

GUIDE DE L'ENSEIGNANT

FCHgo EPDM, octobre – décembre 2019

DIRECTIVES GÉNÉRALES

Les jouets constituent une cible importante pour les recherches menées par les élèves plus âgés et plus matures. Ils permettent une expérience directe des dispositifs techniques dans lesquels les processus physiques et chimiques peuvent être étudiés « directement ». Voici quelques jouets que vous pouvez explorer :

1. Lampe de poche à dynamo
2. Voiture à pile à combustible
3. Moulin à vent avec générateur d'électricité
4. Voiture solaire
5. Voiture électrique

Le premier et le deuxième point de cette liste sont détaillés dans le présent guide. D'autres sont suggérés pour des études plus approfondies du rôle de l'énergie dans les systèmes d'ingénierie. Ils sont tous utiles pour mettre en pratique la méthode d'investigation, de description et de découverte des vecteurs d'énergie et des dispositifs de couplage.

[Pour les termes utilisés dans la description du jouet, voir Introduction à la technologie FCH (hydrogène et piles à combustible – comment, dans quel but et pourquoi ?)]

La description des jouets comprend à la fois leur construction (les pièces et connexions) et leur fonctionnement (comment ils fonctionnent en général et comment les pièces interagissent entre elles).

Pendant la présentation des jouets, les élèves sont encouragés à être particulièrement attentifs.

Dans la partie « Comment ça marche ? », les élèves sont invités à examiner les différentes façons dont ces jouets fonctionnent (voir les sections ci-dessous pour plus de détails sur les deux premiers jouets).

Il est important d'établir clairement l'analogie entre les deux premiers jouets, la lampe de poche à dynamo et la voiture à pile à combustible. Cette analogie particulière peut être poussée assez loin (tableaux 6 et 7 ci-dessous).

Nous suggérons de commencer par une exploration en petits groupes, suivie de comparaisons entre groupes et enfin d'une discussion en classe entière.

La description des jouets présentée ici se compose de deux parties : « Comment c'est fait ? » et « Comment ça marche ? ». Des feuilles de jouets des élèves comportent des sections correspondantes. Il existe un tableau avec les vecteurs d'énergie et les connecteurs/échangeurs pertinents (les entrées adaptées aux élèves plus âgés sont en italique), ainsi que des diagrammes de processus.

Voici une liste d'importants vecteurs d'énergie (tableau 1), ainsi que leur nom courant (commun), les potentiels ou intensités qui leur sont associés, et leur nom scientifique. Nous suggérons d'utiliser des noms de tous les jours pour les vecteurs d'énergie, car ils sont plus proches du langage commun et des expériences des élèves.

Tableau 1. Vecteur d'énergie et potentiels

Substance (nom commun)	Potentiel / intensité	Nom (nom scientifique)
Eau chaude	Température	Entropie/calories
Eau comprimée	Pression	Liquide
Eau en mouvement	Vitesse	Mouvement
Air chaud	Température	Entropie/calories
Air comprimé	Pression	Liquide
Air en mouvement	Vitesse	Mouvement
Chaleur (Calories)	Température	Entropie/calories
Nourriture	Valeur nutritionnelle / qualité des aliments / potentiel chimique	Substances chimiques
Carburant	Potentiel chimique	Substances chimiques
Hydrogène	Potentiel chimique	Substances chimiques
Électricité	Potentiel électrique	Charge électrique
Lumière	Intensité lumineuse	Lumière
Mouvement	Vitesse	Quantité de mouvement
Mouvement rotatif	Vitesse angulaire	Moment cinétique
Masse	Poids/Énergie potentielle gravitationnelle	Masse gravitationnelle

LAMPE DE POCHE À DYNAMO

Comment est-elle construite ?

Les éléments pertinents sont les suivants :

- Poignée/manivelle,
- Engrenage,
- Dynamo,
- Pile,
- Ampoule LED.

Comment ça marche ?

Nous pouvons comprendre plus facilement le fonctionnement d'une lampe de poche à dynamo si nous considérons que l'ensemble du processus consiste en deux processus consécutifs – le **chargement** et le **déchargement**. Lors du **chargement**, le fait de tourner la poignée fait tourner la dynamo, qui charge la batterie. Lorsque la lampe **se décharge**, la batterie allume l'ampoule LED.

Tableau 2. Le rôle de la dynamo pendant le processus de **chargement** :

<i>Source d'énergie</i>	<i>Personne qui tourne la poignée</i>
<i>Vecteur d'énergie d'entrée</i>	<i>Rotations</i>
<i>Potentiel élevé du vecteur d'entrée</i>	<i>Grande vitesse de rotation</i>
<i>Low potential of input carrier</i>	<i>Faible vitesse de rotation</i>
<i>Interrupteur (échangeur d'énergie)</i>	<i>Dynamo</i>
<i>Vecteur d'énergie de sortie</i>	<i>Électricité</i>
<i>Faible potentiel du vecteur d'entrée</i>	<i>Faible potentiel électrique</i>
<i>Potentiel élevé du vecteur d'entrée</i>	<i>Potentiel électrique élevé</i>
<i>Élément de stockage d'énergie</i>	<i>Batterie</i>

Tableau 3. Le rôle de la diode LED comme interrupteur pendant le processus de **déchargement** :

<i>Élément de stockage d'énergie (source d'énergie)</i>	<i>Piles électriques</i>
<i>Vecteur d'énergie d'entrée</i>	<i>Électricité</i>
<i>Potentiel élevé du vecteur d'entrée</i>	<i>Potentiel électrique élevé</i>
<i>Faible potentiel du vecteur d'entrée</i>	<i>Potentiel électrique faible</i>
<i>Interrupteur (échangeur d'énergie)</i>	<i>Diode LED</i>
<i>Vecteur d'énergie de sortie</i>	<i>Lumière</i>
<i>Faible potentiel du vecteur d'entrée</i>	<i>Lumière à basse intensité</i>
<i>Potentiel élevé du vecteur d'entrée</i>	<i>Lumière de haute intensité</i>

Diagramme énergétique

VOITURE À PILE À HYDROGÈNE

Comment est-elle construite ?

Les éléments pertinents sont les suivants :

- Panneau photovoltaïque,
- Pile à combustible à hydrogène (HFC),
- Réservoirs d'hydrogène et d'oxygène,
- Récipient d'eau,
- Moteur électrique,
- Roues.

La pile à hydrogène est reliée par des tuyaux aux réservoirs d'hydrogène et d'oxygène et à un réservoir d'eau. La pile à hydrogène est reliée au panneau photovoltaïque par deux fils électriques ; elle est également reliée au moteur électrique par deux fils électriques.

Comment ça marche ?

Nous pouvons comprendre plus facilement le fonctionnement d'une voiture à pile à combustible si nous considérons que l'ensemble du processus consiste en deux processus consécutifs – le **chargement** et le **déchargement**. La pile à hydrogène est impliquée dans ces deux étapes !

Chargement. *Lorsque la pile à combustible est connectée au panneau solaire, elle sépare l'eau en hydrogène et en oxygène (électrolyse de l'eau) et charge la « batterie chimique » (deux réservoirs contenant respectivement de l'hydrogène et de l'oxygène).*

Plus précisément, un panneau photovoltaïque augmente le potentiel électrique de l'électricité et fait circuler le courant. Lorsque l'électricité passe des niveaux électriques supérieurs aux niveaux inférieurs dans le HFC, la pile à combustible produit de l'hydrogène et de l'oxygène à partir de l'eau. Cela augmente le potentiel chimique de la substance.

Déchargement. Lorsque la pile à combustible est connectée au moteur, la « batterie chimique » se décharge, l'hydrogène et l'oxygène se combinent à nouveau pour former de l'eau, et l'électricité circule. À son tour, l'électricité entraîne le moteur électrique qui fait avancer la voiture.

Plus précisément, lorsque l'hydrogène et l'oxygène entrent dans la pile à combustible et se combinent à l'eau, le potentiel chimique de la substance est abaissé. Cela augmente le potentiel électrique de l'électricité (produisant une tension électrique) et fait circuler le courant, ce qui permet au moteur de démarrer. En d'autres termes, une pile à hydrogène utilise une baisse du potentiel chimique pour créer une différence de potentiel électrique (une tension électrique !).

Tableau 4. Le rôle du HFC comme interrupteur pendant le processus de **chargement** :

<i>Source d'énergie</i>	<i>Panneau photovoltaïque*</i>
<i>Vecteur d'énergie d'entrée</i>	<i>Électricité</i>
<i>Potentiel élevé du vecteur d'entrée</i>	<i>Potentiel électrique élevé</i>
<i>Faible potentiel du vecteur d'entrée</i>	<i>Faible potentiel électrique</i>
<i>Interrupteur (échangeur d'énergie)</i>	<i>Pile à combustible à hydrogène</i>
<i>Vecteur d'énergie de sortie</i>	<i>Substance chimique</i>
<i>Faible potentiel du vecteur d'entrée</i>	<i>Faible potentiel chimique : eau (oxygène et hydrogène combinés)</i>
<i>Potentiel élevé du vecteur d'entrée</i>	<i>Potentiel chimique élevé : séparation de l'oxygène et de l'hydrogène</i>
<i>Élément de stockage d'énergie</i>	<i>Récipients séparés pour l'hydrogène et l'oxygène</i>

**Un panneau photovoltaïque est un coupleur (échangeur), avec la lumière comme moyen d'entrée et l'électricité comme moyen de sortie.*

Tableau 5. Le rôle du HFC comme interrupteur pendant le processus de **déchargement** :

<i>Élément de stockage d'énergie</i>	<i>Récipients séparés pour l'hydrogène et l'oxygène</i>
<i>Vecteur d'énergie d'entrée</i>	<i>Substance chimique</i>
<i>Potentiel élevé du vecteur d'entrée</i>	<i>Potentiel chimique élevé : séparation de l'oxygène et de l'hydrogène</i>
<i>Faible potentiel du vecteur d'entrée</i>	<i>Faible potentiel chimique : eau (oxygène et hydrogène combinés)</i>
<i>Interrupteur (échangeur d'énergie)</i>	<i>Pile à combustible à hydrogène</i>
<i>Vecteur d'énergie de sortie</i>	<i>Électricité</i>
<i>Faible potentiel du vecteur d'entrée</i>	<i>Faible potentiel du courant</i>
<i>Potentiel élevé du vecteur d'entrée</i>	<i>Potentiel du courant élevé</i>
<i>Utilisateur de l'énergie de sortie*</i>	<i>Moteur électrique*</i>

**Un moteur électrique est un coupleur (échangeur), avec l'électricité comme moyen d'entrée et le mouvement de rotation comme moyen de sortie.*

Diagramme énergétique

ANALOGIES ENTRE UNE LAMPE À DYNAMO ET UNE VOITURE À HYDROGÈNE

Une lampe à dynamo et une voiture à pile à hydrogène présentent une analogie étroite qu'il convient de souligner. Les explications plus avancées sont indiquées en italique ; elles peuvent être introduites plus tard, pour les élèves plus âgés.

Tableau 6. Processus de **chargement** :

Élément	Lampe à dynamo	Voiture à hydrogène
Source d'énergie	<i>En tournant la poignée manuellement</i>	<i>Soleil</i>
Vecteur d'énergie d'entrée	<i>Mouvement de rotation</i>	<i>Lumière</i>
Potentiel élevé du vecteur d'entrée	<i>Grande vitesse de rotation</i>	<i>Haute intensité lumineuse</i>
Faible potentiel du vecteur d'entrée	<i>Faible vitesse de rotation</i>	<i>Faible intensité lumineuse</i>
Échangeur n° 1	<i>Dynamo</i>	<i>Panneau photovoltaïque</i>
Vecteur d'énergie	<i>Électricité</i>	<i>Électricité</i>
Faible potentiel du vecteur	<i>Faible potentiel du courant</i>	<i>Faible potentiel produit chimique</i>
Potentiel du vecteur élevé	<i>Potentiel du courant élevé</i>	<i>Potentiel chimique élevé</i>
Échangeur n° 2	<i>Pile électrique</i>	<i>Pile à combustible à hydrogène</i>
Vecteur de sortie	<i>Substance chimique</i>	<i>Substance chimique</i>
Faible potentiel du vecteur d'entrée	<i>Faible potentiel chimique : produits chimiques combinés</i>	<i>Faible potentiel chimique : eau (oxygène et hydrogène combinés)</i>
Potentiel élevé du vecteur d'entrée	<i>Potentiel chimique élevé : Produits chimiques séparés</i>	<i>Potentiel chimique élevé : séparation de l'oxygène et de l'hydrogène</i>
Élément de stockage d'énergie	<i>Éléments de batterie</i>	<i>Hydrogène et oxygène dans des réservoirs séparés</i>

Tableau 7. Processus de **déchargement** :

Élément	Lampe à dynamo	Voiture à hydrogène
Élément de stockage d'énergie	<i>Éléments de batterie</i>	<i>Hydrogène et oxygène dans des réservoirs séparés</i>
Vecteur d'énergie d'entrée	<i>Substance chimique</i>	<i>Substance chimique</i>
Potentiel élevé du vecteur d'entrée	<i>Potentiel chimique élevé : produits chimiques combinés</i>	<i>Potentiel chimique élevé : séparation de l'oxygène et de l'hydrogène</i>
Faible potentiel du vecteur d'entrée	<i>Faible potentiel chimique : Produits chimiques séparés</i>	<i>Faible potentiel chimique : eau (oxygène et hydrogène combinés)</i>
Échangeur	<i>Pile électrique</i>	<i>Pile à combustible à hydrogène</i>
Vecteur d'énergie de sortie	<i>Électricité</i>	<i>Électricité</i>
Faible potentiel du vecteur	<i>Faible potentiel du courant</i>	<i>Faible potentiel du courant</i>

<i>d'entrée</i>		
<i>Potentiel élevé du vecteur d'entrée</i>	<i>Potentiel du courant élevé</i>	<i>Potentiel du courant élevé</i>
<i>Utilisateur de l'énergie de sortie*</i>	<i>Ampoule LED</i>	<i>Moteur électrique d'une voiture</i>