

**Corrigé devoir de physique-chimie n° 4**

**Partie A : Fluide dans une conduite**

**I Conduite forcée :**

Une microcentrale hydraulique permet une production souple et une adaptation rapide en période de pointe.

Description

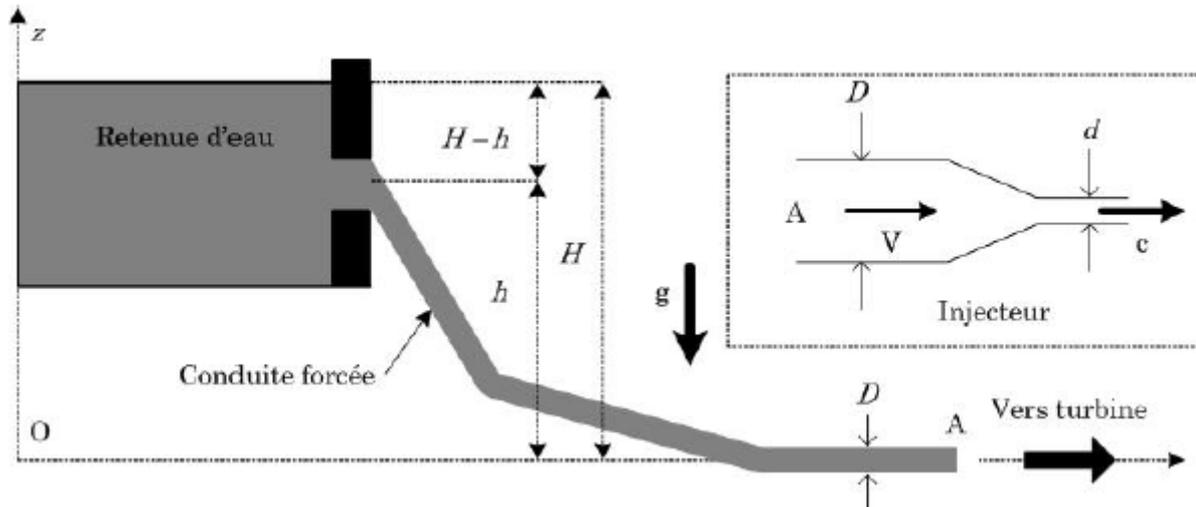


Fig. 1 - Retenue et conduite forcée pour installation hydroélectrique. L'injecteur, en A, est schématisé dans le rectangle en pointillés.

Données :  $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$  ,  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$  ,  $D = 60 \text{ cm}$  ,  $H = 300 \text{ m}$  et  $\mu = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$  .

1 –

a) On retrouve ici les conditions d'application de la relation de Bernoulli

L'eau est considérée comme un fluide parfait, incompressible.

On se place en régime stationnaire . Aucun échange de chaleur n'est pris en compte .

Relation de Bernoulli entre M et A dans la canalisation .  $\frac{1}{2} v_1^2 + gz + \frac{P_1}{\mu} = \frac{1}{2} v_A^2 + gz_A + \frac{P_A}{\mu}$

L'écoulement étant incompressible en régime stationnaire , il y a conservation du débit volumique le long de la canalisation :  $v_1 S = v_A S$  de plus  $z_A = 0$  et  $P_A = P_0$  donc

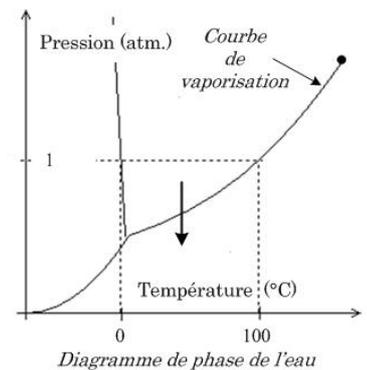
$$\frac{1}{2} v_1^2 + gz + \frac{P_1}{\mu} = \frac{1}{2} v_A^2 + gz_A + \frac{P_A}{\mu} \Leftrightarrow gz + \frac{P_1}{\mu} = \frac{P_0}{\mu} \Leftrightarrow P_1 = P_0 - \mu g z \text{ soit}$$

$$P_1 = P_0 \left( 1 - \frac{\mu g z}{P_0} \right) = P_0 \left( 1 - \frac{z}{z_0} \right) \text{ avec } z_0 = \frac{P_0}{\mu g}$$

b) A.N.  $z_0$

c) La pression de vapeur saturante de l'eau à la température ambiante est  $P_{sat} = 3.10^3 \text{ Pa}$

$z \rightarrow P(z)$  est une fonction décroissante de  $z$  . Au dessus de  $z = z_1$  tel que  $P_1(z_1) = P_{sat}$  , la pression devient inférieure à  $P_{sat}$  , on se trouve alors dans la zone de stabilité du gaz vapeur d'eau d'après le graphique donné .Le phénomène de cavitation apparaît.



$P_1(z_1) = P_{sat}$  donne  $P_{sat} = P_0 \left( 1 - \frac{z_1}{z_0} \right) \Leftrightarrow z_1 = z_0 \left( 1 - \frac{P_{sat}}{P_0} \right)$  A.N.  **$z_1 = 9,7 \text{ m}$**

2 – Pour pallier cet inconvénient, on visse en A sur la partie finale horizontale de la conduite un injecteur (encart de la Fig. 1) de section décroissante et de diamètre de sortie .

a) La relation de Bernoulli appliquée entre un point B de la surface libre de la retenue d'eau et la

sortie de l'injecteur , point C donne  $\frac{1}{2}v_B^2 + gz_B + \frac{P_B}{\mu} = \frac{1}{2}v_C^2 + gz_C + \frac{P_C}{\mu}$

Avec  $v_B = 0$  ( on considère que le niveau de la retenue d'eau ne varie pas pendant le temps

d'observation) ,  $P_B = P_C = P_0$  ,  $gH = \frac{1}{2}c^2$  soit  $c = \sqrt{2gH}$  A.N.  $c = 77 \text{ m.s}^{-1}$

b) La conservation du débit volumique impose la relation  $v_A(\pi \frac{D^2}{4}) = c(\pi \frac{d^2}{4})$  soit  $v_A = c \frac{d^2}{D^2}$  On

retrouve l'expression demandée  $V = (\frac{d}{D})^2 \sqrt{2gH}$

3 –

a) Exprimer la pression  $P_2(z)$  à l'intérieur de la conduite munie d'injecteur. La relation de Bernoulli donne avec V vitesse de l'écoulement dans la canalisation  $P_0$  pression à la sortie de l'injecteur

$\frac{1}{2}V^2 + gz + \frac{P_2}{\mu} = \frac{1}{2}c^2 + \frac{P_0}{\mu} \Leftrightarrow \frac{P_2}{\mu} = -gz + \frac{P_0}{\mu} + \frac{1}{2}c^2 - \frac{1}{2}V^2$  soit  $P_2 = P_0(1 - \frac{z}{z_0}) + \frac{1}{2}\mu c^2(1 - \frac{d^4}{D^4})$

$z \rightarrow P_2(z)$  est encore une fonction décroissante de z avec  $P_2(z) > P_1(z)$

$P_2(H)$  est le point le plus haut de la canalisation (si l'on néglige h devant H)

Si  $P_2(H)$  reste supérieure à  $P_{sat}$ , il n'y aura pas de phénomène de cavitation dans la conduite forcée .

$P_2 > P_{sat} \Leftrightarrow P_0(1 - \frac{H}{z_0}) + \frac{1}{2}\mu c^2(1 - \frac{d^4}{D^4}) > P_{sat} \Leftrightarrow d < D(1 - 2(\frac{-P_0(1 - \frac{H}{z_0}) + P_{sat}}{\mu c^2})^{\frac{1}{4}})$  soit

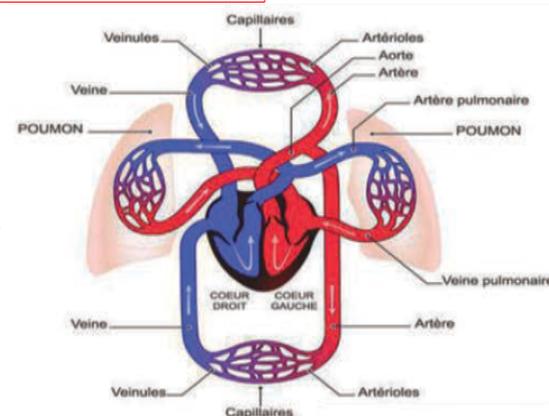
b)

$d_0 = D(1 - 2\frac{-P_0 + \mu gH + P_{sat}}{\mu c^2})^{\frac{1}{4}}$  A.N.  $d_0 = 60(1 - 2\frac{-10^5 + 1000 * 10 * 300 * H + 3.10^3}{1000 * 77,5^2})^{\frac{1}{4}}$

$d_0 = 25,6 \text{ cm}$  soit 26 cm avec deux chiffres significatifs

## II Circulation sanguine

4) Le sang est une suspension de cellules dans une solution macromoléculaire, le plasma. Le cœur permet d'envoyer le sang dans tout le système vasculaire qui comprend, entre autres, artères, capillaires et veines.



(P) cœur assimilable à une pompe  
AD veine et BC aorte puis artères  
Les veines et l'aorte seront considérées de même diamètre.  
DC capillaires

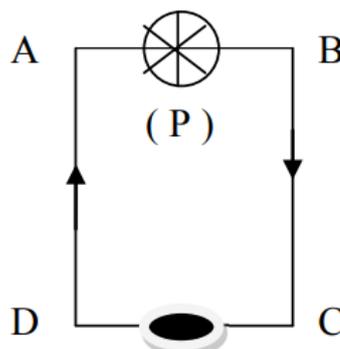


Schéma simplifié d'étude ici

Un patient normal au repos possède un débit cardiaque sanguin  $D_v = 5,4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  et une fréquence cardiaque  $f = 70$  battements par minute. Le sang oxygéné est envoyé depuis le cœur vers les organes par l'intermédiaire de l'aorte avec une pression  $P_{\text{aorte}} = 13 \text{ kPa}$  et le retour veineux vers le cœur du sang désoxygéné se fait à la pression  $P_{\text{veine}} = 2,6 \text{ kPa}$ .

6) En appliquant la relation de Bernoulli généralisée entre A et B, on peut écrire

$$D_v \left( \left( \frac{1}{2} \rho v_B^2 + \rho g z_A + P_A \right) - \left( \frac{1}{2} \rho v_B^2 + \rho g z_A + P_B \right) \right) = P_{\text{cœur}}$$

La veine et l'aorte, même diamètre, donc la conservation du débit en A et B donne  $v_A = v_B$  de plus  $z_A = z_B$

$$D_v (P_A - P_B) = P_{\text{cœur}}$$

**A.N.**  $P_{\text{cœur}} = \frac{5,4 \cdot 10^{-3}}{60} (13 - 2,6) \cdot 10^3 = 0,94 \text{ W}$  **W = P Δt avec Δt = 1/f W = 0,8 J**

Calculer, en s'appuyant sur le modèle simplifié de circulation sanguine, la puissance mécanique fournie au sang par le cœur puis le travail mécanique fourni au sang par le cœur pour un battement.

7). Il y a  $24 \cdot 60 \cdot 70 =$  battements en une journée  $W = 24 \cdot 60 \cdot 70 \cdot 0,8 = 80640 \text{ J}$  soit

$$W_{\text{total}} = W / 0,6 = 135 \text{ kJ}$$

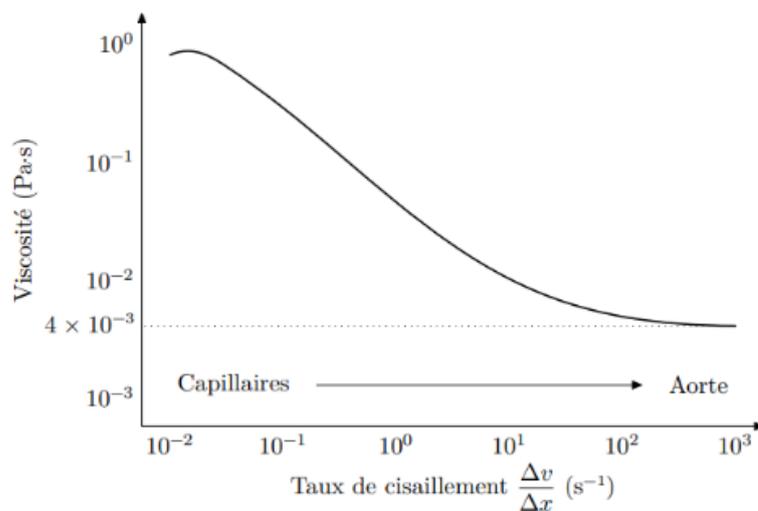
On dépense 2000 kcal par jour soit 8360 kJ 135 kJ représente donc 1,6 % de la consommation énergétique journalière, c'est peu.

Le sang est un fluide visqueux caractérisé par sa viscosité  $\eta$  (en Pa·s).

8).  $[\eta] = [\text{pression}] \cdot T = [\text{force}] \cdot T / (L^2) = (M \cdot L \cdot T^{-2}) \cdot T / (L^2) = M \cdot T^{-1} \cdot L$

9).

La viscosité du sang est très élevée dans les capillaires sanguins, car la présence de cellules et macromolécules (hématies) freine l'écoulement. La viscosité diminue lorsque le taux de cisaillement et le diamètre des vaisseaux augmentent. Pour l'aorte, la viscosité se stabilise à une valeur proche de  $(4 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s})$  et devient indépendante du taux de cisaillement. Le sang peut donc être considéré comme newtonien dans les vaisseaux de grand diamètre (ici l'aorte).



**Parie B : Le Cumulonimbus et la foudre**

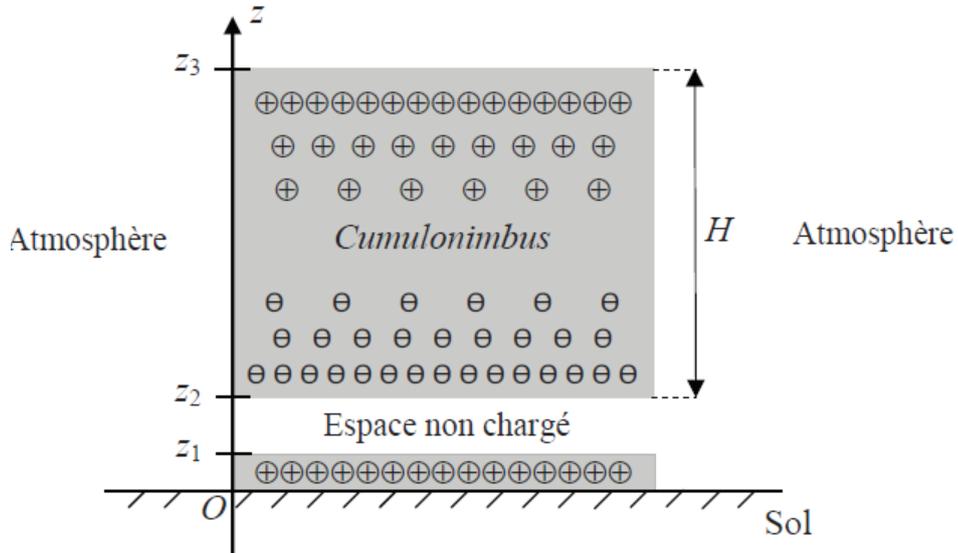


Figure A.2

**I. Champ et potentiel à l'intérieur et à proximité du nuage( zone  $0 \leq z \leq z_1$  )**

On s'intéresse dans cette partie , à la zone chargée dans l'épaisseur  $0 \leq z \leq z_1$  de densité volumique de charges ,  $\rho_0$

1. La zone chargée dans l'épaisseur  $0 \leq z \leq z_1$  peut être assimilée à une couche épaisse de dimensions horizontales quasi-infinies :  $L = \sqrt{2 \cdot 10^7} = 1,5 \text{ km} \gg 250 \text{ m}$

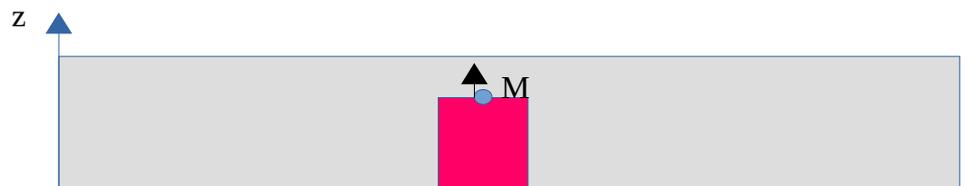
2. Cette distribution possèdent les plans de symétries  $(M, \vec{e}_z, \vec{e}_x)$  et  $(M, \vec{e}_z, \vec{e}_y)$  le champ électrostatique en M est donc porté par  $\vec{e}_z$  :  $\vec{E}(M) = E(M) \vec{e}_z$

La distribution est invariante par translation selon x, selon y , le champ  $\vec{E}(M) = E(M) \vec{e}_z$  en M ne dépend pas des coordonnées x et y de M donc  $\vec{E}(M) = E(z) \vec{e}_z$

3.

Le flux du champ électrostatique à travers une surface fermée est égal à la charge intérieure à cette surface fermée divisée par la permittivité du vide  $\epsilon_0$

On applique le théorème de Gauss à un parallélépipède vertical de base de surface S de hauteur z  
Le champ en  $z=0$  est nul



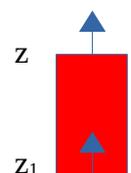
$$\oiint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{\text{int}}}{\epsilon_0} = \frac{\rho_0 Sz}{\epsilon_0} \quad \text{avec} \quad \oiint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \iint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \iint_S E \cdot dS = E(z) * \iint_S dS = E(z) * S$$

$$E(z)S = \frac{\rho_0 Sz}{\epsilon_0} \quad , \text{ soit } \quad E(z) = \frac{\rho_0 z}{\epsilon_0}$$

4. Calculer la valeur de  $\rho_0$  ,  $E(z_1) = \frac{\rho_0 z_1}{\epsilon_0} \Leftrightarrow \rho_0 = E(z_1) \frac{\epsilon_0}{z_1}$

**A.N.**  $E(z_1) = + 5,0 \times 10^4 \text{ V m}^{-1}$  ,  $z_1 = 2,5 \times 10^2 \text{ m}$  ,  $\rho_0 = 1,8 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  ,  $Q_0 = \rho_0 Sz_1 = 9 \text{ C}$

5. Dans cette zone non chargée, en utilisant la même surface fermée



de base en  $z_1$  et de hauteur  $z-z_1$ , on trouve  $\oiint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{\text{int}}}{\epsilon_0} = 0$  avec

$$\oiint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \iint_S \vec{E}(z) \cdot d\vec{S} - \iint_S \vec{E}(z_1) \cdot d\vec{S} = E(z) * S - E(z_1) * S \text{ soit}$$

$$E(z) * S - E(z_1) * S = 0 \Leftrightarrow E(z) = E(z_1) \text{ le champ est uniforme et vaut } E(z_1) = +5,0 \times 10^4 \text{ V m}^{-1}$$

$E_d = 10^6 \text{ V m}^{-1}$  dans de l'air humide.

5. Sachant que le potentiel est nul au sol par convention, déterminer les expressions de  $V(z)$  entre la terre et le nuage, c'est-à-dire :

a) dans l'espace chargé, défini par  $0 \leq z \leq z_1$ .  $E_z = \frac{-\partial V}{\partial z} = \frac{-dV}{dz} \Leftrightarrow \frac{dV}{dz} = \frac{-\rho_0 z}{\epsilon_0}$  Par intégration

on obtient  $V(z) = -\rho_0 \frac{z^2}{2\epsilon_0} + A$ , avec  $V(0) = 0$  on en déduit que  $A = 0$ .

b) dans la zone dépourvue de charges, si  $z_1 \leq z \leq z_2$ .  $E_z = \frac{-\partial V}{\partial z} = \frac{-dV}{dz} \Leftrightarrow \frac{dV}{dz} = \frac{-\rho_0 z_1}{\epsilon_0}$  Par

intégration on obtient  $V(z) = -\rho_0 \frac{z_1}{\epsilon_0} z + B$ , avec  $V(z_1) = -\rho_0 \frac{z_1^2}{2\epsilon_0}$

et  $V(z_1) = -\rho_0 \frac{z_1}{\epsilon_0} z_1 + B$  on en déduit que  $B = \rho_0 \frac{z_1^2}{2\epsilon_0}$

6. Application numérique : Calculer la différence de potentiel  $U = V(z_2) - V(z = 0 \text{ m}) = V(z_2)$

$$U = V(z_2) = -\rho_0 \frac{z_1}{\epsilon_0} z_2 + \rho_0 \frac{z_1^2}{2\epsilon_0} = \frac{\rho_0}{\epsilon_0} \left( -z_1 z_2 + \frac{z_1^2}{2} \right) \text{ A.N. } U = -4,4 \cdot 10^7 \text{ V}$$

## II. Effet de pointe, ionisation et foudre

L'objet pointu peut être modélisé par une petite sphère conductrice, de centre  $\Omega$  et de rayon  $R$ , portant la charge  $q$ . On se place en un point  $M$  extérieur à la boule, mais tout proche de sa surface

(  $r = \Omega M \approx R^+$  ), vaut  $V(R^+) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}$  et le champ radial, créé en ce même point, vaut :

$$E_r(R^+) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \text{ D'où l'équation, valable en ce point } M, \quad \|\vec{E}(R^+)\| = \frac{|V|}{R^+}$$

relation indépendante de la charge  $q$  portée par la sphère.

7. Le champ à l'extérieur de la sphère de charge  $q$  est assimilable à celui créé par une charge ponctuelle  $q$  placée en son centre  $\Omega$ .

8. Maintenu à l'altitude  $z$ , cette sphère se porte rapidement au potentiel local  $V(z)$ . Exprimer, en fonction de  $z$  et des données de l'énoncé, le rayon de courbure  $R_d(z)$  de la sphère capable de créer le champ disruptif  $E_d$  au voisinage du sol (c'est-à-dire pour  $0 < z < z_1$ ) vérifie d'après l'énoncé :

$$E_d = \frac{|V(z)|}{R_d} \text{ avec } |V(z)| = \rho_0 \frac{z^2}{2\epsilon_0}, \quad R_d = \rho_0 \frac{z^2}{2\epsilon_0 E_d}$$

9. Application numérique :  $E_d = 10^6 \text{ V m}^{-1}$ .

a) A.N.  $z = 10 \text{ m}$ ,  $R_d = 1 \text{ cm}$ ,  $R_p < R_d$  le champ électrique est supérieur au champ disruptif, l'ionisation de l'air a lieu, la foudre tombe.

b)

- intensité  $I = Q/\Delta t = 50 \cdot 10^3 \text{ A}$ ;

- puissance électrique  $P_{el} = UI = 24,2 \cdot 10^{10} \text{ W} = 0,24 \text{ GW}$ , domaine de puissances des centrales électriques.

**Partie III : Entretien du chauffe-eau**

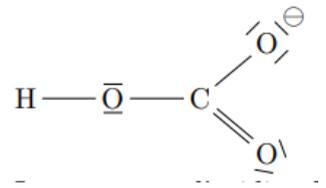
**Provenance du calcaire**

Données
Électrons de valence des atome : H = 1, C = 4, O = 6
Produit de solubilité du carbonate de calcium $\text{CaCO}_3(s)$ à 298 K : $K_s = 10^{-8,4}$

L'eau contient de nombreux ions dissous parmi lesquels figurent les ions calcium en partie responsables de la formation de tartre. Lorsque l'eau est calcaire, le contact direct de la résistance chauffante avec l'eau favorise la formation de tartre qui se dépose sur la résistance et altère sa performance.



2. L'ion hydrogencarbonate a pour représentation de Lewis :  
 Les règles du duet et de l'octet sont respectées. La charge formelle de l'oxygène liée au carbone par une liaison est :  $6(\text{valence}) - 7(\text{réel}) = -1$



L'ion hydrogencarbonate appartient aux couples acido-basiques suivants :  
 -  $\text{H}_2\text{CO}_{3(aq)}/\text{HCO}_{3(aq)}^-$  auquel on associe la constante d'acidité  $K_{A1}$  à 298 K ( $\text{H}_2\text{CO}_{3(aq)}$ , appelé acide carbonique, représente le mélange  $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$ ) ;  
 -  $\text{HCO}_{3(aq)}^-/\text{CO}_{3(aq)}^{2-}$  auquel on associe la constante d'acidité  $K_{A2}$  à 298 K.

3. La constante d'acidité d'un couple  $\text{AH}_{(aq)}/\text{A}^-_{(aq)}$  a pour expression :

$$K_A = \frac{[\text{A}^-_{(aq)}] * [\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}]}{[\text{AH}_{(aq)}]}$$

Sachant que  $p() = -\log()$ , il vient :

$$pKA = pH + \log \frac{[\text{A}^-_{(aq)}]}{[\text{AH}_{(aq)}]}$$

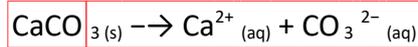
4. D'après la formule qui précède, si  $[\text{A}^-] > [\text{AH}]$ ,  $pH > pK_A$   
 L'espèce la plus acide  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ( elle peut libérer 2  $\text{H}^+$ ) est prédominante lorsque le pH est le plus acide (plus petit) et correspond à l'espèce (a). L'espèce la plus basique  $\text{CO}_3^{2-}$  est prédominante lorsque le pH est le plus basique (le plus grand) donc correspond à l'espèce (c).  $\text{HCO}_3^-$  correspond à l'espèce (b).

5. Lorsque  $[\text{A}^-] = [\text{AH}]$ , donc à l'intersection des courbes, on a  $pH = pK_A$ , ce qui implique par lecture graphique que  $pK_{A1} = 6,4$  et que  $pK_{A2} = 10,3$ .

6. Pour  $7,4 < pH < 9,3$ , c'est l'espèce (b), donc  $\text{HCO}_3^-$  qui est majoritaire

On s'intéresse à la solubilité s du carbonate de calcium (composé majoritaire du calcaire) dans l'eau.

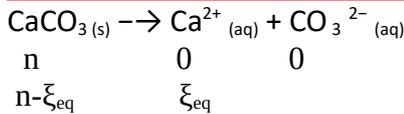
7. L'équation de **dissolution** du carbonate de calcium dans l'eau est



8.  $K_s = [\text{Ca}^{2+}_{(aq)}] * [\text{CO}_3^{2-}_{(aq)}]$

9. Justifier que, pour  $7,4 < \text{pH} < 9,3$ , la solubilité  $s$  du carbonate de calcium est telle que  $s = [\text{Ca}^{2+}]_{\text{éq}}$  et  $s \approx [\text{HCO}_3^-]_{\text{éq}}$

La quantité dissoute par litre correspond à la concentration des ions calcium d'après la réaction de dissolution mais les ions carbonate a ce pH n'existe



La solubilité est donc, par définition :  $s = \xi_{\text{éq}} / V$  Or, d'après le tableau d'avancement :  $[\text{Ca}^{2+}]_{\text{éq}} = \xi_{\text{éq}} / V = s$

L'ion carbonate n'existe pas à ces pH. Ceux qui sont formés par la dissolution du carbonate de calcium réagissent avec les ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  pour former  $\text{HCO}_3^-$  :  $\text{CO}_3^{2-}_{(aq)} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}_{(\text{liq})}$

Cette réaction est totale. Ainsi  $n(\text{HCO}_3^-) = \xi_{\text{éq}}$  d'où :  $s \approx [\text{HCO}_3^-]_{\text{éq}}$

10.  $K_{A2} = \frac{[\text{CO}_3^{2-}_{(aq)}] * [\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}]}{[\text{HCO}_3^-_{(aq)}]}$  d'où  $[\text{CO}_3^{2-}_{(aq)}] = K_{A2} \frac{[\text{HCO}_3^-_{(aq)}]}{[\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}]} = K_{A2} \frac{s}{[\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}]}$

donc  $\lambda = K_{A2}$

11. En déduire l'expression de  $\text{ps} = f(\text{pH})$  pour  $7,4 < \text{pH} < 9,3$ .

$$K_s = [\text{Ca}^{2+}_{(aq)}] * [\text{CO}_3^{2-}_{(aq)}] = s * K_{A2} \frac{s}{[\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}]} \quad \text{soit} \quad s^2 = \frac{K_s}{K_{A2}} * [\text{H}_3\text{O}^+_{(aq)}]$$

donc  $2\text{ps} = \text{p}K_s - \text{p}K_{A2} + \text{pH}$   **$\text{ps} = 1/2 (\text{p}K_s - \text{p}K_{A2}) - \text{pH}/2$**

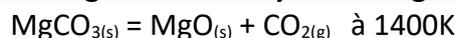
12. Pour  $7,4 < \text{pH} < 9,3$ ,  $\text{ps} = f(\text{pH})$  est une droite de pente  $1/2$ , ce qui est cohérent. Par exemple, on calcule  $\text{ps} = 2,75$  pour  $\text{pH} = 7,4$  et  $\text{ps} = 3,7$  pour  $\text{pH} = 9,3$ . C'est ce que l'on lit sur le graphique.

13. Lorsque le pH augmente,  $\text{ps}$  augmente, donc  $s$  diminue, donc le solide se dissout moins, ce qui signifie que **le dépôt de calcaire est plus important.**

14. Pour nettoyer le dépôt de calcaire d'un chauffe-eau sur la résistance électrique, il faut travailler à pH faible, donc utiliser une **solution acide.**

15. Lorsque la température augmente,  $\text{ps}$  augmente, donc  $s$  diminue. Le solide se dissout moins, ce qui signifie que **le dépôt de calcaire est plus important.**

### Étape 1 : Passage du carbonate de magnésium à l'oxyde de magnésium



1-

$$\Delta_r H^0 = -\Delta_f H^0(\text{MgCO}_{3(s)}) + \Delta_f H^0(\text{MgO}(s)) + \Delta_f H^0(\text{CO}_{2(g)}) = 1112 - 601,6 - 393,5 = \mathbf{116,9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

$\Delta_r H^0 > 0$  cette réaction est **endothermique.**

Avec la loi de Van't Hoff,  $K^0(T)$  augmente lorsque  $T$  augmente, et donc une augmentation de température déplace l'équilibre dans le sens direct. La température de 1400 K est une température élevée par rapport à la température ambiante, le choix industriel confirme l'analyse.

$$\frac{d \ln K^0(T)}{dT} = \frac{\Delta_r H^0}{RT^2} \Rightarrow \int_{T_0}^T d \ln K^0(T) = \int_{T_0}^T \frac{\Delta_r H^0}{R} \frac{dT}{T^2} \Rightarrow \mathbf{K^0(T) = K^0(T_0) e^{-\frac{\Delta_r H^0}{R} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}}$$

2.

$$8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4 \text{ ions } O^{2-} \text{ par maille (sommets et centres des faces)}$$

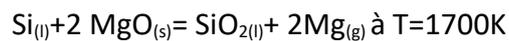
$$12 \times \frac{1}{4} + 1 \times 1 = 4 \text{ ions } Mg^{2+} \text{ par maille (milieux des arêtes et centre du cube)}$$

a) Il y a autant d'ions  $Mg^{2+}$  que d'ions  $O^{2-}$  dans une maille, d'où la formule  $MgO$

$$b) \mu_{MgO} = \frac{m_{ions}}{V_{maille}} = \frac{4 M_O + 4 M_{Mg}}{N_A a^3} = 3,59 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

### 3. Étape 2 : Réduction de l'oxyde de magnésium par le silicium

Une fois la calcination réalisée (étape 1) on récupère l'oxyde de magnésium  $MgO$  que l'on réduit par le silicium suivant la réaction :



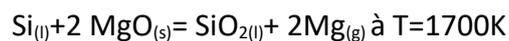
On donne la relation  $K(T) = e^{\left(27,55 - \frac{0,680 \cdot 10^5}{T}\right)}$  avec  $T$  en Kelvins

Quelle est l'influence d'une augmentation de température sur l'équilibre ? Justifier.

Calculer  $K(1700K)$  . Conclure

### Étape 2 : Réduction de l'oxyde de magnésium par le silicium

Une fois la calcination réalisée (étape 1) on récupère l'oxyde de magnésium  $MgO$  que l'on réduit par le silicium suivant la réaction :



On donne la relation  $K(T) = e^{\left(27,55 - \frac{0,680 \cdot 10^5}{T}\right)}$  avec  $T$  en Kelvins

D'après l'expression obtenue,  $K^0$  augmente lorsque  $T$  augmente ( $d \ln K^0 / dT > 0$ ). Une augmentation de température favorise donc le sens direct de la réaction.

On trouve  $K_{IV.2}^0(1700 K) = 3,9 \cdot 10^{-6}$  , la réaction est a priori limitée.

$Q_r$  est défini à partir des activités des réactifs et produits. Ici  $Q_r = \frac{(a_{SiO_{2(l)}})(a_{Mg_{(g)}})^2}{(a_{Si_{(l)}})(a_{MgO_{(s)}})^2} = \left(\frac{P_{Mg}}{P^0}\right)^2$

La réaction peut être réalisée si l'on se place dans le cas  $Q_r < K^0$  (évolution spontanée dans le sens direct), ce qui est possible à 1700 K si  $P_{Mg} < 2 \cdot 10^{-3} \text{ bar}$  (pression réduite).