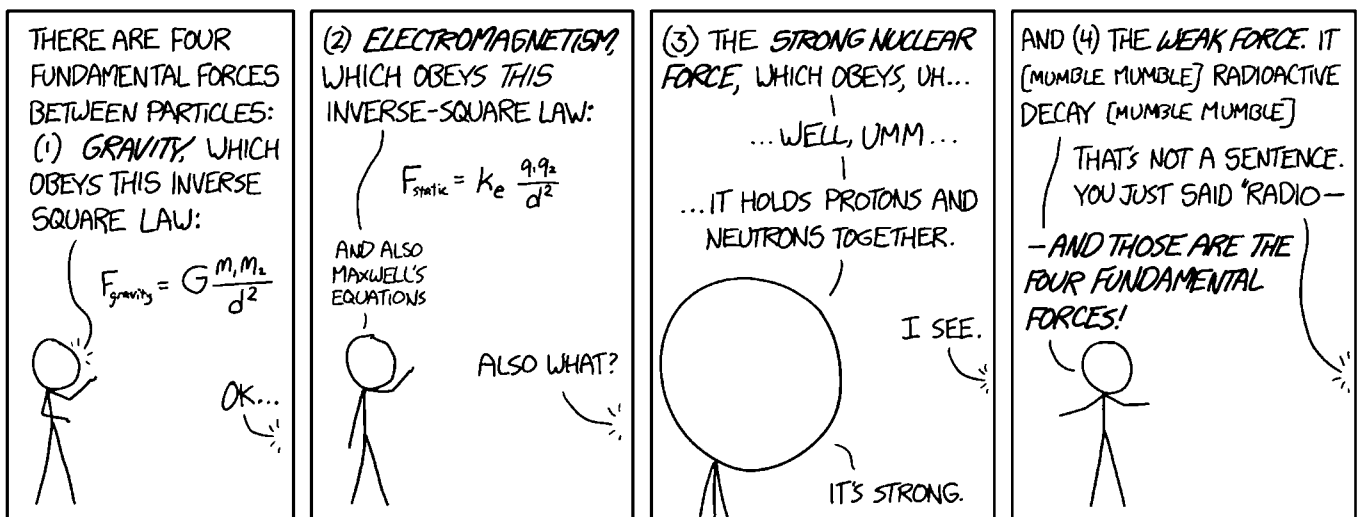


Travail à faire pour le 1er septembre 2022

Pour tous les futurs PSI (3/2 ou 5/2)

- Relire le cours de Physique et de Chimie et faire des fiches
- Refaire les exemples de cours
- Faire le devoir ci-après (à rédiger et à rendre le jour de la rentrée)



"Of these four forces, there's one we don't really understand." "Is it the weak force or the strong--" "It's gravity."

PROBLÈME 1

Étude d'un haut-parleur électrodynamique

A - Étude générale

On représente ci-dessous un haut-parleur électrodynamique (**figure 1**). Celui-ci est constitué d'une bobine d'axe $(X'X)$, de résistance R , d'inductance propre L , solidaire d'une membrane pouvant se déplacer parallèlement à elle-même suivant la direction $(X'X)$ normale à son plan. Lorsque la bobine s'écarte de sa position d'équilibre d'un écart algébrique $x(t)$, elle est rappelée vers cette position d'équilibre par une force élastique modélisée par un ressort de raideur k . De plus, l'air produit sur la membrane une force de frottement fluide, proportionnelle à sa vitesse de déplacement, qui s'écrit $\vec{F}_f = -\alpha\vec{v}$. On ne tiendra pas compte du poids de l'équipage mobile bobine-membrane.

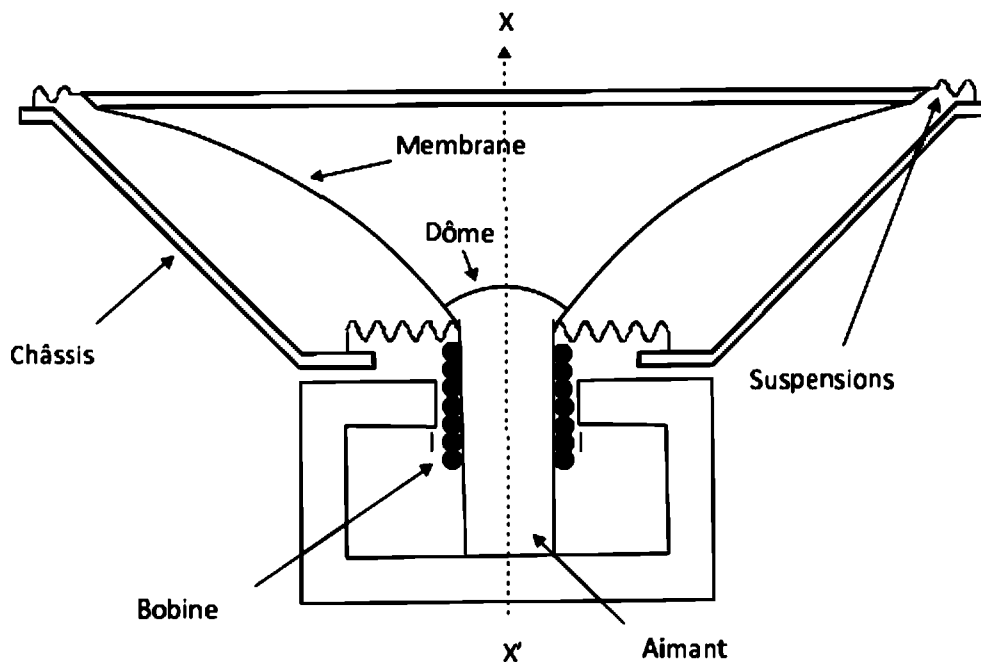


Figure 1 - Schéma du haut-parleur de l'étude

La bobine est placée dans un champ magnétique radial \vec{B} , uniforme en norme, normal à $(X'X)$, créé par un aimant permanent. On se place dans un modèle simplifié de haut-parleur basé sur la configuration des rails de Laplace, représentée sur la **figure 2**. Le générateur de force électromotrice (f.é.m.) $E(t)$ délivre un signal électrique que l'on veut transformer en signal sonore. La membrane et l'air sont mis en mouvement par l'intermédiaire de la barre de largeur ℓ qui se déplace de $x(t)$. Cette grandeur $x(t)$ représente l'élongation du ressort par rapport à la position d'équilibre, elle-même caractérisée par la longueur ℓ_0 . La membrane du haut-parleur est solidaire de la barre. On note m_T la masse du système {barre, haut-parleur}. On suppose donc que la verticale est définie par l'axe z , l'axe x étant horizontal. On note $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$ la base des vecteurs unitaires de la **figure 2**.

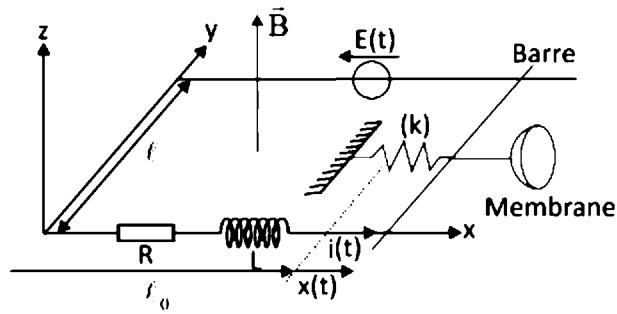


Figure 2 - Configuration des rails de Laplace de l'étude

Q1. Montrer que la f.é.m. induite e dans le cadre vaut $e = -B\ell v(t)$ où $v(t)$ est la vitesse, dérivée de $x(t)$.

Q2. Dédire de la question précédente l'équation électrique (E.E.) traduisant le comportement du circuit. Faire le schéma électrique équivalent en tenant compte de la f.é.m. induite. On notera $i(t)$ le courant induit dans ce circuit.

Q3. Faire le bilan des forces s'exerçant sur l'ensemble {barre + haut-parleur} de masse m_T . En déduire l'équation différentielle mécanique relative au mouvement de la barre (équation E.M.).

Q4. Faire un bilan de puissances en combinant les équations E.E. et E.M. Le commenter.

Q5. Comparer la puissance de la f.é.m. $P_{fem} = ei$ à la puissance de la force de Laplace P_L .

Q6. Le générateur délivre une tension sinusoïdale $E(t)$ de pulsation ω . On utilisera les notations complexes, pour lesquelles $\underline{E}(t) = E_0 e^{j\omega t}$, $E(t)$ s'identifiant alors avec la partie réelle de $\underline{E}(t)$. Montrer que l'on a $\underline{E} = (R + jL\omega + \underline{Z}_m)\underline{i} = \underline{Z}\underline{i}$ où \underline{i} est le courant complexe traversant le circuit et \underline{Z}_m est une grandeur, appelée impédance motionnelle, dont on donnera l'expression en fonction de $B, \ell, \alpha, m_T, \omega$ et k .

Q7. Montrer que l'admittance motionnelle $\underline{Y}_m = 1/\underline{Z}_m$ peut s'écrire sous la forme :

$$\underline{Y}_m = \frac{1}{R_m} + jC_m\omega + \frac{1}{jL_m\omega} .$$

Donner l'expression des termes R_m, C_m et L_m en fonction de B, ℓ, α, m_T et k .

Q8. Dédire de ce qui précède le schéma électrique équivalent du haut-parleur.

Le rendement η du haut-parleur est défini comme le rapport de la puissance moyenne émise par l'onde sonore sur la puissance moyenne fournie par la source de tension.

Q9. Montrer que la relation établie à la question Q4. devient, en raisonnant sur les moyennes temporelles, en régime périodique établi :

$$\langle Ei \rangle = \langle Ri^2 \rangle + \langle \alpha v^2 \rangle .$$

Commenter ce résultat.

Q10. En identifiant la puissance émise par l'onde sonore $\langle P_{son} \rangle$ à $\langle \alpha v^2 \rangle$, où v est la vitesse de la membrane, montrer que η est de la forme :

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{R}{R_m} \left[1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \right]}.$$

On donnera les expressions de Q et ω_0 en fonction de α , m_T et k .

Q11. Commenter la forme obtenue. On pourra par exemple effectuer l'étude asymptotique du comportement en basses et hautes pulsations, ainsi que pour une pulsation proche de ω_0 .

C - Filtres répartiteurs

Comme il est très difficile, pour ne pas dire impossible, de réaliser des haut-parleurs couvrant entièrement le spectre acoustique audible, on réalise des haut-parleurs spécialisés dans une zone déterminée de fréquences. On aboutit ainsi à réaliser des enceintes à deux voies (basses – aiguës) ou à trois voies (basse – médium – aiguës). Les filtres électriques chargés d'aiguiller les fréquences correspondant à ces haut-parleurs doivent répondre à trois critères essentiels :

- **1^{er} critère** : atténuer suffisamment les fréquences hors bande ;
- **2^e critère** : présenter une impédance de charge aussi constante que possible à l'amplificateur, de façon à ce que la puissance absorbée par l'ensemble soit constante et indépendante de la fréquence ;
- **3^e critère** : le rayonnement global doit être à intensité acoustique constante.

Pour satisfaire aux conditions ci-dessus, il est nécessaire de faire appel aux filtres de Butterworth, qui sont des filtres d'ordre n dont le module de la fonction de transfert vérifie une condition particulière :

- pour un passe-bas : $H_b(x) = |H_b(jx)| = \frac{1}{\sqrt{1+x^{2n}}}$

$$\text{avec } H_b(jx) = \frac{1}{1+a_1(jx)+a_2(jx)^2+\dots+a_n(jx)^n} ;$$

- pour un passe-haut : $H_h(x) = |H_h(jx)| = \sqrt{\frac{x^{2n}}{1+x^{2n}}}$

$$\text{avec } H_h(jx) = \frac{(jx)^n}{1+a_1(jx)+a_2(jx)^2+\dots+a_n(jx)^n} .$$

Dans les deux cas, on a pris $x = \omega/\omega_0$. On a alors $H_b^2 + H_h^2 = 1$: la puissance délivrée par l'amplificateur est constante. En conséquence, seuls les filtres passe-bas et passe-haut répondant à ces formules satisfont à la condition de puissance constante.

Q18. On se place dans le cas où $n = 3$ pour un passe-bas. Calculer les valeurs qu'il faut donner aux différents coefficients **strictement positifs** a_1 , a_2 et a_3 . On trouvera trois entiers.

Les filtres du troisième ordre ont la structure suivante pour un ensemble à deux haut-parleurs :

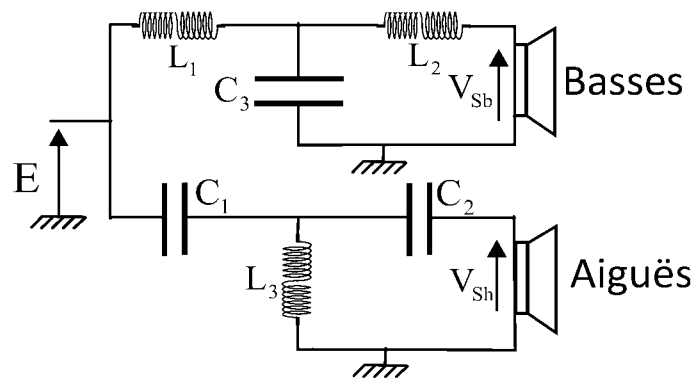


Figure 5 - Structure à deux haut-parleurs

La fonction de transfert du filtre représenté à la **figure 6** est :

$$H_b(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega \frac{L_1 + L_2}{R} + (j\omega)^2 L_1 C_3 + (j\omega)^3 \frac{L_1 L_2 C_3}{R}} = \frac{V_{Sb}}{E}$$

Q19. Vérifier que cette fonction de transfert est compatible avec le schéma aux basses et hautes fréquences. De quel type de filtre s'agit-il ?

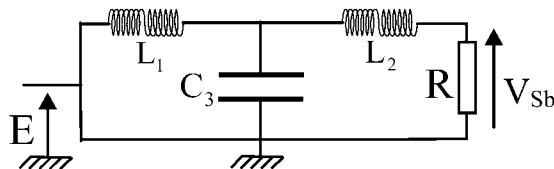


Figure 6 - Partie voie des basses

Q20. Déduire de la question précédente les coefficients L_1 , L_2 et C_3 en fonction de R et de ω_0 sachant qu'il s'agit d'un filtre passe-bas de Butterworth d'ordre trois.

Q21. Justifier la structure retenue ci-dessous sur la **figure 7** pour les aiguës. Sans développer les calculs, proposer les étapes permettant d'établir la fonction de transfert.

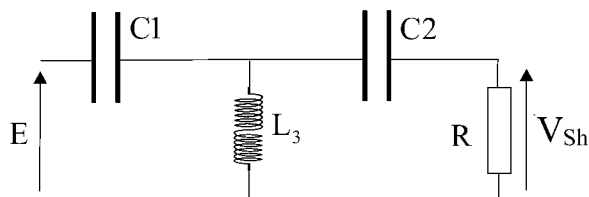
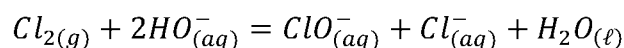


Figure 7 - Partie voie des aiguës

PROBLÈME 2

Dosage d'un produit bactéricide

L'eau de Javel est une solution basique constituée d'un mélange équimolaire d'hypochlorite de sodium ($Na_{(aq)}^+ + ClO_{(aq)}^-$) et de chlorure de sodium ($Na_{(aq)}^+ + Cl_{(aq)}^-$). Sa préparation a été mise au point au XVIII^e siècle par Claude Louis Berthollet à la manufacture de Javel (ancien village d'Île de France), en faisant réagir sur la soude un courant gazeux de dichlore selon le bilan :



L'eau de Javel peut être utilisée comme détergent, décolorant ou encore comme antiseptique.

Données : On prend $\frac{RT}{F} \ln 10 = 0,06 \text{ V}$, où $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ est la constante des gaz parfaits, T la température absolue et F le Faraday. On donne aussi les potentiels standards $E^0(HClO/Cl_2) = 1,60 \text{ V}$ et $E^0(Cl_{2(aq)}/Cl_{(aq)}^-) = 1,39 \text{ V}$. Enfin, on choisit $P_{atm} =$ pression atmosphérique = 1,013 bar et pour pK_A de l'acide hypochloreux $HClO$ la valeur de 7,5.

A - Diagramme potentiel - pH du chlore

Q35. Préciser le nombre d'oxydation de l'élément chlore dans les espèces Cl_2 , ClO^- et Cl^- .

Q36. Comment appelle-t-on la réaction proposée ci-dessus d'un point de vue rédox ?

Q37. Tracer le diagramme de prédominance des espèces $HClO / ClO^-$.

On donne **figure 9** le diagramme E-pH du chlore. Celui-ci est construit pour une concentration totale en élément chlore égale à $C_0 = 0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Le dichlore étant très soluble dans l'eau, on considère qu'il est entièrement sous forme dissoute. Comme choix de la convention frontière, on prendra l'égalité des concentrations de l'élément chlore pour chaque degré d'oxydation. Ainsi, pour le couple Cl^0/Cl^{-I} , c'est-à-dire le chlore sous les formes de nombres d'oxydation 0 et -I, soit Cl_2 et Cl^- , on a :

- $[Cl^0] + [Cl^{-I}] = C_0$, soit $2[Cl_2] + [Cl^-] = C_0$;
- Sur la droite frontière : $[Cl^0]_f = [Cl^{-I}]_f$, soit $2[Cl_2]_f = [Cl^-]_f$.

Q38. Préciser à quoi correspondent les espèces A, B, C et D.

Q39. Dans un domaine de pH à préciser par lecture graphique, déterminer la **pente** de la droite frontière $E_1 = f(pH)$ pour le couple $HClO/Cl_2$.

Q40. Déterminer $E^0(HClO/Cl^-)$ de deux manières, par le calcul et par lecture graphique.

Q41. Quelle est la réaction qui se produit lorsqu'on acidifie le milieu ($pH \leq 3,5$) ? Quel en est le danger ?

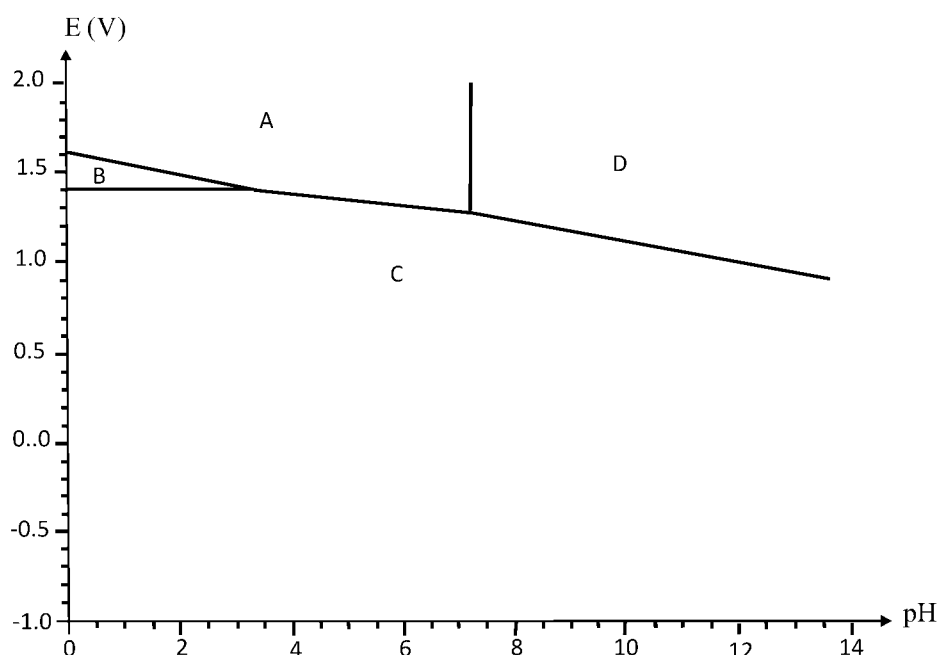
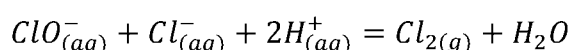


Figure 9 - Diagramme E-pH du chlore

B - Dosage par une méthode d'oxydoréduction

Le degré chlorométrique d'une eau de Javel est le volume de $Cl_2(g)$ libéré (dans les conditions normales de température et de pression) lorsque 1L d'eau de Javel réagit selon la réaction :



Q42. Un berlingot de 250 mL indique un degré chlorométrique de 36. En déduire le nombre de moles de dichlore qui peut être dégagé par acidification.

Pour doser l'ion hypochlorite ClO^- , on utilise la réaction d'oxydation de l'ion iodure I^- par l'ion hypochlorite. On prépare une solution (S_0) d'eau de Javel en diluant quatre fois le berlingot de degré chlorométrique 36. On titre un volume $V_0 = 10,0$ mL de cette solution (S_0) par une solution d'iodure de potassium KI étalon de concentration $C' = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, dans une solution tamponnée à $pH = 8,3$ obtenue par addition d'hydrogénocarbonate de sodium $NaHCO_3$ solide en excès. Juste après l'équivalence, l'ajout de KI conduit à l'apparition du diiode I_2 que l'on peut identifier en rajoutant quelques gouttes d'empois d'amidon. En effet, une solution aqueuse de diiode I_2 est brune, mais bleue intense en présence d'empois d'amidon, tandis qu'une solution aqueuse d'iodure de potassium (K^+, I^-) ou d'iodate de potassium (K^+, IO_3^-) est incolore.

Données : $pK_A(H_2CO_3/HCO_3^-) = pK_{A1} = 6,3$; $pK_A(HCO_3^-/CO_3^{2-}) = pK_{A2} = 10,4$.
(par commodité, on note H_2CO_3 au lieu de CO_2, H_2O)

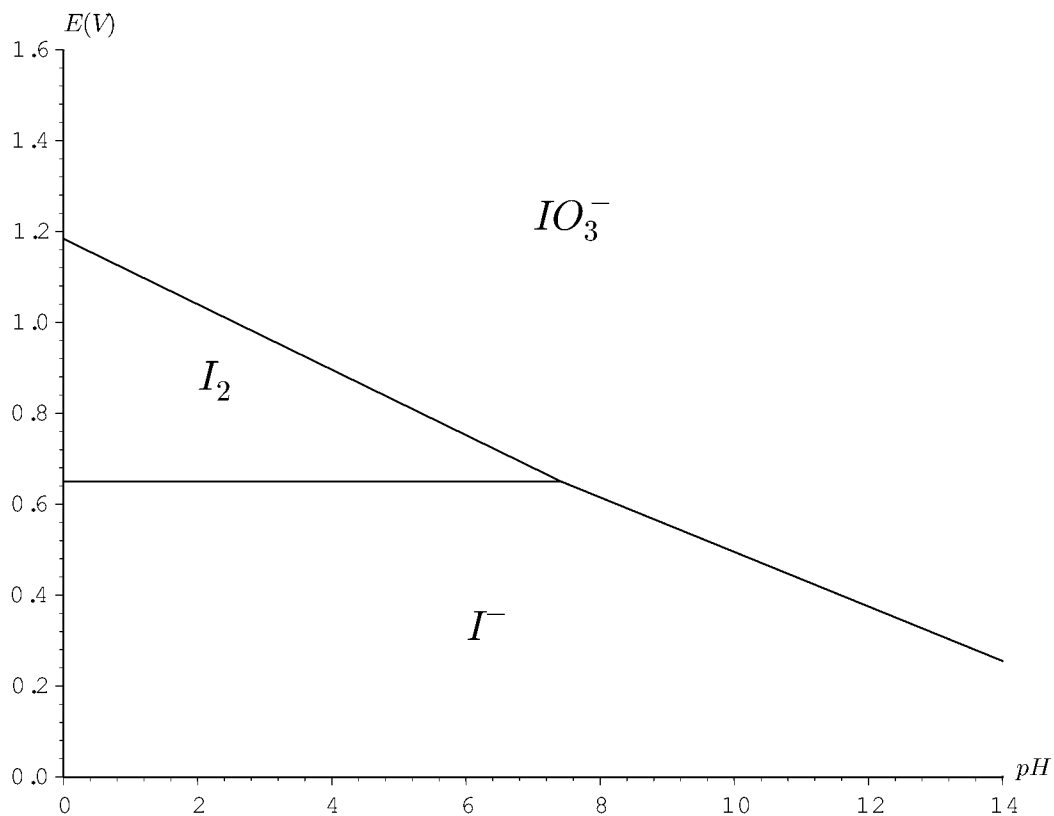


Figure 10 - Diagramme E-pH de l'iode

Q43. L'addition de l'hydrogénocarbonate de sodium $NaHCO_3$ en excès fixe le pH de la solution. Écrire l'équation de dismutation de HCO_3^- . En supposant que c'est le seul réactif, retrouver la valeur du pH du milieu tamponné.

Q44. À $pH = 8,3$, d'après les diagrammes E-pH, quelle réaction rédox se produit par ajout d'iodure de potassium KI ? Écrire la réaction correspondante.

Q45. Le diagramme potentiel-pH de l'iode donné **figure 10** permet-il de prévoir la médiamutation de I_2 ? Comment la présence d'empois d'amidon pourrait-elle modifier cela ? En admettant qu'elle ait lieu, écrire l'équation bilan de cette médiamutation.

Q46. À quel volume équivalent doit-on s'attendre ?

FIN