

Dr FuelCell[®] Model Car

Maquette automobile

Guide de l'enseignant



Table des matières

Préambule.....	5
2 A propos de ce document	7
2.1 Utilisation des investigations en salle de classe	8
2.2 Symboles et signalétique	9
2.3 Autres documents applicables	10
3 Considérations générales de sécurité.....	13
3.1 Pour votre sécurité	13
3.2 Conditions locales d'utilisation.....	14
3.3 Conditions d'expédition et de transport	14
3.4 Mesures de sécurité.....	15
3.5 Compatibilité électromagnétique	15
3.6 Garantie	15
4 Démonstration du Dr FuelCell® Model Car	17
4.1 Précisions à l'usage de l'enseignant.....	17
4.2 Encadrement de l'investigation par l'enseignant.....	20
5 Orientation du panneau solaire.....	27
5.1 Précisions à l'usage de l'enseignant.....	27
5.2 Encadrement de l'investigation par l'enseignant.....	32
5.3 Section destinée à l'étudiant.....	42
6 Electrolyse simple.....	49
6.1 Précisions à l'usage de l'enseignant.....	49
6.2 Encadrement de l'investigation par l'enseignant.....	52
6.3 Section destinée à l'étudiant.....	59
7 Comprendre l'électrolyse	65
7.1 Précisions à l'usage de l'enseignant.....	65
7.2 Encadrement de l'investigation par l'enseignant.....	69
7.3 Section destinée à l'étudiant.....	82
8 L'énergie hydrogène	93
8.1 Précisions à l'usage de l'enseignant.....	93
8.2 Encadrement de l'investigation par l'enseignant.....	97
8.3 Section destinée à l'étudiant	109
9 L'énergie hydrogène crée le mouvement	119

9.1	Précisions à l'usage de l'enseignant	119
9.2	Encadrement de l'investigation par l'enseignant.....	122
9.3	Section destinée à l'étudiant.....	134
10	Rendement énergétique	145
10.1	Précisions à l'usage de l'enseignant	145
10.2	Encadrement de l'investigation par l'enseignant.....	151
10.3	Section destinée à l'étudiant.....	162
11	Qu'est-ce qu'un hybride ?.....	171
11.1	Précisions à l'usage de l'enseignant	171
11.2	Encadrement de l'investigation par l'enseignant.....	173
11.3	Section destinée à l'étudiant	186
12	Glossaire.....	189

Préambule

L'objectif de ce Guide de l'enseignant est de mettre la technologie de la pile à combustible à la portée des étudiants. Les principes de base de l'utilisation des piles à combustible y sont passés en revue d'une manière plaisante et ludique, propice à encourager les étudiants dans une approche plus poussée de cette nouvelle technologie.

Les piles à combustible utilisent l'énergie chimique de l'hydrogène pour générer de l'électricité. Il s'agit d'une énergie propre et efficace. Les piles à combustible à l'hydrogène contribuent potentiellement à :

- Réduire les émissions de gaz à effet de serre, la pollution de l'air et les changements climatiques mondiaux
- Garantir les réserves énergétiques
- Promouvoir la technologie de la pile à combustible à l'hydrogène comme étant l'énergie du futur

Enseigner cette technologie d'exception à vos étudiants leur donnera assurément un temps d'avance dans ce domaine en pleine expansion.

Aspects des programmes d'enseignement

De nombreux aspects des programmes d'enseignement peuvent être enseignés par le biais de cette nouvelle technologie :

- Concept des molécules
- Structure des atomes
- Réactions chimiques
- Conversion des différents types d'énergie
- Réalisation de recherches scientifiques
- Conception et pilotage d'investigations scientifiques
- Science et technologie dans le cadre de challenges locaux, nationaux et mondiaux

Nous formons le vœu que vos étudiants contribueront activement à faire des piles à combustible la source d'énergie durable du futur.

8 L'énergie hydrogène

Lors de cette investigation, les étudiants vont étudier de quelle manière on peut obtenir de l'électricité en combinant de l'hydrogène et de l'oxygène.

Cette investigation est la suite logique des investigations précédentes mais il n'est pas indispensable que les étudiants les aient déjà réalisées.

8.1 Précisions à l'usage de l'enseignant

8.1.1 Objectifs

Compétences

Pour une assimilation optimale de cet enseignement, les étudiants doivent déjà savoir ce que sont :

- Dissociation des composés chimiques
- Réaction d'oxydoréduction
- Piles et batteries
- Test de combustion de l'hydrogène
- Linéarité et extrapolation.

Objectifs pédagogiques

Lors de cette investigation, les étudiants vont apprendre ce que sont :

- Obtention d'électricité par combinaison d'hydrogène et d'oxygène
- Conversion d'énergie
- Puissance en tant que produit de l'intensité et de la tension
- Première loi de Faraday sur l'électrolyse
- Nécessité de la reproductibilité des investigations scientifiques
- Hydrogène en tant qu'énergie chimique stockée.

Perspective

Cette investigation peut servir de point de départ à l'étude d'autres sujets aussi divers que :

- Concept de catalyseurs
- Concept des électrons, des atomes, etc.
- Industries de la production d'énergie
- Effet de serre
- Constante d'Avogadro

8.1.2 Programme horaire

L'estimation des durées est approximative.

Tâche	Durée
Préparation avant la classe	20 min
Investigation	90 min
Temps que les étudiants consacreront à répondre au questionnaire	35 min

Tableau 8-1 Planning

8.1.3 Méthodologie d'enseignement

Méthode	Pertinence
Travail de groupe	✓✓✓✓
Démonstration au tableau et discussion	✓
Travail individuel (questionnaire de l'étudiant)	✓✓
Travail à la maison (questionnaire de l'étudiant)	✓✓✓

Tableau 8-2 Méthodologie d'enseignement (✓ = insuffisant ... ✓✓✓✓ = très bien)

8.1.4 Notions fondamentales

Faire marcher
une voiture
à l'hydrogène ?

Avec la cellule électrolytique utilisée lors des expériences précédentes, nous avons vu que nous disposions d'une source d'hydrogène et d'un moyen de stocker ce gaz dans un réservoir cylindrique. Nous avons vu que nous disposions également d'une source d'oxygène – même si l'on pouvait très bien se contenter d'air, puisque l'air contient 21 % d'oxygène. Nous devons maintenant trouver un moyen de retransformer l'hydrogène et l'oxygène en électricité pour pouvoir alimenter le moteur électrique de la voiture.

Pile à
combustible

Le kit de maquette automobile fournit justement un dispositif permettant de retransformer l'hydrogène et l'oxygène en eau. Lors de l'investigation *COMPRENDRE L'ÉLECTROLYSE*, nous avons utilisé le composant principal de ce kit - la pile à combustible réversible – comme cellule électrolytique. Mais si on alimente la pile à combustible réversible d'un côté avec de l'hydrogène et de l'autre avec de l'oxygène, alors elle produit un courant électrique. L'hydrogène s'associe avec l'oxygène pour produire à nouveau de l'eau - notre matière de départ. Nous pourrions donc écrire ceci sous la forme :

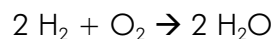
Electricité + Eau → Hydrogène + Oxygène

Hydrogène + Oxygène → Eau + Electricité

Il pourrait s'agir là d'une merveilleuse solution au problème de pollution de l'air puisque l'énergie créée à partir d'une pile à combustible à hydrogène ne rejetterait que de l'eau ou de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ; et seules de l'eau et de l'électricité seraient utilisées comme sources de l'hydrogène nécessaire à l'alimentation de la pile à combustible.

Les astronautes utilisent déjà cette technologie dans les stations spatiales. A partir de cellules solaires, de cellules électrolytiques, de piles à combustibles et d'un apport initial en eau, les astronautes sont sûrs de disposer d'une source d'électricité et d'oxygène, et aussi d'une abondante source d'hydrogène. Puisque l'hydrogène est utilisé comme combustible pour produire de l'électricité, il permet également de produire de l'eau.

Rappelez-vous la réaction qui s'est produite dans la pile à combustible :



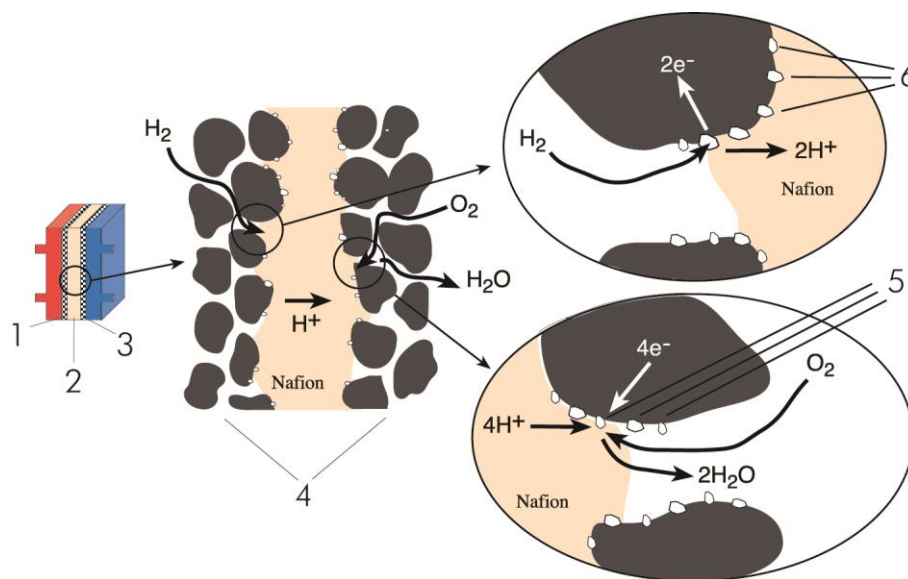


Fig. 8-1 Principe de la pile à combustible

- | | | | |
|---|---|---|------------------------------|
| 1 | Anode | 4 | Couche de carbone |
| 2 | Membrane en électrolyte polymère (Nafion) | 5 | Catalyseur en platine iridié |
| 3 | Cathode | 6 | Catalyseur en platine |

Le flux d'électrons peut être utilisé par une charge (qui débite le courant).

Avec cette maquette automobile, nous pouvons utiliser l'hydrogène stocké pour produire l'électricité qui alimentera le moteur de la voiture. Etant donné que ce type de moteur électrique tourne très vite, il est doté d'un réducteur de vitesse sur l'arbre et d'une transmission affectant les roues arrières de la voiture.

Puissance

Lors de la description des événements électriques, la puissance (en watts) en entrée ou en sortie d'un appareil peut être déterminée en multipliant la valeur de l'intensité (en ampères) du courant qui circule au travers de l'appareil par la valeur de la tension (en volts) existant au travers de cet appareil. La puissance exprime la force d'un processus. Nous pouvons écrire :

$$I \times V = P \text{ (ampères} \times \text{volts} = \text{watts)}$$

Anode / Cathode

Quand nous avons utilisé la pile à combustible réversible comme cellule électrolytique, nous avons respecté les polarités : moins (noir) = hydrogène = cathode et plus (rouge) = oxygène = anode. Maintenant que nous utilisons la pile à combustible réversible en tant que pile à combustible, il est commode de profiter de polarités presque identiques. Le côté hydrogène (noir) produit une tension négative ; le côté oxygène (rouge) produit une tension positive. Toutefois, si l'on veut s'en tenir exactement à la définition d'anode/ cathode (les électrons sont perdus au niveau de l'anode), on devra cette fois appeler le côté hydrogène l'anode et le côté oxygène la cathode.

8.2 Encadrement de l'investigation par l'enseignant

8.2.1 Préparation

Nous vous conseillons de tenter cette investigation avant de commencer la classe.

8.2.2 Pendant la classe

En fonction de l'approche didactique que vous aurez choisie et du nombre de kits de maquette automobile disponibles, vous pouvez opter soit pour un travail de groupe, soit pour une démonstration au tableau suivie de discussion

Sécurité

- ➔ Sensibilisez les étudiants à la nécessité de procéder en toute sécurité et familiarisez-vous avec les risques potentiels.
- ➔ Prévoyez des lunettes de sécurité pour chacun des participants (étudiants et vous-même).



ATTENTION

Suppression dans la pile à combustible réversible !

Blessures causées par l'éjection brutale d'objets quand le sommet des compartiments de trop-plein des cylindres de stockage des gaz est obstrué.

- ➔ N'obstruez pas le sommet des compartiments de trop-plein des cylindres de stockage des gaz.
- ➔ Portez les lunettes de sécurité en permanence.



ATTENTION

Combustion de l'hydrogène !

Brûlures de la peau et endommagement de la pile à combustible.

- ➔ Ne pas exposer à une flamme vive.
- ➔ Ne pas fumer.
- ➔ Espace de travail bien ventilé.



NOTE

Les étudiants vont pouvoir observer deux cas de figure : soit le moteur s'arrête avant que tout l'hydrogène n'ait été consommé, soit, à l'inverse, le moteur continue de fonctionner après que l'hydrogène semble s'être épuisé. Vous pouvez leur proposer les explications ci-après :

- Le moteur s'arrête avant que tout l'hydrogène n'ait été consommé :
 - Cela peut provenir d'air emprisonné dans le système au moment du remplissage à l'eau distillée. Ce qui reste du côté hydrogène n'est pas uniquement de l'hydrogène.
- Le moteur continue de fonctionner après épuisement de l'hydrogène :
 - Même si le cylindre de stockage d'hydrogène est apparemment vide, de l'hydrogène peut encore être présent autour de la membrane.

8.2.2.2 Travail de groupe

Lors du travail de groupe, plusieurs kits de maquette automobile sont nécessaires.

8.2.2.3 Démonstration au tableau et discussion

Si vous optez pour la démonstration au tableau suivie de discussion, un seul kit de maquette automobile est nécessaire.

Pour présenter cette investigation, vous aurez besoin de ce qui suit :

Investigation

- ✓ Lunettes de sécurité ou protections oculaires
- ✓ Panneau solaire ou générateur à manivelle



NOTE

Pour produire l'énergie électrique, vous pouvez utiliser le générateur à manivelle comme alternative au panneau solaire (reportez-vous au Manuel d'instructions).

- ✓ 2 ou 5 cordons de connexion (5 si vous souhaitez évaluer la puissance pouvant être délivrée par la pile à combustible)
- ✓ Pile à combustible réversible
- ✓ Voiture avec moteur

Remplissage de
la pile à combustible
réversible à l'eau distillée

- ✓ Boîtier de mesure de charge (si vous souhaitez évaluer la puissance pouvant être délivrée par la pile à combustible)
 - ✓ Eau distillée
 - ✓ Ampoule 100–120 watts à réflecteur PAR, ou source lumineuse équivalente
 - ✓ Bloc de bois ou autre support pour la voiture
 - ✓ Montre à trotteuse ou à fonction de chronomètre
1. Mettez les lunettes de sécurité.
 2. Placez la pile à combustible tête en bas (numéros orientés vers le bas) sur le plan de travail.
 3. Retirez les bouchons obturateurs.

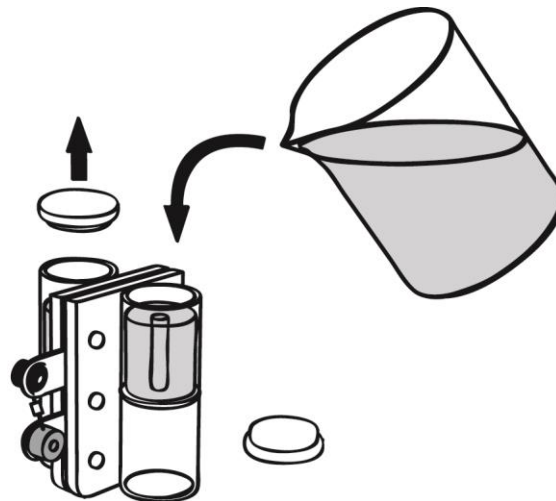


Fig. 8-2 Remplissage de la pile à combustible réversible à l'eau distillée



AVERTISSEMENT

Utilisez uniquement de l'eau distillée !

L'eau du robinet et les autres liquides endommageraient de manière irréversible la membrane de la pile à combustible réversible.

4. Versez de l'eau distillée dans chacun des cylindres de stockage jusqu'à ce que le niveau de l'eau atteigne le sommet des petits tubes situés au centre des cylindres.
5. Tapotez légèrement le corps de la pile à combustible pour aider l'eau à s'écouler jusqu'à la zone d'électrolyse (autour de la membrane et des plaques métalliques collectrices de courant).
6. Ajoutez encore un peu d'eau jusqu'à la faire déborder à l'intérieur des tubes des cylindres.

7. Remettez les bouchons obturateurs en place sur les cylindres. Assurez-vous de ne pas avoir emprisonné d'air à l'intérieur des cylindres.



NOTE

Un petite bulle d'air de l'ordre de 0,5 ml ne posera aucun problème et peut être ignorée.

8. Si la pile à combustible réversible n'a pas été utilisée pendant un certain temps, laissez-la s'imprégner lentement pendant 20 min ; si elle a été utilisée récemment, remettez-la tête en haut.

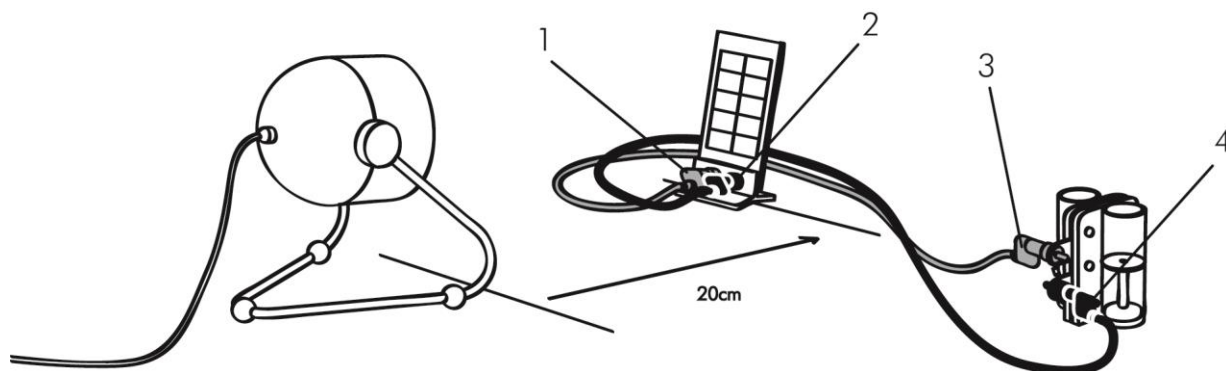


Fig. 8-3 Raccordement du panneau solaire et de la pile à combustible

Production d'hydrogène

9. Branchez les fiches bananes rouges du cordon de connexion rouge dans les bornes rouges (plus) prévues à cet effet sur le panneau solaire (1) et la pile à combustible (3).



AVERTISSEMENT

Court-circuit dans la pile à combustible réversible !

Apparition de points de concentration de chaleur sur la membrane, qui entraînent la détérioration de la membrane.

→ Ne mettez pas la pile à combustible réversible en court-circuit.

10. Répétez l'étape 9 en installant cette fois le cordon de connexion noir sur les bornes moins (2, 4).



AVERTISSEMENT

Surchauffe du panneau solaire !

Dysfonctionnement ou endommagement irréversible des cellules solaires.

- ➔ Utilisez uniquement des sources lumineuses d'une puissance maximum de 120 W.
- ➔ Maintenez toujours une distance minimum de 20 cm entre la source lumineuse et le panneau solaire.
- ➔ Ne concentrez pas le faisceau de lumière.

11. Alignez le panneau solaire sur la source lumineuse, en conservant toujours une distance minimum de 20 cm entre les deux.



ATTENTION

Forte chaleur en surface du panneau solaire et de la lampe !

Brûlures de la peau.

- ➔ Ne portez pas la main sur les surfaces chaudes du panneau solaire ou de la lampe.
- ➔ Laissez le panneau solaire / la lampe refroidir avant de les toucher.

12. Allumez la lampe.

La pile à combustible commence à produire de l'hydrogène.

13. Dès que le cylindre de stockage d'hydrogène contient un peu plus de 12 ml :

- Eteignez la lampe.
- Débranchez les cordons de connexion de la pile à combustible réversible.

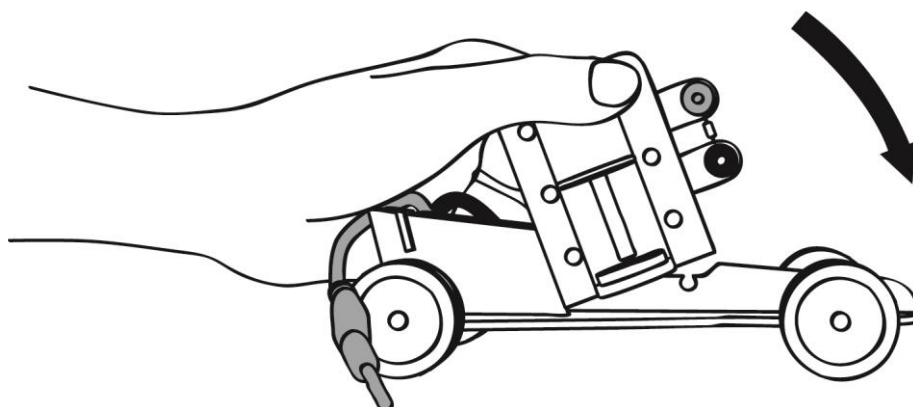


Fig. 8-4 Mise en place de la pile à combustible réversible sur la maquette automobile

Fonctionnement de la voiture

14. Positionnez la pile à combustible réversible de façon que ses bornes rouge et noire soient orientées vers l'avant de la maquette automobile. Introduisez-la dans les encoches prévues à cet effet sur la maquette et vérifiez que vous entendez distinctement le clic de blocage.

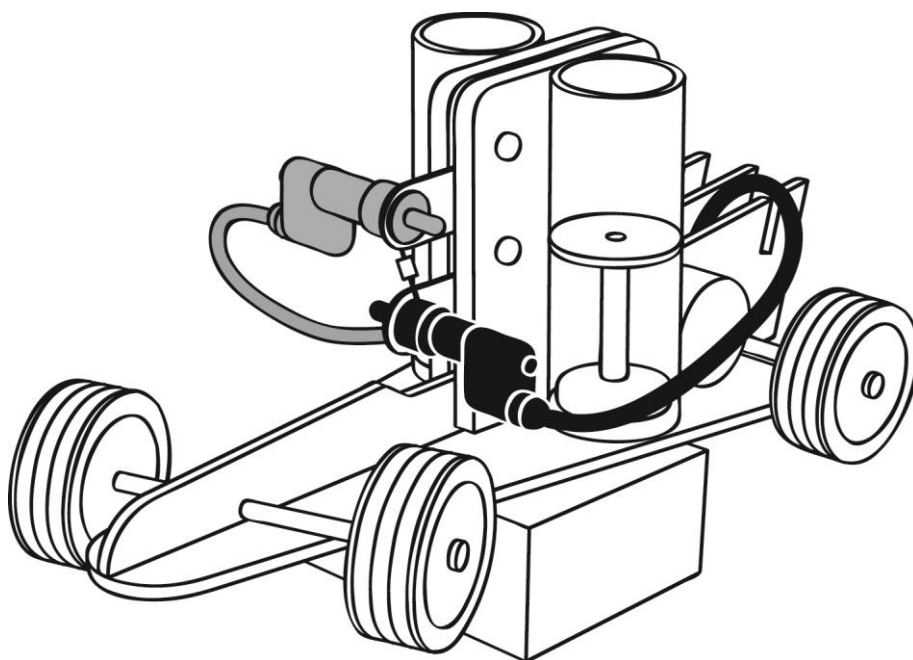


Fig. 8-5 Mise en place de la maquette automobile sur le bloc de bois

Participation des étudiants

15. Placez le bloc de bois sous le châssis de la voiture de façon que les roues puissent tourner librement.
16. Connectez la fiche banane rouge (plus) à la borne rouge (plus) et la fiche banane noire (moins) à la borne noire (moins).
17. Demandez aux étudiants d'observer le niveau de gaz dans le cylindre de stockage d'hydrogène et dès que le niveau du gaz atteint exactement 12 ml, demandez-leur de déclencher le chronomètre (ou de comptabiliser le temps à la seconde près).

18. Demandez-leur de relever le temps à chaque fois qu'un millilitre de gaz a été consommé.
19. Demandez à un étudiant d'inscrire tous les résultats dans un tableau (au tableau).

Hydrogène consommé [ml]	Temps écoulé [s] Essai 1	Temps écoulé [s] Essai 2	Temps écoulé [s] Essai 3	Moyenne des temps écoulés pour tous les essais
0	0	0	0	0
1	60	60	60	60
2	120	110	120	117
3	170	160	170	167
4	220	210	210	213
5	270	260	260	263
6	320	310	300	310
7	370	360	350	360
8	420	410	400	410
9	470	460	450	460
10	520	510	490	507
11	570	550	550	557
12	–	–	–	–
Arrêt des roues	580	550	550	560

Tableau 8-3 Consommation en hydrogène (les valeurs sont purement indicatives et peuvent varier)

20. Poursuivez l'expérience jusqu'à ce que le moteur s'arrête.
21. Déconnectez la pile à combustible de la voiture et connectez la pile à combustible au panneau solaire pour produire à nouveau de l'hydrogène.
22. Allumez la lampe.
23. Répétez ce processus de production d'hydrogène et de consommation d'hydrogène par la voiture autant de fois qu'il vous semble judicieux (au moins une fois).
24. Demandez à un étudiant de tracer au tableau une courbe donnant le volume d'hydrogène utilisé en fonction de la durée de rotation des roues.

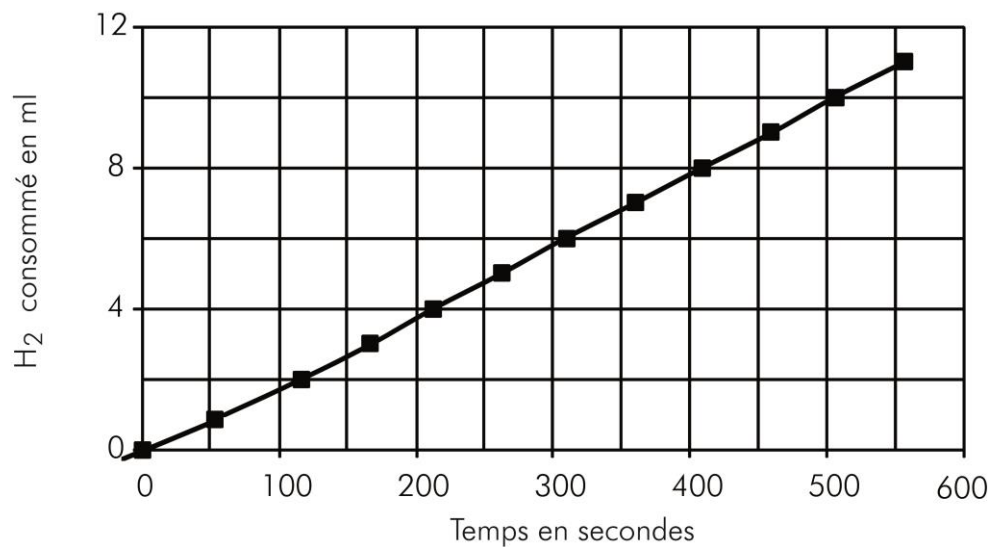


Fig. 8-6 Volume d'hydrogène en fonction de la durée de rotation des roues (ces valeurs sont purement indicatives et peuvent varier)

**Quelle puissance
la pile à combustible
peut-elle délivrer ?**

S'il ne vous reste plus assez de temps pour terminer ou si vous préférez poursuivre par autre chose, vous pouvez sans problème arrêter l'investigation ici. Si vous décidez de poursuivre, vous allez maintenant tenter d'évaluer la puissance que peut délivrer une pile à combustible :

1. Remplissez la pile à combustible réversible à l'eau distillée (si nécessaire) et produisez de l'hydrogène ; reportez-vous aux étapes 2. à 13. en pages 99–100.

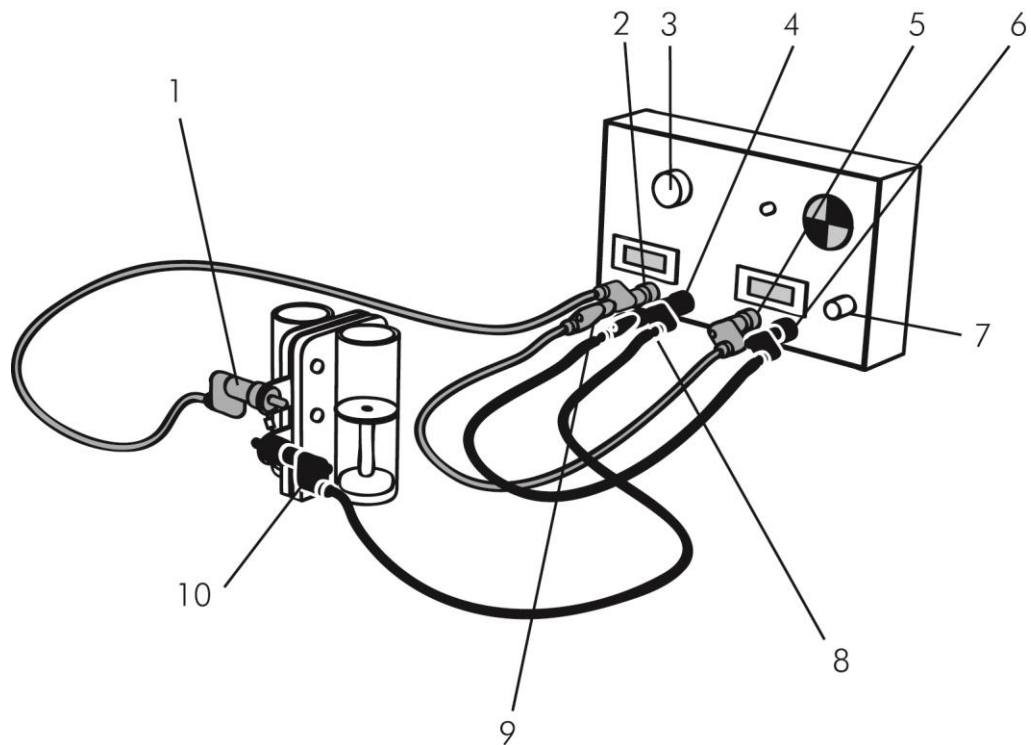


Fig. 8-7 Raccordement de la pile à combustible réversible et du boîtier de mesure de charge

2. Positionnez le sélecteur *LOAD* (3) sur *OPEN*.
3. Raccordez la borne rouge (plus) de la pile à combustible réversible (1) avec la borne rouge (plus) de l'ampèremètre du boîtier de mesure de charge (2).
4. Raccordez la borne noire (moins) de la pile à combustible réversible (10) avec la borne noire (moins) de l'ampèremètre du boîtier de mesure de charge (4).
5. Raccordez la borne rouge (plus) de l'ampèremètre du boîtier de mesure de charge (9) avec la borne rouge (plus) du voltmètre (5) du boîtier de mesure de charge.
6. Raccordez la borne noire (moins) de l'ampèremètre du boîtier de mesure de charge (8) avec la borne noire (moins) du voltmètre du boîtier de mesure de charge (6).
7. Appuyez sur le bouton *ON / OFF* (7).
8. Positionnez le sélecteur *LOAD* (3) sur *10 Ω* .
9. Observez les valeurs d'intensité et de tension pendant quelques secondes.

**Mesure de
l'intensité et de la tension**



NOTE

Vous constatez que la toute première valeur de tension est supérieure à 1,23 V (or la théorie dit que 1,23 V est la tension maximum admissible pour une pile à combustible hydrogène / oxygène) puis la tension décroît lentement. Ce phénomène est dû à la présence de couches de surface restées sur le catalyseur après l'électrolyse.

Participation des étudiants

10. Dès que les valeurs d'intensité et de tension semblent s'être stabilisées, demandez aux étudiants de les inscrire dans le tableau ci-après (fourni ici avec des résultats types).

Charge [Ω]	Intensité [A]	Tension [V]	Puissance [W] (calculée)
10	0.080	0.840	0.067
5	0.145	0.780	0.113
3	0.237	0.750	0.178
1	0.497	0.640	0.318

Tableau 8-4 Valeurs types de puissance utile délivrée par une pile à combustible (ces valeurs sont purement indicatives et peuvent varier)

11. Modifiez le réglage de la charge ; passez à 5 Ω puis à 3 Ω et enfin à 1 Ω et à chaque étape, demandez aux étudiants de relever les valeurs d'intensité et de tension.
12. Demandez aux étudiants de calculer la puissance utile de la pile à combustible.
13. Débranchez le boîtier de mesure de charge et éteignez-le.
14. Désassemblez les équipements et rangez-les.

8.2.2.4 Travail individuel en classe

Les étudiants peuvent être encouragés à répondre au questionnaire figurant dans la section *QUESTIONNAIRE DE L'ÉTUDIANT* en page 117 en séance de travail individuel ou en binôme. Le choix sera fonction des aptitudes des étudiants et de l'approche didactique que vous aurez privilégiée.

8.2.2.5 Travail à la maison

Le questionnaire fourni dans la section *QUESTIONNAIRE DE L'ÉTUDIANT* en page 117 peut également être utilisé comme base d'un travail à la maison si les étudiants se sentent capables d'y répondre sans l'assistance de l'enseignant.

8.2.3 Questionnaire et corrigé

1. Pourquoi est-il important de toujours remplir le cylindre de stockage d'hydrogène avec la même quantité d'hydrogène chaque fois que l'on commence à mesurer la durée de rotation des roues pour chaque ml de gaz consommé ?

Si nous voulons correctement comparer la durée de rotation des roues pour chaque ml de gaz consommé, il est important de commencer à chaque fois notre décompte avec la même quantité d'hydrogène.

2. Que fait le niveau de gaz dans le cylindre de stockage d'hydrogène au fur et à mesure que les roues tournent ? Pourquoi cela se produit-il ?

Le volume de gaz dans le cylindre de stockage d'hydrogène décroît car, en tournant, les roues consomment de l'électricité et alimentent le moteur électrique. Cette électricité provient de la combinaison du gaz hydrogène avec le gaz oxygène qui, en formant de l'eau, produisent aussi de l'électricité.

3. Avez-vous réussi à utiliser l'électricité produite par le panneau solaire pour alimenter le moteur électrique ? Quel est l'avantage d'alimenter une voiture avec du combustible hydrogène plutôt qu'avec un panneau solaire directement connecté au moteur électrique ?

Oui, je pense que nous avons réussi à utiliser l'électricité produite par le panneau solaire pour alimenter le moteur électrique. Alimenter une voiture avec du combustible hydrogène plutôt qu'avec un panneau solaire implique la possibilité de conduire la voiture même la nuit, c'est-à-dire quand la lumière est insuffisante pour faire fonctionner un panneau solaire.

4. Quel est l'avantage de combiner l'hydrogène avec l'oxygène de cette manière, ne pourrait-on pas plutôt le brûler et le faire exploser comme dans le test de combustion de l'hydrogène ?

L'avantage de combiner l'hydrogène avec l'oxygène de cette manière (au lieu de le brûler et de le faire exploser) est de pouvoir mieux contrôler le flux d'énergie produit (sous la forme d'un courant électrique). Ce courant électrique peut être activé / coupé à volonté de façon à n'en utiliser qu'un peu à la fois. Dans le cas d'une explosion, une grande quantité d'énergie est libérée brutalement sous forme de chaleur. Il est donc difficile d'utiliser cette énergie pour alimenter une voiture.

5. Essayez de prédire pendant combien de temps les roues vont tourner avec 20 ml de gaz hydrogène. Utilisez la courbe que vous avez tracée et extrapolez une réponse.

[Les résultats vont varier au cas par cas]

Puisque les roues ont tourné pendant 507 secondes avec 10 ml d'hydrogène, je prédis qu'elles vont tourner deux fois 507 secondes, soit 1014 secondes (ou 17 minutes) avec 20 ml d'hydrogène. La relation entre consommation d'hydrogène et rotation des roues est linéaire.

6. Quelle serait votre réponse à la question à l'origine de cette investigation : Peut-on utiliser de l'hydrogène préstocké pour produire de l'électricité ? Expliquez.

Oui, on peut utiliser de l'hydrogène préstocké pour produire de l'électricité. Nous avons observé que la pile à combustible consomme de l'hydrogène quand elle fabrique de l'énergie électrique.

7. Quand vous avez fait décroître la résistance de 10 à 1 Ω , qu'ont fait les valeurs d'intensité ? Qu'ont fait les valeurs de tension ? D'après les mesures que vous avez effectuées, quelle est la puissance utile maximum de la pile à combustible ?

[Les résultats vont varier au cas par cas]

Quand j'ai fait décroître la résistance, l'intensité a augmenté mais la tension a diminué. La puissance maximum que j'ai mesurée était de 0,318 watts avec une résistance de 1 Ω .

8. La dépendance que vous avez déterminée entre intensité et tension est également typique des piles. Pouvons-nous par conséquent affirmer que la pile à combustible est une "vraie" pile ? Argumentez votre explication.

Oui, nous pouvons dire qu'une pile à combustible est une pile à part entière car elle produit de l'électricité à partir d'une réaction chimique ; de plus, elle est composée de deux demi-éléments galvaniques, avec une anode de pôle moins et une cathode de pôle plus.

Les piles démontrent un comportement similaire. Elles ont une tension à vide qui décroît quand l'intensité augmente. Par exemple, la tension à vide d'une pile NiCd est de 1,2 volts.

8.3 Section destinée à l'étudiant

Lors de cette investigation, vous allez étudier s'il est possible d'utiliser de l'hydrogène comme combustible.

8.3.1 Peut-on utiliser de l'hydrogène préstocké pour produire de l'électricité ?

Sécurité

- ➔ Portez les lunettes de sécurité lors de la réalisation de l'expérience.



ATTENTION

Combustion de l'hydrogène !

Brûlures de la peau et endommagement de la pile à combustible.

- ➔ Ne pas exposer à une flamme vive.
- ➔ Ne pas fumer.
- ➔ Espace de travail bien ventilé.



ATTENTION

Suppression dans la pile à combustible réversible !

Blessures causées par l'éjection brutale d'objets quand le sommet des compartiments de trop-plein des cylindres de stockage des gaz est obstrué.

- ➔ N'obstruez pas le sommet des compartiments de trop-plein des cylindres de stockage des gaz.
- ➔ Portez les lunettes de sécurité en permanence.

- ✓ Lunettes de sécurité ou protections oculaires
- ✓ Panneau solaire ou générateur à manivelle



NOTE

Pour produire l'énergie électrique, votre professeur peut également vous demander d'utiliser le générateur à manivelle comme alternative au panneau solaire (reportez-vous au Manuel d'instructions).

- ✓ 2 ou 4 cordons de connexion
- ✓ Pile à combustible réversible
- ✓ Voiture avec moteur
- ✓ Boîtier de mesure de charge
- ✓ Eau distillée
- ✓ Ampoule 100–120 watts à réflecteur PAR, ou source lumineuse équivalente
- ✓ Bloc de bois ou autre support pour la voiture
- ✓ Montre à trotteuse ou à fonction de chronomètre

1. Mettez les lunettes de sécurité.
2. Placez la pile à combustible tête en bas (numéros orientés vers le bas) sur le plan de travail.
3. Retirez les bouchons obturateurs.

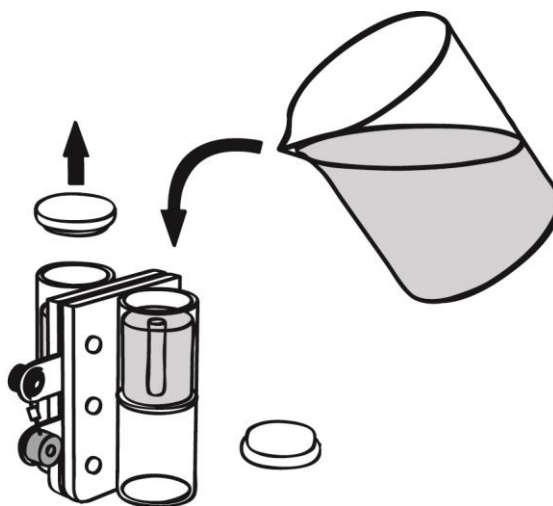


Fig. 8-8 Remplissage de la pile à combustible réversible à l'eau distillée



AVERTISSEMENT

Utilisez uniquement de l'eau distillée !

L'eau du robinet et les autres liquides endommageraient de manière irréversible la membrane de la pile à combustible réversible.

4. Versez de l'eau distillée dans chacun des cylindres de stockage jusqu'à ce que le niveau de l'eau atteigne le sommet des petits tubes situés au centre des cylindres.

5. Tapotez légèrement le corps de la pile à combustible pour aider l'eau à s'écouler jusqu'à la zone d'électrolyse (autour de la membrane et des plaques métalliques collectrices de courant).
6. Ajoutez encore un peu d'eau jusqu'à la faire déborder à l'intérieur des tubes des cylindres.
7. Remettez les bouchons obturateurs en place sur les cylindres. Assurez-vous de ne pas avoir emprisonné d'air à l'intérieur des cylindres.



NOTE

Un petite bulle d'air de l'ordre de 0,5 ml ne posera aucun problème et peut être ignorée.

8. Remettez la pile à combustible tête en haut.

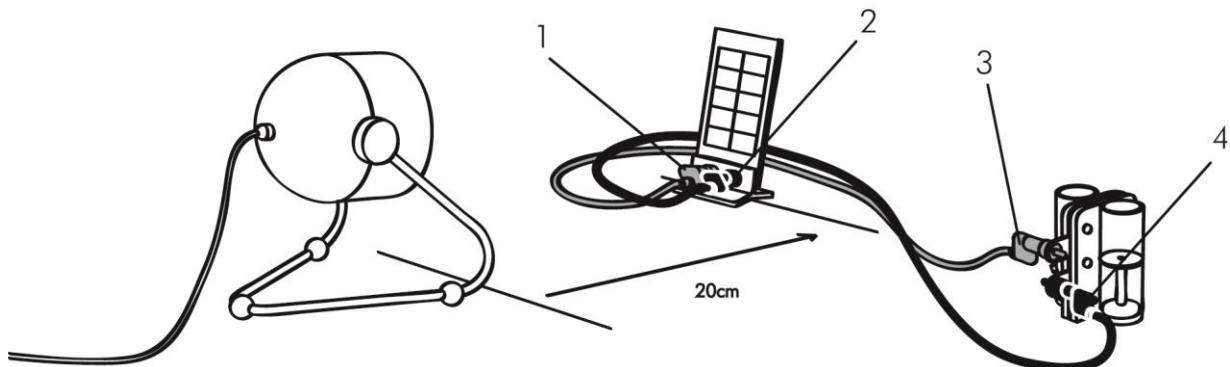


Fig. 8-9 Raccordement du panneau solaire et de la pile à combustible

9. Branchez les fiches bananes rouges du cordon de connexion rouge dans les bornes rouges (plus) prévues à cet effet sur le panneau solaire (1) et la pile à combustible (3).



AVERTISSEMENT

Court-circuit dans la pile à combustible réversible !

Apparition de points de concentration de chaleur sur la membrane, qui entraînent la détérioration de la membrane.

- ➔ Ne mettez pas la pile à combustible réversible en court-circuit.

10. Répétez l'étape 9 en installant cette fois le cordon de connexion noir sur les bornes moins (2, 4).



AVERTISSEMENT

Surchauffe du panneau solaire !

Dysfonctionnement ou endommagement irréversible des cellules solaires.

- Utilisez uniquement des sources lumineuses d'une puissance maximum de 120 W.
- Maintenez toujours une distance minimum de 20 cm entre la source lumineuse et le panneau solaire.
- Ne concentrez pas le faisceau de lumière.

11. Alignez le panneau solaire sur la source lumineuse, en conservant toujours une distance minimum de 20 cm entre les deux.



ATTENTION

Forte chaleur en surface du panneau solaire et de la lampe !

Brûlures de la peau.

- Ne portez pas la main sur les surfaces chaudes du panneau solaire ou de la lampe.
- Laissez le panneau solaire / la lampe refroidir avant de les toucher.

12. Allumez la lampe.
13. Dès que le cylindre de stockage d'hydrogène contient un peu plus de 12 ml :
- Eteignez la lampe.
 - Débranchez les cordons de connexion de la pile à combustible réversible.

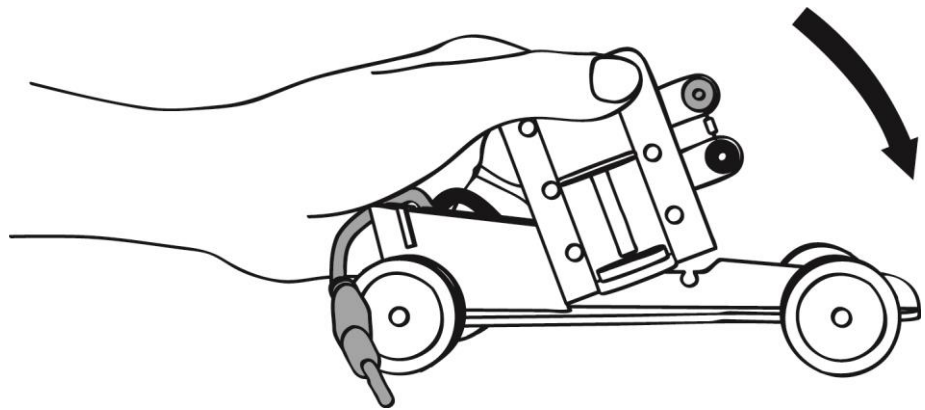


Fig. 8-10 Mise en place de la pile à combustible réversible sur la maquette automobile

14. Positionnez la pile à combustible réversible de façon que ses bornes rouge et noire soient orientées vers l'avant de la maquette automobile. Introduisez-la dans les encoches prévues à cet effet sur la maquette et vérifiez que vous entendez distinctement le clic de blocage.

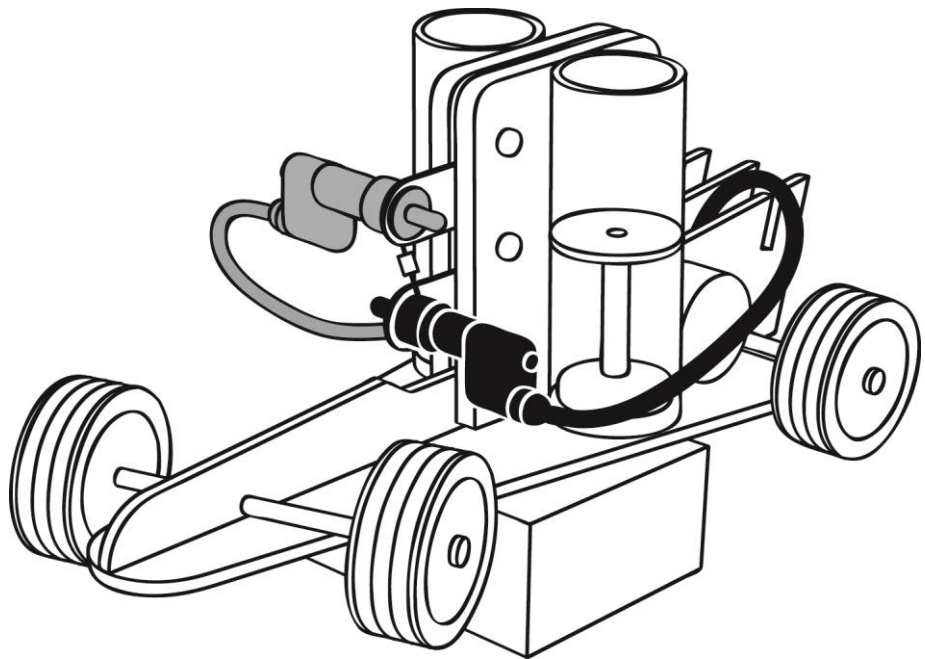


Fig. 8-11 Voiture posée sur le bloc de bois

15. Placez le bloc de bois sous le châssis de la voiture de façon que les roues puissent tourner librement.
16. Raccordez la fiche banane rouge (plus) avec la borne rouge (plus) et la fiche banane noire (moins) avec la borne noire (moins).
17. Observez le niveau de gaz dans le cylindre de stockage d'hydrogène et dès que le niveau du gaz atteint exactement 12 ml, déclenchez le chronomètre (ou comptabilisez le temps à la seconde près).

18. Relevez le temps après chaque millilitre de gaz consommé et inscrivez tous les résultats dans le tableau ci-après.

Hydrogène consommé [ml]	Temps écoulé [s] Essai 1	Temps écoulé [s] Essai 2	Temps écoulé [s] Essai 3	Moyenne des temps écoulés pour tous les essais [s]
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
Arrêt des roues				

Tableau 8-5 Volume d'hydrogène et durée de rotation des roues de la voiture

19. Poursuivez l'expérience jusqu'à ce que le moteur s'arrête.
20. Déconnectez la pile à combustible de la voiture et connectez la pile à combustible au panneau solaire.
- Pour produire à nouveau de l'hydrogène :
21. Allumez la lampe.
22. Répétez ce processus de production d'hydrogène et de consommation d'hydrogène par la voiture autant de fois qu'il vous semble judicieux (au moins une fois).
23. Dans le graphique ci-après, tracez une courbe donnant le volume d'hydrogène utilisé en fonction de la durée de rotation des roues.

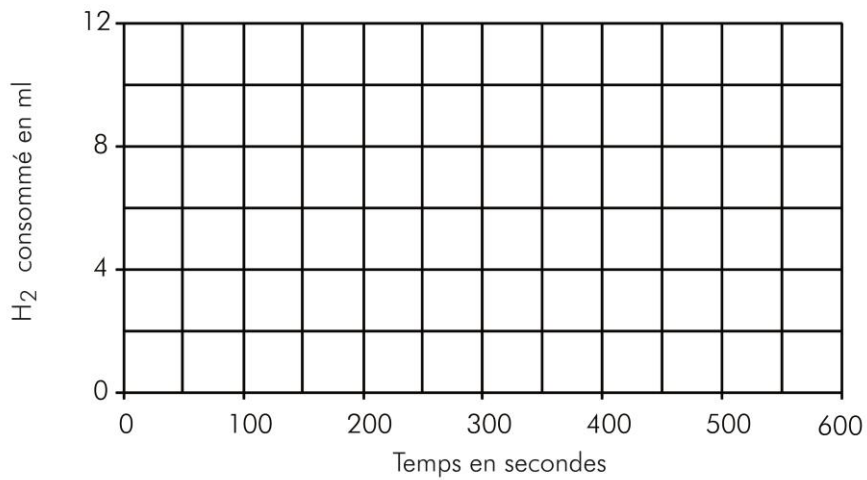


Fig. 8-12 Volume d'hydrogène en fonction de la durée de rotation des roues

La première partie de cette investigation est terminée. Consultez votre professeur pour savoir si vous pouvez poursuivre ou non.

Quelle puissance
la pile à combustible
peut-elle délivrer ?

1. Remplissez la pile à combustible réversible à l'eau distillée (si nécessaire) et produisez de l'hydrogène ; reportez-vous aux étapes 2.-13. en pages 110-112.

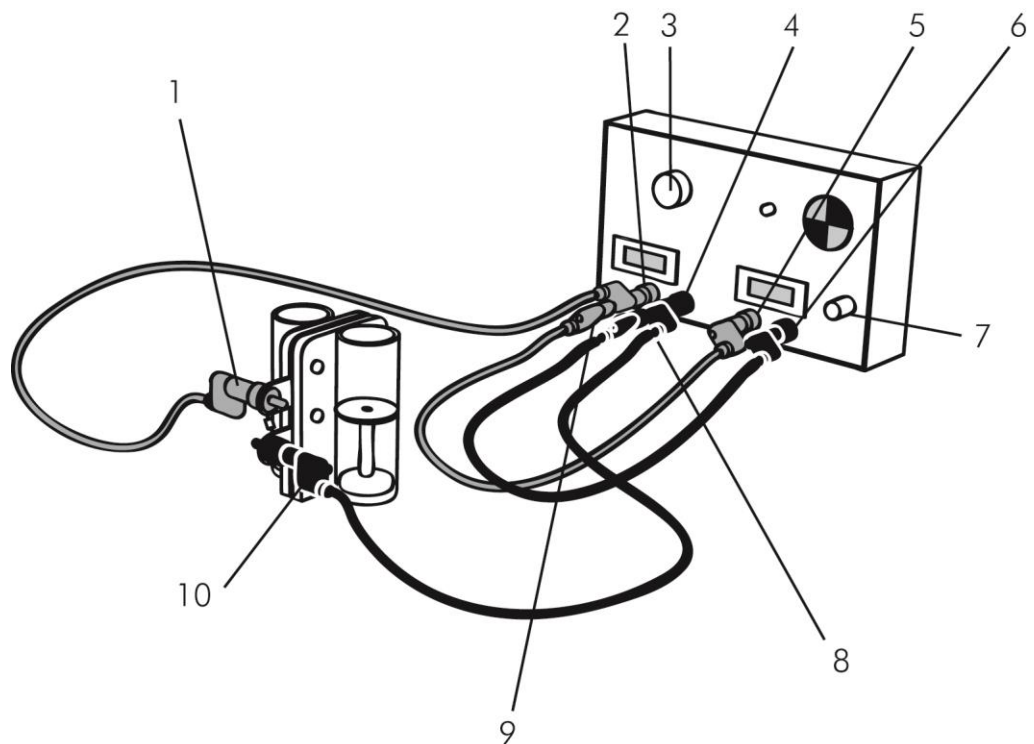


Fig. 8-13 Raccordement de la pile à combustible réversible et du boîtier de mesure de charge

2. Positionnez le sélecteur *LOAD* (3) sur *OPEN*.
3. Raccordez la borne rouge (plus) de la pile à combustible réversible (1) avec la borne rouge (plus) de l'ampèremètre du boîtier de mesure de charge (2).
4. Raccordez la borne noire (moins) de la pile à combustible réversible (10) avec la borne noire (moins) de l'ampèremètre du boîtier de mesure de charge (4).
5. Raccordez la borne rouge (plus) de l'ampèremètre du boîtier de mesure de charge (9) avec la borne rouge (plus) du voltmètre (5) du boîtier de mesure de charge.
6. Raccordez la borne noire (moins) de l'ampèremètre du boîtier de mesure de charge (8) avec la borne noire (moins) du voltmètre du boîtier de mesure de charge (6).
7. Appuyez sur le bouton *ON / OFF* (7).
8. Positionnez le sélecteur *LOAD* (3) sur 10 Ω .



NOTE

Vous constatez que la toute première valeur de tension est supérieure à 1,23 V (or la théorie dit que 1,23 V est la tension maximum admissible pour une pile à combustible hydrogène/ oxygène) puis la tension décroît lentement. Ce phénomène est dû à la présence de couches de surface restées sur le catalyseur après l'électrolyse.

9. Dès que les valeurs d'intensité et de tension semblent s'être stabilisées, inscrivez-les dans le tableau ci-après.

Charge [Ω]	Intensité [A]	Tension [V]	Puissance [W]
10			
5			
3			
1			

Tableau 8-6 Détermination de la puissance utile de la pile à combustible

10. Modifiez le réglage de la charge ; passez à 5 Ω puis à 3 Ω et enfin à 1 Ω et à chaque étape, relevez les valeurs d'intensité et de tension.
11. Calculez la puissance utile de la pile à combustible.
12. Débranchez le boîtier de mesure de charge et éteignez-le.

13. Désassemblez les équipements, rangez-les puis retirez les lunettes de sécurité et rendez-les.

8.3.2 Questionnaire de l'étudiant

Répondez aux questions sur une feuille séparée.

1. Pourquoi est-il important de toujours remplir le cylindre de stockage d'hydrogène avec la même quantité d'hydrogène chaque fois que l'on commence à mesurer la durée de rotation des roues pour chaque ml de gaz consommé ?
2. Que fait le niveau de gaz dans le cylindre de stockage d'hydrogène au fur et à mesure que les roues tournent ? Pourquoi cela se produit-il ?
3. Avez-vous réussi à utiliser l'électricité produite par le panneau solaire pour alimenter le moteur électrique ? Quel est l'avantage d'alimenter une voiture avec du combustible hydrogène plutôt qu'avec un panneau solaire directement connecté au moteur électrique ?
4. Quel est l'avantage de combiner l'hydrogène avec l'oxygène de cette manière, ne pourrait-on pas plutôt le brûler et le faire exploser comme dans le test de combustion de l'hydrogène ?
5. Essayez de prédire pendant combien de temps les roues vont tourner avec 20 ml de gaz hydrogène. Utilisez la courbe que vous avez tracée et extrapolez une réponse.
6. Quelle serait votre réponse à la question à l'origine de cette investigation : Peut-on utiliser de l'hydrogène préstocké pour produire de l'électricité ? Expliquez.
7. Quand vous avez fait décroître la résistance de 10 à 1 Ω , qu'ont fait les valeurs d'intensité ? Qu'ont fait les valeurs de tension ? D'après les mesures que vous avez effectuées, quelle est la puissance utile maximum de la pile à combustible ?
8. La dépendance que vous avez déterminée entre intensité et tension est également typique des piles. Pouvons-nous par conséquent affirmer que la pile à combustible est une "vraie" pile ? Argumentez votre explication.