

## Ch. 7 : Transformation forcée en chimie

1. Principe
2. L'électrolyse
3. Stockage et conversion d'énergie chimique

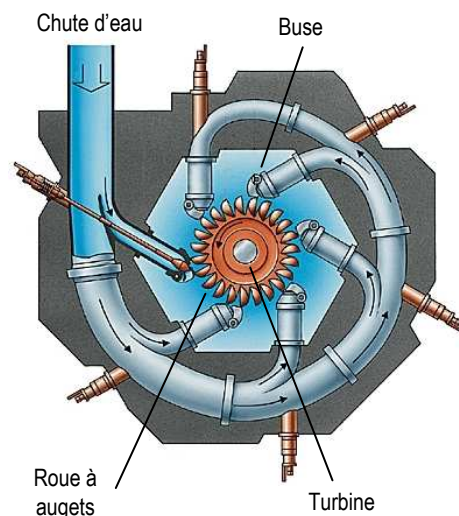
## 1. Principe



Dans une retenue d'eau, la chute d'eau du barrage libère spontanément de l'énergie : la masse d'eau, en tombant, convertit son énergie potentielle en énergie cinétique. Cette énergie peut être récupérée par une turbine.

La turbine entraînée par la chute d'eau transmet son mouvement de rotation à un alternateur qui convertit cette énergie mécanique (cinétique) en énergie électrique.

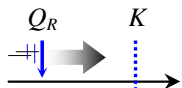
Le rôle de la **turbine** est de transformer l'énergie cinétique de l'eau en énergie mécanique, de manière à faire tourner un **alternateur**. L'**alternateur**, à son tour, transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.



Le système {eau du barrage} perd de l'énergie dans la chute. Cette énergie est libérée spontanément et peut être facilement récupérée. C'est aussi le cas du système {produits chimiques} dans une pile qui libère spontanément de l'énergie chimique en créant un mouvement d'électrons dans le circuit électrique branché sur la pile.



Libération d'énergie chimique

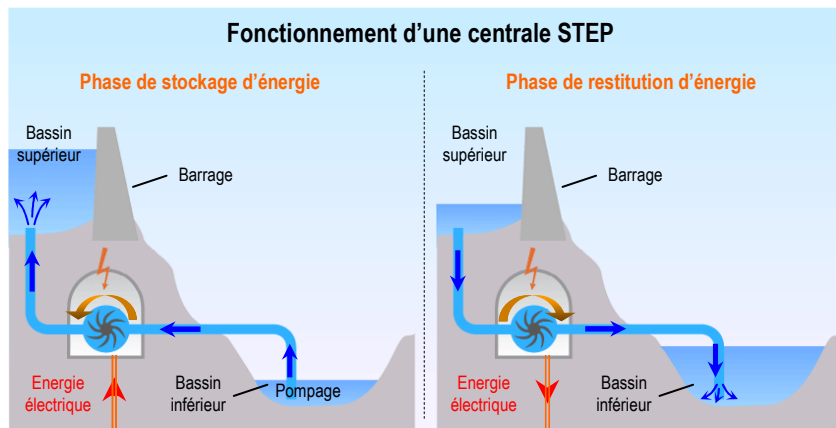


Il est cependant possible de forcer ce genre de transformations spontanées à se faire dans l'autre sens.

Dans le cas d'une retenue d'eau, les **Stations de Transfert d'Énergie par Pompage** (ou **STEP**) possèdent deux réservoirs situés à des altitudes différentes. Elles peuvent stocker de l'énergie sous forme potentielle en pompant l'eau du réservoir inférieur vers le réservoir supérieur lorsque la demande ou le coût de l'énergie est peu élevé. Inversement lorsque la demande est forte ou le prix du kWh élevé, elles restituent de l'électricité au réseau en turbinant l'eau du réservoir supérieur.

La transformation est ici forcée, et elle nécessite un apport d'énergie amenant un stockage de cette dernière.

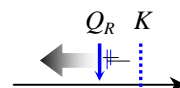
On peut donc faire de même dans le cas d'un accumulateur électrique (ou pile rechargeable) : on force la réaction spontanée à se faire dans l'autre sens en injectant de l'énergie électrique. La transformation qui a alors lieu dans la pile est forcée (≠ spontanée) et permet de stocker à nouveau de l'énergie chimique dans la batterie.



En France, la première centrale fonctionnant sur ce principe est celle du Lac Noir dans les Vosges. Elle utilisait le surplus de l'énergie de nuit de la centrale hydroélectrique de Kembs.



Stockage d'énergie chimique



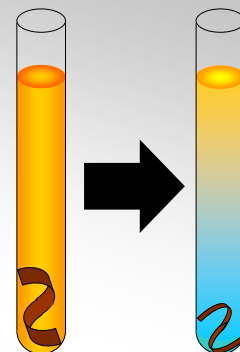
## 2. L'électrolyse

## 2.1. L'électrolyse : une transformation forcée

## Exercice 1 :

On place dans un tube à essai de l'eau de brome ( $\text{H}_2\text{O}_{(l)} + \text{Br}_{2(aq)}$ ) de couleur orange et un copeau de cuivre métallique. Après un certain temps, on observe que le cuivre s'est affiné et que la solution est devenue bleu-vert autour des restes du cuivre. La constante de réaction du cuivre avec le dibrome vaut  $1,2 \cdot 10^{25}$ .

1. D'après l'énoncé, quelle est la couleur de la molécule de dibrome dans l'eau ?
2. Sachant que le dibrome se transforme spontanément en ions bromure, écrire la demi-équation électronique de cette transformation et préciser sa nature exacte (oxydation ou réduction).
3. À partir de la modification de l'apparence du tube, écrire la demi-équation électronique du cuivre et préciser sa nature exacte. En déduire l'équation bilan de la transformation qui se produit dans le tube.
4. Calculer  $Q_{R,0}$  et justifier alors l'évolution observée du tube en parlant du sens d'évolution du système.
5. Cette transformation est-elle spontanée ou forcée ? Justifier.
6. Déduire des questions précédentes l'équation bilan de l'électrolyse d'une solution de bromure de cuivre.

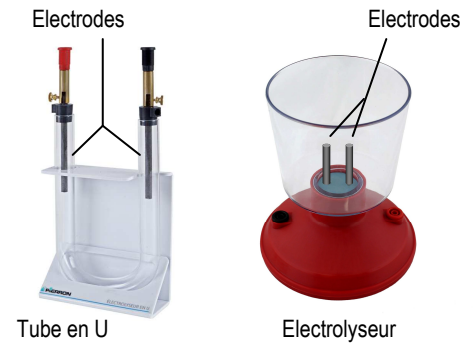


## 2.2. L'électrolyseur

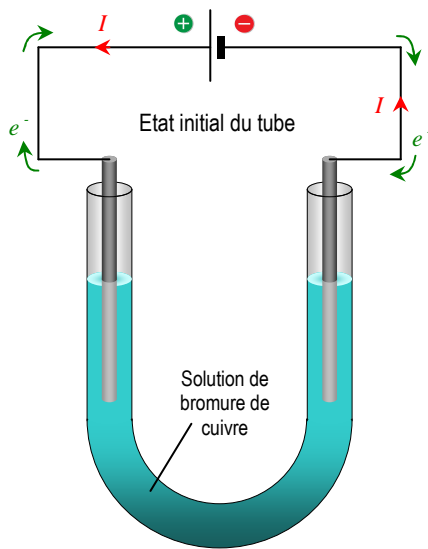
On peut effectuer une électrolyse dans un **tube en U** ou encore dans un **électrolyseur**.

### A retenir :

- Une électrolyse est une réaction forcée. C'est donc la transformation inverse d'une réaction spontanée.
- Une électrolyse nécessite un apport d'énergie sous forme électrique.
- Lors d'une électrolyse, la cathode est reliée à la borne négative du générateur et l'anode à la borne positive.



## 2.3. Quantité d'électricité et variations de matière



On place dans un tube en U un volume  $V = 100,0 \text{ mL}$  d'une solution aqueuse de bromure de cuivre uniformément bleutée, de formule  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2 \text{Br}^{-}_{(aq)}$  et de concentration en soluté apporté  $C = 0,020 \text{ mol/L}$ .

Le générateur délivre une tension continue  $U = 2,0 \text{ V}$ .

### Rappels :

- La quantité d'électricité  $Q$  ayant circulé dans une pile ou un électrolyseur est donnée par :

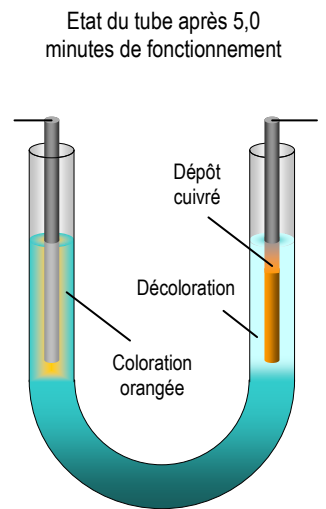
$$Q = I \times \Delta t$$

$$Q = n_e \times \mathcal{F}$$

- Le faraday  $\mathcal{F}$  (ou constante de Faraday) est la valeur absolue de la charge d'une mole d'électrons.

$$\mathcal{F} = \mathcal{N}_A \times e$$

$$\begin{aligned} \mathcal{N}_A &= 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ e &= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ \mathcal{F} &= 9,64 \cdot 10^4 \text{ C/mol} \end{aligned}$$



### Exercice 2 :

A partir des observations faites dans l'expérience ci-dessus :

1. Ecrire la demi-réaction électronique de la réaction qui se produit à l'électrode placée en vue de la borne positive du générateur. S'agit-il d'une oxydation ou d'une réduction ? En déduire la nature de l'électrode positive d'un électrolyseur.
2. Ecrire la demi-réaction électronique de la réaction qui se produit à l'électrode placée en vue de la borne négative du générateur. S'agit-il d'une oxydation ou d'une réduction ? En déduire la nature de l'électrode négative d'un électrolyseur.
3. Ecrire l'équation bilan de fonctionnement de l'électrolyseur et calculer sa constante d'équilibre à l'aide des données de l'exercice 1.
4. Déterminer les quantités initiales des réactifs et calculer  $Q_{R,0}$ . Montrer alors que ce système ne peut pas évoluer spontanément.
5. Au bout de  $5 \text{ min}$  et  $0 \text{ s}$  on coupe l'électrolyseur et l'on mesure la masse du dépôt cuivré qui s'est formé à l'électrode négative. On trouve précisément  $10,8 \text{ mg}$ . Déduire de cette valeur les quantités d'ions cuivre et d'ions bromure ayant réagi durant ces 5 minutes.
6. Déterminer la relation entre la quantité d'électrons ayant déjà circulé dans le circuit et l'avancement  $x$  de la réaction.
7. Calculer la quantité d'électricité  $Q$  ayant circulé dans l'électrolyseur durant ce temps de fonctionnement.
8. En déduire la valeur de l'intensité  $I$  débitée par le générateur en supposant qu'elle soit restée parfaitement constante.
9. Calculer la puissance fournie par le générateur à l'électrolyseur.

Données :

- $M_{\text{Cu}} = 63,5 \text{ g/mol}$
- $1 \mathcal{F} = 9,65 \cdot 10^4 \text{ C/mol}$

### A retenir :

- Dans le cas d'une pile électrochimique (réaction spontanée) ou d'un électrolyseur (réaction forcée), la cathode est toujours le siège d'une réduction et l'anode est toujours le siège d'une oxydation.
- Pour une pile électrochimique, la cathode est à la borne positive. Pour un électrolyseur, la cathode est à la borne négative.

### 3. Stockage et conversion d'énergie chimique

#### 3.1. Stockage de l'énergie

Le stockage de l'énergie concerne aussi bien la chaleur que l'électricité. Il consiste à « accumuler » l'énergie en vue d'une utilisation ultérieure en un lieu qui peut être identique ou différent du lieu de production. Les batteries sont l'un des moyens les plus communs.

L'électricité est un vecteur très pratique pour le transport de l'énergie, mais elle est difficile à stocker sous sa forme propre.

Elle est donc généralement transformée pour être stockée sous une autre forme : énergie mécanique, thermique ou chimique par exemple.

Au contraire, l'énergie thermique est généralement stockée sous sa forme originale (chaleur).

Source : <https://www.ademe.fr/expertises/energies-renouvelables-enr-production-reseaux-stockage/passer-a-l'action/stockage-lenergie>



#### Exemples de systèmes pour l'énergie électrique :

- Stockage gravitaire de masse d'eau avec les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) ;
- Stockage thermodynamique avec les systèmes de stockage par air comprimé (CAES) ;
- Stockage d'énergie cinétique avec les volants d'inertie ;
- Stockage électrochimique avec les batteries (au plomb, sodium-soufre, lithium-ion, etc.).

#### Exemples de systèmes pour l'énergie thermique :

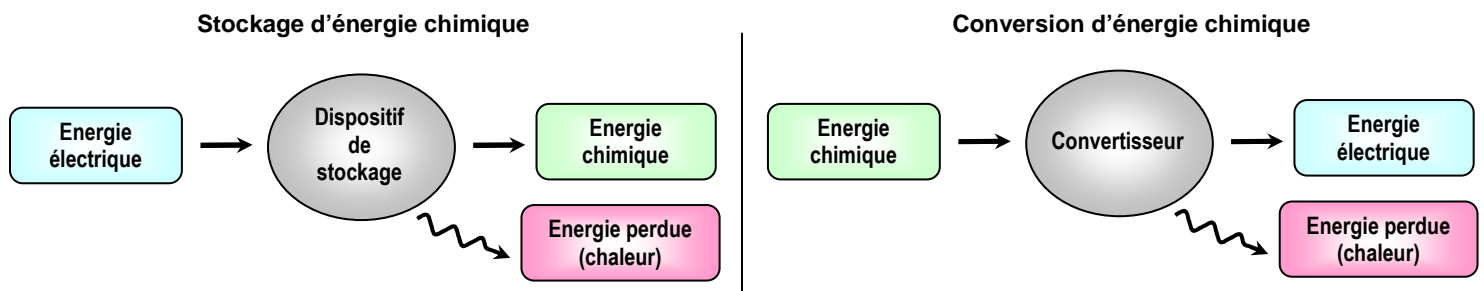
- Stockage de chaleur latente avec la glace ou les matériaux à changement de phase ;
- Stockage de chaleur sensible avec l'eau chaude ou les sels fondus ;
- Stockage sous forme chimique avec des réactions chimiques ou la production d'hydrogène.

#### A retenir :

- Au sens de la physique, il n'y a pas de « sources d'énergie » ni de « pertes d'énergie » car l'énergie ne peut ni se créer ni disparaître (premier principe de la thermodynamique). Elle est, et ne peut que changer de forme.
- Un chaîne énergétique illustre le principe de conservation de l'énergie : La somme des énergies qui entrent dans un système de conversion est égale à la somme des énergies qui en ressortent.
- Le rendement  $\eta$  (éta) d'une conversion d'énergie est donné par la relation :

$$\eta = \frac{E_{\text{utile}}}{E_{\text{Reçue}}} \quad \left| \quad \begin{array}{l} \eta \text{ sans dimension} \\ E \text{ en } J \end{array} \right.$$

- Toute conversion d'énergie engendre des pertes :



#### 3.2. Dispositifs de stockage

##### Les accumulateurs :

"Les accumulateurs et les piles sont des systèmes électrochimiques servant à stocker de l'énergie. Ceux-ci restituent sous forme d'énergie électrique, exprimée en watt-heure (Wh), l'énergie chimique générée par des réactions électrochimiques. L'accumulateur est basé sur un système électrochimique réversible. Il est rechargeable par opposition à une pile qui ne l'est pas. Le terme batterie est alors utilisé pour caractériser un assemblage de cellules élémentaires (en général rechargeables).

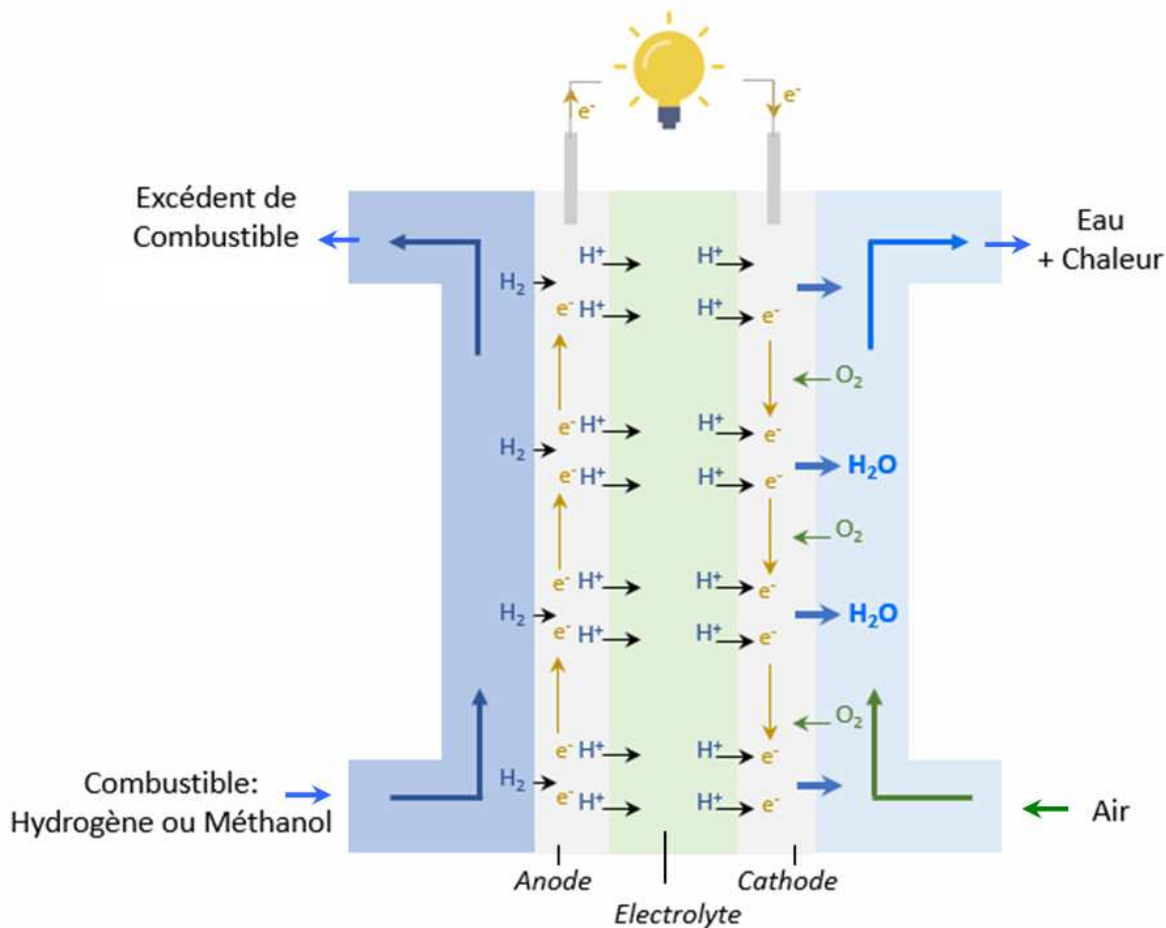
Un accumulateur, quelle que soit la technologie utilisée, est pour l'essentiel défini par trois grandeurs.

- Sa densité d'énergie massique en watt-heure par kg (Wh/kg) qui correspond à la quantité d'énergie stockée par unité de masse.
- Sa densité de puissance massique, en watt par kilogramme (W/kg), qui représente la puissance que peut délivrer l'accumulateur.
- Sa cyclabilité, exprimée en nombre de cycles, qui caractérise la durée de vie de l'accumulateur, c'est-à-dire le nombre de fois où il peut restituer le même niveau d'énergie après chaque nouvelle recharge."

(Source : CEA)



## Fonctionnement d'une pile PEMFC



Le principe de fonctionnement de la pile à combustible repose sur l'oxydation d'un combustible (par exemple l'hydrogène) et la réduction d'un comburant (par exemple l'oxygène) aboutissant à la production simultanée d'eau, d'énergie électrique et de chaleur. La pile est constituée par deux électrodes :

- une anode émettrice d'électrons où se produit l'oxydation du combustible.  
Ici :  $H_2 = 2 H^+ + 2 e^-$
- une cathode réceptrice d'électrons où se produit la réduction du comburant.  
Ici :  $O_2 + 4 H^+ + 4 e^- = 2 H_2O$

Les deux électrodes sont séparées par un électrolyte permettant le passage des ions. Une membrane évite la mise en contact des réactifs à l'anode et à la cathode.

Le bilan global de fonctionnement de la pile est alors :  $2 H_2 + O_2 \rightarrow 2 H_2O$

Selon les paramètres souhaités ou les applications, il existe différents types de piles à combustible utilisant des électrolytes et des électrodes de nature différente.

La PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell), ou pile à membrane à échange de protons, est par exemple utilisée par tous les constructeurs automobiles car elle fonctionne à basse température et évite un chauffage préalable, permettant un démarrage rapide.

Grâce à son électrolyte solide, elle a aussi une durée de vie plus longue (jusqu'à 100.000 heures) et est relativement compacte. Son principal inconvénient est le platine utilisé comme catalyseur aux électrodes qui coûte très cher.



## Les organismes chlorophylliens :

Les organismes chlorophylliens sont capables de réaliser la photosynthèse en absorbant une partie du rayonnement solaire. Ces organismes, qualifiés de photosynthétiques, sont les plantes vertes, les algues, ou encore certaines bactéries. La photosynthèse est la synthèse de matières organiques à partir de matières minérales (eau, sels minéraux et  $CO_2$ ) grâce à l'énergie lumineuse du Soleil. Elle permet donc la conversion de l'énergie solaire en énergie chimique, présente dans les molécules organiques produites.

