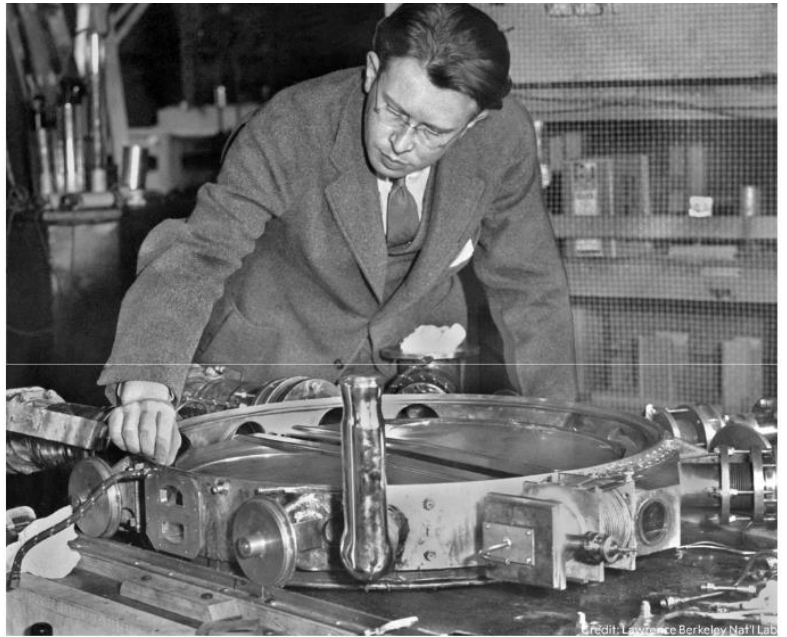
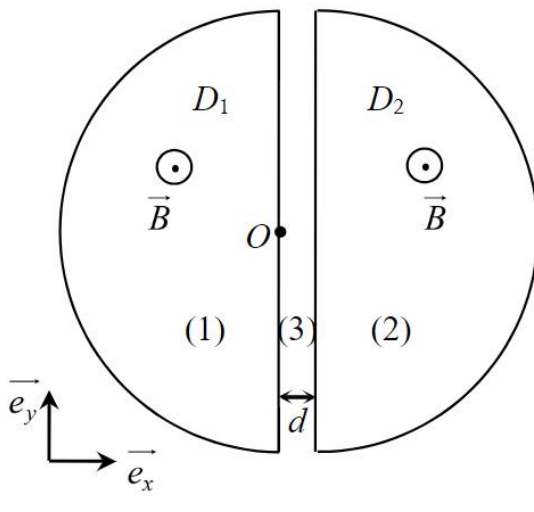


## DS N°7 Oxydoréduction – Particules chargées

### Exercice n°1 : Cyclotron de LAWRENCE

Le cyclotron est un accélérateur de particules inventé en 1930 par Ernest LAWRENCE, et ayant permis la découverte de nouveaux noyaux. Il est formé de deux enceintes demi-cylindriques  $D_1$  (région (1)) et  $D_2$  (région(2)), appelées *dees* en anglais, dans lesquelles règne un champ magnétique uniforme  $\vec{B} = B\vec{e}_z$ .

Entre ces deux *dees*, une bande étroite de largeur  $d$  (région (3)) est plongée dans un champ électrique alternatif  $\vec{E}$  selon  $\vec{e}_x$  de norme constante  $E$ , mais qui change de sens.



*E. LAWRENCE examinant un cyclotron dans son laboratoire de Berkeley en 1935*

On introduit au point  $O(0, 0, 0)$  un électrons de charge  $-e$ , sans vitesse initiale.

#### Partie 1 : Mouvement dans un champ électrostatique (région 3)

- 1) Rappeler le lien entre le potentiel électrique  $V$  et le champ électrique  $\vec{E}$ .
- 2) Montrer en intégrant la relation que :  $U_{D_1 D_2} = V_{D_1} - V_{D_2} = d E$ .
- 3) Dans quelle sens doit être le champ électrique pour accélérer l'électron en direction de la région (2) ? En déduire le signe de la tension  $U_{D_1 D_2}$  à appliquer entre les Dees.
- 4) Quelle est alors la nature du mouvement de l'électron dans la région (3) ?
- 5) En négligeant toute autre force que la force de Lorentz électrique, montrer par le **TEC** que la vitesse  $\vec{v}_1 = v_1 \vec{e}_x$  de l'électron lorsqu'il pénètre dans la région (2) s'exprime :

$$v_1 = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

## Parcours Bleu

**Partie 2 : Mouvement dans un champ magnétostatique (région 2)**

On rappelle les expressions de la vitesse et l'accélération en coordonnées cylindrique :

$$\vec{v} = \dot{r}\vec{e}_r + r\dot{\theta}\vec{e}_\theta + \dot{z}\vec{e}_z \quad \text{et} \quad \vec{a} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\vec{e}_r + (2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta})\vec{e}_\theta + \ddot{z}\vec{e}_z$$

6) Montrer, en projetant le **PFD** sur  $\vec{e}_z$ , que le mouvement est plan.

7) Montrer, en appliquant le **TPC**, que le mouvement de de l'électron dans la *région (2)* est uniforme.

On suppose par ailleurs que le mouvement est circulaire.

8) Montrer que les expressions de la vitesse et l'accélération se simplifient :

$$\vec{v} = v\vec{e}_\theta, \quad \text{avec } v = \|\vec{v}\| = R\dot{\theta} \quad \text{et} \quad \vec{a} = -\frac{v^2}{R}\vec{e}_r$$

9) En déduire l'expression du rayon  $R$  en fonction de la vitesse initiale  $v_1$ , puis en fonction de  $e, U, m$  et  $B$

## Parcours Rouge

**Partie 2 : Mouvement dans un champ magnétostatique (région 2)**

6bis) Établir les équations du mouvement de l'électron en coordonnées cartésiennes.

7bis) En déduire que le mouvement est plan.

Pour toute la suite, on se place uniquement dans le plan de la trajectoire et on introduit deux variables complexes de position et de vitesse,  $X = x + iy$  et  $V = \frac{dX}{dt} = v_x + iv_y$ .

8bis) Montrer que  $V$  est solution de l'équation différentielle :  $\frac{dV}{dt} - i\omega_c V = 0$ , avec  $\omega_c = \frac{eB}{m}$  la pulsation cyclotron.

9bis) En déduire les expressions de  $V$  puis de  $X$  en fixant l'origine des temps et des abscisses à l'entrée de l'électron dans la région 2.

10bis) Déterminer les coordonnées  $x(t)$  et  $y(t)$  de l'électron, et montrer qu'elles vérifient l'équation d'un cercle de rayon  $R$ . Exprimer  $R$  en fonction de la vitesse initiale  $v_1$ , puis en fonction de  $e, U, m$  et  $B$

**Partie 3 : Energie maximale de l'électron (BONUS)**

Pendant que l'électron était dans la région (2), le signe de la tension  $U_{D_1D_2}$  a changé mais la norme est identique.

**11)** Quelle est la nature du mouvement de l'électron dans la région (3), avant qu'il ne pénètre dans la région (1) ? Calculer la vitesse  $v_2$  de l'électron lorsqu'il pénètre dans la région (1).

L'électron est à nouveau déviée dans la zone (1).

**12)** Exprimer la durée d'un passage dans la région (1). Montrer que cette durée est indépendante de la vitesse de l'électron et s'exprime :  $\tau_1 = \frac{\pi}{\omega_c} = \frac{\pi m}{eB}$ .

La durée de passage dans la région (2) est identique  $\tau_2 = \tau_1$ .

**13)** En déduire la fréquence de la tension alternative  $U_{D_1D_2}$  nécessaire pour accélérer l'électron à chacun de ses passages entre les dees, en négligeant le temps de passage dans la région (3).

**14)** Après  $n$  passages dans la région (3), quelle est la vitesse  $v_n$  de l'électron ?

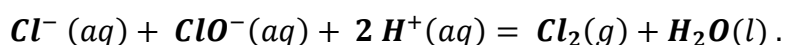
Un cyclotron a un diamètre maximal utile de  $D = 52 \text{ cm}$ .

**15)** Calculer, en **joules** puis en **MeV**, l'énergie cinétique maximale de l'électron (de masse  $m$ ) accélérés par ce cyclotron lorsque la fréquence de l'oscillateur électrique qui accélère les particules entre chaque dee est de  $f_c = 12 \text{ MHz}$ . Quelle est alors la valeur du champ magnétique ?

**Données :**  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$   $m_p = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ .

**Exercice 2 : Dosage iodométrique de l'eau de Javel**

L'eau de Javel est un mélange équimolaire des ions chlorure  $Cl^-$  et hypochlorite  $ClO^-$  en milieu fortement basique. Elle est caractérisée par son degré chlorométrique  $D$  : c'est le volume de dichlore (considéré comme un gaz parfait), exprimé en litre et mesuré à  $T = 0^\circ C$  sous  $P = 1 \text{ bar}$ , que donne l'acidification complète d'un litre d'eau de Javel suivant la réaction :



On souhaite vérifier le degré chlorométrique donné sur l'étiquette d'un berlingot d'eau de Javel par un dosage indirect des ions  $ClO^-$ . Le principe du dosage consiste à apporter un excès d'ion iodure à un prélèvement d'eau de Javel, puis à doser le diiode obtenu par les ions thiosulfate  $S_2O_3^{2-}$ .

**Protocole :**

- On prépare une solution  $S_0$  par dilution au dixième de la solution commerciale. On introduit dans un erlenmeyer, d'abord  $V_0 = 10 \text{ mL}$  de solution  $S_0$ , puis  $V_1 = 10 \text{ mL}$  de la solution d'iodure de potassium de concentration  $C_1 = 0,20 \text{ mol. L}^{-1}$  et enfin  $2 \text{ mL}$  de solution d'acide chlorhydrique à  $5 \text{ mol. L}^{-1}$ .
- On dose ensuite le diiode formé à l'aide d'une solution de thiosulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  de concentration  $C_2 = 0,15 \text{ mol. L}^{-1}$  en ajoutant trois ou quatre gouttes d'empois d'amidon.

On obtient un volume équivalent  $V_E = 20 \text{ mL}$ .

**Données :** à  $298 \text{ K}$  et  $\text{pH} = 0$  :

$$\bullet E^\circ(\text{ClO}^- / \text{Cl}^-) = 1,7 \text{ V} \quad \bullet E^\circ(\text{S}_4\text{O}_6^{2-} / \text{S}_2\text{O}_3^{2-}) = 0,1 \text{ V} \quad \bullet E^\circ(\text{I}_2 / \text{I}^-) = 0,5 \text{ V}$$

- 1) Pourquoi l'ordre d'introduction des réactifs dans l'erlenmeyer est-il très important ?
- 2) Écrire l'équation de la réaction ayant lieu dans le bécher avant le dosage. Justifier que cette réaction est quasitotale (On rappelle que :  $K^\circ = 10^{\frac{n}{0,06}(E_{\text{Ox}}^\circ - E_{\text{Red}}^\circ)}$ ). En déduire une relation entre la quantité de matière de diiode formée et les quantités de matière des réactifs.
- 3) Écrire la réaction de dosage du diiode par les ions thiosulfate.
- 4) Calculer la quantité de matière en ions hypochlorite  $\text{ClO}^-$  présents dans les  $10 \text{ mL}$  de la solution  $S_0$ .
- 5) En déduire le degré chlorométrique de la solution d'eau de Javel. Comparer le résultat obtenu à la valeur de  $D = 36^\circ \text{Chl}$  annoncée sur l'étiquette.

### **Exercice 3 : Stabilisation du cuivre (I) par précipitation**

L'objectif de cet exercice est d'étudier la stabilisation du cuivre au  $\text{no} + \text{I}$  par précipitation, qui illustre plus généralement l'influence de la précipitation sur l'oxydoréduction. Les ions cuivre (I)  $\text{Cu}^+$  forment avec les ions iodure  $\text{I}^-$  le précipité  $\text{CuI}_{(s)}$ , de produit de solubilité  $K_s = 10^{-11}$ .

**Données :** Potentiels standards des couples  $\text{Cu}^+ / \text{Cu}$  :  $E^\circ_1 = 0,52 \text{ V}$  et  $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}^+$  :  $E^\circ_2 = 0,16 \text{ V}$ .

- 1) Ecrire l'équation de la réaction de dismutation de l'ion  $\text{Cu}^+$ . En déduire que cet ion est instable en solution.
- 2) Déterminer le no du cuivre dans le précipité d'iodure de cuivre (I)  $\text{CuI}_{(s)}$ . Écrire les demi-équations redox pour les couples  $\text{CuI} / \text{Cu}$  et  $\text{Cu}^{2+} / \text{CuI}$ .
- 3) En raisonnant sur la loi de Nernst (unicité du potentiel à l'équilibre :  $E_3 = E_1$  et  $E_4 = E_2$ ), relier les potentiels standard  $E^\circ_3$  et  $E^\circ_4$  des couples  $\text{CuI} / \text{Cu}$  et  $\text{Cu}^{2+} / \text{CuI}$  à  $E^\circ_1$ ,  $E^\circ_2$  et  $\text{p}K_s$ . Calculer les valeurs numériques.
- 4) Montrer que les ions iodure permettent de stabiliser le cuivre au  $\text{no} + \text{I}$ .