

Contenu :

MP-MPI - Ex 1 : Test d'effort1
Induction
 MPI – Suite de l'ex 1 : Acide lactique.....3
Réactions acides-bases
 MP - Ex 2 : Chimie et céramiques7
Architecture de la matière & diagramme E-pH

MP-MPI - Ex 1 : Test d'effort

Au cours de leur formation, ainsi que lors des vols qu'ils effectuent, les spationautes subissent différents examens médicaux. Nous allons, dans ce sujet, étudier différents phénomènes physico-chimiques en relation avec certains de ces examens médicaux.
 Les données utiles à la résolution du sujet sont regroupées page 6.

A) CEVIS, le vélo de l'ISS

Pour éviter que les muscles ne s'atrophient trop, les spationautes sont contraints de faire 2h de sport par jour, par exemple du vélo d'appartement nommé CEVIS (Cycle Ergometer with Vibration Isolation and Stabilization System).

Un des dispositifs pouvant permettre d'apporter un couple de freinage au vélo est l'induction. Nous allons étudier un dispositif simplifié de freinage par induction.
 Dans ce dispositif simplifié, les pédales entraînent une roue. Sur la face extérieure de cette roue sont placées à intervalles réguliers des spires carrées qui passent chacune leur tour devant un solénoïde alimenté par un courant continu.
 Nous allons faire une modélisation unidimensionnelle de ce dispositif.

Nous allons d'abord étudier le champ magnétique créé par un solénoïde de section carrée.

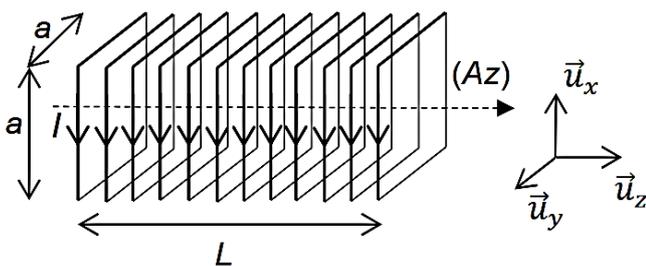


Figure 3 - Schéma du solénoïde

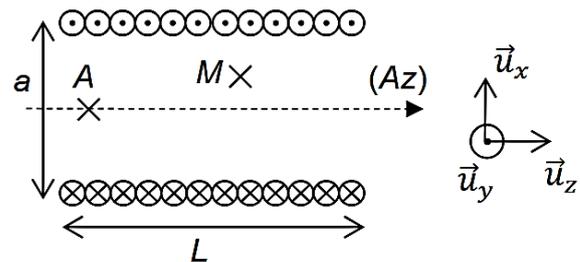


Figure 4 – Vue en coupe du solénoïde

On considère un solénoïde, représenté sur les figures 3 et 4, dont la longueur vaut L et de section carrée de côté a avec $L \gg a$. Ce solénoïde est constitué en tout de N spires parcourues par le courant d'intensité I et on pose $n = \frac{N}{L}$ le nombre de spires par unité de longueur. L'axe du solénoïde est confondu avec l'axe (Az) .
 On admet que le champ magnétique est nul à l'extérieur du solénoïde.

Q11. À partir du modèle du solénoïde infini, montrer que le champ magnétique peut s'écrire $\vec{B}(M) = B(x, y) \vec{u}_z$

On admet que le champ magnétique en un point M à l'intérieur du solénoïde s'écrit $\vec{B}(M) = \mu_0 n I \vec{u}_z$.

Si on travaille en face d'un solénoïde fini réel (longueur L , section carrée de côté a), on considère que le champ magnétique est nul sauf dans la zone grisée de surface a^2 représentée sur la figure 5, où le champ magnétique vaut $\vec{B}_0 = B_0 \vec{u}_z$.

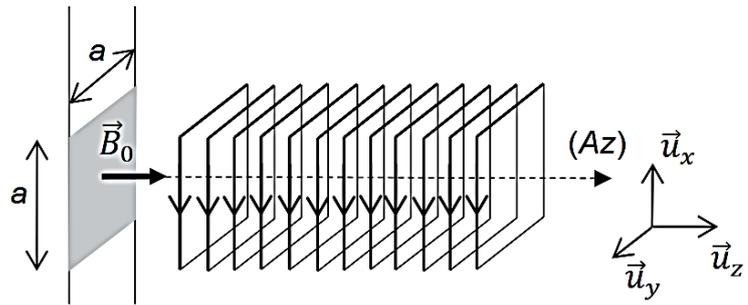


Figure 5 - Champ magnétique en face du solénoïde

Q12. On étudie maintenant une spire carrée de côté a , qui passe à la vitesse $\vec{v}_0 = v_0 \vec{u}_x$ imposée en face du solénoïde réel. Elle entre puis sort de la zone grisée des figures 5 et 6. On étudie d'abord la phase où la spire entre dans le champ magnétique : la partie avant de la spire (EF) est donc dans la zone grisée et la partie arrière (CD) est dans une zone de champ nul (voir figure 6).

On considère qu'à $t = 0$, la partie avant (EF) de la spire est en $x = 0$, c'est-à-dire que la spire commence juste à entrer dans la zone grisée.

Expliquer qualitativement pourquoi il apparaît une intensité i dans la spire, dont le sens sera choisi comme sur la figure 6.

La spire ayant une résistance interne R , déterminer cette intensité i pendant toute la phase où la spire entre dans la zone grisée, en fonction de v_0 notamment. On négligera l'auto-inductance de la spire et son champ propre.

Q13. En déduire qu'il s'exerce une force constante sur la spire pendant cette phase d'entrée dans la zone grisée, dont on donnera l'expression en fonction de B_0 , a , R et de v_0 .

Justifier qualitativement le sens de cette force.

Q14. De la même façon, montrer que la force exercée sur la spire pendant la phase de sortie de la zone grisée (c'est-à-dire quand la partie arrière de la spire (CD) est

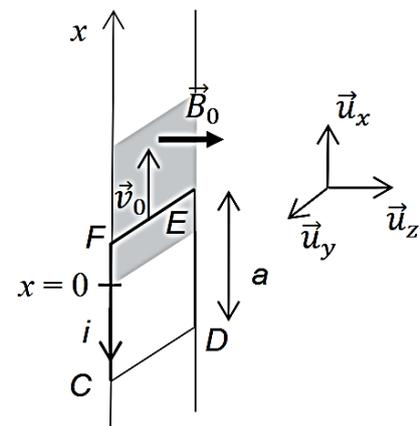


Figure 6 - Spire entrant dans la zone de champ non nul

dans la zone grisée et la partie avant (EF) dans une zone de champ nul) vaut $\vec{F} = -\frac{B_0^2 a^2}{R} v_0 \vec{u}_x$.

Q15. On étudie maintenant une succession de spires toutes identiques, séparées de la distance a , qui passent devant le solénoïde à la vitesse $\vec{v}_0 = v_0 \vec{u}_x$ (voir figure 7).

Quel est l'avantage de choisir une distance a entre les spires ?

Q16. Déterminer la puissance dissipée par le système de freinage.

Comment varie cette puissance en fonction de la vitesse v_0 ?

Q17. Pourquoi est-il intéressant d'un point de vue sportif que la puissance augmente quand la vitesse augmente ?

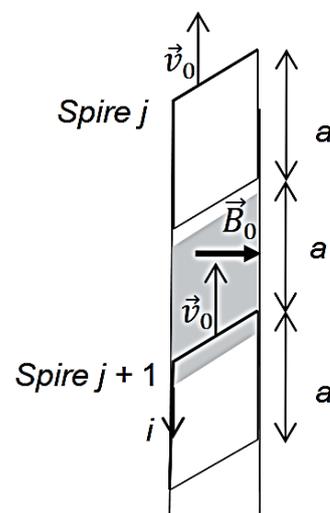


Figure 7 - Succession des spires

MPI – Suite de l'ex 1 : Acide lactique

C) Acide lactique dans le sang

Le sang est considéré dans cette sous-partie comme une solution aqueuse dont le pH est imposé par le couple acidobasique $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$, de $\text{pK}_{a1} = 6,4$.

Dans les conditions habituelles, le pH du sang vaut 7,4 et la concentration totale, définie par $C_t = [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-]$, vaut $C_{t,0} = 0,0275 \text{ mol.L}^{-1}$.

Le pH du sang doit rester en toutes circonstances entre 7,3 et 7,5, sous peine de détruire certaines cellules du sang et, à terme, de causer la mort.

Q22. Déterminer les concentrations en H_2CO_3 et en HCO_3^- dans le sang dans les conditions habituelles.

Lors d'un effort intense, il se forme de l'acide lactique $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ (noté ici HLa) dans le muscle, qui est ensuite éliminé dans le sang. L'accumulation d'acide lactique dans le muscle est à l'origine des crampes.

La base conjuguée de l'acide lactique est l'ion lactate noté La^- . Le pK_a du couple est $\text{pK}_{a2} = 3,9$.

En passant dans le sang, l'acide lactique réagit avec les ions HCO_3^- .

Q23. Faire un diagramme de prédominance dans lequel apparaissent les différentes espèces mises en jeu (H_2CO_3 , HCO_3^- , HLa, La^-).

Écrire l'équation de la réaction de l'acide lactique avec l'ion HCO_3^- .

On supposera que c'est la seule réaction qui a lieu.

Exprimer et calculer la constante d'équilibre. On considèrera que la réaction est quasi-totale pour la suite des calculs. Qu'en pensez-vous *a priori* ?

Q24. Calculer le pH après un effort qui a porté la concentration initiale d'acide lactique dans le sang à $C_0' = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.

L'hypothèse de la réaction suffisamment avancée est-elle justifiée *a posteriori* ?

Commenter la valeur du pH.

Il existe en fait un mécanisme, lié à la respiration, qui permet de ramener le pH dans la zone viable.

D) Titrage de l'acide lactique

Nous souhaitons dans cette sous-partie mesurer la concentration de l'acide lactique $C_3H_6O_3$ (noté HLa) dans le sang par un titrage pH-métrique.

Après l'effort, un volume de $V_0 = 5,0$ mL de sang est prélevé. L'acide lactique en est extrait par une méthode qu'on n'étudiera pas.

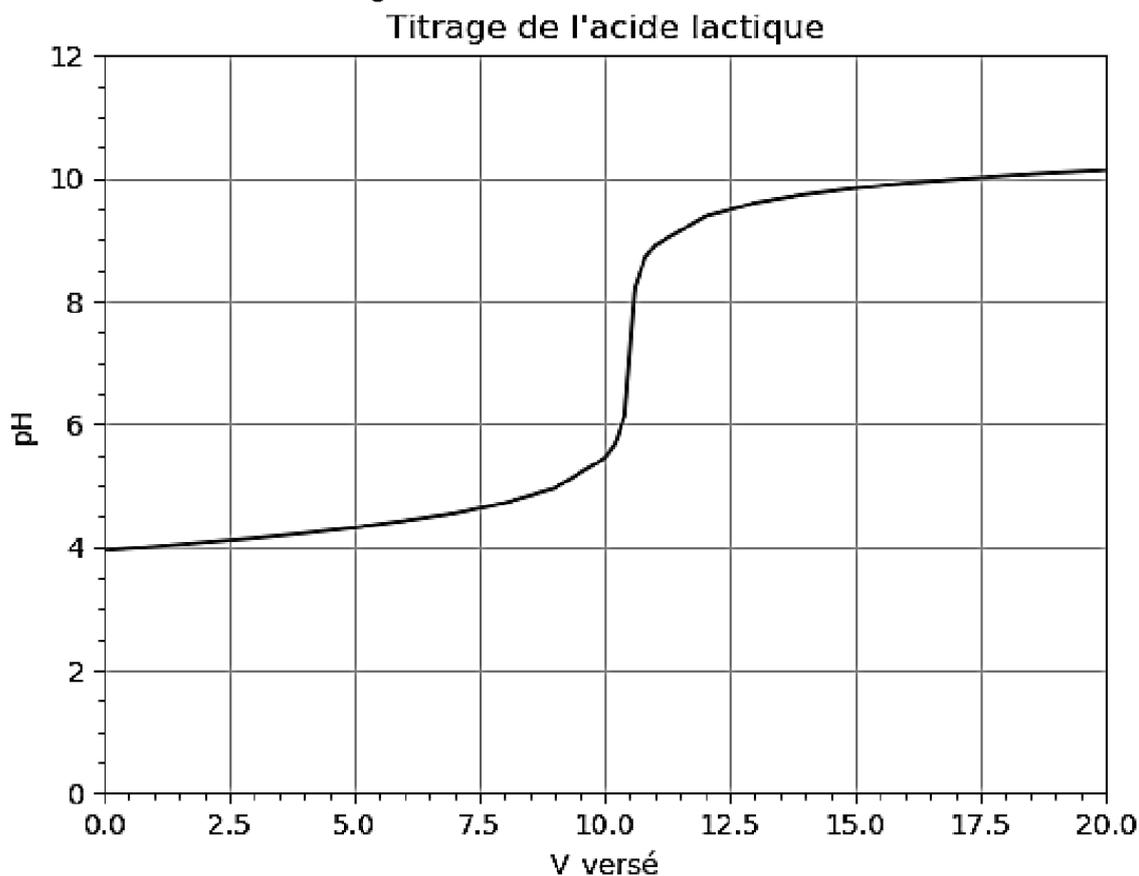
Cet acide est dissous dans l'eau pour obtenir une solution S de volume $V = 50,0$ mL.

Cette solution S est titrée par une solution S_1 de soude ($Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$) de concentration $C_1 = 1,00 \cdot 10^{-3}$ mol.L⁻¹.

Q25. Écrire l'équation de la réaction de titrage.

Exprimer et calculer la constante d'équilibre. Que peut-on en déduire ?

Faire un schéma annoté du montage à réaliser.



On a tracé l'évolution du pH mesuré en fonction du volume de soude versé pour déterminer le volume à l'équivalence et la concentration d'acide lactique dans le sang.

Q26. Déterminer la concentration C d'acide lactique dans la solution S , puis la concentration C_0 d'acide lactique dans le sang prélevé.

La concentration maximale recommandée dans l'organisme est de 200 mg/L ; au-delà, on parle d'acidose lactique.

Le patient est-il en acidose lactique ?

Q27. On suit en parallèle le titrage par colorimétrie.

Parmi les indicateurs colorés ci-dessous, le(s)quel(s) peut-on utiliser pour suivre le titrage ? Justifier.

Indicateur coloré	Rouge congo	Rouge de phénol	Thymolphtaléine
Teinte acide	bleu	jaune	incolor
Teinte basique	rouge	rouge	bleu
Zone de virage	3,5 - 4,5	6,8 - 7,8	9,0 - 10,0

D) Élimination de l'acide lactique du sang

Après un effort intense, la concentration d'acide lactique $C_3H_6O_3$ (noté HLa) dans le sang, qui a beaucoup augmenté pendant l'effort, diminue progressivement pendant la phase de récupération.

Lors d'une récupération dite « active », quand le sportif poursuit un effort modéré, la diminution est plus rapide.

On considère que la concentration (notée C) d'acide lactique dans le sang vérifie l'équation différentielle suivante : $\frac{dC}{dt} = -\alpha \cdot C(t) - \beta \cdot C^2(t) + \gamma$. Les coefficients α , β et γ dépendent de l'activité physique pendant la phase de récupération et sont supposés connus et enregistrés dans le script.

On veut résoudre numériquement cette équation différentielle en utilisant la méthode d'Euler explicite.

Q25. On découpe l'intervalle de temps de durée Dt , sur lequel on veut résoudre l'équation, en N intervalles de longueur p .

Écrire le script Python permettant de définir p connaissant Dt et N , puis la liste de type list (ou le tableau de type np.ndarray) L_t dont les éléments sont les dates des instants où la concentration va être calculée.

Q26. Si on note C_i la concentration d'acide lactique à l'instant de date t_i , déterminer l'expression de C_{i+1} en fonction de C_i , $p = t_{i+1} - t_i$, et des coefficients α , β et γ .

Q27. Écrire un script Python utilisant la méthode d'Euler explicite et permettant de définir la liste L_C dont les éléments sont les concentrations C_i aux différentes dates des éléments de la liste L_t . On utilisera les variables $C0$ (concentration initiale), α (alpha), β (beta) et γ (gamma) qu'on supposera précédemment définies.

Annexe

Constantes fondamentales

Constante de gravitation : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

Permittivité électrique du vide : $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$

Constante de Planck : $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

Charge de l'électron : $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Grandeurs physiques utiles

Rayon de la Terre : $R_T = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$

Masse de la Terre : $M_T = 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Vitesse de rotation propre de la Terre : $\Omega = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

Rayon intérieur d'un axone : $a = 5,0 \text{ } \mu\text{m}$

Épaisseur de la membrane de l'axone : $b = 7,0 \text{ nm}$

Permittivité relative de la membrane : $\epsilon_r = 8,0$

Masses molaires

Atome	H	C	N	O	Na
Masse molaire ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)	1	12	14	16	23

Couples acidobasiques et pK_a à 25 °C

$\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$ $\text{pK}_{a1} = 6,4$

HLa/La^- $\text{pK}_{a2} = 3,9$

Produit ionique de l'eau à 25 °C

$\text{pK}_e = 14$

MP - Ex 2 : Chimie et céramiques

Il existe trois grandes classes de matériaux : les métaux et leurs alliages, les polymères organiques et les céramiques. Ces dernières sont des matériaux minéraux non métalliques qui peuvent être catégorisées en traditionnelles ou techniques. Les céramiques techniques et plus particulièrement les céramiques non-oxydes, telles que le nitrure de bore (BN), le carbure ou nitrure de silicium (SiC ou Si₃N₄), ou le carbure de zirconium (ZrC) présentent des propriétés physico-chimiques intéressantes pour des applications hautes performances.

Les données utiles à la résolution du problème et les approximations de calcul sont fournies à la fin de l'énoncé (page 8).

Le nitrure de bore

Le nitrure de bore (BN) peut être obtenu après traitement thermique d'un précurseur nommé le polyborazylène, obtenu par polymérisation d'un monomère cyclique, la borazine, de formule brute B₃N₃H₆. Les atomes de bore et d'azote forment de manière alternée un cycle à six chaînons. Le nitrure de bore peut cristalliser selon une structure de type blende : les atomes de bore décrivent une structure CFC dont la moitié des sites tétraédriques sont occupés par les atomes d'azote.

- Q1- Donner le nombre d'électrons de valence des éléments bore, azote et hydrogène.
- Q2- Dessiner la structure de Lewis de la borazine.
- Q3- Quelle est la géométrie autour des atomes de bore et d'azote ?
- Q4- Quel est du bore ou de l'azote l'élément le plus électronégatif ? Justifier votre réponse.
- Q5- Dessiner la maille du nitrure de bore (les atomes de bore seront représentés par un disque et ceux d'azote par une croix). Quelle est la nature des liaisons entre les atomes ?
- Q6- Déterminer le nombre d'atomes par maille pour chaque élément ainsi que leur coordinence, dont on précisera la définition.
- Q7- Calculer le paramètre de maille a associé à cette maille, sachant que les atomes de bore et d'azote sont en contact mais pas les atomes de bore entre eux.
- Q8- Déterminer la masse volumique ρ du nitrure de bore.

Le carbure de zirconium

Le carbure de zirconium est une céramique ultraréfractaire, ultradure de formule chimique ZrC_(s). Il peut être préparé en utilisant une « voie poudre » à haute température par réaction entre le zirconium Zr_(s) et le carbone C_(s) via une synthèse autopropagée (self-propagating high-temperature synthesis), mais également par réduction, par le carbone, de la zircone, ou dioxyde de zirconium ZrO_{2(s)} (Schéma 1).

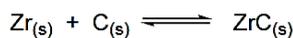


Schéma 1. Voies de synthèse du carbure de zirconium.

Le diagramme potentiel-pH du zirconium (E -pH) a été déterminé en se limitant aux quatre espèces Zr_(s), ZrO_{2(s)}, Zr_{(aq)⁴⁺} et HZrO_{3(aq)⁻} (Figure 1).

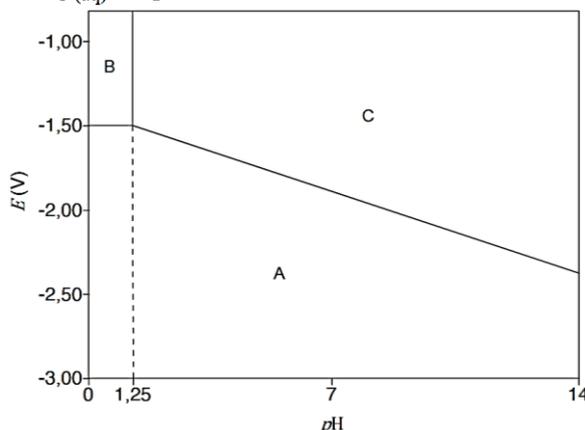


Figure 1. Diagramme E-pH du zirconium.

Ce diagramme a été tracé à 298 K et sous 1 bar en solution aqueuse, en prenant les concentrations des espèces en solution égales à c_0 .

- Q9-** Indiquer le nombre d'oxydation du zirconium dans chacune des quatre espèces $Zr_{(s)}$, $ZrO_{2(s)}$, $Zr_{(aq)}^{4+}$ et $HZrO_{3(aq)}^-$ (l'oxygène et l'hydrogène sont dans leur état d'oxydation classique dans ces espèces).
- Q10-** Attribuer, en le justifiant, les différents domaines de prédominance ou d'existence (numérotés de A à C, Figure 1) parmi les différentes espèces considérées.
- Q11-** Quelle concentration c_0 de tracé a été utilisée pour établir ce diagramme ?

La droite de la frontière entre les domaines A et C a pour équation $E = a + b \cdot pH$.

- Q12-** Par le calcul (et non par lecture sur la Figure 1), déterminer la valeur du coefficient b.
- Q13-** Quel serait le pH associé à la frontière verticale entre les espèces $HZrO_{3(aq)}^-$ et $ZrO_{2(s)}$. Conclure sur l'absence d'une des espèces de ce diagramme E -pH.
- Q14-** Donner les relations $E = f(pH)$ des couples de l'eau, après avoir indiqué les demi-équations redox correspondantes (les pressions des gaz seront supposés égales à la pression standard P^0).
- Q15-** Le zirconium $Zr_{(s)}$ est-il stable en présence d'eau ? Justifier, et écrire le cas échéant toutes les équations de réaction possibles.

Données :

Annexe 1. Constantes usuelles et approximations de calcul.

Constante d'Avogadro : $N_A \approx 6.10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Constante des gaz parfaits : $R \approx 8 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

On considèrera : $\sqrt{2} \approx 10/7$; $\sqrt{3} \approx 7/4$ et $\frac{RT}{F} \times \ln x \approx 0,06 \times \log x$ à 298 K.

Annexe 2. Masses molaires et rayons atomiques.

$M(H) = 1$; $M(B) = 11$; $M(N) = 14$.

$r_B = 85 \text{ pm}$; $r_N = 65 \text{ pm}$.

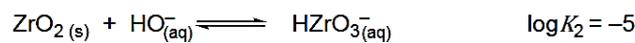
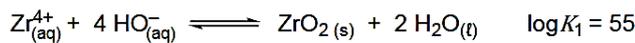
Annexe 3. Potentiels standards d'oxydoréduction à pH = 0 et à 25 °C.

$Zr_{(aq)}^{4+}/Zr_{(s)}$: $E^0 = -1,44 \text{ V}$;

$O_{2(g)}/H_2O_{(l)}$: $E^0 = 1,23 \text{ V}$;

$H_{(aq)}^+/H_{2(g)}$: $E^0 = 0,00 \text{ V}$.

Annexe 4. Constantes d'équilibre à 25°C.



Annexe 6. Classification périodique.

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
119 Uue																	
58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu				
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr				