

EXEMPLE DE DÉBAT

VOITURE ÉLECTRIQUE : LAQUELLE CHOISIR ?

Cette activité a pour but d'organiser un débat autour du choix du mode d'alimentation d'un moteur électrique de voiture.

Le professeur, après avoir présenté les règles d'un débat, demande aux élèves de prendre connaissance (hors la classe) d'une fiche méthode sur l'argumentation, ainsi que des dossiers de presse en annexes de ce document : un dossier sur la voiture électrique à batterie lithium-ion et un autre sur la voiture électrique à pile à hydrogène.

En classe, les élèves débattent par petits groupes, chacun ayant choisi un rôle au préalable à partir d'un sondage. Ils ont à proposer un argumentaire en faveur de l'une ou l'autre des batteries d'alimentation des voitures électriques.

En fin de séance, une mise en commun permet de dégager les arguments formulés au sein des différents petits groupes.

Prérequis

Fonctionnement de la pile à hydrogène (enseignement scientifique de terminale)

Réaliser un bilan énergétique (collège cycle 4)

Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie (enseignement scientifique de terminale).

Cette séance peut être précédée par l'activité « LES ATOUS DE L'ÉLECTRICITÉ », proposée dans les ressources « GRIESP 2019-2020 – Histoire des sciences », activité au cours de laquelle le fonctionnement succinct de la pile à hydrogène est présenté ainsi qu'un exemple de calcul de rendement.

Références aux programmes

Objectifs généraux de formation de l'enseignement scientifique de terminale

Identifier et mettre en œuvre des pratiques scientifiques

Cet enseignement contribue au développement des compétences langagières orales à travers notamment la pratique de l'argumentation.

Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement

Les sociétés modernes sont profondément transformées par la science et ses applications technologiques. La compréhension de ces transformations est indispensable à la prise de décision ; elle distingue l'approche purement scientifique d'autres approches (économiques, éthiques, etc.).

Les activités humaines exercent sur l'environnement des effets que la science permet de comprendre et de contrôler.

Objectifs thématiques de l'enseignement scientifique en terminale

Thème 2 : le futur des énergies

Histoire, enjeux, débat : Les accumulateurs électrochimiques dans la société

Partie 2.2 Les atouts de l'électricité

Savoirs

Trois méthodes permettent d'obtenir de l'énergie électrique sans nécessiter de combustion [notamment] la conversion électrochimique (piles ou accumulateurs conventionnels, piles à hydrogène).

Pour faire face à l'intermittence liée à certains modes de production ou à la consommation, l'énergie électrique doit être convertie sous une forme stockable [notamment] l'énergie chimique (accumulateurs).

Savoir-faire

Analyser des documents présentant les conséquences de l'utilisation de ressources géologiques (métaux rares, etc.).

Comparer différents dispositifs de stockage d'énergie selon différents critères (masses mises en jeu, capacité et durée de stockage, impact écologique).

Compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

S'approprier : rechercher et organiser l'information en lien avec la problématique étudiée.

Analyser/ Raisonner : formuler des hypothèses.

Communiquer : présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente en utilisant un vocabulaire adapté.

Compétences travaillées dans le cadre de la prise de parole en interaction

Ecouter de façon active, argumenter, exprimer son point de vue, revisiter son opinion et la faire évoluer, reformuler, synthétiser.

Etre tolérant et travailler en groupe.

Compétences CRCN¹-Compétences numériques (Référentiel PIX²)

Domaine 5 : Environnement numérique ; Évoluer dans un environnement numérique (se connecter à un ENT, utiliser ses fonctionnalités ; retrouver des ressources et des contenus dans un environnement numérique).

Commentaire

Cette séance de débat portant sur les véhicules électriques est aussi en lien avec un des **objectifs relatifs au développement durable**³. En effet, le débat vise à renforcer l'esprit critique et la citoyenneté des élèves tout en les sensibilisant aux enjeux du développement durable, plus précisément l'objectif n°13 : « lutte contre les changements climatiques ».

¹ CRCN : Cadre de référence des compétences numériques : <https://eduscol.education.fr/pid38816/certification-des-competences-numeriques.html> / <https://eduscol.education.fr/pid38818/enseignants.html#lien1>

² PIX a pour objectif « d'amener chacun d'entre nous à cultiver ses compétences numériques et à valoriser ses acquis, et ce tout au long de sa vie. » : <https://pix.fr/>

³ <https://www.education.gouv.fr/les-objectifs-de-developpement-durable-4205>

Étape 1 : préparation du débat

Éléments de mise en œuvre

En classe

Cette phase menée par le professeur en fin de séance vise à présenter la problématique, les rôles possibles pour chaque élève, et à insister sur l'intérêt et sur la finalité d'un débat en termes d'entraînement à l'oral notamment d'écoute et d'argumentation.

10 minutes : le professeur présente la ressource documentaire ci-dessous

Ressource documentaire pour l'élève

Voiture électrique : laquelle choisir ?

Nicolas Hulot, alors qu'il était ministre de la Transition écologique et solidaire, a présenté le 6 juillet 2017 le Plan Climat du Gouvernement.

Pour en finir avec les énergies fossiles et s'engager dans la neutralité carbone, ce plan prévoyait de mettre fin à la vente des voitures émettant des gaz à effet de serre d'ici 2040.

Le choix d'un véhicule électrique semble être un moyen de répondre aux objectifs de développement durable dont le but est de satisfaire les besoins actuels des populations, sans pour autant compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs.

Deux catégories de voitures électriques sont en concurrence : la voiture électrique à batterie lithium-ion et la voiture électrique à pile à hydrogène. Laquelle choisir ?

Et si on en débattait ?

À quoi sert un débat ?

« Le débat sert à rencontrer des gens qui ne sont pas comme vous, qui ne sont pas d'accord avec vous, de manière à échanger, confronter vos opinions et à partir de là faire évoluer et approfondir votre propre pensée. »

Michel TOZZI, didacticien du débat

« Si le citoyen veut pouvoir se fier à des sources d'informations qui semblent fiables, il faut qu'il ait acquis un esprit critique d'une bonne qualité qui lui permette de voir quels sont les bons arguments, les bonnes sources.

Dans beaucoup de débats télévisés on argumente très peu. On met ensemble des personnes qui ne sont pas d'accord, qui lancent des messages sans qu'aucun argument ne soit associé. C'est une menace pour la démocratie. »

Etienne KLEIN, physicien et philosophe des sciences

Comment débattre ?

Pour qu'un débat soit profitable il convient de respecter des règles de communication :

- lever la main pour pouvoir prendre la parole ;
- ne prendre la parole que lorsqu'elle nous est donnée ;

- écouter sans couper la parole ;
- prendre en compte la parole de l'autre ; on ne se moque pas ;
- s'asseoir en cercle ou en U non loin d'un ordinateur connecté à l'ENT pour avoir une trace des propos tenus et les projeter en fin de séance.

Qui participe au débat ?

Vous allez vous répartir en groupe de 6. Chaque groupe devra comporter :

Trois personnes prenant la parole, successivement guidés par le modérateur :

- ils lèvent le doigt pour demander la parole ;
- ils apportent des arguments (mais pas d'opinion) c'est-à-dire une idée et des éléments de preuve « Je pense que parce que ».

Parmi eux il y a :

- un commercial faisant partie d'un grand groupe de l'industrie automobile ;
- un particulier qui souhaite faire l'acquisition d'un véhicule électrique ;
- un membre d'une association écologique.

Le modérateur qui répartit la parole en veillant à ce que chacun puisse intervenir, et veille à la bonne progression du débat :

- reformule, synthétise ;
- donne le rythme nécessaire, relance au besoin ;
- demande des explications complémentaires, des exemples pour étayer les propos.

Le secrétaire qui note sur le mur collaboratif les idées-clés sans prendre position :

- ne donne pas son opinion ;
- son travail est projeté à l'ensemble de la classe lorsque le **président** de chaque groupe présente la synthèse des échanges dans le groupe.

Le président qui gère le groupe :

- ouvre et ferme le débat ;
- peut délivrer un carton rouge en cas de non-respect des règles de communication, voire peut arrêter le débat ;
- fait la synthèse de son groupe en fin de séance et la présente à la classe.

Le débat aura lieu au sein de chaque groupe.

Que retient-on ?

À la fin du débat, il faut tenter de trouver un consensus sur une réponse nuancée à la problématique :

- « OUI... mais à quelle condition » ;
- « NON ... mais dans certains cas ».

Pour ou contre ?

Chez vous,

Lire attentivement :

1. Les dossiers de presse de la voiture électrique avec batterie Li-ion et avec pile à combustible (PAC) (plus précisément la pile à hydrogène) que vous pouvez enrichir avec des recherches bibliographiques et sitographiques.
2. La fiche méthode « L'argumentation ».

Puis répondre au questionnaire en ligne pour :

1. Choisir le rôle que vous allez tenir.
2. Rédiger un argument « pour » et un argument « contre » chacune des filières en ayant comme analyse :
 - les performances ;
 - le coût ;
 - les infrastructures ;
 - ou l'impact environnemental et géopolitique...

Étape 2 : lecture des dossiers de presse et choix des rôles au sein de chaque équipe

Éléments de mise en œuvre

Hors la classe

20 minutes pour l'élève

Cette phase hors la classe permet aux élèves :

- de s'approprier le contenu des dossiers de presse (en annexe de ce document) ;
- de choisir un rôle parmi ceux proposés dans l'étape 1 ;
- de rédiger, à l'aide de la fiche méthode sur l'argumentation suivante leurs premières versions d'arguments pour et contre chacun des types de voitures.

Les dossiers de presse et la fiche méthode sur l'argumentation sont disponibles en téléchargement sur l'ENT.

Proposition d'une fiche méthode sur l'argumentation

Qu'est-ce qu'un argument ?

Un argument est une idée, une explication.

Les arguments sont le plus souvent illustrés par des exemples afin de rendre le propos plus concret donc plus efficace et les contre-arguments par des contre-exemples.

Ces exemples ou contre-exemples peuvent provenir de l'expérience personnelle, mais il peut s'agir aussi de données économiques (statistiques), d'extraits de publications scientifiques...

Qu'est-ce que l'argumentation ?

L'argumentation est l'ensemble des arguments visant à convaincre sur un sujet donné.

Autrement dit, c'est l'ensemble des moyens qui permettent d'inciter les interlocuteurs à accepter la validité d'une affirmation ou d'une position.

Comment argumenter ?

Il convient d'utiliser des phrases courtes et des connecteurs logiques : puisque, de sorte que, toutefois, en revanche...

Plusieurs stratégies sont possibles :

- **soutenir ses arguments** en proposant d'autres arguments qui en montrent le bien fondé ;
- **réfuter les arguments de la partie adverse** en présentant des contre-arguments et en soulignant les faiblesses du raisonnement d'une personne prenant la parole ;
- **faire des concessions à la thèse adverse** en reconnaissant qu'elle est valable par certains aspects... mais c'est pour mieux montrer qu'à d'autres égards, elle n'est pas tenable. Cette stratégie permet en fin de débat de trouver une réponse nuancée.

Quels types d'arguments ?

- L'argument logique : il fait appel à la raison de l'interlocuteur.
- L'argument de communauté : il fait appel à des valeurs partagées par tous.
- L'argument d'autorité : il prend la forme d'une référence morale, scientifique, d'expérience, de témoignage.
- L'argument d'analogie : il vient frapper l'imagination en établissant une comparaison entre deux situations.

Références

- Parcours M@gistère - Organiser un débat pour construire des compétences⁴.
- Fiches de la Main à la Pâte - « Esprit scientifique, esprit critique »⁵.

Un sondage (questionnaire avec réponses consultables en ligne) permet au professeur de :

- s'assurer que les élèves ont compris la problématique et recherché des arguments ;
- trancher éventuellement sur le choix des rôles en particulier celui du modérateur et du président. Remarque : seul le professeur voit les réponses des élèves sur leur choix de rôle.

Le temps nécessaire au professeur pour réaliser ce travail est d'environ 20 minutes.

Exemple de sondage à proposer aux élèves

Après avoir pris connaissance des dossiers de presse et fiche méthode sur l'argumentation, répondez aux questions suivantes :

La problématique

Quelle est la problématique du débat ? Répondre par une phrase.

Rôles au cours du débat

Quel rôle voulez-vous jouer ?

- Le commercial faisant partie d'un grand groupe de l'industrie automobile
- Le particulier qui souhaite faire l'acquisition d'un véhicule électrique

⁴ <https://magistere.education.fr/f173>

⁵ <https://www.fondation-lamap.org/fr/page/62511/contenus-du-projet>

- Le membre d'une association écologique
- Le modérateur
- Le secrétaire
- Le président

Arguments

- Donner un argument « pour » la voiture électrique à batterie lithium-ion. Justifier.
- Donner un argument « contre » la voiture électrique à batterie lithium-ion. Justifier.
- Donner un argument « pour » la voiture électrique à pile à hydrogène. Justifier.
- Donner un argument « contre » la voiture électrique à pile à hydrogène. Justifier.

Avez-vous des questions, des remarques ? Souhaitez-vous que je revienne sur quelque chose en particulier en classe ?

Étape 3 : débat

Éléments de mise en œuvre

En classe

55 minutes

Proposition de la répartition des tâches

Accueil et installation : par groupe de 6 élèves, les membres du groupe se placent en U autour d'un ordinateur connecté à l'ENT (3 min).

Rappel des rôles et des règles du débat (3 min).

Dans chaque groupe : les débats sont menés par le modérateur sous l'écoute du président et du secrétaire (25 min).

Devant la classe : le président présente les réflexions de son groupe (20 min).

Conclusion par le professeur (4 min).

Commentaires

Le secrétaire peut présenter les arguments « pour » et « contre » sous la forme d'une carte mentale (disponible sur l'ENT ou utiliser un logiciel libre de droits).

Le président présente les arguments « pour » et « contre » pour son groupe et le consensus auquel son groupe est arrivé.

L'enseignant doit être un accompagnateur : il intervient le moins possible mais doit garantir la légitimité des propos et le cadre éthique. Pour conclure la séance, il doit s'assurer que les élèves ont conscience que la réponse à la problématique est une réponse nuancée qui a été obtenue par consensus.

Proposition d'évaluation par le professeur

Selon les rôles, les compétences travaillées préférentiellement sont différentes, en particulier pour le secrétaire (voir tableau ci-après).

Au vu du nombre d'élèves, il est sans doute préférable de faire le choix d'évaluer uniquement le président de chaque groupe lors de son passage devant la classe.

Grille de compétences travaillées par rôle

	Personne prenant la parole	Modérateur	Secrétaire	Président
Qualité orale	x	x		x
Qualité de la prise de parole en continu				x
Qualité des connaissances	x			
Qualité de l'interaction (reformulation...)	x	x		
Qualité et construction de l'argumentation	x			x
Qualité de la synthèse			x	

Références bibliographiques

- D'après les documents du parcours en autoformation sur la plateforme M@gistère « Organiser un débat pour construire des compétences »
- Les fiches 8, 9 et 18 du document « se préparer à l'oral par la pratique médiatique » CLEMI de l'académie de Bordeaux
- Fiches de la Main à la Pâte « Esprit scientifique, esprit critique »
- Podcast TDC : Les sciences à l'école, une nécessité citoyenne, entretien avec le professeur Etienne Klein, par Sophie Delhaume
- Fiche méthodologique : mise en œuvre du débat en classe stage 12 janvier Académie _Orléans-Tours
- Les 17 ODD à l'horizon 2030 par Anne Chemin-Roberty, publié le 09/02/2018, mise à jour le 05/09/2019 ; Ifé ; <http://acces.ens-lyon.fr/>
- Grille d'évaluation indicative de l'épreuve orale terminale : [Bulletin officiel spécial n°2 du 13 février 2020](#)

Annexe : exemples de dossiers de presse

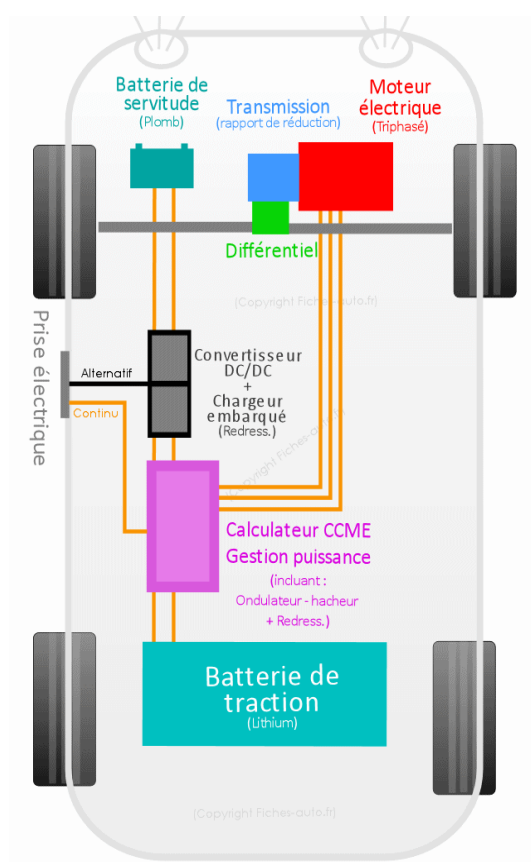
Cette annexe relative à l'activité sur le débat comporte deux dossiers de presse : l'un portant sur la voiture électrique à batterie lithium-ion et l'autre sur celle à pile à hydrogène.

Les exemples de dossiers de presse présentés ci-après peuvent être davantage illustrés afin de faciliter la lecture et devront être actualisés.

Les élèves peuvent l'enrichir avec des recherches bibliographiques et sitographiques.

Voiture électrique - batterie lithium ion

La voiture électrique ne produit pas de bruit, pas de vibration. Elle ne nécessite pas de passage de vitesse, elle dispose d'une excellente réactivité et d'une très bonne tenue de route grâce aux batteries qui plaquent le véhicule au sol.



Copyright : Fiche.auto.fr

D'après site internet d'un magazine auto

Comment ça marche ?

Les voitures électriques utilisent des batteries Lithium-ion. Le dernier prix Nobel de chimie 2019 a récompensé les chercheurs ayant développé ces batteries qui équipent aussi bien les smartphones que les voitures électriques.



John Goodenough
Américain
97 ans, né à Iéna
en Allemagne



Stanley Whittingham
Britannique
77 ans, né
au Royaume-Uni



Akira Yoshino
Japonais
71 ans, né à
Suita au Japon

Copyright : AFP

Le lithium est un métal qui stocke une très grande quantité d'énergie sous forme chimique.

Le lithium appartient à la première colonne du tableau périodique. Pour atteindre une configuration électronique stable de l'atome de gaz noble le plus proche, celle de l'hélium, il perd un électron et se transforme en un ion lithium chargé positivement : Li^+ . Le lithium est donc un parfait candidat pour constituer l'anode d'une batterie électrique, qui sera donc un bloc de lithium pur solide. D'autant plus que, le lithium est l'un des atomes les plus légers, un critère essentiel pour équiper en batteries électriques des objets électroniques portables.

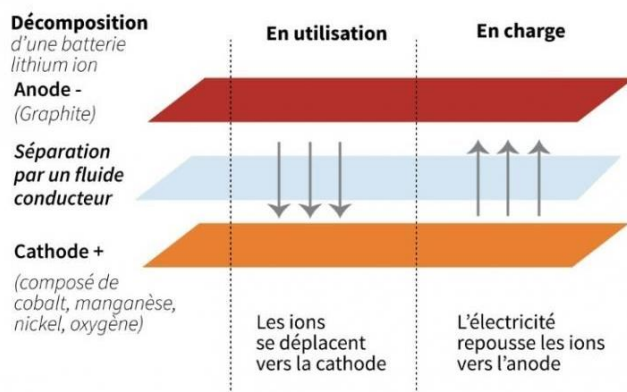


Copyright : Johan Jarnestad/The royal Swedish Academy of Sciences

D'après pour la science.fr : Prix nobel de chimie 2019 : la revolution des batteries au lithium

Lors de la décharge de la batterie, quand elle fonctionne en générateur, les électrons circulent de l'anode vers la cathode, ce qui permet d'alimenter le moteur.

Au cours de la recharge de la batterie (par exemple, on la branche à l'alimentation du secteur EDF), les transformations chimiques, qui avaient eu lieu au niveau des électrodes lors de la décharge, se font en sens inverse et reconstituent le système chimique (au moins partiellement). La batterie est alors prête à refonctionner comme générateur.



Sources : batteryuniversity.com, livescience

© AFP

Copyright :AFP

D'après site de l'AFP

Autonomie

Certains véhicules ont une autonomie de 500 km. En ville, cette autonomie augmente pour atteindre 600 km car la batterie se recharge lors du freinage ou avec le frein moteur.

D'après site internet d'un magazine auto

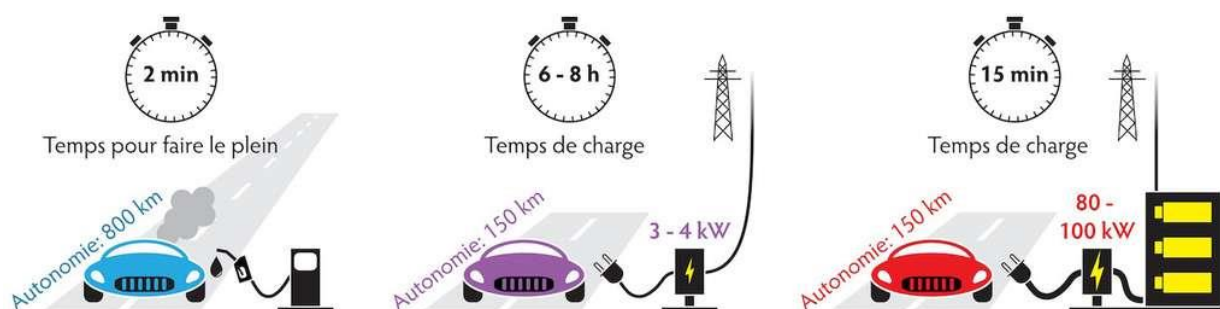
Motorisation

Une voiture électrique bénéficie de sa pleine puissance à n'importe quelle vitesse. Elle est donc très réactive y compris au démarrage (Passage de 0 à 100 km/h en moins de 8 secondes).

D'après site internet d'un magazine auto

Temps de recharge

L'une des principales difficultés liées aux voitures électriques est le temps de recharge. Pour vous faire une idée de l'ampleur du problème, imaginez qu'il faut environ 1 min 30 pour faire le plein du réservoir d'une voiture diesel. Un plein qui permet ensuite de rouler 1000 kilomètres. En 1 min 30, la charge de la batterie d'une voiture électrique ne lui apporterait pas plus de 6 kilomètres d'autonomie.



Copyright : © 2016, EPFL

D'après site internet futura-sciences.com

Deux types d'installations de recharge électrique sont disponibles sur le marché, les prises et les bornes de recharge, aussi appelées "chargeur de voiture électrique".

La batterie du véhicule gagne sur n'importe quelle prise domestique 20 km d'autonomie par heure de charge et sur une borne de recharge domestique, 50 km d'autonomie par heure de charge.

Type de recharge	Voiture 1	Voiture 2
Prise standard 1,8 kW (8 A)	9h50	5h35
Prise standard 2,3 kW (10 A)	7h42	4h22
Chargeur 3,7 kW (16 A)	4h47	1h55
Chargeur 22 kW (3x32 A)	0h48	Recharge non adaptée

La durée de recharge est celle nécessaire pour atteindre 80 % de la capacité de la batterie.

D'après site internet de comparateur de prix

Sur une borne de recharge publique la batterie du véhicule gagne 200 km d'autonomie par heure de charge.

Les constructeurs ont mis en place des bornes de charge ultra rapide : c'est le cas de Tesla® ou du groupe « Ionity » regroupant des grandes marques de constructeurs automobiles qui prévoit 400 chargeurs de 350 kW d'ici 2020 ce qui devrait permettre de charger des centaines de véhicules électriques très rapidement.



Carte des bornes de charge TESLA® en France (3 décembre 2018)

Copyright : www.data.gouv.fr

D'après site internet data.gouv.fr et communiqué de presse du groupe Ionity®

Prix

Un véhicule thermique moyen a un réservoir de carburant d'environ 40 à 50 L. Le prix en décembre 2019 d'un litre de super SP95 était en moyenne de 1,5 euros. Or, le « plein d'électricité » d'un véhicule électrique coûte en moyenne 12 euros pour 500 km.

Une autre économie faite avec un véhicule électrique est l'économie à l'entretien : plus d'usure de pièces mécaniques comme le joint de culasse ou la courroie de distribution à changer.

Comparaison des coûts annuels de détention des véhicules



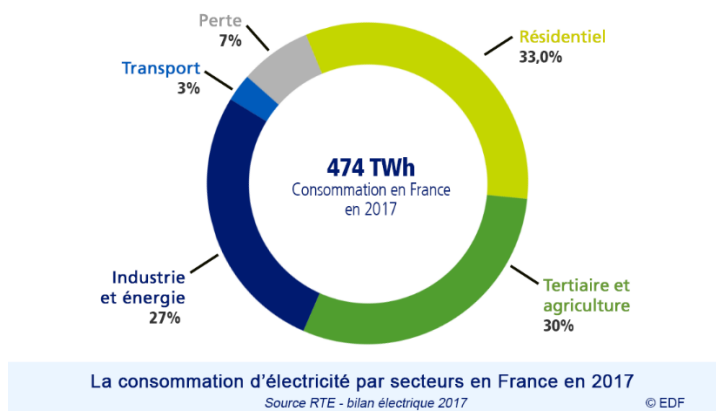
Le terme " première main " signifie que le véhicule mis en vente a été acquis neuf par le vendeur.

D'après site internet quechoisir.org

Trop d'électricité à produire

Une étude de la Commission de régulation de l'énergie (CRE) vient de montrer que la consommation électrique liée à l'essor des véhicules électriques devrait être compensée d'ici 2035 par une baisse de la demande dans d'autres secteurs (tertiaire et agriculture en particulier).

D'après site internet sciencesetavenir.fr



Copyright : EDF

Le recyclage des batteries

Les batteries de véhicules peuvent avoir une seconde vie.

Elles peuvent être utilisées comme moyen de stockage d'électricité d'énergie renouvelable dans des lieux de réunions publiques. Par exemple, le stade d'Amsterdam est éclairé par des batteries de Nissan Leaf® qui stockent l'électricité des panneaux solaires installés sur le toit du stade.

En fin de seconde vie, ces batteries sont recyclées. On en extrait le lithium, le cobalt...

L'UE impose depuis 2011 de recycler 50 % en masse d'une batterie électrique.

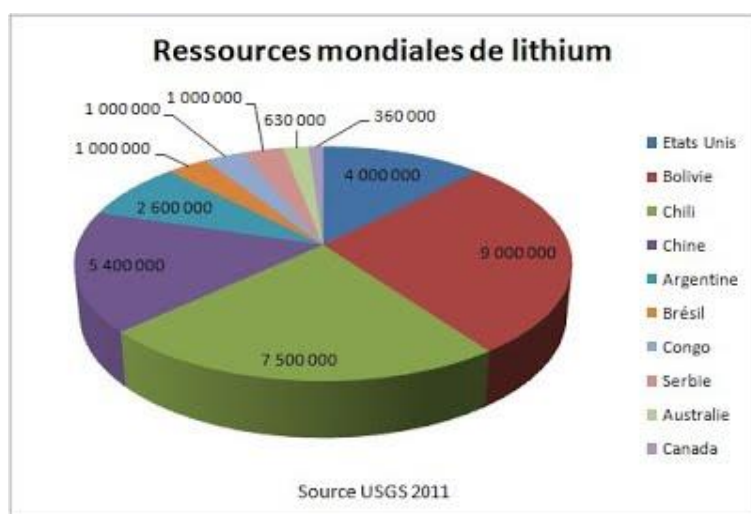
Pendant comme l'extraction de nouveaux matériaux coûte moins cher que le recyclage, il faudra taxer suffisamment les émissions de CO₂ pour privilégier le recyclage à l'extraction, si l'on veut diminuer la pollution environnementale de l'extraction.

D'après site internet automobile-propre.com

Le lithium des batteries

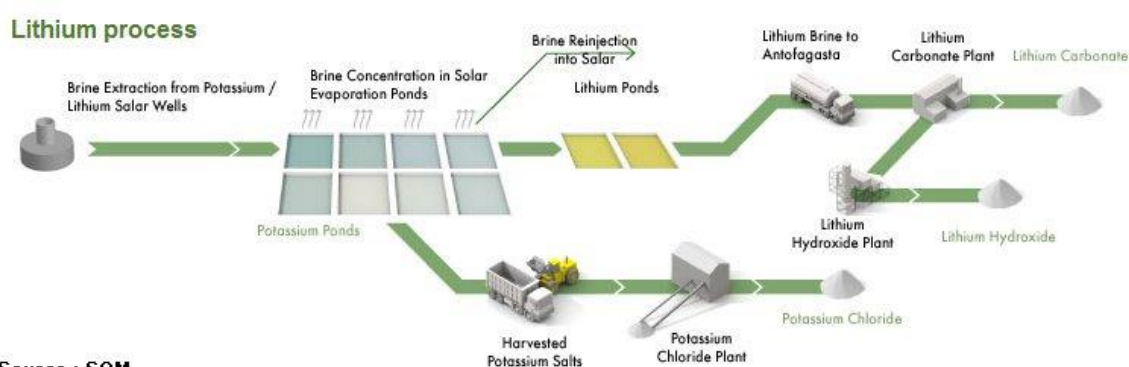
Le lithium est le 33^{ème} élément le plus abondant sur Terre. On le trouve dans le sol mais aussi en grande quantité dans les océans mais nous ne savons pas encore l'extraire.

Les principaux sites de lithium exploités actuellement se situent dans les déserts sud-américains (Chili, Argentine, Bolivie) et chinois (Tibet).



Copyright : USGS 2011

Le processus d'extraction du lithium à partir des lacs salés est assez simple (80 % de la production du lithium) :



Source : SQM

Copyright : SQM – Sociedad Quimica y Minera

Les saumures sont pompées en surface et étendues dans des bassins d'évaporation où le climat désertique (soleil, vent) évapore l'eau et le lithium apparaît.

D'après site internet ecoinfo.cnrs.fr

Le lithium est le pétrole de demain. Chaque smartphone en contient 2 à 3 grammes ; un véhicule électrique, jusqu'à 10 000 fois plus... Selon les estimations, il y aura entre 260 millions de voitures « propres » dans le monde en 2040, contre 4 millions aujourd'hui. Un essor qui engendre une course effrénée. Les prix du lithium ont quadruplé en trois ans, s'envolant à 20 000 dollars la tonne en 2018.

D'après site parismatch.com

Rejet de CO₂

En France

Comme les véhicules électriques ont été placés au cœur de la stratégie de décarbonation de la France, l'Ademe a cherché à étudier leur impact réel sur les émissions de gaz à effet de serre de la France.

Actuellement, explique le rapport de l'Ademe, les émissions de gaz à effet de serre induites par la fabrication, l'usage et à la fin de vie d'un véhicule électrique, sont 2 à 3 fois inférieures à celles des véhicules essence et diesel. Selon cette étude parue début décembre 2017 : « Une berline électrique émet en moyenne 2 fois moins (44 % de moins) qu'un véhicule diesel de la même gamme (26 tonnes CO₂-eq. et 46 t CO₂-eq.), une citadine électrique émet en moyenne 3 fois moins (-63 %) de gaz à effet de serre qu'une citadine essence (12 t CO₂-eq. contre 33 t CO₂-eq). »

En Chine

Pour lutter contre la pollution extrême de l'air, la Chine incite à l'achat de véhicules électriques. Problème : avec une production largement issue du charbon, les centrales électriques tournent à plein régime et augmentent donc leurs rejets. D'après une étude récente, les comportements de recharge des « électromobilistes » chinois ne sont pas adaptés au mix énergétique encore trop carboné du pays.

D'après site internet automobile-propre.com (mai 2018)

C'est quoi l'avenir de la batterie

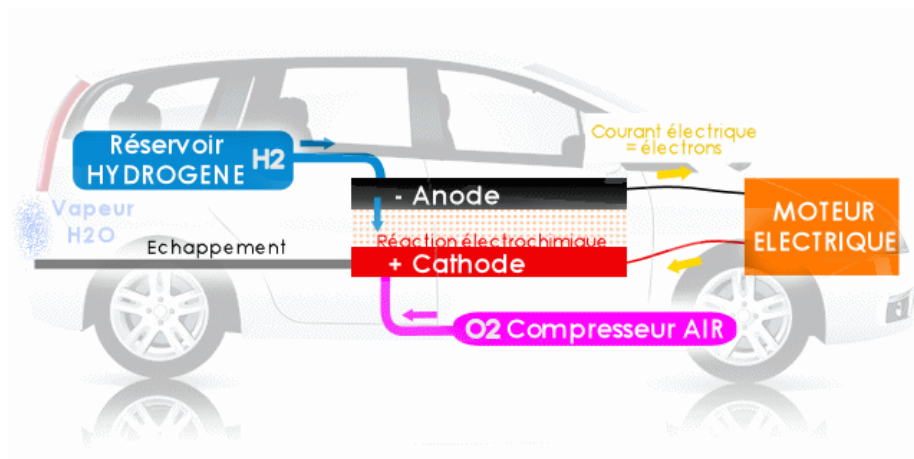
Outre son empreinte écologique élevée, tant à la fabrication qu'en fin de vie, elle a l'inconvénient de nécessiter un temps (durée) de recharge encore long et peu compatible avec les attentes des conducteurs. Mais les récents travaux d'une équipe de chercheurs de l'Université de Pennsylvanie, publiés dans la revue *Joule* mercredi 30 octobre 2019, laissent entendre que cet obstacle pourrait bientôt être franchi.

Chauffer la batterie, un paradoxe efficace

Les chimistes ont découvert une méthode de charge inédite qui permettrait aux batteries de bénéficier d'une autonomie de 300 kilomètres en 10 minutes seulement, et ce sans dommage. Pour le moment, une telle quantité d'énergie reçue en si peu de temps ne peut être tolérée par les batteries équipant les voitures électriques, au risque de provoquer des excroissances de lithium au niveau de leur anode et d'entraîner un court-circuit. Mais les chercheurs ont trouvé un moyen de leur faire acquérir l'équivalent de 400 kilowatts en moins d'un quart d'heure.

D'après site internet sciencesetavenir.fr

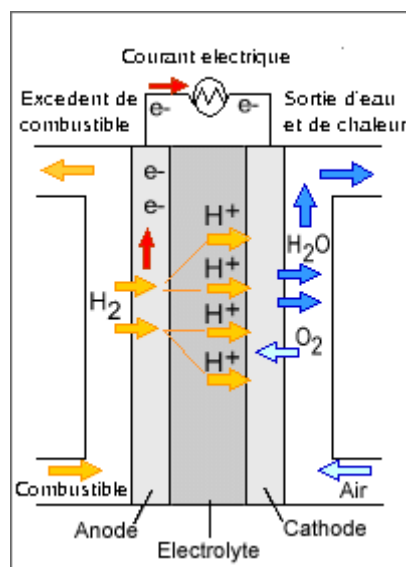
Voiture électrique – pile hydrogène



D'après site internet magazine auto

Comment ça marche ?

Les voitures à pile à combustible sont en fait des voitures électriques. Au lieu d'utiliser une batterie lithium-ion comme source d'électricité, les voitures à pile à combustibles utilisent l'électricité produite par la pile à hydrogène.



CC BY- Grimlock SA 3.0

Une molécule de dihydrogène (H₂) arrive au contact de l'anode. La réaction d'oxydation est déclenchée grâce à un catalyseur constitué de nanoparticules de platine déposées sur des grains de carbone. À son contact, la molécule H₂ se transforme en deux ions hydrogène (2H⁺) et deux électrons.

Les ions hydrogène traversent la membrane et se dirigent vers l'autre électrode de la cellule. Les électrons formés passent dans le circuit électrique extérieur à la pile. Simultanément de l'autre côté de la membrane au contact d'un nouveau catalyseur, les ions hydrogène réagissent avec le dioxygène (O₂) et les électrons du circuit électrique pour former de l'eau.

D'après site internet de airliquide

Ce véhicule ne rejette que de l'eau par le pot d'échappement.

Pour fonctionner, la pile à combustible est dotée d'une membrane humide constituée d'un polymère. Cette membrane ne peut fonctionner en dessous de zéro degré et ne peut dépasser les 80 à 90 degrés. Il faut donc installer un système de réchauffement et de refroidissement performant pour que la pile fonctionne dans de bonnes conditions de température. De plus, l'électrode est parsemée de particules de platine pour accélérer la réaction chimique. Tous ces éléments technologiques sont d'un coût élevé. Pour que la pile fonctionne de manière optimale, il faut que le dioxygène utilisé soit pur. Or la pile prélève l'air, un air qui peut être pollué et qui nécessite souvent un catalyseur, lui aussi très cher, pour le dépolluer.

D'après site internet caradisiac.com

Motorisation / autonomie

Le marché de la voiture électrique se compose surtout de véhicules équipés de batteries, rechargeables sur secteur, et d'hybrides (composé d'un moteur essence, associé à un moteur électrique). Il existe aussi d'autres véhicules, électriques également, utilisant la technologie de la pile à combustible fonctionnant avec du dihydrogène. Pour le moment, l'offre d'autos fonctionnant à l'aide de cette technologie est limitée. Et lorsque l'on parle d'autos commercialisées, on parle surtout d'un banc d'essai grandeur nature pour les constructeurs avec quelques centaines de véhicules à pile à combustible en action.

Voiture 1

Moteur électrique de 154 chevaux.

Pile à combustible de 114 kW. Cette auto peut atteindre les 178 km/h en pointe et bat aussi le record de passage de 0 à 100 km/h en 9,6 secondes.

La marque de la voiture 1 annonce une autonomie de plus de 500 km, la pile ne consommant que 0,76 kg d'hydrogène tous les 100 kilomètres.

Voiture 2

Moteur électrique de 130 kW (soit 177 chevaux).

Pile à combustible de 100 kW alimentée par de l'hydrogène à 700 bars de pression.

Peut parcourir grâce à ses batteries lithium-ion que la pile à combustible recharge, 600 km. La pile à combustible de la marque de la voiture 2 est plus compacte de 33 % par rapport à celle de la marque de la voiture 1.

D'après site internet caradisiac.com

Prix et immatriculation

La technologie utilisée étant onéreuse, les autos produites affichent un tarif élevé. Une voiture, type grande familiale ne pouvant accueillir que quatre personnes, est proposée à un tarif proche de 80 000 €.

D'après site internet caradisiac.com

Selon un rapport publié par l'IFPEN, 5300 véhicules à pile à combustible ont été immatriculés dans le monde entre janvier et septembre 2019.

D'après site internet h2-mobile.fr

La combustion du dihydrogène génère 3 fois plus d'énergie que l'essence pour une même masse de carburant. C'est un bien meilleur carburant que l'essence ou le gazole.

Il faut compter 1 kg de dihydrogène pour parcourir 100 km. Le dihydrogène est très efficace mais le prix d'un plein se situe aux alentours de 65 euros.

D'après Esprit sorcier dossier Hydrogène en collaboration avec le CEA

Production du dihydrogène / rejet de CO₂

95 % de la production de dihydrogène provient actuellement des ressources fossiles.

Aujourd'hui, la majeure partie du dihydrogène est produite par reformage du méthane (principal constituant du gaz naturel) en présence de vapeur d'eau.

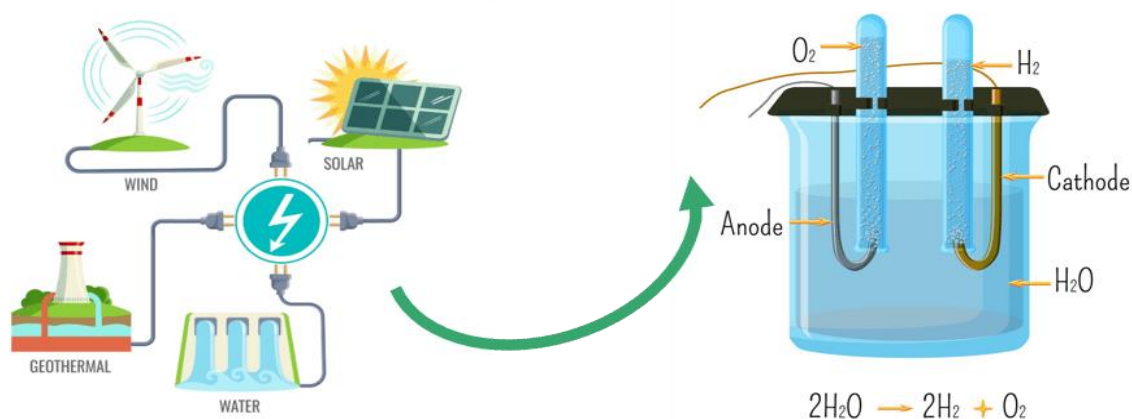
Le méthane CH₄ réagit avec de la vapeur d'eau pour former un gaz de synthèse contenant du monoxyde de carbone CO et du dihydrogène H₂.

Ensuite, la vapeur d'eau réagit avec le monoxyde de carbone du gaz de synthèse pour former du dioxyde de carbone CO₂ et du dihydrogène. Ce mélange, riche en CO₂ et en H₂, est ensuite purifié pour obtenir du dihydrogène à environ 99,9 % de pureté.

Le dihydrogène peut aussi être produit par électrolyse de l'eau c'est-à-dire en décomposant l'eau en dihydrogène et en dioxygène à l'aide d'un courant électrique. Cette technologie ne produit pas directement de CO₂ mais il est indispensable de tenir compte, dans le bilan global, du CO₂ émis lors de la production de l'électricité.

À moins de produire du dihydrogène grâce à l'électrolyse de l'eau en utilisant pour cela de l'électricité produite par des systèmes d'énergie renouvelable comme l'éolien, le solaire, le bilan écologique n'est pas aussi vertueux que l'on aurait pu le penser.

L'électrolyse de l'eau qui produit du dihydrogène « décarboné » est encore deux à trois fois plus chère que celui produit par reformage du méthane.



Copyright : Echosciences-Normandie

D'après site internet planete-hydrogene.com et site internet culturesciences.chimie.ens.fr

Stockage du dihydrogène et stations de distribution

Le dihydrogène est un gaz extrêmement léger et très inflammable. Il occupe un volume important à la pression atmosphérique. Pour le stocker et le transporter efficacement, il faut fortement réduire ce volume et on est obligé de le comprimer à 200 bars. Malgré cela, il faut l'équivalent de vingt camions-citernes pour transporter la même quantité d'énergie qu'un camion-citerne d'essence. Qui dit camion, dit gaz à effet de serre, à moins que le moyen de transport ne soit électrique.

D'après site internet caradisiac.com

La voiture à hydrogène est la voiture électrique qui se rapproche le plus de nos voitures actuelles. L'essence est simplement remplacée par l'hydrogène. On fait le plein dans une station sans l'odeur de l'essence.

Les stations de distribution sont encore peu nombreuses (une petite vingtaine) et nécessitent également de gros investissements pour leur construction.



Copyright : h2-mobile.fr

Dans le cadre du plan climat du gouvernement français, des investissements sont prévus afin d'ici 2028 d'introduire 50 000 véhicules à hydrogène et la création de 1000 stations. On estime qu'il en faut au moins 600 pour commencer à démocratiser la voiture à hydrogène.



Temps de recharge

Pour faire le plein de dihydrogène, seulement 3 à 5 minutes sont nécessaires.

A titre de comparaison la recharge de la batterie Lithium-ion d'une voiture électrique demande plusieurs heures. Mais si on le fait la nuit ? Est-ce un inconvénient ?

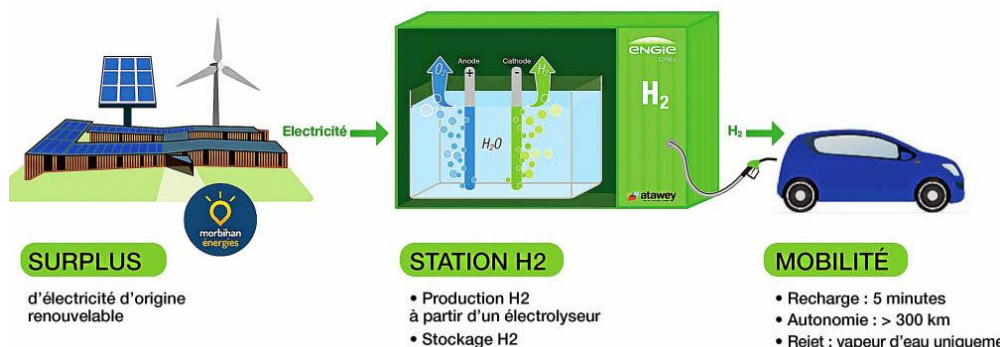
Par ailleurs les grands constructeurs automobiles regroupés dans le pôle « Ionity » assurent pouvoir prochainement faire en sorte que les véhicules récupèrent 400 km d'autonomie en 15 minutes sur leurs chargeurs ultrarapides (de puissance 350 kW).

Efficacité énergétique

Pour de nombreux experts la voiture à hydrogène semble être une impasse et le chef ingénieur de Toyota Mirai, Yoshikazu Tanaka, l'a avoué lui-même : « It's better to charge electric car directly by plugging in. »

Pourquoi a-t-il dit cela ?

HYDROGÈNE VERT : PRODUCTION ET STOCKAGE



Copyright morbihan-energies.fr/documents/presse/

Supposons une quantité d'énergie renouvelable mise à disposition pour notre réseau électrique.

Pour une voiture à hydrogène, il faut utiliser cette énergie pour « fabriquer de l'électricité » et réaliser une électrolyse puis au choix compresser ou liquéfier le dihydrogène obtenu, puis le transporter et le stocker dans des stations. Enfin, ce dihydrogène va recréer de l'électricité via la pile à hydrogène pour alimenter le moteur.

La même énergie aurait pu être directement utilisée dans une batterie.

Le rendement d'une voiture à hydrogène est donc moins important que celui du véhicule à batterie.

D'après Esprit sorcier dossier Hydrogène en collaboration avec le CEA

Quel avenir ?

Malgré toutes les difficultés, les constructeurs investissent dans la recherche en se regroupant pour diminuer les frais, les états sont également sollicités et participent à l'aventure, en octroyant des subventions ou en proposant une fiscalité allégée dans le but de venir en aide à la filière hydrogène. Et puis, « le développement de cette énergie » permettra sans doute d'obtenir une diminution des coûts.

D'après site internet caradisiac.com