour fabriquer de l'hydrogène.

Hydrogène bleu

L'hydrogène bleu est produit à partir de gaz naturel, en capturant et stockant le CO2 émis lors du processus de fabrication. Il est moins émetteur de CO2 que l'hydrogène gris mais plus que l'hydrogène vert.

Hydrogène gris

L'hydrogène gris est produit à partir de gaz naturel ou de charbon, sans capturer le CO2 émis. C'est le procédé le plus polluant pour fabriquer de l'hydrogène.

Autres procédés

D'autres procédés de fabrication existent, comme la gazéification du charbon ou la pyrolyse du méthane, mais ils sont moins développés à grande échelle. En résumé, les principales options pour produire de l'hydrogène sont :

- L'électrolyse de l'eau avec des énergies renouvelables (hydrogène vert)
- La réforme du gaz naturel avec captage du CO2 (hydrogène bleu)
- La réforme du gaz naturel ou la gazéification du charbon sans captage (hydrogène gris)

Le choix dépend des sources d'énergie disponibles et des objectifs de réduction des émissions de CO2. L'hydrogène vert est la solution la plus écologique mais aussi la plus coûteuse actuellement.

QUELLES SOLUTIONS ENVISAGER POUR UTILISER UNIQUEMENT L'HYDROGÈNE VERT



La production d'hydrogène vert par électrolyse de l'eau avec des énergies renouvelables représente le moyen le plus écologique de fabriquer de l'hydrogène, en éliminant les émissions de CO2. Cette méthode nécessite que l'électricité

proviennent de sources renouvelables telles que le solaire ou l'éolien. L'hydrogène ainsi produit peut être utilisé dans des véhicules à pile à combustible, offrant ainsi une solution de transport sans émissions au niveau du pot d'échappement.

De plus, l'hydrogène vert peut être utilisé pour produire des carburants synthétiques écologiques pour les moteurs à combustion interne en combinant l'hydrogène avec du CO₂ capturé, ce qui permet de remplacer les carburants fossiles par une alternative renouvelable. Il peut également décarboner certains processus industriels, comme la pétrochimie ou la sidérurgie, en remplaçant l'hydrogène gris par de l'hydrogène vert, réduisant ainsi significativement les émissions de CO₂ dans ces secteurs.

Enfin, L'hydrogène vert peut servir de vecteur de stockage pour l'électricité produite par les énergies renouvelables, contribuant ainsi à stabiliser la production et la consommation d'électricité. En somme, l'hydrogène vert présente de nombreuses possibilités pour décarboner les transports, l'industrie et le système énergétique, nécessitant une production massive via l'électrolyse de l'eau avec des énergies renouvelables.

LES RISQUES LIÉS AU CHANGEMENT !

LES DANGERS LIÉS À L'UTILISATION DE L'HYDROGÈNE DANS LE TRANSPORT ?

Inflammabilité élevée

L'hydrogène est un gaz très inflammable, avec une plage d'inflammabilité dans l'air beaucoup plus large que celle du gaz naturel ou des carburants liquides. Il peut s'enflammer facilement et brûler à haute température.

Risque de formation de nappes

En cas de fuite, l'hydrogène a tendance à former des nappes au sol qui peuvent s'enflammer à distance. Sa légèreté le fait remonter rapidement dans l'atmosphère, ce qui limite les risques de formation de nappes.

Défauts d'étanchéité

Des défauts d'étanchéité peuvent survenir lors du sertissage des produits, d'un mauvais serrage ou après exposition à des vibrations répétées. Cela peut entraîner des fuites d'hydrogène.

Risques de surpression

En cas de combustion, l'hydrogène peut générer des surpressions importantes, pouvant endommager les équipements. Ses propriétés physiques (faible densité, grande diffusivité) rendent difficile la conception de systèmes étanches.

Risques cryogéniques

Sous forme liquide, l'hydrogène présente des risques cryogéniques liés à sa très basse température (-253°C)⁴. Un contact avec de l'hydrogène liquide peut provoquer des brûlures graves. En résumé, les principaux dangers de l'hydrogène sont son inflammabilité élevée, les risques de formation de nappes en cas de fuite, les défauts d'étanchéité potentiels, les risques de surpression en cas de combustion et les risques cryogéniques sous forme liquide. Une conception et une exploitation rigoureuses sont essentielles pour maîtriser ces risques.

QUELS SONT LES DANGERS LIÉS À L'UTILISATION DE BATTERIES LITHIUM POUR LE TRANSPORT ?

Risque d'incendie et d'explosion

Les batteries lithium-ion présentent un risque élevé d'incendie et d'explosion en cas de surchauffe, de dommages ou de défauts de fabrication. Les feux de batteries sont très dangereux, difficiles à éteindre et peuvent se raviver plusieurs jours après.

Émission de gaz toxiques

En cas de défaillance, les batteries lithium-ion peuvent libérer des gaz toxiques comme le fluorure d'hydrogène. L'inhalation de ces gaz est extrêmement dangereuse pour la santé.

Risque de brûlures

Le contact avec une batterie en feu ou avec l'électrolyte peut causer de graves brûlures chimiques et thermiques. Les batteries lithium-ion fonctionnent à haute tension et peuvent délivrer un courant électrique mortel.

Risque de dommages matériels

Un incendie de batterie peut se propager rapidement et causer d'importants dégâts matériels. Les batteries défectueuses peuvent endommager les appareils dans lesquels elles sont installées.

Risque de pollution environnementale

Les batteries lithium-ion contiennent des métaux lourds et des substances chimiques nocives qui peuvent polluer l'environnement si elles ne sont pas recyclées correctement. En résumé, les batteries lithium-ion présentent des risques majeurs d'incendie, d'explosion, d'émission de gaz toxiques et de brûlures. Elles peuvent

aussi causer des dommages matériels et environnementaux. Un usage et un recyclage sûrs sont essentiels pour limiter ces dangers.

QUELS SONT LES DANGERS LIÉS À L'UTILISATION D'ESSENCE OU DIESEL DANS LE TRANSPORT ?

Risque d'incendie et d'explosion

L'essence et le diesel sont des liquides très inflammables qui présentent un risque élevé d'incendie et d'explosion en cas de fuite ou de contact avec une source de chaleur. Les vapeurs d'essence sont également explosives.

Émissions polluantes

La combustion de l'essence et du diesel dans les moteurs émet de nombreux polluants nocifs pour la santé et l'environnement, comme les particules fines, les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone et les hydrocarbures imbrûlés. Cela contribue à la pollution de l'air.

Risque de détonation

L'utilisation d'une essence avec un indice d'octane trop faible pour le moteur peut entraîner un phénomène de détonation (cliquetis), qui peut endommager le moteur à long terme. Il est important de respecter les préconisations du constructeur.

Pollution des sols et des eaux

En cas de déversement accidentel, l'essence et le diesel peuvent polluer les sols et contaminer les nappes phréatiques. Ils sont toxiques pour la faune et la flore aquatiques.

Risque pour la santé

L'essence et le diesel contiennent des substances chimiques cancérigènes comme le benzène. Une exposition prolongée peut avoir des effets néfastes sur la santé, notamment par inhalation des vapeurs ou contact cutané. En résumé, l'utilisation de carburants fossiles comporte des risques non négligeables d'incendie, de pollution et de danger pour la santé. Le développement de motorisations alternatives plus propres, comme l'électrique ou l'hydrogène, permettrait de réduire ces risques.

QUEL SONT LES PAYS QUI MISE SUR L'ADOPTION DE VÉHICULES À HYDROGÈNE ?

Plusieurs pays misent actuellement sur l'adoption de l'hydrogène pour les véhicules, voici quelques exemples :

- Le Japon pousse fortement pour une société basée sur l'hydrogène. Le pays dispose actuellement de la plus grande installation au monde pour produire de l'hydrogène à partir d'énergies renouvelables, le champ de recherche sur l'énergie hydrogène de Fukushima (FH2R)³.
- L'Allemagne a une stratégie nationale en matière d'hydrogène avec un plan d'action de 38 mesures. Le pays compte actuellement 90 stations-service à hydrogène, le deuxième plus grand réseau après les 135 du Japon.
- La Corée du Sud et Hyundai prévoient 2,9 millions de véhicules électriques à pile à combustible d'ici à 2040. Le consortium HyNet du pays prévoit de construire 100 nouvelles stations de ravitaillement en hydrogène d'ici l'année.
- La Chine a un plan pour une économie de l'hydrogène qui prévoit plus d'un million de véhicules à pile à combustible et 1 000 stations-service d'ici 2030³.
- La France a présenté sa stratégie nationale en matière d'hydrogène en 2020, avec 7,2 milliards d'euros d'investissement d'ici 2030, dont 1,5 milliard pour les usines d'électrolyse et 1 milliard pour les poids lourds.
- Les Pays-Bas vont investir 125 millions d'euros jusqu'en 2027 pour promouvoir l'usage de l'hydrogène comme carburant, avec pour objectif de construire une quarantaine de stations et de mettre en service plusieurs milliers de véhicules

QUEL SONT LES PAYS QUI MISE SUR L'ADOPTION DES VÉHICULES ÉLECTRIQUE ?

- La Norvège a multiplié les mesures incitatives pour favoriser la mobilité électrique, comme la taxation des véhicules polluants et des primes à l'achat de voitures électriques. Cela en fait un des pays les plus avancés dans ce domaine.
- La Chine compte près de 2 millions de bornes de recharge sur son territoire, soit 4 fois plus que l'Europe. Le gouvernement chinois pousse fortement le développement des véhicules électriques.
- Aux États-Unis, la Californie est un territoire pionnier, notamment grâce à une population sensibilisée aux enjeux environnementaux et un pouvoir d'achat élevé.
- En France, les ventes de voitures électriques ont atteint 20,3% du marché en 2023, plaçant le pays au 14e rang mondial pour l'adoption de l'électrique.
- De nombreux autres pays comme l'Allemagne, le Royaume-Uni, les Pays-Bas, la Suède, la Suisse, le Canada, le Japon ou la Corée du Sud figurent parmi les nations les plus avancées dans la transition vers la mobilité électrique