

HISTOIRE DES SCIENCES

LES ATOUTS DE L'ÉLECTRICITÉ : LA PILE À HYDROGÈNE

Cette activité se déroule en deux temps :

- séance A : travail hors classe sur la production et le stockage de l'énergie ;
- séance B : découverte de l'histoire de la pile à hydrogène et description de son fonctionnement pour montrer que, de la découverte à la commercialisation à grande échelle, le parcours des scientifiques et des ingénieurs pour fabriquer ce générateur d'électricité a été long et discontinu.

Un débat peut être engagé ensuite sur le choix d'une voiture électrique à pile à hydrogène ou à batterie lithium-ion. Les modalités pour conduire ce débat sont décrites dans l'activité [Exemple de débat – Voiture électrique : laquelle choisir ?](#)

Prérequis

Modéliser une transformation par une réaction, établir l'équation de réaction associée et l'ajuster (seconde, thème « Constitution et transformations de la matière »).

Réaliser un bilan énergétique (cycle 4), calculer un rendement (si séance A non réalisée).

Référence(s) au programme

Objectifs généraux de formation de l'enseignement scientifique de Terminale

Comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration.

Objectifs relatifs au développement durable

Expliquer, par l'histoire des sciences et des techniques, comment les sciences évoluent et influencent la société et l'environnement.

Objectifs en termes d'histoire des sciences

L'histoire des sciences pour montrer la construction non linéaire du savoir scientifique en fonction des contextes historiques, technologiques et économiques

Thème 2 Partie 2.2 Les atouts de l'électricité

Savoirs

Trois méthodes permettent d'obtenir de l'énergie électrique :

- la conversion d'énergie mécanique, soit directe (dynamos, éoliennes, hydroliennes, barrages hydroélectriques), soit indirecte à partir d'énergie thermique (centrales nucléaires, centrales solaires thermiques, géothermie) ;
- la conversion de l'énergie radiative reçue du Soleil (panneaux photovoltaïques) ;
- la conversion électrochimique (piles ou accumulateurs conventionnels, piles à hydrogène).

Ces méthodes ont néanmoins un impact sur l'environnement et la biodiversité ou présentent des risques spécifiques (pollution chimique, déchets radioactifs, accidents industriels...).

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 : énergie chimique (accumulateurs) ; énergie potentielle (barrages) ; énergie électromagnétique (super-capacités).

Savoir-faire

- Décrire des exemples de chaînes de transformations énergétiques permettant d'obtenir de l'énergie électrique à partir de différentes ressources primaires d'énergie.
- Calculer le rendement global d'un système de conversion d'énergie.
- 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.

Réaliser : effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, etc.).

Compétences CRCN-Compétences numériques (Référentiel PIX)

Domaine 5 : Environnement numérique ; Évoluer dans un environnement numérique (connexion à un ENT, utiliser / retrouver des ressources).

Séance A - Obtenir et stocker de l'énergie

Résumé et mise en œuvre de l'activité

Cette activité a pour but de découvrir ou de réactualiser les acquis sur les concepts d'énergie et de puissance, les chaînes énergétiques de conversion d'énergie et le stockage d'énergie.

Le travail se fait **hors classe** en 2 étapes. La durée pour l'élève est de 25 minutes environ.

Première étape

Visualisation par l'élève de textes, vidéos et schémas regroupant la définition de l'énergie et des exemples de conversion et de stockage de cette dernière.

Durée estimée pour l'élève : 15 minutes.

Seconde étape

Utilisation d'un questionnaire en ligne pour vérifier la compréhension de l'élève des documents proposés.

Durée estimée pour l'élève : 10 minutes.

Réception des réponses au questionnaire par le professeur.

Durée estimée pour le professeur : 5 minutes si simple vérification de la « lecture » du document, supérieure à 5 minutes si on veut prendre connaissance des réponses de chaque élève.

Éléments pour construire l'activité des élèves

Obtenir et stocker de l'énergie électrique.



1/ Introduction

Les atouts de l'électricité

L'énergie électrique présente de nombreux avantages :

- une distribution aisée, sûre et à faible impact écologique ;
- l'existence de réseaux de distribution très étendus ;
- la disponibilité de convertisseurs de bon rendement permettant de transformer l'énergie électrique en d'autres formes d'énergie ou, symétriquement, d'obtenir de l'énergie électrique.

Le jour mondial du dépassement

Les besoins actuels en énergie dépassent les ressources disponibles et les capacités de renouvellement de ces ressources sur la Terre.

Le jour mondial du dépassement en 2019 était le 29 juillet, la date la plus précoce jamais enregistrée. À cette date, l'humanité avait consommé l'ensemble des ressources que la planète peut renouveler en une année.

Produire de l'électricité sans contribuer au réchauffement climatique, en concevoir le stockage sous d'autres formes, optimiser son transport deviennent des objectifs majeurs d'une transition climatique et environnementale.

2/ Qu'est-ce que l'énergie ?

Nous sommes tous entourés d'énergie : dans notre corps, notre maison, notre environnement... Elle est là, dans notre quotidien. Mais qu'est-ce que l'énergie ?

L'énergie est ce qui produit une action.

Ressource numérique : vidéo

Dans un moteur de recherche, rechercher à l'aide des mots :

Médiathèque CEA + Qu'est-ce que l'énergie + Etienne Klein

Visualiser les 5 premières minutes

L'énergie

L'énergie n'est ni créée, ni détruite. L'énergie est seulement transférée. Pour produire de l'énergie électrique, il faut donc déjà en avoir.

L'énergie est notée E . Son unité est le joule (J).

On peut aussi l'exprimer en kilowattheure (kWh) : $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$.

La puissance

La puissance caractérise la vitesse de production ou d'échange d'énergie. La puissance est notée P . Son unité est le watt (W).

Lien entre l'énergie et la puissance

La puissance et l'énergie sont liées :

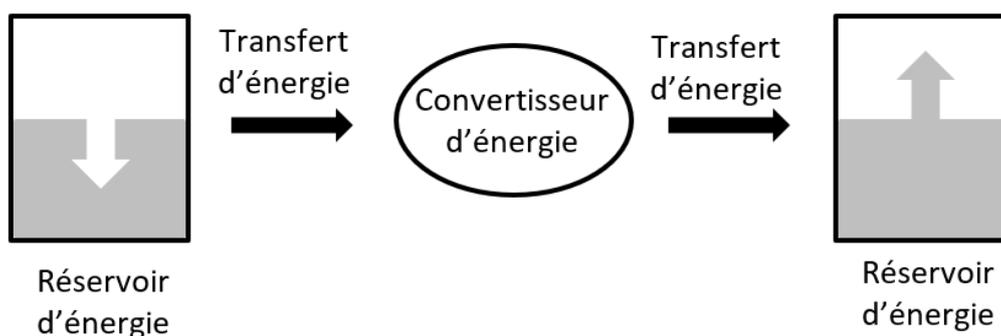
$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

Avec E l'énergie en joules (J), Δt durée en secondes (s), P puissance en watts (W).

3/ Convertir l'énergie

Introduction

La transformation d'une énergie en une autre forme d'énergie est réalisée grâce à un convertisseur.



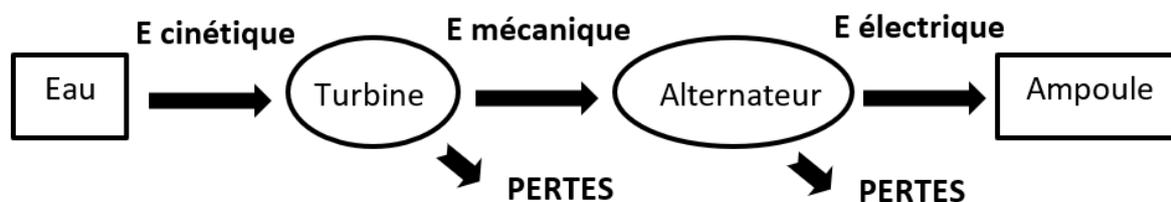
Dans tous les convertisseurs, il y a des pertes d'énergie par transfert thermique vers le milieu extérieur.

La chaîne énergétique

Une chaîne énergétique représente les éléments de stockage et de conversion de l'énergie en précisant ses différentes formes. Un convertisseur est symbolisé par une ellipse, un réservoir par un rectangle. Quelques exemples :

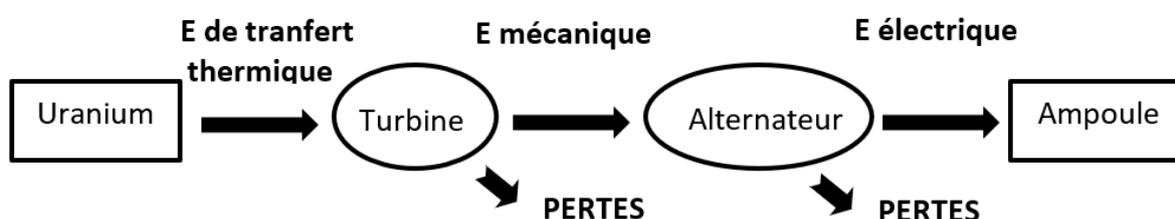
Barrage hydroélectrique

L'énergie hydraulique (au départ sous forme d'énergie potentielle de pesanteur de l'eau du barrage) est convertie en énergie cinétique puis en énergie mécanique avec la rotation d'une turbine puis en énergie électrique grâce à un alternateur



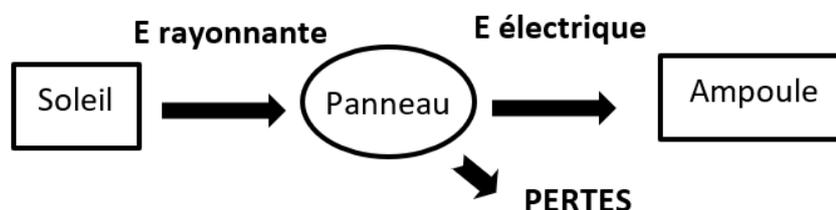
Centrale nucléaire

Dans le cœur du réacteur, une réaction de fission est provoquée par le bombardement d'un noyau d'uranium 235 par un neutron. Cette réaction en chaîne est contrôlée grâce à des modérateurs (ralentisseurs de neutrons) et des barres de contrôle (absorbent des neutrons). Elle produit l'énergie qui sera récupérée par transfert thermique et utilisée pour générer de la vapeur. Cette vapeur actionne une turbine reliée à un alternateur qui produit l'électricité.



Panneau photovoltaïque

La mise en contact de deux types de matériaux semi-conducteurs crée une jonction PN. Lorsqu'un photon ayant une énergie suffisante arrive sur la jonction, il arrache un électron et crée un « trou » (déficit d'électron). Ce déficit d'électrons est à l'origine d'une tension électrique entre les deux faces de la jonction. Si on relie la jonction à un circuit, un courant apparaît.



Notion de rendement

Le rendement est un chiffre sans unité, compris entre 0 et 1. Il peut être exprimé en pourcentage en multipliant par 100.

$$R = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{reçue}}} = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{reçue}}}$$

4/ Stocker l'énergie

Le stockage d'énergie permet l'adaptation dans le temps entre l'offre et la demande en énergie. On ne peut pas stocker l'électricité comme du sucre dans un placard.

Il faut utiliser l'électricité produite et non utilisée pour préparer une installation qui pourra délivrer de l'électricité plus tard, lorsque par exemple les éoliennes ne fonctionnent plus faute de vent, c'est-à-dire pour soutenir la production intermittente de l'électricité obtenue grâce à des sources d'énergie renouvelable.

Dans d'autres cas, on désire avoir une source d'électricité mobile (par exemple pour faire rouler les

voitures) qui elle aussi nécessite une installation qui pourra permettre d'utiliser l'électricité après sa production.

On peut citer parmi les systèmes de stockage dit stationnaires :

- le stockage STEP (solution de transfert d'énergie par pompage) ;
- le stockage SMES (stockage électromagnétique) ;
- le stockage par production de dihydrogène ;
- le stockage grâce à des batteries.

Ressource numérique

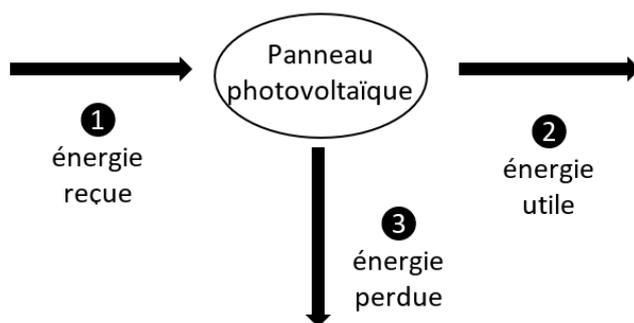
STEP-SMES-Vecteur Hydrogène-Batteries

Dans un moteur de recherche, taper les mots clés :

CEA + stockage stationnaire de l'énergie

Questionnaire élève à présenter en format numérique

1. La puissance d'un appareil domestique dépend de sa durée d'utilisation.
 - a) Vrai.
 - b) Faux.
2. L'énergie peut être dissipée sous forme de chaleur. Elle est alors perdue.
 - a) Vrai.
 - b) Faux.
3. La relation entre la puissance P , l'énergie E et la durée de fonctionnement Δt d'un appareil est :
 - a) $E = P / \Delta t$
 - b) $P = E / \Delta t$
 - c) $P = E \times \Delta t$
4. Le long d'une chaîne énergétique :
 - a) L'énergie est détruite.
 - b) L'énergie est créée.
 - c) Il y a des transferts d'énergie.
5. Dans le barrage hydroélectrique, l'alternateur permet d'obtenir de l'énergie électrique à partir d'énergie.....
6. Le panneau photovoltaïque transforme l'énergie rayonnante uniquement en énergie électrique.
 - a) Vrai.
 - b) Faux.
7. Quelle proposition associe correctement le numéro et la forme d'énergie correspondant à la chaîne énergétique d'une cellule photovoltaïque représentée ci-dessous ?

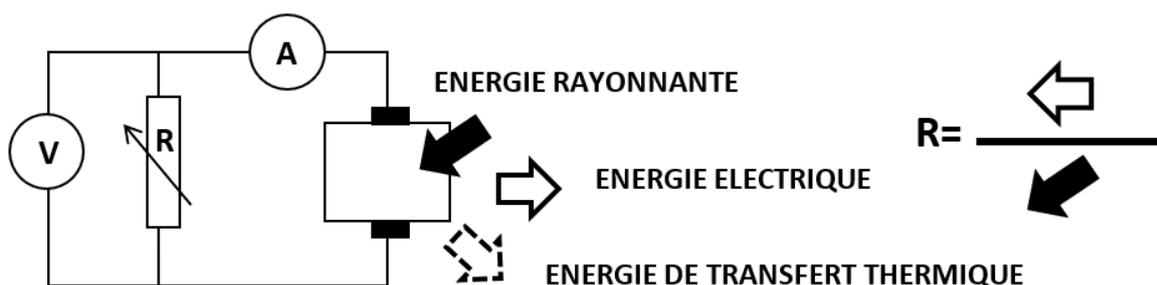


- a) 1 : énergie rayonnante 2 : énergie électrique 3 : énergie de transfert thermique
- b) 1 : énergie rayonnante 2 : énergie thermique 3 : énergie électrique
- c) 1 : énergie rayonnante 2 : énergie électrique 3 : énergie mécanique
- d) 1 : énergie rayonnante 2 : énergie mécanique 3 : énergie électrique

8. L'énergie de transfert thermique dégagée lors de la fission est convertie en énergie électrique par :

- a) Une turbine et un alternateur.
- b) Une cellule photovoltaïque.
- c) Une pile à hydrogène.

9. Le rendement R est :



- a) vrai
- b) faux

10. Dans les batteries, le stockage se fait grâce à des réactions :

- a) mécaniques.
- b) électrochimiques.
- c) nucléaires.

11. Dans le stockage par production de dihydrogène, ce dernier est produit par un électrolyseur. Après avoir réagi avec le, il va fournir de l'électricité et

Éléments pour le professeur

Commentaires

Cette séance se termine par une structuration des idées par le professeur d'environ 15 minutes.

Une image interactive permet à l'élève de visualiser un point particulier en cas de doute pour répondre au questionnaire.

Cette séance est suivie de la séance B sur la pile à hydrogène.

Réponses au questionnaire

1. b
2. b
3. b
4. c
5. mécanique
6. b
7. a
8. a
9. a
10. b
11. dioxygène ; eau.

Séance B - La pile à hydrogène

Résumé et mise en œuvre de l'activité

Cette activité a deux objectifs :

- retracer l'histoire de la pile à hydrogène pour mettre en évidence la construction du savoir scientifique dans des contextes historiques, technologiques et économiques déterminés ;
- analyser succinctement le fonctionnement de la pile et faire un bilan énergétique global de la filière hydrogène pour une voiture.

Le travail se fait **en classe**. La durée est de 55 minutes environ.

La salle de classe doit être munie d'un vidéoprojecteur. Sinon, il est nécessaire pour visualiser les vidéos d'autoriser les téléphones portables personnels des élèves munis d'écouteurs.

Première partie : L'histoire de la pile à hydrogène

Vidéo : 5 minutes

Questionnaire : 5 minutes

Deuxième partie : Comment fonctionne la pile à hydrogène ?

Vidéo : 2 minutes

Questionnaire : 15 minutes

Troisième partie : Comment obtenir le dihydrogène ?

Vidéo ou ressource documentaire : 5 minutes

Questionnaire : 5 minutes

Quatrième partie : Quel est le rendement global pour une voiture ?

Ressource documentaire : 2 minutes

Questionnaire : 10 minutes

Éléments pour construire l'activité des élèves

Comment obtenir de l'électricité sans produire de gaz à effet de serre à partir d'une espèce chimique aussi abondante que l'eau sur Terre ?

Grâce à une pile un peu spéciale : une pile à combustible.

Cette pile alimentée en dihydrogène peut faire fonctionner une voiture.

Qui l'a inventée ? Comment cette pile produit-elle de l'électricité ? Comment obtenir le dihydrogène ? Quel est le rendement lors de la conversion d'énergie ?

C'est ce que nous allons découvrir.

L'histoire de la pile à hydrogène

La technologie de la pile à hydrogène existe depuis de nombreuses années.

Cependant, il existe encore des défis à relever avant de tous pouvoir se déplacer avec du dihydrogène.

Comment les scientifiques et les ingénieurs sont-ils arrivés à un tel résultat ?

Ressource numérique

La vidéo [La petite histoire de la pile à dihydrogène](#) disponible sur le compte dailymotion d'éduscol.

→Après avoir visionné la vidéo, répondre aux questions suivantes.

1. Quel est le nom du scientifique qui a construit la première pile à hydrogène ?
2. Pourquoi la pile à hydrogène est-elle restée une curiosité scientifique jusqu'aux programmes de la Nasa ?
3. Pourquoi est-elle à nouveau tombée dans l'oubli ?
4. Pourquoi la pile à hydrogène est-elle, à l'heure actuelle, porteuse de projets dans les transports ?

Comment fonctionne la pile à hydrogène ?

Déjà utilisées dans les transports et en voie de développement pour certains appareils portables, les piles à hydrogène permettent de produire un courant électrique à partir de deux gaz : le dihydrogène H₂ et le dioxygène O₂. Cette pile à combustible convertit l'énergie chimique en énergie électrique.

Il en existe de plusieurs sortes. Une des plus courantes est la pile à combustible à membrane échangeuse de protons PEMFC (selon l'acronyme de l'appellation anglaise Proton Exchange Membrane Fuel Cells).

Ressource numérique : vidéo

Dans un moteur de recherche, taper les mots suivants :

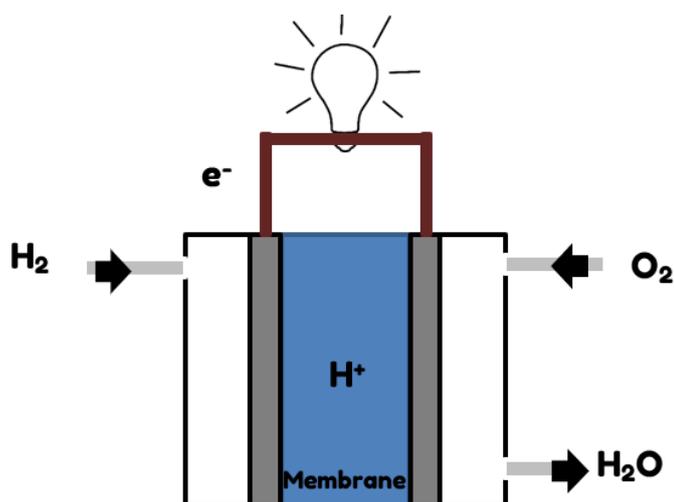
Pile à combustible + FUTURE + ARTE

→Après avoir visionné la vidéo, répondre aux questions suivantes.

5. Écrire l'équation (appelée demi-équation) à l'électrode alimentée en dihydrogène.

Remarque : Dans une demi-équation, le signe entre les réactifs et les produits est un signe « = ».

6. Écrire comme précédemment la demi-équation à l'électrode alimentée en dioxygène.
7. Retrouver l'équation de fonctionnement de la pile en combinant les deux demi-équations précédentes (celles des questions 5 et 6) : $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
8. Compléter le schéma de la pile en indiquant le sens de déplacement des électrons ainsi que celui des protons dans la membrane.



9. Pourquoi cette pile est-elle considérée comme une pile « propre » ?

Comment obtenir le dihydrogène ?

La pile à hydrogène doit être alimentée avec du dioxygène qui est prélevé dans l'air, mais qu'en est-il du dihydrogène ?

Comment est-il obtenu et à partir de quelles espèces chimiques ?

Où trouver le dihydrogène ?

L'hydrogène est l'élément le plus abondant de l'Univers.

Sur Terre, on ne le trouve jamais à l'état pur mais toujours lié à d'autres atomes comme dans la molécule d'eau (H_2O), ou dans la molécule de méthane (CH_4).

Pour obtenir le dihydrogène qui va alimenter la pile à combustible, il faut utiliser des procédés chimiques qui séparent les atomes d'hydrogène des autres atomes de ces molécules.

La méthode de l'électrolyse de l'eau.

Lorsqu'on électrolyse de l'eau (H_2O), c'est-à-dire qu'on la décompose à l'aide d'un courant électrique, on récupère 2 atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène. Les atomes d'hydrogène se combinent pour former du dihydrogène (H_2) et ceux d'oxygène du dioxygène (O_2). Ce procédé est intéressant car il permet d'obtenir assez facilement un dihydrogène pur. Mais il est loin d'être économiquement rentable.

1 L d'eau permet d'obtenir 100 g de dihydrogène H_2 .

La méthode du reformage du gaz naturel par de la vapeur d'eau surchauffée

C'est le procédé le plus utilisé pour produire de l'hydrogène. Sous l'action de la vapeur d'eau et de la chaleur, les atomes qui constituent le méthane (CH_4) se séparent et se réarrangent en dihydrogène (H_2) d'une part et dioxyde de carbone (CO_2) d'autre part.

Le dihydrogène, un vecteur d'énergie

Le dihydrogène obtenu contient de l'énergie sous forme d'énergie chimique.

Quand on décompose une molécule de H_2 , on libère beaucoup d'énergie.

1 kg de dihydrogène H₂ libère 4 fois plus d'énergie qu'1 kg d'essence.

Sous forme liquide dans des bouteilles sous pression, le dihydrogène peut :

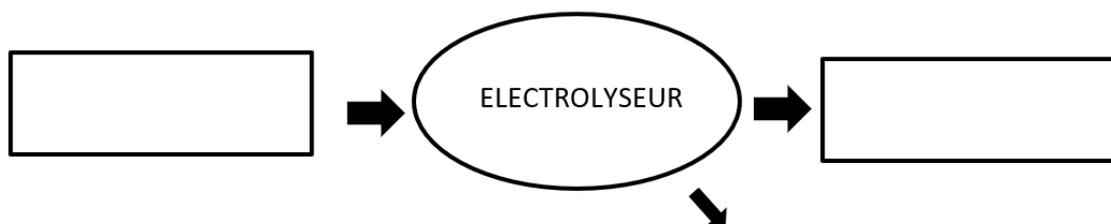
- être stocké et permet donc d'apporter une solution à l'intermittence de la production d'énergie électrique par le photovoltaïque ou l'éolien ;
- aussi être transporté.

Les industries pétrolières et chimiques savent déjà produire le dihydrogène en grande quantité. Mais ce dihydrogène produit à plus de **90% à partir d'énergies fossiles** rejette dans l'atmosphère des gaz à effets de serre.

Produire de l'hydrogène **à partir des énergies renouvelables** est possible mais nécessite beaucoup de place. À titre d'exemple, d'après les vidéos du dossier « Hydrogène » du site « Esprit sorcier » en collaboration avec le CEA : « Pour alimenter une maison à partir de panneaux solaires il faudrait une superficie de 100 m² de toiture recouverte de cellules photovoltaïques. »

→Après avoir lu le texte précédent, répondre aux questions suivantes.

10. Quelle méthode permet d'obtenir du dihydrogène à partir de l'eau ?
11. Existe-t-il d'autres méthodes pour obtenir du dihydrogène ?
12. Compléter la chaîne énergétique du convertisseur permettant l'électrolyse de l'eau.



13. Quelle est l'équation de l'électrolyse de l'eau ? Quelle est sa particularité par rapport à celle établie pour la pile à hydrogène ?
14. La production de dihydrogène ne s'inscrit pas toujours dans une politique de développement durable. Pourquoi ?
15. À quelle condition la production du dihydrogène s'inscrit-elle dans une politique de développement durable ?

Quel est le rendement global de la voiture à H ?

Une voiture à pile à combustible possède un moteur électrique, contrairement à la plupart de nos véhicules à essence, qui eux possèdent un moteur thermique.

Le moteur électrique permet avec 1 kWh d'énergie électrique d'obtenir une énergie mécanique de 0,8 kWh.

Avec 1 kWh d'énergie chimique (carburant) on obtient environ 0,4 kWh d'énergie mécanique à la sortie d'un moteur thermique, soit un rendement d'environ 40 %, car une grande quantité d'énergie est dissipée par transfert thermique.

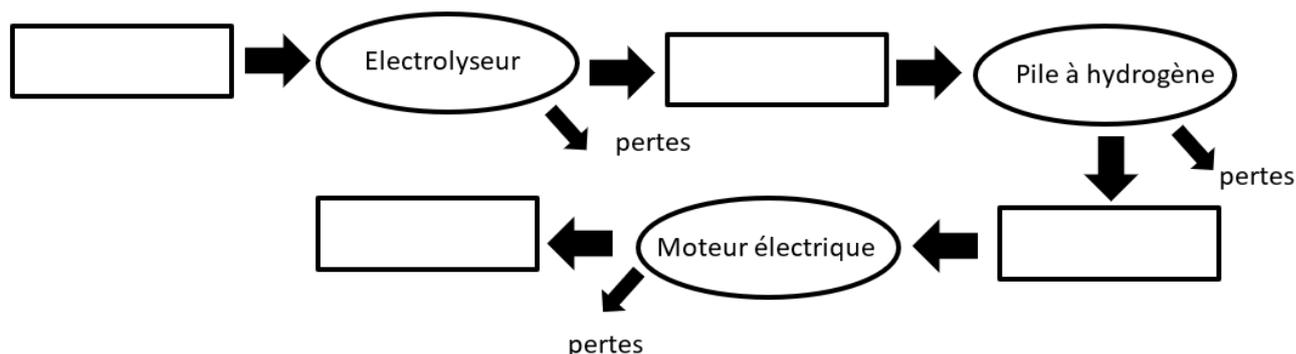
Les piles à combustible alcalines (ou AFC selon l'acronyme de l'appellation anglaise Alkaline Fuel Cell) sont une des autres techniques de piles à combustible développées. C'est la technique qui fut employée lors des expéditions lunaires Gemini et Apollo. Les AFC comme les PEMFC vues précédemment consomment du dihydrogène et du dioxygène en produisant de l'eau potable, de la

chaleur et de l'électricité. Pour cette technologie, la membrane de la PEMFC est remplacée par de la potasse (KOH) en solution, le platine par du nickel et du charbon actif.

Elles sont parmi les piles à combustible les plus efficaces, pouvant potentiellement atteindre un rendement de l'ordre de 70 %.

→Après avoir lu le texte précédent, répondre aux questions suivantes.

16. Compléter la chaîne énergétique de l'utilisation d'une pile à hydrogène dans une voiture à hydrogène pour laquelle le dihydrogène est produit avec un électrolyseur.



17. Quel est le rendement d'une pile à hydrogène de type AFC ?

18. Calculer le rendement d'un moteur électrique.

19. Le rendement de l'électrolyseur est de 70 %. Calculer le rendement total pour la chaîne énergétique précédente.

20. Comparer ce rendement global avec le rendement d'un moteur thermique.

21. Pour obtenir le rendement global pour un moteur thermique, de quel autre rendement faut-il tenir compte ?

Éléments pour le professeur

Première partie : l'histoire de la pile à hydrogène

Commentaires

Cette activité permet de montrer aux élèves qu'une découverte scientifique peut mettre des années (230 ans de la découverte du dihydrogène par Antoine Lavoisier jusqu'à la commercialisation d'un véhicule grand public à pile à hydrogène) avant que l'élaboration d'un prototype puis d'une application concrète soit réalisée.

Éléments de réponse

1. William Grove 1839.
2. Elle est moins performante et d'utilisation plus contraignante que la pile Leclanché. Elle est par ailleurs moins puissante que les alternateurs et dynamos.
3. Coût de fabrication trop élevé, échecs techniques répétés mais aussi par choix stratégique d'autres filières de production d'électricité comme le nucléaire pour la France peuvent expliquer pourquoi la pile à hydrogène est retombée dans l'oubli.
4. Elle permet à un véhicule de se propulser sans rejet de dioxyde de carbone si le dihydrogène est produit à partir de sources d'énergies renouvelables.

Deuxième partie : comment fonctionne la pile à hydrogène ?

Commentaires

La principale difficulté est d'établir l'équation de formation de l'eau à partir des demi-équations aux électrodes. Il peut être utile de repasser les secondes de la vidéo ou de figer la vidéo pour que l'élève identifie les réactifs et les produits. Pour les élèves ne suivant pas la spécialité de physique-chimie, un indice peut être donné :

Exemple d'aide pour les élèves

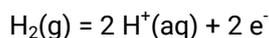
Écrire les 2 demi-équations.

Multiplier les deux membres de l'une d'elle par un nombre entier de façon à ce que les électrons n'apparaissent pas lorsqu'on « additionne » les 2 demi-équations.

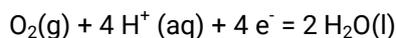
Remarque : le signe = est remplacé par une →

Éléments de réponses

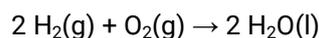
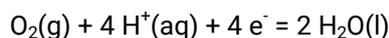
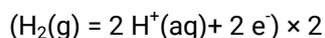
5. « Les molécules de dihydrogène se dissocient et libèrent des électrons et des ions H⁺ »



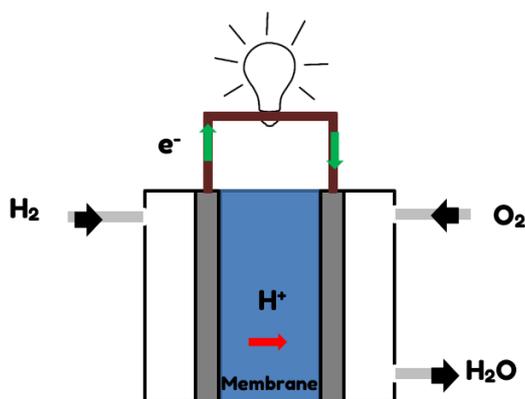
6. « De l'autre côté, le dioxygène rencontre les électrons et les ions hydrogène H⁺ ayant traversé la membrane pour se transformer en eau »



7.



8.



9. La pile à hydrogène ne produit pas (directement) de dioxyde de carbone.

Troisième partie : comment obtenir le dihydrogène ?

Commentaires

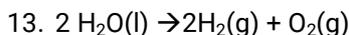
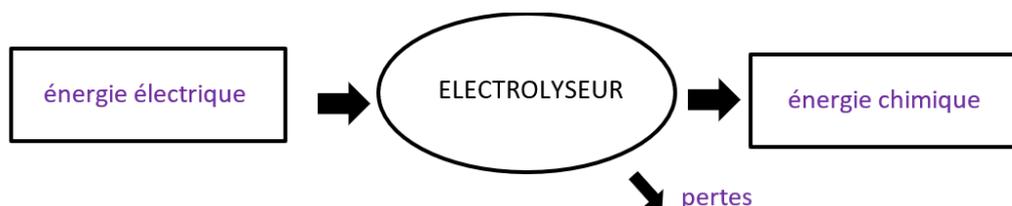
Cette partie permet de bien mettre en évidence le fait que la technologie de la pile à hydrogène n'est pas pleinement une solution à la diminution de la production des gaz à effets de serre si la « fabrication » du dihydrogène n'est pas « décarbonée ».

Elle permet par ailleurs de vérifier que la schématisation d'un bilan énergétique est acquise.

Une alternative à cette partie consisterait à présenter les vidéos du dossier HYDROGÈNE du site « Esprit sorcier » en collaboration avec le CEA et à ouvrir la discussion avec les élèves autour de la seule question : « À quelle condition la production du dihydrogène s'inscrit dans une politique de développement durable ? » Des valeurs d'ordre de grandeur de valeurs d'énergies peuvent être évoquées.

Éléments de réponse

10. L'électrolyse
11. Le reformage
- 12.



C'est la réaction inverse de celle établie pour la pile à hydrogène.

14. La production est faite à plus de 90 % à partir d'énergies fossiles, qui rejettent dans l'atmosphère des gaz à effets de serre.
15. Il faut utiliser des énergies renouvelables pour obtenir le dihydrogène, d'autant qu'il permet de répondre au problème d'intermittence de ces énergies.

Quatrième partie : quel est le rendement global pour une voiture ?

Commentaires

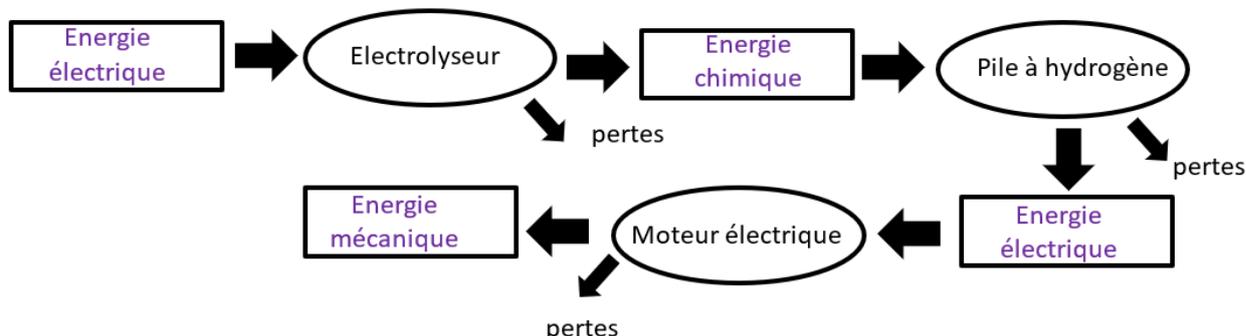
La principale difficulté est d'établir le rendement global de la chaîne énergétique et de guider les élèves pour qu'ils incluent dans le rendement global d'un véhicule, en plus du rendement du système de propulsion, celui de la filière de production et de distribution du combustible.

Le calcul du rendement global du système de production n'est pas rigoureux. Il a pour objectif d'obtenir un ordre de grandeur et de susciter la discussion.

Par ailleurs, le calcul du rendement global à la question 19 peut nécessiter une explication pour des élèves ne suivant pas la spécialité de physique-chimie.

Éléments de réponse

16.



17. Le rendement d'une pile à hydrogène de type AFC est de 70 %.

18. $R = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{reçue}}}$. Le rendement du moteur électrique est $R(\text{moteur électrique}) = \frac{0,8}{1} = 0,8$ soit 80 %.

19. Le rendement total pour la chaîne énergétique précédente est :

$$R(\text{tot}) = R(\text{électrolyseur}) \times R(\text{pile H}) \times R(\text{moteur électrique}) = 0,7 \times 0,7 \times 0,8 \text{ soit environ } 40 \%$$

20. $R(\text{moteur thermique})$ est du même ordre de grandeur que $R(\text{tot})$.

21. Pour obtenir le rendement global pour un véhicule à essence, il faut tenir compte du rendement de la production et de distribution du combustible.

Références

1/ L'histoire de la pile à Hydrogène

Vidéo réalisée à partir :

A/ du document « Fuel cells : History and updating. A walk along two centuries », J.M. Andújar, F. Segura *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 2309–2322

B/ de la vidéo du site « Esprit sorcier » en collaboration avec le CEA

<https://youtu.be/-UHW1THD5yw>

2/ Comment fonctionne la pile à hydrogène ?

Vidéo : Future _ARTE : <https://youtu.be/7ZzVwI5zwY0>

3/ Comment obtenir le dihydrogène ?

A/ Texte du document : extraits des vidéos du dossier « Hydrogène » du site « Esprit sorcier » en collaboration avec le CEA

<https://youtu.be/Mo1IWqjJgkw> <https://youtu.be/AFZZoMc8PjU>

B/ D'après le site : <https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/chimie-produit-on-hydrogene-6280/>

4/ Quel est le rendement global de la voiture à hydrogène ?

A/ D'après wikipedia : http://fr.wikipedia.org/wiki/Pile_à_combustible_alcaline

B/ D'après le dossier *La voiture à hydrogène*, revue *La Recherche* n°357 Octobre 2002 p61-69