

# Différentes piles

## I. Pile à combustible

### Activité documentaire

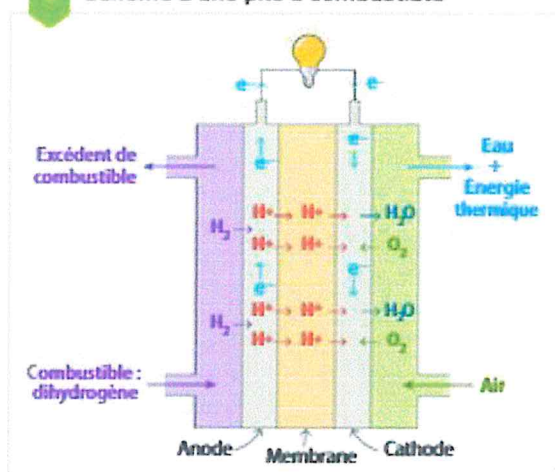
#### 4 L'avenir de la pile à combustible

Le projet de loi sur la mobilité envisage de supprimer les moteurs thermiques, à l'horizon 2040. Cela peut être facilité par le développement des piles à combustibles qui pourront équiper les véhicules électriques.

**Objectif** Évaluer les avantages et les inconvénients de la pile à combustible.



##### 1 Schéma d'une pile à combustible



##### 2 Caractéristiques de véhicules

	Thermique	Électrique à pile à combustible
Autonomie	Jusqu'à 1 200 km	Jusqu'à 600 km
Rejet de CO <sub>2</sub>	108 g/km	Nul
Coût en carburant au 100 km	De l'ordre de 10 €	De l'ordre de 6 €
Prix d'achat avec bonus écologique	30 000 €	65 000 €
Réservoir	Simple coque	Blindé (H <sub>2</sub> est explosif)

##### 3 Production du dihydrogène

« Aujourd'hui, 95 % de l'hydrogène est produit à partir d'hydrocarbures (pétrole, gaz naturel et charbon), solution la moins coûteuse. Cependant, ce processus est émetteur de CO<sub>2</sub>, gaz à effet de serre. Les industriels envisagent de plus en plus de produire l'hydrogène [...] en recourant à des énergies décarbonées. L'enjeu reste toutefois le coût de ce mode de production bien plus onéreux à ce jour que celui du réformage. »

###### Article

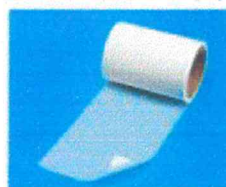
Tout savoir sur l'hydrogène

[borser.chic.fr/pc1181](https://www.borser.chic.fr/pc1181)

Propos de Guy Maisonnier, ingénieur économiste, in « Tout savoir sur l'hydrogène », IFP Énergie nouvelles, article disponible à l'adresse [borser.chic.fr/pc1181](https://www.borser.chic.fr/pc1181)

###### Vocabulaire

**Membrane** : interface équivalente au pont salin permettant le passage des ions et des gaz entre les électrodes. Elle est souvent en fluoropolymère.



##### Questions

###### 1 Fonctionnement de la pile à combustible (doc. 1)

- Quelles sont les espèces chimiques qui réagissent lors du fonctionnement de la pile ? Quelles sont celles qui sont rejetées ?
- Écrire l'équation de fonctionnement de la pile. En déduire les demi-équations aux électrodes. Indiquer quelles espèces traversent la membrane.

###### 2 Avantages et inconvénients de la pile à combustible (doc. 2 et 3)

Pour les questions suivantes, on pourra s'aider d'un moteur de recherche en complément des documents fournis.

- Quelles sont les sources de dihydrogène utilisées ?
- Quel risque présente un réservoir de dihydrogène dans une voiture ?
- Quel problème peut poser la membrane lors de son retraitement ?
- Quel gaz à effet de serre n'est pas rejeté par les piles à combustible ?

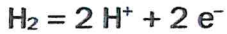
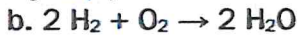
##### Bilan

- Construire un tableau présentant les avantages et inconvénients d'un véhicule utilisant une pile à combustible (sans mettre de valeurs).
- L'utilisation de la pile à combustible semble-t-elle déjà d'actualité ?

➔ Cours 3 p. 185 et 4 p. 187

**I. Pile à combustible****④ L'avenir de la pile à combustible**

1. a. Les réactifs sont le dihydrogène ou le méthanol et le dioxygène. L'eau ou le dioxyde de carbone est rejeté(e).



2. a. Le dihydrogène provient essentiellement des hydrocarbures ou de l'électrolyse de l'eau.

b. Le dihydrogène est un gaz explosif, son stockage dans le réservoir d'une voiture est donc risqué.

c. La membrane contient des composés fluorés qui peuvent être toxiques et polluants.

d. Il n'y a pas de rejet de dioxyde de carbone si on n'utilise pas de méthanol.

**Bilan**

- Avantages et inconvénients d'un véhicule utilisant une pile à combustible :

Avantage	Inconvénient
Pas de rejet de gaz à effet de serre	Recyclage de la membrane
Pas d'utilisation de moteur thermique, hydrocarbures	Moindre autonomie
Faible coût du combustible	Utilisation d'hydrocarbure pour produire le dihydrogène
	Coût du véhicule

- Le dispositif est totalement fonctionnel mais son coût est encore élevé et son autonomie faible.

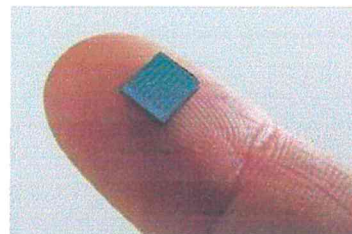


## II. Pile à combustible DMFC

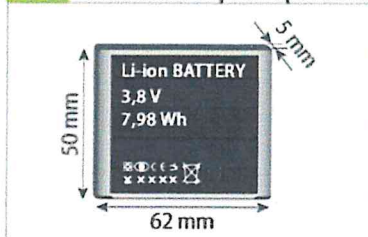
### 66 Résolution de problème Une micropile à combustible

Depuis le milieu des années 2000, des chercheurs développent une nouvelle source d'énergie qui pourrait être utilisée dans les téléphones portables : la micropile DMFC (Direct Méthanol Fuel Cell).

Adapté du sujet de Bac Asie, 2016.



Doc. 1 Batterie de téléphone portable



Doc. 3 Évaluation des performances

- L'énergie  $E_f$  (en joules) fournie par une batterie ou une pile est égale au produit de la capacité  $Q$  (en coulombs) qu'elle peut fournir par la tension électrique  $U$  (en volts) sous laquelle cette charge est débitée :

$$E_f = Q \times U$$

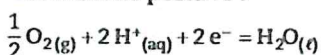
- Le rendement d'une micropile est le quotient de l'énergie électrique utilisable  $E_u$  (celle affichée sur la pile) par l'énergie fournie :  $\eta = \frac{E_u}{E_f}$

Doc. 2 La pile DMFC

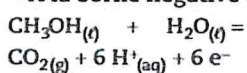
La pile à combustible DMFC utilise du méthanol liquide pour produire de l'énergie. Dans ce type de pile, le méthanol est stocké dans un réservoir qui peut être rechargé rapidement.

Les équations des réactions aux électrodes s'écrivent :

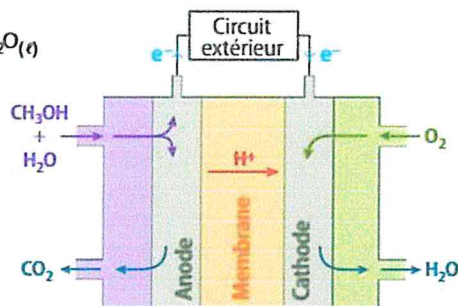
- À la borne positive :



- À la borne négative :



La tension de fonctionnement de la pile DMFC vaut  $U = 0,50 \text{ V}$ . Son rendement vaut  $\eta = 40 \%$ .



#### Données

- Constante de Faraday (valeur absolue de la charge molaire électronique) :  $F = Q_m = 96,5 \times 10^3 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Masse volumique du méthanol :  $\rho(\text{méthanol}) = 0,792 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
- Conversion d'unités d'énergie :  $1 \text{ Wh (prononcer watt heure)} = 3\,600 \text{ J}$

#### PROBLÈME

Calculer le volume du réservoir de méthanol d'une micropile DMFC assurant la même autonomie (donc stockant la même énergie utilisable) au téléphone qu'une batterie Li-ion.

## III. Les piles alcalines et les piles salines

	Pile saline	Pile alcaline
	<p>Laiton Gaine de zinc Électrolyte <math>\text{MnO}_2</math> + carbone graphite Tige de carbone Isolant</p>	<p>Boîtier en acier <math>\text{MnO}_2</math> + carbone graphite Électrolyte Poudre de zinc Conducteur métallique Joint Fond en acier</p>
anode	récepteur de zinc	réducteur : poudre de zinc collecteur : tige métallique
cathode	oxydant : $\text{MnO}_2$ + poudre de carbone collecteur : graphite	oxydant : $\text{MnO}_2$ + poudre de carbone collecteur : récepteur en acier.
électrolyte	chlorure d'ammonium et de zinc gélifiés	solution aqueuse d'hydroxyde de potassium

## II. Pile à combustible DMFC

### 66 Résolution de problème Une micropile à combustible

#### PROBLÈME

Pour calculer le volume de réservoir de méthanol d'une micropile DMFC assurant la même autonomie au téléphone qu'une batterie Li-ion, on commence par calculer l'énergie de la batterie à partir des données du **doc. 1** :

$$E_u = 7,98 \text{ Wh} = 7,98 \times 3\,600 = 2,87 \times 10^4 \text{ J}$$

On en déduit l'énergie  $E_f$ , qui peut être fournie par la micropile :  $E_f = \frac{E_u}{\eta}$

Où  $\eta$  est le rendement de la micropile :  $\eta = 40 \%$ .

D'où 
$$E_f = \frac{2,87 \times 10^4}{0,40} = 7,18 \times 10^4 \text{ J}$$

D'après le **doc. 1**, la capacité de la micropile de tension de fonctionnement  $U = 0,50 \text{ V}$  est égale à :

$$Q = \frac{E_f}{U} = \frac{7,18 \times 10^4}{0,50} = 14 \times 10^4 \text{ C}$$

On peut en déduire la quantité de matière  $n_{e^-}$  d'électrons échangés au cours de la réaction d'oxydoréduction :  $Q = n_{e^-} \times F$ .

D'où 
$$n_{e^-} = \frac{Q}{F} = \frac{14 \times 10^4}{96,5 \times 10^3} = 1,5 \text{ mol}$$

D'après l'équation se produisant à l'anode (borne négative) (**doc. 2**), la quantité de matière de méthanol consommée est égale à :

$$n_{\text{CH}_3\text{OH}} = \frac{n_{e^-}}{6} = 2,5 \times 10^{-1} \text{ mol}$$

On en déduit la masse de méthanol consommée :

$$m_{\text{CH}_3\text{OH}} = n_{\text{CH}_3\text{OH}} \times M_{\text{CH}_3\text{OH}} = 2,5 \times 10^{-1} \times 32,04 = 8,0 \text{ g}$$

On peut alors calculer le volume de méthanol nécessaire pour fournir l'énergie  $E_f$  :

$$V = \frac{m_{\text{CH}_3\text{OH}}}{\rho} = \frac{8,0}{0,792} = 10 \text{ cm}^3$$

Un réservoir de méthanol de  $10 \text{ cm}^3$  d'une micropile DMFC assure la même autonomie au téléphone qu'une batterie Li-ion de volume  $15,5 \text{ cm}^3$  (d'après les dimensions du **doc. 1**).

La dimension de la micropile est donc inférieure à celle de la batterie, ce qui est un avantage dans le cas d'une application portable.



## Application : Le refuge du col du Palet

### Document 1 : MISE EN PLACE D'UNE PILE À HYDROGÈNE AU REFUGE DU COL DU PALET

Le refuge du col du Palet est situé sur la commune de Peisey-Nancroix, dans un site sauvage à 2600 mètres d'altitude, au cœur du Parc national de la Vanoise. Il constitue une halte idéale pour les randonneurs entre Champagny-en-Vanoise et Tignes. Comme les 12 autres refuges isolés gérés par le Parc de la Vanoise, et comme la plupart des refuges de haute montagne, ce bâtiment est confronté à des problématiques d'approvisionnement en électricité, en raison des difficultés d'accès, de l'altitude et d'une consommation concentrée sur la période de gardiennage. L'énergie était auparavant fournie par des panneaux photovoltaïques, avec



<http://parcdelavanoise.blogspot.fr>

l'appoint indispensable et quasiment quotidien d'un groupe électrogène pour le relevage de l'eau potable. L'utilisation de ce générateur était une source de nuisances sonores et olfactives, et nécessitait l'acheminement de son carburant en véhicule 4x4. Par ailleurs, la consommation d'énergie était limitée au minimum (utilisation ponctuelle d'Internet, refus de recharge des appareils électroniques des clients). Enfin, l'énergie produite par les panneaux solaires hors période de gardiennage était gaspillée, faute de pouvoir être stockée. Ce système ne donnant plus satisfaction, le Parc national a lancé en 2014 un appel d'offres visant à développer un prototype basé sur la technologie hydrogène, dans le cadre de sa politique d'encouragement à l'innovation énergétique et à l'écoresponsabilité. Un consortium de cinq PME a été sélectionné [...]

La solution conçue par la start-up PowiDian (SAGES - Smart Autonomous Green Energy Station) consiste à assurer la fourniture d'énergie au quotidien, via des panneaux photovoltaïques à haut rendement, et à stocker l'énergie produite lors de la fermeture du refuge [...] dans la chaîne hydrogène. Lorsque l'énergie vient à manquer, une pile à combustible récupère l'hydrogène stocké et produit l'électricité nécessaire. Ce dispositif, produisant 5 kg de dihydrogène, est piloté automatiquement par un module de contrôle intelligent qui optimise le fonctionnement selon la consommation en cours du refuge et la production solaire disponible. Un module de supervision à distance garantit le bon fonctionnement du système. Le chantier s'est déroulé de l'automne 2014 à juin 2015. Depuis juillet 2015, le refuge du Col du Palet peut désormais répondre à ses besoins énergétiques sans approvisionnement en carburant, quelles que soient les conditions météo, et sans restriction (accès à Internet, utilisation de matériels de restauration modernes, recharge des appareils électroniques des usagers, ...).

<http://www.prefectures-regions.gouv.fr/provence-alpes-cote-dazur>



### Document 2 : UN REFUGE AUTONOME EN ENERGIE QUI FONCTIONNE AVEC UN PILE A COMBUSTIBLE, ARTE JOURNAL

1. Calculer la masse de dihydrogène que l'on peut obtenir à partir de 50 L d'eau.
2. Est-ce en accord avec les indications du document 1 ? Calculer le rendement de l'électrolyseur.
3. Quelle est la quantité d'électricité que l'on peut obtenir à partir de 5 kg de dihydrogène ?
4. Quelle est l'autonomie de la pile à hydrogène, sachant qu'elle débite un courant de 460 A.



## Application : Le refuge du col du Palet

### Document 1 : MISE EN PLACE D'UNE PILE À HYDROGÈNE AU REFUGE DU COL DU PALET

Le refuge du col du Palet est situé sur la commune de Peisey-Nancroix, dans un site sauvage à 2600 mètres d'altitude, au cœur du Parc national de la Vanoise. Il constitue une halte idéale pour les randonneurs entre Champagny-en-Vanoise et Tignes. Comme les 12 autres refuges isolés gérés par le Parc de la Vanoise, et comme la plupart des refuges de haute montagne, ce bâtiment est confronté à des problématiques d'approvisionnement en électricité, en raison des difficultés d'accès, de l'altitude et d'une consommation concentrée sur la période de gardiennage. L'énergie était



<http://parcdelavanoise.blogspot.fr>

auparavant fournie par des panneaux photovoltaïques, avec l'appoint indispensable et quasiment quotidien d'un groupe électrogène pour le relevage de l'eau potable. L'utilisation de ce générateur était une source de nuisances sonores et olfactives, et nécessitait l'acheminement de son carburant en véhicule 4x4. Par ailleurs, la consommation d'énergie était limitée au minimum (utilisation ponctuelle d'Internet, refus de recharge des appareils électroniques des clients). Enfin, l'énergie produite par les panneaux solaires hors période de gardiennage était gaspillée, faute de pouvoir être stockée. Ce système ne donnant plus satisfaction, le Parc national a lancé en 2014 un appel d'offres visant à développer un prototype basé sur la technologie hydrogène, dans le cadre de sa politique d'encouragement à l'innovation énergétique et à l'écoresponsabilité. Un consortium de cinq PME a été sélectionné [...]

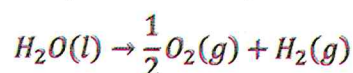
La solution conçue par la start-up PowiDian (SAGES - Smart Autonomous Green Energy Station) consiste à assurer la fourniture d'énergie au quotidien, via des panneaux photovoltaïques à haut rendement, et à stocker l'énergie produite lors de la fermeture du refuge [...] dans la chaîne hydrogène. Lorsque l'énergie vient à manquer, une pile à combustible récupère l'hydrogène stocké et produit l'électricité nécessaire. Ce dispositif, produisant 5 kg de dihydrogène, est piloté automatiquement par un module de contrôle intelligent qui optimise le fonctionnement selon la consommation en cours du refuge et la production solaire disponible. Un module de supervision à distance garantit le bon fonctionnement du système. Le chantier s'est déroulé de l'automne 2014 à juin 2015. Depuis juillet 2015, le refuge du Col du Palet peut désormais répondre à ses besoins énergétiques sans approvisionnement en carburant, quelles que soient les conditions météo, et sans restriction (accès à Internet, utilisation de matériels de restauration modernes, recharge des appareils électroniques des usagers, ...).

<http://www.prefectures-regions.gouv.fr/provence-alpes-cote-dazur>



### Document 2 : UN REFUGE AUTONOME EN ENERGIE QUI FONCTIONNE AVEC UN PILE A COMBUSTIBLE, ARTE JOURNAL

1. Calculer la masse de dihydrogène que l'on peut obtenir à partir de 50 L d'eau.



1 mole d'eau donne 1 mole de H<sub>2</sub> : on calcule le nombre de mole d'eau dans 50L (attention on passe de volume à masse avec masse volumique), ce nombre de mole est égal au nombre de mole de H<sub>2</sub> et du nombre de mole on pass à la masse de H<sub>2</sub> (masse molaire de H 1g/mol)

$$m_{H_2} = n_{H_2} \times M_{H_2} = n_{H_2O} \times M_{H_2} = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} \times M_{H_2} = \frac{\rho_{H_2O} \cdot V}{M_{H_2O}} \times M_{H_2} = \frac{1,0 \cdot 10^3 \times 50}{18} \times 2 = 5,6 \cdot 10^3 g$$

2. Est-ce en accord avec les indications du document 1 ? Calculer le rendement de l'électrolyseur.

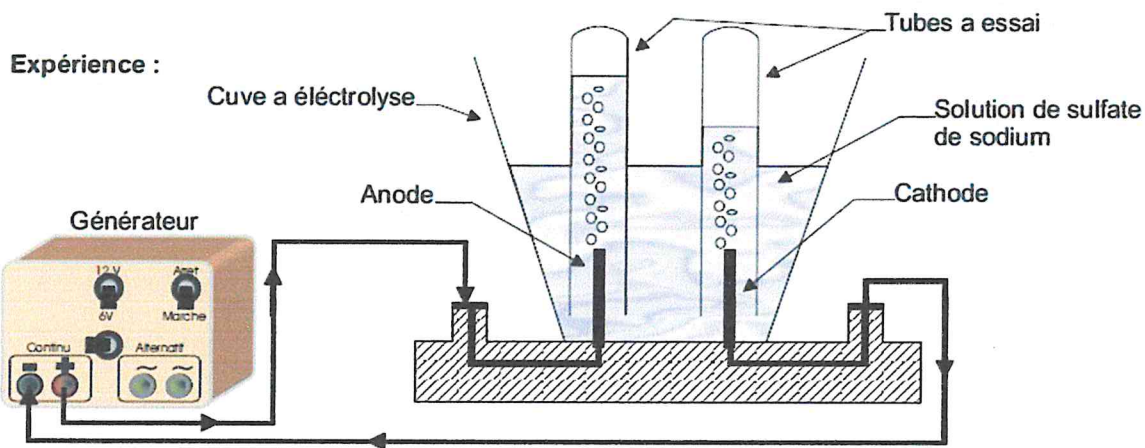
Dans le document 1, il est indiqué que 5 kg de dihydrogène est formé.

$$\text{Rendement} : \rho = \frac{m_{\text{obtenue}}}{m_{\text{attendu}}} = \frac{5,0}{5,6} = 0,89 = 89\%$$

## Activité : électrolyse de l'eau et synthèse de l'eau

### Electrolyse de l'eau

L'électrolyse est un phénomène chimique lié au passage du courant électrique dans une solution ionique.



Que peut-on dire des volumes de dihydrogène  $H_2$  et de dioxygène  $O_2$  récupérés ?

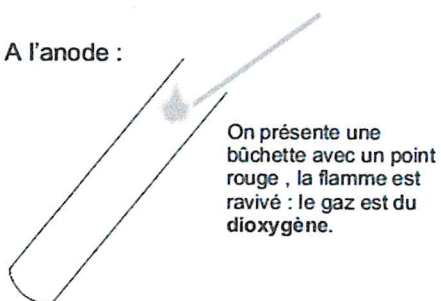
A l'anode se produit l'oxydation (couple redox  $O_2/H_2O$ )

A la cathode se produit la réduction (couple redox  $H^+/H_2$ )

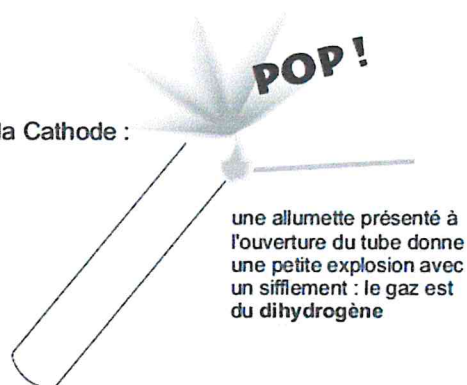
L'équation de la réaction est :

Identification des produits formés :

A l'anode :

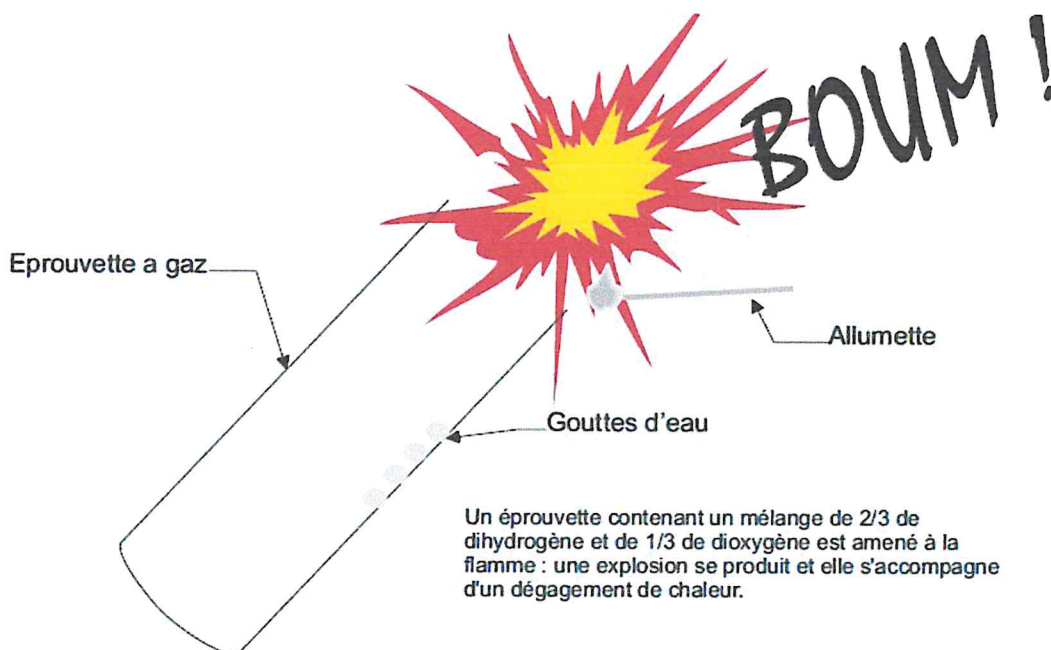
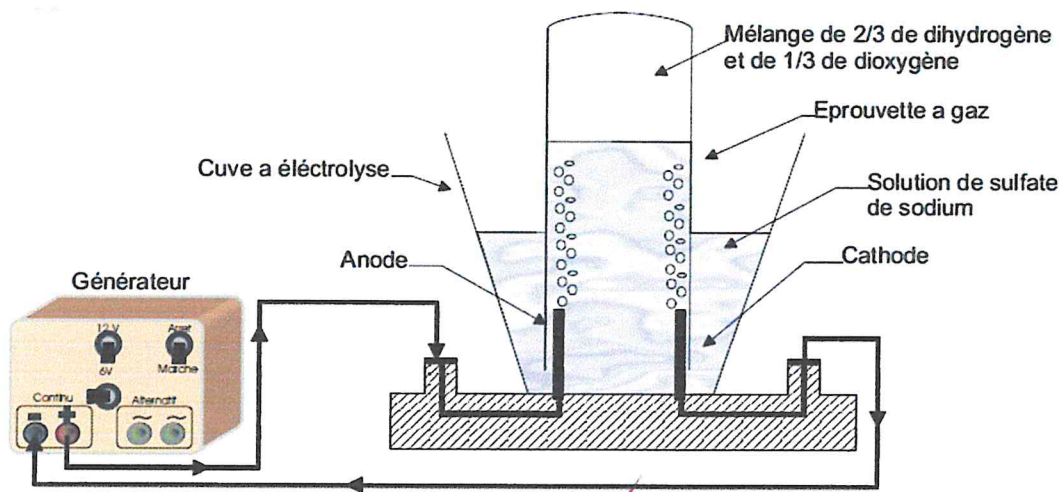


A la Cathode :





## Synthèse de l'eau



Ecrire l'équation de la réaction :

On peut catalyser cette réaction avec de la **mousse de platine**.

Lorsque le catalyseur est solide et que les réactifs sont gazeux ou en solution aqueuse, on parle de catalyse hétérogène. Les réactifs et le catalyseur n'évoluent alors pas dans la même phase.

En **catalyse hétérogène**, la surface du catalyseur solide en contact avec les réactifs joue un rôle primordial dans la réaction. En effet, c'est à ce niveau que les espèces réagissent entre elles et se transforment pour finalement libérer les produits de la réaction. La surface du catalyseur en contact avec les réactifs est appelée surface active. Un catalyseur est d'autant plus efficace que sa surface active est grande.

Certaines configurations permettent d'augmenter la surface active. C'est pourquoi on utilise souvent les catalyseurs sous des formes très divisées : poudres, mousses ou fils très fins tissés sous forme de toile.