



MINISTÈRE
DE L'ÉCONOMIE, DE L'INDUSTRIE
ET DE L'EMPLOI

MINISTÈRE
DU BUDGET, DES COMPTES PUBLICS
ET DE LA FONCTION PUBLIQUE

CONCOURS INTERNE
POUR L'ACCÈS AU CORPS
DES INGÉNIEURS DE L'INDUSTRIE ET DES MINES

SESSION 2008

ÉPREUVE ÉCRITE D'ADMISSIBILITÉ N° 3 DU 4 SEPTEMBRE 2008

*COMPOSITION
DE PHYSIQUE-CHIMIE*

(Durée : 4 heures - Coefficient : 1)

(TOUTE NOTE ÉGALE OU INFÉRIEURE À 10 SUR 20 EST ÉLIMINATOIRE)

PHYSIQUE

À propos des avalanches

A - Rôle des coefficients de frottement

Dans une avalanche, une masse de neige se détache sur une pente et la dévale en entraînant avec elle de la matière supplémentaire. Il en résulte une amplification qui conduit à un phénomène violent même à partir d'un déséquilibre faible.

A.1. On considère un bloc de neige de masse m reposant sur un plan incliné dont la pente est repérée par l'angle α (figure 1). Le contact entre la neige et ce plan, décrit par les lois de Coulomb sur le frottement, est caractérisé par des coefficients de frottement statique μ_s et dynamique μ_d . On rappelle que $\mu_d \leq \mu_s$.

On note $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ l'accélération de la pesanteur. Montrer que l'équilibre est possible tant que $\alpha \leq \alpha_C$ et exprimer l'angle critique α_C .

A.2. La masse de neige en équilibre sur une pente d'angle α_C subit une légère perturbation qui lui donne une vitesse initiale $\vec{V}_0 = v_0 \vec{u}_x$, $v_0 > 0$. Exprimer sa vitesse ultérieure $v(t)$ et son énergie cinétique $E_C(t)$.

A.3. L'énergie acquise sert en fait à mettre en mouvement de nouveaux blocs de neige, conduisant à l'amplification de l'avalanche. Les valeurs approximatives de μ_s et μ_d sont données dans le tableau ci-dessous pour différents types de neige. D'après la question précédente, quel type de neige conduit aux avalanches les plus violentes ? On justifiera la réponse.

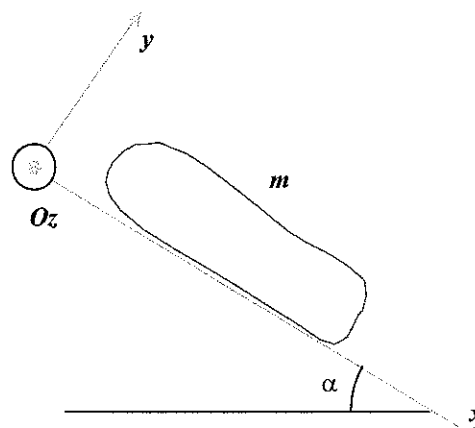


Figure 1 - Masse de neige reposant sur un plan incliné

type de neige :	μ_s	μ_d
neige fraîche	jusqu'à 10	0,3
neige en gobelets	1,2	0,7
neige à grains ronds	1,2	0,4

A.4. Animée d'une vitesse v_1 , la masse de neige arrive dans une région où l'angle α prend une valeur plus faible, constante. À quelle condition sur α le mouvement est-il ralenti et stoppé ?

A.5. Expliquer comment l'observation de nombreuses avalanches permet de déduire des valeurs numériques pour μ_s et μ_d telles que celles données dans le tableau.

B - Modèle de frottement sur sol rugueux

Lorsque l'avalanche rencontre dans sa course un sol rugueux, elle est soumise à de nouvelles forces de frottement dont on étudie ici une modélisation (figure 2).

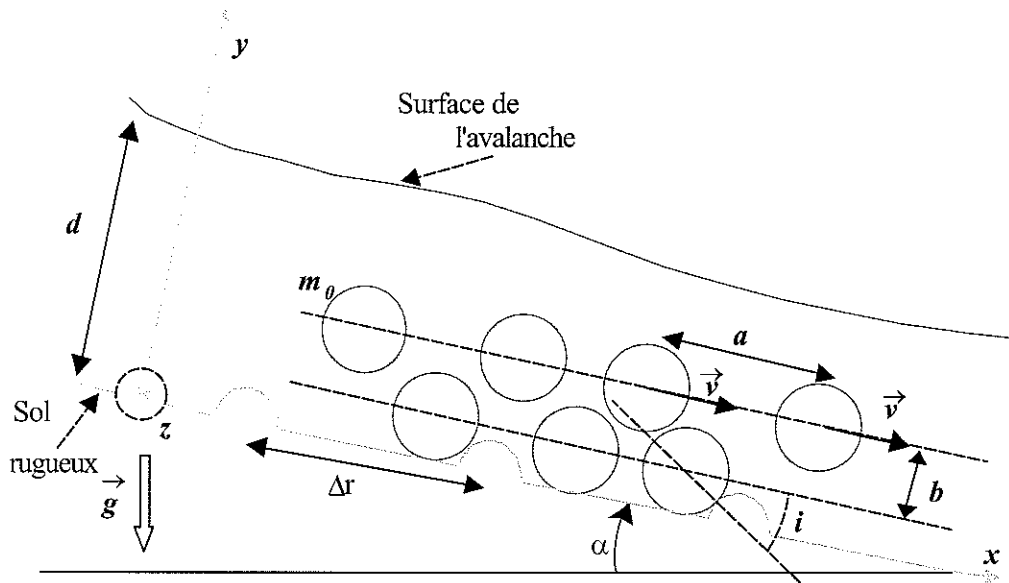


Figure 2. Modèle d'avalanche sur sol rugueux

La masse de neige en mouvement est assimilée à un parallélépipède rectangle d'épaisseur d (selon y), de longueur ℓ (selon x) et de largeur L (selon z). Le contact avec le sol s'effectue donc sur un rectangle d'aire $S = L\ell$.

L'avalanche est formée de paquets de neige sphériques de masse m_0 descendant la ligne de plus grande pente avec une vitesse $\vec{v} = v\vec{u}_x$. Ces blocs sont empilés en couches distantes de b perpendiculairement à la pente. Dans une couche donnée, parallèle au plan Oxz , les blocs sont en moyenne distants de a selon les directions x et z . Au niveau du sol, ils rencontrent des aspérités assimilées à des cylindres de section circulaire et d'axe parallèle à Oz , séparés d'une distance Δr . Ces chocs, caractérisés par l'angle d'incidence i sont supposés mous : après l'impact, le vecteur vitesse du bloc est tangent à la surface de l'aspérité cylindrique au point de contact. D'autre part, la composante tangentielle de sa vitesse est conservée dans le choc.

- B.6.** Un bloc possède la vitesse moyenne $v\vec{u}_x$, exprimer la fréquence f des chocs qu'il subit.
- B.7.** Quel est le nombre moyen N_1 de blocs dans la couche en contact avec le sol ?
- B.8.** Combien de chocs dN l'avalanche dans son ensemble subit-elle, pendant dt ?
- B.9.** Pendant un choc, un bloc subit un changement de quantité de mouvement Δp_0 . Déterminer sa projection Δp_{0x} sur l'axe x .
- B.10.** Soit $\vec{P} = P\vec{u}_x$ la quantité de mouvement de l'avalanche. En déduire la variation de quantité de mouvement dP_{chocs} causée par les chocs durant dt .
- B.11.** En déduire que la force de frottement rugueux s'exerçant sur l'avalanche est :

$$\vec{F}_{\text{rug}} = -\frac{m_0 S v^2 \cos^2 i}{a^2 \Delta r} \vec{u}_x$$

- B.12.** Soit m la masse totale de l'avalanche. Montrer que F_{rug} se met sous la forme :

$$\vec{F}_{\text{rug}} = -\frac{mgv^2}{\xi d} \vec{u}_x$$

en donnant l'expression du paramètre de rugosité ξ en fonction de g , Δr , b et i .

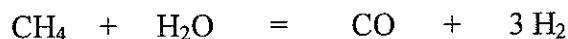
- B.13.** Expliquer pourquoi ξ dépend de la nature du sol sur lequel l'avalanche s'écoule.
- B.14.** Certains paramètres du modèle pourraient dépendre de la vitesse, de sorte que ξ en dépendrait aussi. Lesquels selon vous ?

CHIMIE

Le présent sujet comporte trois parties indépendantes.

A. Synthèse du dihydrogène

Un mode de préparation industrielle du dihydrogène en phase gazeuse met en jeu la réaction:



La réaction se déroule sous une pression totale constante, $P_{tot} = 10$ bar.

La température du système demeure constante et telle que la constante d'équilibre K° vaut 15. L'enthalpie standard de réaction est supposée indépendante de la température, $\Delta_r H^\circ = 206 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. Initialement, le système contient 10 moles de méthane, 30 moles d'eau, 5 moles de monoxyde de carbone et 15 moles de dihydrogène.

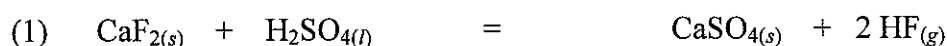
- A.1. Exprimer K° en fonction des pressions partielles et de pression standard $P^\circ = 1$ bar.
- A.2. Exprimer le quotient de réaction Q_r en fonction des nombres de moles de chacun des constituants, de la pression totale P_{tot} et de P° , puis calculer sa valeur initiale.
- A.3. Le système est-il en équilibre thermodynamique ? Justifier la réponse.
- A.4. Si le système n'est pas en équilibre, dans quel sens se produira l'évolution ?

Dans un nouvel état initial, le système contient 10 moles de méthane et 10 moles d'eau.

- A.5. Déterminer la composition du système à l'équilibre, en partant de ce nouvel état initial. La pression totale reste égale à 10 bar.
- A.6. Quelle est l'influence d'une élévation isobare de la température sur cet état d'équilibre.
- A.7. Au système dans l'état d'équilibre défini à la question A.5., on ajoute, de façon isotherme et isobare, une mole de monoxyde de carbone. Dans quel sens se produira l'évolution ?

B. Fluorure d'hydrogène

Une synthèse industrielle du fluorure d'hydrogène s'effectue selon le bilan :



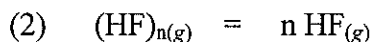
Les enthalpies standard de formation $\Delta_f H^\circ$ et les entropies standard S° sont données à 298 K.

	$\text{CaF}_{2(s)}$	$\text{H}_2\text{SO}_{4(l)}$	$\text{CaSO}_{4(s)}$	$\text{HF}_{(g)}$
$\Delta_f H^\circ$ (kJ.mol ⁻¹)	-1219,6	-814,0	-1434,1	-271,1
S° (J.mol ⁻¹ .K ⁻¹)	68,9	156,9	106,7	173,7

Masses molaires en g.mol⁻¹ : H : 1,01 O : 16,0 F : 19,0 air (masse molaire moyenne) : 29,0
Numéros atomiques : H : 1 O : 8 S : 16 $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

- B.8. Proposer une représentation de Lewis de la molécule d'acide sulfurique.
- B.9. Définir et calculer la variance d'un système siège de l'équilibre (1). Commenter brièvement.
- B.10. Calculer la valeur de l'enthalpie libre standard de cette réaction à 298 K.
- B.11. Calculer la pression de fluorure d'hydrogène à l'équilibre à 298 K.
- B.12. A-t-on intérêt à pratiquer cette synthèse à faible pression ? Justifier très brièvement.

En réalité, le fluorure d'hydrogène existe sous forme d'un polymère $(\text{HF})_n$ qui se dissocie sous l'action d'une élévation de la température en monomère HF. On mesure la densité d'un mélange réactionnel ne contenant, initialement, que du fluorure d'hydrogène sous forme de polymère. A la pression standard, pour des températures élevées, la densité tend vers une valeur limite égale à 0,69 ; la valeur maximale de la densité est 4,14. Dans le mélange réactionnel, se produit l'équilibre :



On rappelle que la densité d d'un mélange gazeux peut être considérée comme le rapport de la masse molaire moyenne de ce mélange sur la masse molaire moyenne de l'air

B.13. Quelle peut être la nature des interactions assurant la cohésion du polymère ?

B.14. Exprimer numériquement la densité d du mélange à l'équilibre en fonction du degré de polymérisation n et du coefficient de dissociation α , défini comme le quotient de la quantité de polymère dissocié sur la quantité initiale de polymère.

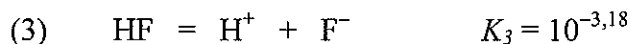
B.15. Calculer la valeur de n (degré de polymérisation).

B.16. À 298 K et à la pression $P = 1$ bar, la densité vaut 1,77. Déterminer la valeur de la constante de l'équilibre (2) à 298 K.

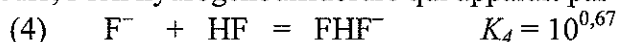
B.17. En déduire la valeur de la densité du mélange réactionnel à 298 K sous une pression de 5 bar.

C. Solutions diluées d'acide fluorhydrique

Les solutions aqueuses de fluorure d'hydrogène sont usuellement nommées solutions d'acide fluorhydrique. Les solutions aqueuses d'acide fluorhydrique sont siège de la réaction :



Elles contiennent, par ailleurs, l'ion hydrogénéodifluorure qui apparaît par l'équilibre :



Dans la suite, on néglige l'ionisation du solvant eau.

On note c la concentration totale en élément fluor d'une solution d'acide fluorhydrique.

C.18. Exprimer c en fonction de $[\text{HF}]$, $[\text{F}^-]$ et de $[\text{HF}_2^-]$.

C.19. Quels seraient le pH et la valeur de c , d'une solution d'acide fluorhydrique où l'on trouverait des concentrations égales en ions F^- et HF_2^- ?

C.20. En déduire la proportion de fluorure d'hydrogène qui a globalement réagi dans les conditions de la question C.19.
