

## Sources d'énergie chimique et utilisations

L'énergie chimique est contenue dans les espèces chimiques qui sont donc des .....d'énergie. Les réservoirs exploités par l'homme d'énergie chimique sont soit d'origine naturelle (.....), soit inventés et produits par l'homme (.....)

D'où vient l'énergie chimique ? C'est une énergie microscopique qui tient son origine dans l'existence des liaisons chimiques :  
 - pour rompre une liaison, il faut ..... à une espèce chimique : le système chimique doit donc ..... de l'énergie  
 - inversement, la création d'une liaison ..... : le système chimique, cette fois-ci, .....

Lors d'une réaction chimique, il y a à la fois rupture et création de liaisons. Dans le bilan global, si le système chimique perd de l'énergie chimique, cette perte ne correspond pas à de l'énergie....., ceci à cause du principe de ....., mais elle correspond à de l'énergie qui peut être transmise à l'....., la réaction est dite ..... et au contraire, si le système chimique gagne de l'énergie chimique, celle-ci provient de l'extérieur du système et la réaction est dite .....

Un cas particulier des réactions exo-énergétiques sont les réactions .....où le système chimique siège de la réaction perd en énergie chimique, énergie transférée à l'extérieur sous forme particulier d'énergie ..... du système extérieur. Les réactions de combustion font partie des réactions exothermiques.

### I Réactions de combustion

#### 1) Espèces chimiques intervenant dans la combustion

##### a) Les réactifs

Le premier réactif d'une combustion s'appelle un ..... (qui peut s'enflammer). Les différents combustibles sont soit issus de réservoirs d'énergie non renouvelable dits fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel et leurs composés dérivés comme les hydrocarbures principalement dont des alcanes ou certains alcools) soit de la biomasse renouvelable (comme l'éthanol issu de l'exploitation de végétaux, appelé ainsi bioéthanol).

En allumant une bougie, celle-ci « brûle » grâce à la combustion progressive de la cire qui est de l'acide stéarique  $C_{18}H_{36}O_2$ . En l'enfermant dans un pot à confiture ..... Cela montre que la combustion nécessite un autre réactif pour l'entretenir. Ce réactif est appelé le ..... Le plus utilisé est le dioxygène gazeux. On peut également citer l'ozone ( $O_3$ ), des oxydes métalliques ou même l'eau pour certains combustibles comme l'aluminium pur qui s'enflamme dans l'eau.

##### b) Les produits

Mise en évidence, protocole (schéma ci-contre à compléter, voir TP)

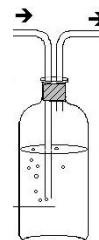
Observation et conclusion :

L'eau de chaux ..... donc

.....

Les gouttes obtenues sur l'entonnoir rendent bleu le

sulfate de cuivre anhydre donc .....



Lors de la combustion complète, le combustible réagit avec le comburant ce qui conduit à la formation des produits ..... et .....

##### c) Equation d'une combustion complète

Une réaction de combustion est en réalité une réaction d'oxydoréduction. Les couples en présence sont les suivants (sauf indication contraire) :  $CO_{2(g)}$ /combustible et comburant/ $H_2O_{(g)}$ .

Donner ainsi la réaction de combustion du méthane, du butan-1-ol puis de l'octane dans l'air.

**d) Remarque : combustion incomplète**

Lorsque l'apport en comburant (dioxygène en général) est insuffisant, on dit que la combustion est ..... et d'autres espèces chimiques autres que l'eau et le dioxyde de carbone peuvent se former : le carbone sous forme de fine poudre noire (cendres) et/ou le monoxyde de carbone CO(g), gaz incolore, inodore et hautement toxique voire mortel.

**2) Aspect énergétique d'une combustion**

La combustion est un mode de conversion d'énergie où ..... est transformée en ..... C'est le chimiste Lavoisier qui fut le premier à entreprendre la mesure de l'énergie libérée par une combustion au XVIII<sup>e</sup> siècle.

Une réaction de combustion est une réaction ..... car le système chimique ..... de l'énergie au milieu extérieur. **On appelle énergie molaire de combustion d'un combustible l'énergie libérée par unité de quantité de matière de combustible consommé : elle est notée ..... et s'exprime en ..... dans le SI.**

J'apprends bien et je comprends bien cette définition : quels sont les mots importants de cette définition ?

Ordres de grandeur des énergies molaires de quelques transformations :

Energie molaire de changement d'état	Energie molaire de combustion	Réactions nucléaires
	$10^3$ à $10^4$ kJ.mol <sup>-1</sup>	$10^{11}$ à $10^{13}$ kJ.mol <sup>-1</sup>

Exemple : l'énergie molaire de combustion de l'éthanol  $E_{m,comb,éthanol}$  vaut  $1,24 \cdot 10^3$  kJ.mol<sup>-1</sup>

Signification :

Et si  $n_{combustible\ consommé} = 5$  mol d'éthanol avaient subi une combustion, quelle énergie libérée  $E_{lib}$  aurait-on obtenu ?

En déduire le cadre suivant :

L'énergie thermique libérée  $E_{lib}$  par la combustion d'une quantité consommée  $n_{combust\ cons}$  de combustible est ainsi reliée à l'énergie molaire de combustion de ce combustible  $E_{m,combust}$  par

(savoir utiliser cette relation dans un autre sens par exemple pour calculer  $E_{m,comb}$  cf TP)

D'après le cadre précédent, l'énergie thermique libérée lors d'une combustion dépend ainsi de

.....  
.....  
.....

Remarque : on rencontre aussi l'énergie massique de combustion d'une espèce : à quoi correspond-elle ? Et quelle unité peut-on rencontrer pour cette grandeur ?

### 3) Détermination expérimentale (TP)

#### Document 1 : l'acide stéarique

Les bougies sont principalement composées d'acide stéarique ( $C_{18}H_{36}O_2$ ), un acide gras naturellement présent dans de nombreux beurres et huiles végétaux (Karité, Cacao, Palme). Lorsqu'on allume une bougie munie d'une mèche, on assiste à la combustion de cette espèce chimique. Les bougies chauffe-plat sont des bons exemples de telles bougies.

#### Document 2 : données et rappels

$M(C) = 12,0\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;  $M(H) = 1,0\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  ;  $M(O) = 16,0\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

le transfert thermique  $Q$  reçu par un échantillon de masse  $m$  d'une espèce chimique sans changement d'état lui permet de faire varier sa température de  $\Delta T$  avec  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ . On donne la capacité massique de l'eau liquide :  $c_{\text{eau liq}} = 4,18\text{J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$ .

#### Document 3 : matériel et points imposés

Bougie chauffe-plat, allumettes, eau, éprouvette, canette relié à une potence, cache en carton recouvert d'aluminium, support élévateur, sonde thermométrique, chronomètre, balances.

On utilisera un volume de 150 mL d'eau dans la canette et une durée de temps de combustion de la bougie de 15 mn.

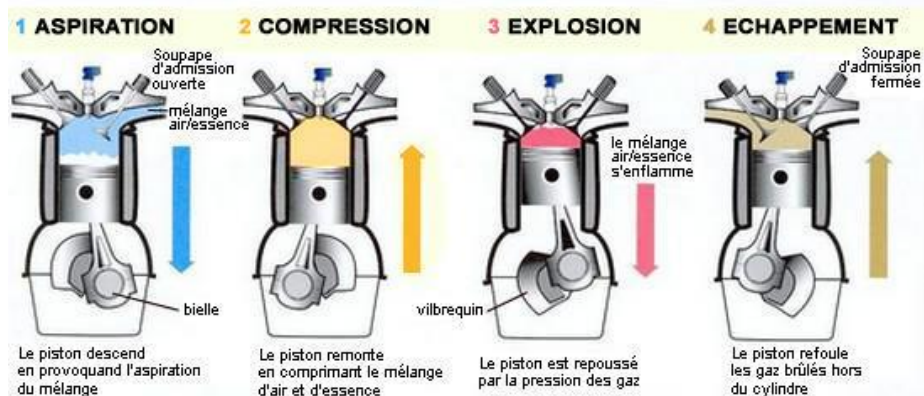
*Problème posé* : avec le matériel qui est à votre disposition, déterminer l'énergie molaire de combustion de l'acide stéarique (bougie chauffe-plat) puis la puissance générée par la combustion d'une bougie chauffe-plat.

- Mettre au point un protocole complet et concis permettant *au mieux* de répondre au problème. On ajoutera à ce protocole un schéma de chaîne énergétique simple permettant de le comprendre. Vous déterminerez notamment les grandeurs qu'il faudra mesurer, vous leur donnerez des noms et vous présenterez les calculs nécessaires pour trouver l'inconnue cherchée.
- Après validation du protocole par le professeur, passer à l'expérimentation. Attention à ne pas casser le petit opercule de la canette qui permet de la suspendre via la cordelette à la pince. Puis répondre au problème posé.
- La valeur théorique de l'énergie molaire de combustion est égale à  $10,8 \cdot 10^3\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Comparer et commenter scientifiquement en critiquant notamment et en validant ou non.

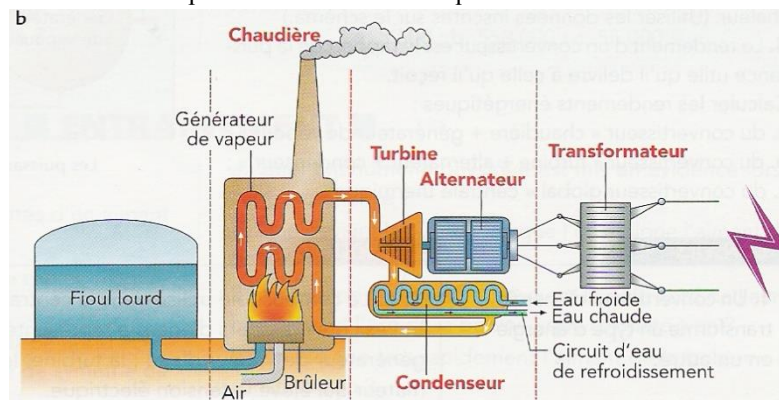
### 4) Différentes utilisations

	combustible	comburant	Energie chimique transformée, pour l'extérieur, en
Feu de cheminée	Cellulose du bois	Dioxygène de l'air	Energie thermique
Moteur de voiture	Alcanes (octane par exemple)	Dioxygène de l'air	Energie thermique elle-même transformée en énergie mécanique
Centrale thermique	Charbon, fioul, gaz	Dioxygène de l'air	Energie thermique elle-même transformée en énergie mécanique elle-même transformée en énergie électrique

Documents (pour lecture) : le moteur de voiture à quatre temps :



Principe d'une centrale thermique :



## 5) Les impacts de la combustion

Par ses activités industrielles et domestiques, l'homme est la principale source de modifications du climat et de la pollution atmosphérique. C'est principalement l'extraction et l'usage des combustibles fossiles qui en sont responsables.

### a) L'effet de serre

La combustion d'une espèce chimique produit du dioxyde de carbone qui est un gaz à effet de serre dont le rejet dans l'atmosphère participe au réchauffement climatique.

Application : détermination de la masse de dioxyde de carbone produite par une voiture (**explicitement au programme**).

#### Document 1 : publicité rencontrée actuellement



#### Document 2 : nature de l'essence utilisée par le véhicule

L'essence utilisée comme combustible dans cette voiture est considérée comme de l'octane et on indique que  $\rho_{\text{essence}} = 750 \text{ g.L}^{-1}$

#### Problème posé

La consommation indiquée sur la publicité a pu être vérifiée et est validée. Par un raisonnement théorique complet, déterminer si la publicité est mensongère concernant le rejet de CO<sub>2</sub>(g).

### b) Les pluies acides

Il arrive souvent que la combustion libère d'autres composés chimiques pouvant se dissoudre dans l'eau de l'atmosphère. Cela forme les pluies acides. Ces pluies peuvent dégrader les écosystèmes et les bâtiments.

### c) La biomasse

L'utilisation de la biomasse comme combustible est un facteur de réduction de la pollution atmosphérique.

Ex : les biocarburants. Ce sont des carburants issus de la transformation de matières végétales. Leur fabrication permet de diminuer la consommation en dioxyde de carbone.

Explication : le végétal transforme le dioxyde de carbone en dioxygène lors de la photosynthèse. Il se trouve que la quantité de dioxyde de carbone consommée par le végétal correspond à la quantité de dioxyde de carbone libérée lors de la combustion du biocarburant, d'où une pollution limitée par l'utilisation des biocarburants. On dit que le bilan est de « zéro carbone ». Expliquer ces termes.

.....  
.....  
.....

Qu'en est-il de l'utilisation du charbon ou du pétrole ? Pourquoi ?

.....  
.....  
.....

L'utilisation de la biomasse présente tout de même certaines limites : cela nécessite l'emploi d'engrais et de tracteurs qui consomment beaucoup. De plus, l'industrie chimique qui en découle est un domaine qui pollue considérablement. D'après les estimations, en Malaisie, 87% de la déforestation a été provoquée par le développement des plantations de palmiers utilisés pour la biomasse entre 1985 et 2000.

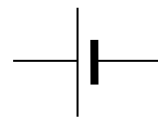
## II Réactions d'oxydoréduction et énergie électrochimique

### 1) Piles électrochimiques

#### a) Propriétés physiques des piles

Une pile est un générateur qui permet d'obtenir de l'énergie

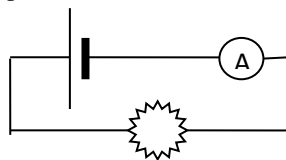
..... à partir d'énergie .....



Un pile est représentée de la façon suivante (positionner le pôle positif + et le pôle négatif -) :

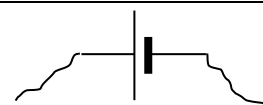
*Courant débité* : en branchant aux bornes de la pile un récepteur (comme une lampe ou un conducteur ohmique), un courant apparait. On dit que la pile débite. Un courant  $I > 0$  sort par .....

Indiquer le sens du courant positif sur le schéma suivant puis celui des électrons :



*Force électromotrice* : la différence de potentiel  $V^+ - V^-$  calculée aux bornes de la pile, quand celle-ci ne débite pas, est une tension et s'appelle la force électromotrice de la pile (fem). C'est une caractéristique de la pile. Sa valeur *toujours positive* est quasi-constante tout au long de la vie de la pile (sauf en fin de vie où elle décroît rapidement).

Comment mesurer la force électromotrice d'une pile (compléter le schéma) ?



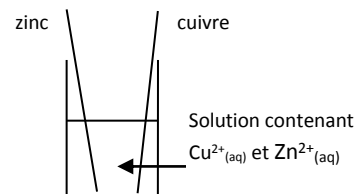
#### b) Comment obtenir une pile au laboratoire ?

i) Deux couples en présence avec transfert direct ?

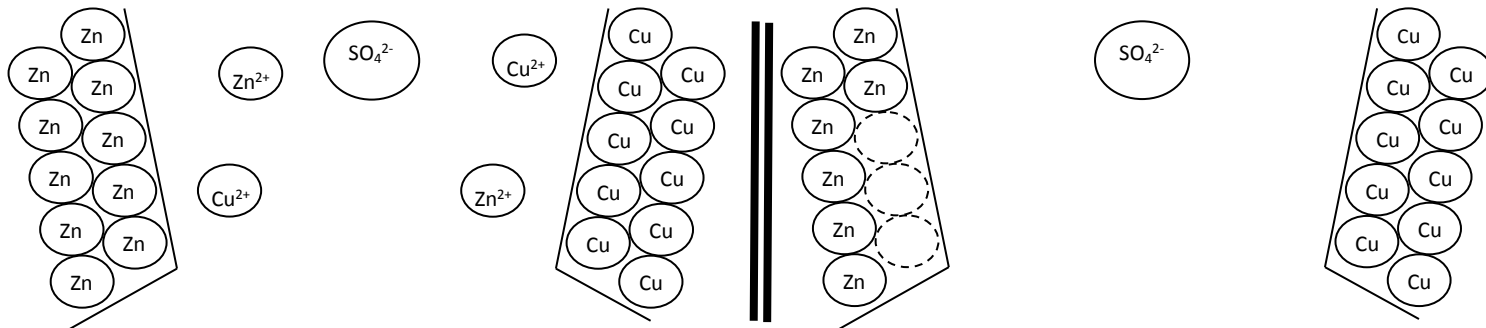
On a mélangé dans un même béccher les quatre espèces appartenant aux couples  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})/\text{Cu}(\text{s})$  et  $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})/\text{Zn}(\text{s})$ . On observe .....

.....

*Aspect macroscopique* :



*Aspect microscopique* :



Au début de l'expérience

à la fin de l'expérience

Pourquoi est-ce une bonne idée d'utiliser des espèces pouvant intervenir dans une équation d'oxydoréduction pour tenter d'obtenir une pile ? .....

Pourquoi n'est-ce cependant pas satisfaisant ici ? .....

Dans une lettre écrite en mars 1800, Volta explique comment il a fabriqué la première pile alors dénommée « organe électrique artificiel » :

« Je me fournis de quelques douzaines de petites plaques rondes ou disques de cuivre, de laiton, ou mieux d'argent, d'un pouce de diamètre (...), et d'un nombre égal de plaques de zinc. (...) Je prépare, en outre, un nombre assez grand de rondelles de carton, de peaux ou de quelque autre matière spongieuse capable d'imbiber ou de retenir beaucoup d'eau ou de l'humeur dont il faudra pour le succès des expériences qu'elles soient bien trempées. Ces (...) disques mouillés, je les fais un peu plus petits que les disques ou plateaux métalliques, afin qu'interposés à eux de la manière que je dirai bientôt ils n'en débordent pas.(...)»

Je pose donc horizontalement sur une table ou base quelconque, un des plateaux métalliques, par exemple un d'argent, et sur ce premier j'en adapte un de zinc ; sur ce second je couche un des disques mouillés, puis un autre plateau d'argent, suivi immédiatement d'un autre de zinc, auquel je fais succéder encore un disque mouillé. Je continue ainsi de la même façon, accouplant un plateau

d'argent avec un de zinc, et toujours dans le même sens, c'est-à-dire toujours l'argent dessus et le zinc dessous, ou vice versa, selon que j'ai commencé, et interposant à chacun de ces couples un disque mouillé : je continue, dis-je, à former de ces étages une colonne aussi haute qu'elle peut se soutenir sans s'écrouler. Or, si elle parvient à contenir environ vingt de ces étages ou couples de métaux, elle sera déjà capable (...) de frapper les doigts avec lesquels on vient toucher ses deux extrémités (la tête et le pied d'une telle colonne), d'un ou de plusieurs petits coups et plus ou moins fréquents suivant qu'on réitère ces contacts, chacun desquels coups ressemble parfaitement à [une] légère commotion. »

Cette découverte permit à Volta de recevoir bien des honneurs : Napoléon fit construire une batterie de 600 piles pour l'École Polytechnique en 1813. Mais la pile Volta fut rapidement abandonnée car la tension à ses bornes chutait trop rapidement. Daniell et Leclanché entre autres mirent au point des piles plus performantes.

D'après R. Massain, *Physique et physiciens*, Magnard, 1939.

Lire le document ci-contre et le livre d'Einstein et Infeld p.81 à p.84.

Quels sont les éléments utilisés par Volta en 1800 ? Puis ceux utilisés par Daniell (recherche internet) ?

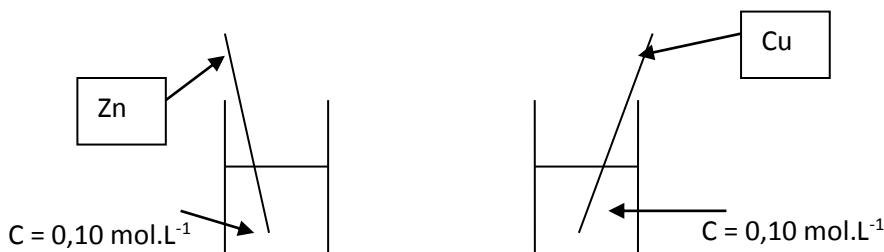
Quelle différence majeure existe entre ces dispositifs et celui du i) ?

Quel phénomène physique ce dispositif a-t-il permis à Oersted de découvrir ?

Avec réflexion et le matériel disponible (plaques métalliques (plomb, cuivre, zinc), fils, conducteur ohmique, multimètre, pont salin contenant un gel imbibé de nitrate de potassium ( $K^+_{(aq)} + NO_3^-_{(aq)}$ ) à l'intérieur duquel les ions peuvent circuler, solution de sulfate de cuivre(II), solution de sulfate de zinc(II)), proposer un dispositif correspondant à une pile :

- en mettant en évidence un courant électrique (même faible) passant dans un circuit à trouver,
- en mesurant la fem de la pile ainsi constituée après avoir déterminé sa polarité (càd où se trouvent ses pôles + et -).

ii) Le transfert peut se faire indirectement via des fils si on ..... les deux couples



Un courant apparaît dans le circuit : un transfert d'électrons a lieu via le circuit. **On a donc créé une pile qui permet de transformer de l'énergie chimique en son sein, en énergie électrique du circuit.** Dans les conditions du TP, on observe un transfert réel d'électrons de l'élément ..... vers l'élément ..... (comme ce qu'il se passait quand les deux couples étaient rassemblés) :

L'élément zinc est ..... L'élément cuivre est .....

### c) Vocabulaire

- Une pile est composée de deux 1/2 piles. Chacune des 2 1/2 piles possède une qdm d'oxydant et de réducteur d'un .....

exemple 1/2 pile de gauche du dessin précédent : oxydant :

réducteur :

- La partie, dans chaque 1/2 pile qui permet la liaison au circuit extérieur s'appelle une électrode. Ici, l'électrode est ..... Mais l'électrode peut être inerte (graphite) lorsqu'elle n'est ni l'oxydant ni le réducteur (qui peuvent se trouver tous deux en solution ou dans un gel comme le couple  $Fe^{3+}(aq)/Fe^{2+}(aq)$ ).
- Dans une pile, les deux 1/2 piles sont reliées par un pont salin (papier ou gel imbibé d'ions).
- Quand la pile fonctionne, les deux 1/2 piles sont reliées via un circuit extérieur grâce aux électrodes.
- L'électrode au sein de laquelle a lieu la **Réduction** s'appelle la cathode

Dans l'exemple du TP :

La réduction est ..... donc le sens réel (ou conventionnel) du courant est tel que le courant ..... de la cathode pour la pile : la cathode est donc le pôle ..... de la pile (refaire le raisonnement à chaque fois).

- L'électrode au sein de laquelle a lieu l'**Oxydation** s'appelle l'anode

Dans l'exemple du TP :

L'oxydation est ..... donc le sens réel (ou conventionnel) du courant est tel que le courant ..... l'anode pour la pile : l'anode est donc le pôle ..... de la pile (refaire le raisonnement à chaque fois).

### d) Porteurs de charge

- Dans le circuit extérieur et dans les électrodes, un courant circule grâce aux
- Dans les solutions et dans le pont salin, un courant circule grâce aux
- Les deux rôles du pont salin :

e) Bilans micro et macroscopique : voir feuille manuscrite photocopiée

f) Informations pouvant être fournies pour retrouver toutes les caractéristiques de la pile

## 2) Piles particulières

### a) Les piles usuelles

Piles alcalines, salines et piles bouton : voir exercice

### b) Les piles à combustibles

#### i) Définition

#### ii) Exemple : la pile dioxygène, dihydrogène

Rappel des deux couples de l'eau :

L'eau est le ..... du couple  $\text{H}_2\text{O(l)}/\text{H}_2\text{(g)}$  .

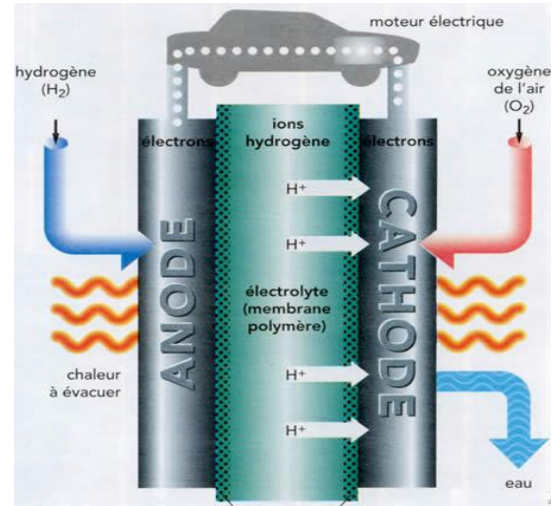
Demi-équation correspondante :

L'eau est le ..... du couple .....

Demi-équation correspondante :

Ainsi  $\text{H}_2\text{(g)}$  et  $\text{O}_2\text{(g)}$  peuvent être mis à réagir dans une pile selon l'équation (réécrire les  $\frac{1}{2}$  équations dans le bon sens) :

Cette pile est dite propre car :



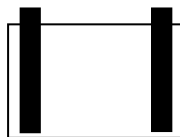
## 3) Les accumulateurs

Un accumulateur ou un ensemble d'accumulateurs montés en série appelé alors ..... est capable de fournir de l'énergie électrique au circuit électrique extérieur en consommant son énergie chimique lors d'une réaction ox/red dite « spontanée ». C'est alors une ..... et c'est le ..... dans le circuit électrique. Mais on peut aussi lui imposer de recevoir de l'énergie électrique qu'il peut transformer en énergie chimique avec une réaction ox/red dite « forcée » et qui est celle contraire à la réaction spontanée, si on branche correctement un générateur extérieur qui va ..... le sens du courant. L'accumulateur n'est alors plus le générateur mais un .....

On peut citer comme accumulateurs ceux des voitures : une batterie d'accumulateurs fonctionne comme une pile au démarrage d'une voiture (transformation spontanée) pour allumer les bougies et se recharge lors du fonctionnement du moteur (transformation forcée) afin de pouvoir assurer un nouveau .....

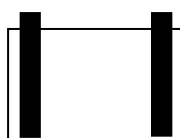
Les couples mis en jeu sont  $\text{Pb}^{2+}(\text{aq})/\text{Pb}(\text{s})$  et  $\text{PbO}_2(\text{s})/\text{Pb}^{2+}(\text{aq})$ . La réaction spontanée (pile) correspond à l'oxydation de  $\text{Pb}(\text{s})$  par  $\text{PbO}_2(\text{s})$ . En déduire les demi-équations (écrites pour le sens direct) :

lors du démarrage du moteur : la batterie est le générateur, elle a donc un pôle+ et un .....



Equation générale lors du démarrage du moteur :

lors de la charge de la batterie : le générateur extérieur (provenant du moteur) impose son courant



Equation générale lors de la charge de la batterie :