

LC 31 - Conversion d'énergie chimique en énergie électrique.

Niveau L2

Prerequis:

- * Couple oxydant - réducteur
- * (Loi de Nernst)
- * Notion énergie - puissance
- * Courbes $\eta = f(E)$
- *

Bibliographies

- * Linden - Handbook of batteries
- * Monodre

Introduction Pédagogique

- * Cours de niveau L2 car on va se servir des courbes intensité - potentiel pour avoir une description la plus complète possible
- * Le cours vient après un cours sur les courbes $i-E$, le but étant de mettre en application ce que les élèves ont vu au cours précédent et de l'appliquer à une situation concrète (prérequis)
- * Dans ce cours on expliquera ce qu'est une pile à un élève et par so on choisit de traiter l'exemple de l'accumulateur au plomb, mais uniquement en décharge, on fait ce choix car on pourra garder le même exemple dans le cours suivant sur la conversion électrochimique $\rightarrow$ chimie
- * Une fois qu'on aura présenté l'accumulateur on a fait le choix de regarder des grandeurs thermodynamiques pertinentes et on donnera des ordres de grandeur pour ancrer cette leçon au maximum dans la réalité. On fera des comparaisons avec d'autres types d'accumulateurs
- * Le but étant ensuite de regarder les courbes $i-E$ pour comprendre comment on peut améliorer les performances de l'accumulateurs.
- * On expliquera chaque paramètre séparément, tout en donnant des problèmes d'ordre technique dans la réalisation.
- * On va chercher à donner un regard critique sur la conception et le choix des objets que l'on utilise en prenant en compte des paramètres non chimiques
- * On arrivera à la fin du cours sur la recharge par introduire le cours suivant
- * On ne pourra pas étudier tous les aspects pratiques et technologiques, mais à l'issue de ce cours étude de la batterie Li-ion par combler ce manque
- * TD : équation fonctionnelle pile @ calcul tension et énergie et rendement
- * TD : mesure de charge @ réalisation pile Daniell

Les mesures η_a ; η_c ; η

Introduction

- * On utilise de l'électricité tout les jours (ex: lumières dans cette salle)
 - * Souvent directement sur le secteur, mais il nous faut un fil électrique
 - ↳ or si je pars faire une randonnée et que j'ai besoin d'alimenter mon téléphone ou une lampe ce n'est plus possible
 - * Ce qu'on fait c'est qu'on utilise des piles
 - ↳ une pile c'est un objet qui permet de générer de l'énergie électrique à partir d'une réaction chimique
- ⚠ En chimie on différencie pile et accumulateur : pile = non rechargeable
- * Une pile nous permet donc de convertir de l'énergie chimique en énergie électrique

Objectif Comprendre le fonctionnement d'une pile
Comprendre les paramètres d'optimisation

Transition : On arrive à voir ce qu'est une pile dans la vie de tous les jours, mais ce qui est plus intéressant c'est de comprendre comment elles fonctionnent chimiquement

I - Description d'une pile

A - Schema de fonctionnement

* La première chose à voir c'est que lorsqu'on a un circuit électrique c'est qu'il y a des électrons qui circulent

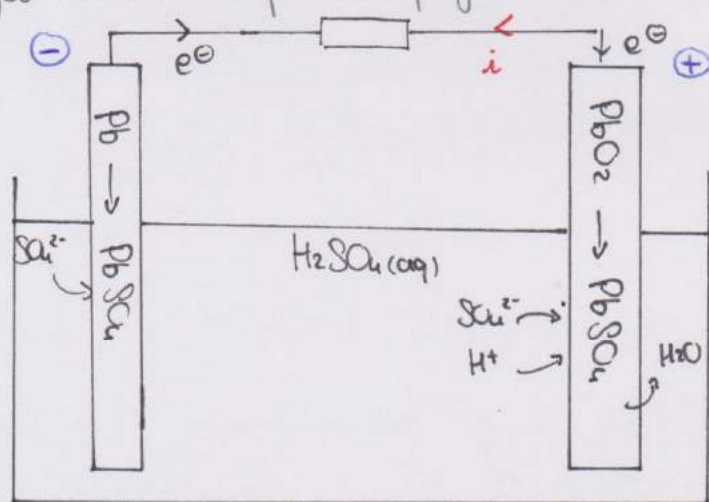
↳ il faut donc une réaction chimique qui produit des électrons d'un côté et une qui en consomme de l'autre

↳ réaction électrochimique

* On va étudier ici l'accumulateur au plomb, mais on va uniquement regarder son fonctionnement comme pile, on regardera la recharge dans le prochain cours (projet)

* Couples mis en jeu : $\text{PbO}_2(\text{s}) / \text{PbSO}_4(\text{s})$
 $\text{PbSO}_4(\text{s}) / \text{Pb}(\text{s})$

* On va faire un schéma pour simplifier l'étude de la pile



• Reactions : Anode : oxydation $\text{Pb}(\text{s}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) = \text{PbSO}_4(\text{s}) + 2\text{e}^-$

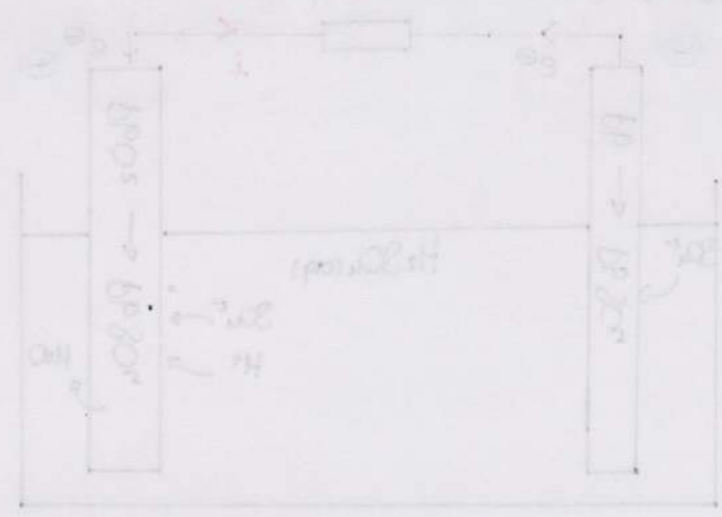
Cathode : reduction $\text{PbO}_2(\text{s}) + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2\text{e}^- = \text{PbSO}_4(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}$

⇒ Equation bilan : $\text{PbO}_2(\text{s}) + \text{Pb}(\text{s}) + 4\text{H}^+ + 2\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) = 2\text{PbSO}_4(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}$

* Dans une pile les électrons vont du - vers le +

⇒ On écrit une pile conventionnellement : $\ominus \text{Pb}(\text{s}) | \text{PbSO}_4(\text{s}) | \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) | \text{PbSO}_4(\text{s}) | \text{PbO}_2(\text{s}) \oplus$

Transition : On a vu comment fonctionnait la pile, mais ce qui va
 surtout nous intéresser c'est de connaître les caractéristiques de la pile
 maintenant

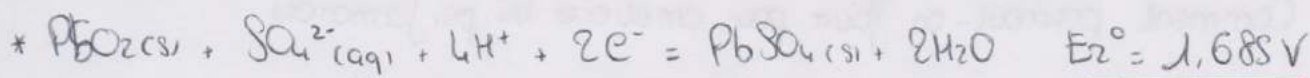
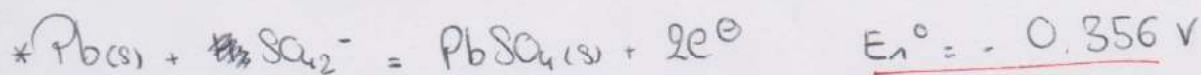


B- Caractéristique thermodynamique

* La première chose qui va nous intéresser dans une pile c'est la tension qu'elle peut délivrer

↳ on parle de force électromotrice dans ce cas

↳ il faut regarder les potentiels standards de chaque couple



$$\Rightarrow E^\circ = E_2^\circ - E_1^\circ = 2.041 \text{ V}$$

↳ la pile peut fournir 2.04 V, mais est-ce que c'est bien ?

* Comme on va chercher à transporter une pile, ce qui va plus nous intéresser c'est la quantité d'énergie électrique en fonction du poids

↳ densité massique d'énergie en Wh/kg, comment on l'obtient ?

$$* D_m = \frac{E_{\text{elec}}}{m} = \frac{e^\circ \times x \cdot \Delta t}{m} = \frac{e^\circ \cdot Q / \Delta t \cdot \Delta t}{m} = \frac{e^\circ \cdot Q}{m}$$

* Loi de Faraday : $Q = n \cdot \mathcal{F}$ avec n le nombre de moles consommées

$$\Rightarrow D_m = \frac{e^\circ \cdot n \cdot \mathcal{F}}{m} = \boxed{\frac{e^\circ \cdot \mathcal{F}}{\Pi} = D_m}$$

* Par l'application numérique on prend la moyenne des masses molaires, soit

$$\Pi = 250 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.250 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\Rightarrow D_m = \frac{2.041 \times 96500}{0.250} = 7.72 \cdot 10^5 \text{ J/kg} \\ = \underline{214 \text{ Wh/kg}}$$

* Cette valeur ne permet de savoir la quantité d'énergie qu'en peut avoir d'un kg de pile. (projo)

- * On peut comparer avec les autres types de piles qui sont commercialisées
- ↳ on voit qu'en réalité il y a des composants non actifs qui prennent du poids et un rendement qui n'est pas parfait
- ↳ la ~~cap~~ densité d'énergie est plutôt de 30 Wh/kg
- * Finalement c'est une des moins bonne pile

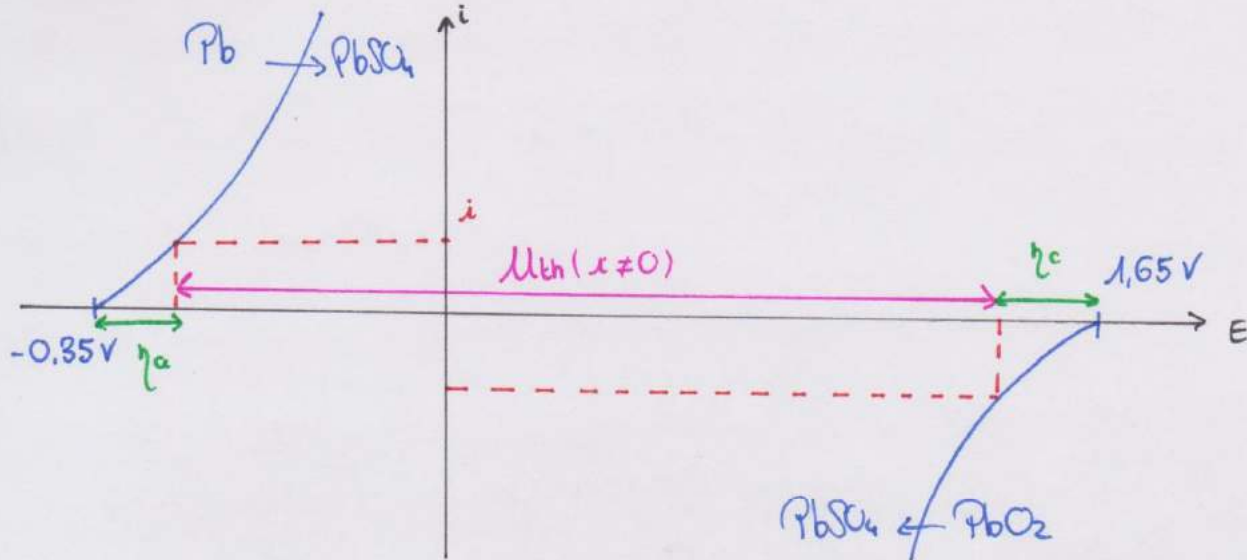
Transition : Comment pourrait-on faire pour améliorer les performances

II - Optimisation des performances

A. Aspect cinétique

* Pour pouvoir faire de l'optimisation de performances, il faut comprendre plus en profondeur le système

↳ étude des courbes $i = f(E)$



* Quand on applique un courant on a une diminution de la tension et donc de la densité d'énergie massique

$U_{th}(i \neq 0) = U_{th} - RI$: on ne voit pas la chute Ohmique ici

$$\Rightarrow U(i \neq 0) = e^0 - \underbrace{\eta_a}_{\text{Cathode}} - \underbrace{\eta_c}_{\text{matériaux}} - \underbrace{R_i}_{\text{électrolyte}}$$

Transition : On voit qu'on a 3 contributions à la force électromotrice, on va voir comment on peut jouer sur chacune.

B. Choix des composants

$$\underline{U_c \neq 0} = e^0 - \eta_a - \eta_c - R_i$$

* Augmentation de e^0 : on va choisir un couple avec les écarts les $\oplus$ grands possible (projo)

↳ le mieux serait Li / F_2

↳ mais il y a un problème qu'on n'a pas évoqué le gaz F_2 est gazeux on a un problème de sécurité, il est de plus très toxique et très réactif

↳ on ne peut pas l'utiliser!

* **Projo** : on a finalement beaucoup moins de couples utilisables, on peut toujours prendre le lithium à l'anode, mais à la cathode on utilise d'autres couples

↳ en réalité Li dangereux : explosif $\Rightarrow$ on prend Li^+ dans graphite

* Le second terme correspond aux surtensions qui dépendent des couples et des matériaux d'électrodes, on fera une étude $\oplus$ poussée en étude de Doc

* Le dernier correspond à la chute ohmique, par ça il faut un électrolyte le plus conducteur possible

↳ il faut des ions avec une bonne conductivité molaire ionique (projo)

↳ certains électrolytes sont non aqueux, certaines "technologies" permettent de diminuer encore la chute ohmique, on verra aussi ça en étude de documents.

* Il y a ensuite un grand nombre de paramètres pratiques à prendre en compte (projo)

↳ prix, volume, durée de vie, intensité du courant, poids

* Le choix des composants va beaucoup dépendre de l'utilisation

↳ Dans une voiture le poids n'a pas énormément d'importance

↳ Exemple : téléphone consomme 11,8 Wh

↳ $\frac{11,8}{40} = 295 \text{ g}$ par batterie au plomb $\Rightarrow$ trop lourd

↳ $\frac{11,8}{175} = 68 \text{ g}$ par batterie Li-ion

Conclusion

- * On a vu qu'on pouvait convertir de l'énergie chimique en énergie électrique en utilisant des piles, et des réactions d'oxydoréductions
- * On a vu dans ce cours comment elles fonctionnaient, ainsi que les grandeurs utiles pour les caractériser
- * On a vu que grâce aux courbes $\eta = f(E)$ on pouvait braver les paramètres et optimiser par avoir les meilleurs piles possibles théoriques
- * Mais il faut aussi prendre en compte certains aspects pratiques comme la toxicité, le coût et choisir en fonction de l'utilisation
- * Et comme on le voit dans le tableau, on parle de recharge à la fin, ce sera l'objet du prochain cours, on verra l'importance des batteries, sachant que leur étude a valu d'être récompensée par un prix Nobel cette année (Willingham, Yoshino, Goodenough)