

1) $\vec{v}_g^{S_1/S_2} = \vec{v}_{/R}(I_1 \in S_1) - \vec{v}_{/R}(I_2 \in S_2)$ Les points I_1 et I_2 coïncident avec le point de contact.
 Cette vitesse **ne dépend pas** d'un référentiel.

2 & 3) Je ne comprends pas bien l'enjeu de ces questions : Est-il dans la description ou la modélisation ?
 On passe de l'adhérence au glissement lorsque $\|\vec{T}\|$ augmente et finit par atteindre la limite $f_s \|\vec{N}\|$.
 Dans le sens contraire, par dissipation d'énergie, la vitesse de glissement diminue et finit par s'annuler.

La modélisation présente un défaut : Le passage d'un mode à l'autre est en réalité continu.

Afin d'éviter une situation où $\frac{\|\vec{T}\|}{\|\vec{N}\|}$ ne serait pas défini, il faut $f_g < f_s$.

4) Lors de la première phase, le fil est **tendu**, le solide 1 glisse et le solide 2 tombe. Dans la deuxième phase, le fil est **détendu**, le solide 1 glisse puis s'arrête alors que le solide 2 est immobile sur le sol.

5 & 6) Attention ! Comme la vitesse de glissement ne change pas de sens (elle est toujours dirigée vers la droite), l'énoncé se permet de définir $T = \|\vec{T}\|$ non algébrique (VC fulmine !) avec $\vec{T} = -T \vec{e}_x = -f_g N \vec{e}_x$

T.R.C. à 1 : $M\ddot{x} = -f_g N + F$ et $Mg = N \rightarrow M\ddot{x} = -f_g Mg + F$ T.R.C. à 2 : $\alpha M\ddot{z} = \alpha Mg - F$

7) Le fil est inextensible donc $\ddot{x} = \ddot{z} \rightarrow \dot{x} = \frac{\alpha - f_g}{1 + \alpha} g t \rightarrow t_1 = \sqrt{\frac{2H_0(1+\alpha)}{(\alpha - f_g)g}} \rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{2H_0(\alpha - f_g)g}{(1+\alpha)}}$

8) $\ddot{x} = -f_g g \rightarrow \dot{x}(t) = -f_g g(t - t_1) + v_1 \rightarrow x(t) = -\frac{f_g}{2} g(t - t_1)^2 + v_1(t - t_1) + x_0 + H_0$

Soit t_2 la date d'arrêt : $t_2 - t_1 = \frac{v_1}{f_g g}$ et $x(t_2) = x_0 + D \rightarrow D = \frac{v_1^2}{2f_g g} + H_0 \rightarrow f_g = \frac{\alpha H_0}{D + \alpha(D - H_0)}$

9) Au cours de la première phase, le théorème de l'énergie cinétique appliqué aux deux masses donne :

$$\Delta \mathcal{E}_c = W_{\alpha M \vec{g}} + W_{\vec{T}} \rightarrow \frac{\alpha + 1}{2} v_1^2 = g H_0 (\alpha - f_g)$$

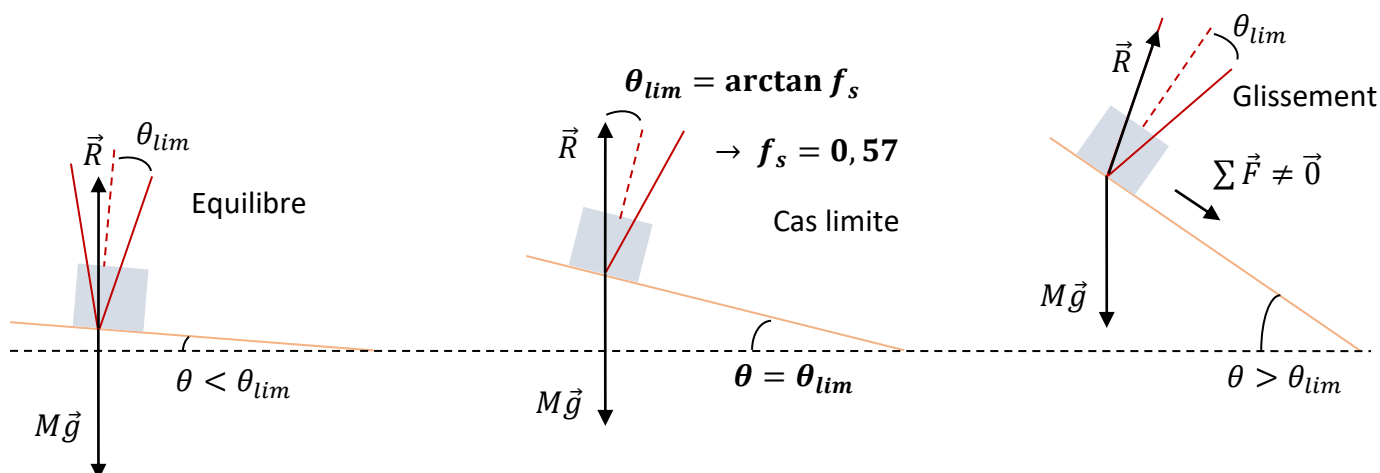
Lors de la seconde phase, le théorème de l'énergie cinétique appliqué au solide 1 :

$$\Delta \mathcal{E}_c = W_{\vec{T}} \rightarrow -\frac{1}{2} v_1^2 = f_g g (D - H_0)$$

En combinant ces deux résultats, on retrouve le même résultat.

10) $f_g = 0,17$ [Cette partie est très proche de l'exercice 9 du TD *Frottement solide* et du TP 18.
 Exercices dans lesquels seule la méthode énergétique est développée. On comprend mieux pourquoi ...]

11 & 12) [Là aussi, on reconnaît une question déjà traitée dans le cours "Lois du frottement solide"]

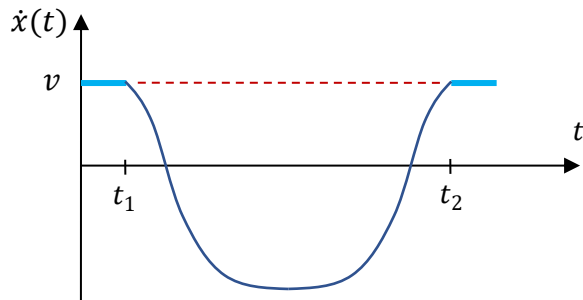
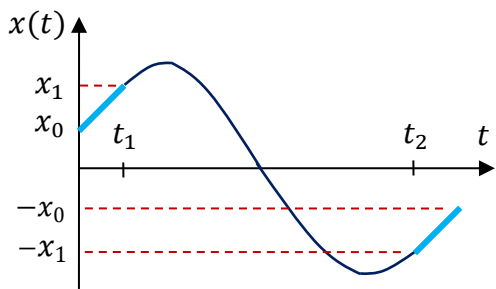


13) Le glissement apparait lorsque T atteint son maximum ($f_s Mg$) et compense in extremis la force de rappel du ressort : $f_s Mg - kx_1 = 0 \rightarrow x_1 = \frac{f_s Mg}{k}$ Le solide s'est déplacé de " $x_1 - x_0$ " : $t_1 = \frac{x_1 - x_0}{v}$

14) Après t_1 , le solide glisse sans frottement. L'équation du mouvement est $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$ Avec $\omega_0^2 = \frac{k}{M}$
Le solide est lancé vers la droite avec la vitesse v , le ressort le ralentit puis le ramène vers la gauche.

L'énergie mécanique se conserve : $Mv^2 + kx_1^2 = kx_M^2 \rightarrow x_M = \sqrt{x_1^2 + \frac{v^2}{\omega_0^2}}$

15) $x(t) = x_1 \cos[\omega_0(t - t_1)] + \frac{v}{\omega_0} \sin[\omega_0(t - t_1)]$ $\dot{x}(t) = -\omega_0 x_1 \sin[\omega_0(t - t_1)] + v \cos[\omega_0(t - t_1)]$
Cette phase s'arrête lorsque \dot{x} est de nouveau égal à v (en $x = -x_1$)

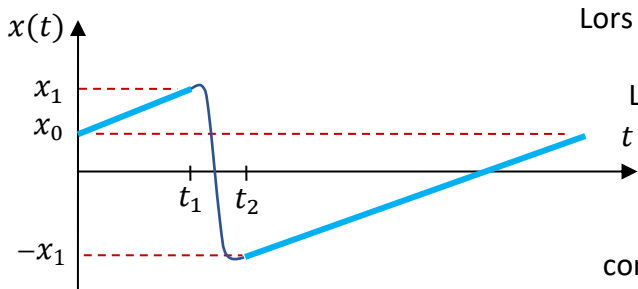


16) Il faut que $x_1 \gg \frac{v}{\omega_0}$, c'est-à-dire $\tau_0 \ll \frac{x_1}{v}$

17) La phase de non glissement entre $-x_1$ et x_1 a une durée de $\frac{2x_1}{v} \gg \tau_0 > t_2 - t_1$

La période du mouvement est donc environ $\frac{2x_1}{v} \rightarrow f = \frac{v}{2x_1} = \frac{v \omega_0^2}{2gf_s} = 4 \cdot 10^2 \text{ Hz}$

18-20) Les fréquences appartiennent au domaine **audible**. En cassant la craie en deux, on multiplie la raideur par 8 et on divise la masse par 2 $\rightarrow \omega_0^2$ est multiplié par 16 : la fréquence n'est plus audible.



Lors de la phase de glissement à **frottement nul**, $W_{\vec{T}}^g = 0$

Lors des deux phases d'adhérence à **accélération nulle**,

$$\vec{T} = kx \vec{e}_x \rightarrow W_{\vec{T}}^a = \Delta \mathcal{E}_p^{\text{élas}} = 0$$

Seules deux forces agissent sur le solide dont l'une est conservative, le mouvement étant périodique il est rassurant de trouver que $W_{\vec{T}} = 0$. Mais le modèle présente un défaut !

En réalité, $f_g \neq 0 \rightarrow W_{\vec{T}}^g < 0$. Mais on a toujours $W_{\vec{T}} = W_{\vec{T}}^g + W_{\vec{T}}^a = 0$



Cette perte d'énergie est compensée par un travail moteur de \vec{T} au cours de la phase d'adhérence.

En effet, la vitesse de glissement étant vers la gauche ($\vec{T} = f_g Mg \vec{e}_x$), la phase de glissement se traduit par une sinusoïde **décalée vers le haut** ($\ddot{x} + \omega_0^2 x = f_g g$).

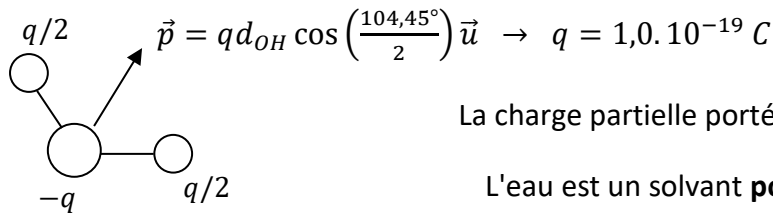
L'oscillation ne se fait plus entre x_1 et $-x_1$ mais entre x_1 et $\frac{2f_g g}{\omega_0^2} - x_1$.

Ainsi, au retour lors de la phase d'adhérence, $W_{\vec{T}}^a = \Delta \mathcal{E}_p^{\text{élas}} = \frac{k}{2} \left[x_1^2 - \left(\frac{2f_g g}{\omega_0^2} - x_1 \right)^2 \right] > 0$

[On est proche ici des exercices 2 (pour la remarque finale) et 7 (en plus simple) du TD *Frottement solide*]

21)  $1s^1$  $1s^2 2s^2 2p^4$ $H - \overline{O} - H$ La liaison OH est polarisée car l'oxygène est **plus électronégatif** que l'hydrogène. L'oxygène attire le doublet électronique liant.

22) L'angle est inférieur à $109,5^\circ$ à cause de **la répulsion** des deux doublets non liants de l'oxygène.



La charge partielle portée par chaque H est $5,1 \cdot 10^{-20} C = 0,32e$

L'eau est un solvant **polaire protique**, il est donneur ou accepteur de liaison hydrogène. Ses pouvoirs d'ionisation et de solvation sont élevés.

23) Les forces de Van der Waals sont des interactions **faibles** entre molécules **polaires**.

Les liaisons hydrogènes sont également du type électrostatique mais l'interaction est **plus forte**.

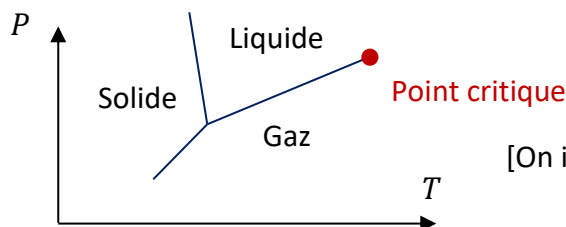
Elles impliquent un atome d'**hydrogène** et un atome **électronégatif** (O, N, F).

Du point de vue énergétique, elles se classent entre les liaisons de Van der Waals (quelques $kJ \cdot mol^{-1}$) et les liaisons covalentes (quelques centaines de $kJ \cdot mol^{-1}$).

24) Sur la demi-diagonale des huit petits cubes formant la maille : $\frac{a\sqrt{3}}{4} = d_1 + d_2 \rightarrow a = 6,4 \cdot 10^{-10} m$

25) Chaque molécule d'eau est concernée par **quatre** liaisons hydrogène et chaque liaison est partagée par **deux** molécules. Il existe donc deux liaisons hydrogène par molécule : $\mathcal{E}_{liaison H} = \frac{\Delta H_s^0}{2} = 24 kJ \cdot mol^{-1}$

26) $q = c_{liquide}(\theta_{fusion} - \theta_i) - \Delta h_{fusion}^0 + c_{solide}(\theta_f - \theta_{fusion}) = -3,7 \cdot 10^2 kJ \cdot kg^{-1}$



[On considère les capacités thermiques constantes]

[On insiste sur la pente négative de la droite frontière solide/liquide, comportement exceptionnel dû à $\mu_{solide} < \mu_{liquide}$]

27) La transformation est **adiabatique** car le processus est rapide. La pression est **constante**, $\Delta H = Q = 0$. L'enthalpie étant une fonction d'état, on imagine la transformation réversible constituée d'une élévation de température jusqu'à $0^\circ C$ puis d'un changement d'état partiel. Avec un kilogramme de pluie, on a :

$$\Delta h = c_{liquide}(\theta_{fusion} - \theta) - x \Delta h_{fusion}^0 = 0 \rightarrow x = 12,7 \%$$

28) $Q' = -e \rho_{solide} (1 - x) \Delta h_{fusion}^0 + e \rho_{solide} c_{solide} (\theta_{sol} - \theta_{fusion}) = -2,85 \cdot 10^2 kJ \cdot m^{-2}$

29) L'entropie étant une fonction d'état, on suit le chemin réversible de la Q27 puis celui de la Q28

$$\Delta S_{eau} = c_{liquide} \ln\left(\frac{\theta_{fusion}}{\theta_i}\right) - \frac{\Delta h_{fusion}^0}{\theta_{fusion}} + c_{solide} \ln\left(\frac{\theta_{sol}}{\theta_{fusion}}\right) = -1,14 kJ \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$$

Le sol évolue de façon réversible (thermostat) et l'entropie échangée n'est due qu'au transfert thermique lors de la seconde étape (Q28 ramené à $1 kg$), la première étape étant adiabatique.

$$\Delta S_{sol} = -\frac{q'}{\theta_{sol}} = \frac{(1 - x) \Delta h_{fusion}^0 - c_{solide} (\theta_{sol} - \theta_{fusion})}{\theta_{sol}} = 1,18 kJ \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$$

L'ensemble eau-sol étant isolé, son entropie échangée est nulle : $s^c = \Delta S_{eau} + \Delta S_{sol} = 40 J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$

30) $\ln(1 - Y) = 0,147 - \frac{40,1}{T}$ On retrouve bien $T = 273 \text{ K}$ si $Y = 0$

31) Le pourcentage massique minimum de sel est environ **13 %**. Toutefois, il ne faut pas atteindre 25 % Cette technique **ne convient pas** si la température descend sous $-21,6 \text{ }^\circ\text{C}$ car de la glace serait présente.



34) $\Delta_r S_1^0 = 453 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ Positif en accord avec la **production de gaz**

35) $\Delta_r G_1^0 = \Delta_r H_1^0 - T \Delta_r S_1^0 \rightarrow T_i = 925 \text{ K}$ (Température à laquelle $K_1 = 1$)

La réaction **endothermique** est favorisée à **haute température** : $K_1(1700 \text{ K}) = 6,2 \cdot 10^{10}$

36) $Q_p = \Delta H = \xi \Delta_r H_1^0 = \frac{m}{M} \Delta_r H_1^0 = 1,84 \text{ GJ}$

37) $\Delta_r H_2^0 + (C_{p,m}^0(\text{CO}_2) + 2C_{p,m}^0(\text{H}_2\text{O}) + 8C_{p,m}^0(\text{N}_2))(T_f - 298) = 0 \rightarrow T_f = 2,76 \cdot 10^3 \text{ K}$

38) On veut que $n(C_{p,m}^0(\text{CO}_2) + 2C_{p,m}^0(\text{H}_2\text{O}) + 8C_{p,m}^0(\text{N}_2))(T_f - 1700) = Q_p \rightarrow n = 5,15 \cdot 10^3 \text{ mol}$

A cela, il faut ajouter le nombre de mole produit par la réaction 1 : $n_1 = 3\xi = 1,32 \cdot 10^4 \text{ mol}$

La production mondiale de ciment est responsable de l'émission de **3,7 milliards de tonnes** de CO_2 par an ! Sa contribution au réchauffement climatique est importante (10 % des émissions environ).

[Toute cette partie est très proche de l'exercice 9 du TD Thermochimie]

39) $\Gamma_{cond} = \frac{1}{2\pi\lambda L} \ln\left(\frac{R}{R-e}\right)$ $\Gamma = \Gamma_{cond} + \frac{1}{h2\pi(R-e)L} \rightarrow G_l = \frac{1}{\Gamma L} = 6,9 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

40) $D_m dh = D_m c dT = G_l dz(\theta_{ext} - T(z)) \rightarrow D_m c \ln\left(\frac{\theta_{ext} - \theta_e}{\theta_{ext} - \theta_s}\right) = G_l L \rightarrow D_m = 43 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$

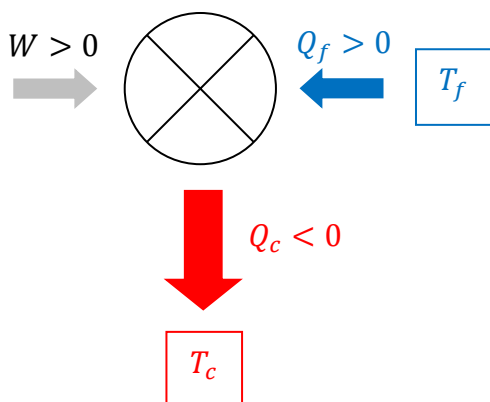
41) $V = \frac{D_m}{\mu} \Delta t = 1,1 \cdot 10^2 \text{ m}^3$

L'énergie stockée est la variation d'enthalpie du volume V d'eau entre θ_e et θ_s : $V\mu c(\theta_s - \theta_e)$

La perte en 4 mois ($\Delta t'$) est $\frac{\theta_s - \theta_0}{\Gamma'_m} \Delta t' \rightarrow \frac{\theta_s - \theta_0}{\Gamma'_m} \Delta t' = 10^{-2} V\mu c(\theta_s - \theta_e) \rightarrow \Gamma'_m = 2,5 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$

C'est une valeur assez conséquente, l'isolation par de laine de verre est nécessaire.

42) Une pompe à chaleur permet le transfert de chaleur **d'une source froide vers une source chaude**.



Cette prouesse technique, antinaturelle, est possible grâce à la **compression** ($W > 0$) d'un gaz en sortie d'évaporateur. L'efficacité de la machine est $e = \frac{|Q_c|}{W}$

43) Globalement, les propos de ce journaliste sont clairs, intéressants et plutôt corrects.

Evidemment, il est question de **chaleur emmagasinée** au lieu d'énergie emmagasinée (la chaleur n'est pas une fonction d'état) mais ce raccourci est tellement présent dans le langage courant ...

Autre petit souci, l'emploi de l'expression **pompe à chaleur** est malheureuse. Le processus étudié semble passif et naturel, l'énergie est stockée dans une source chaude puis restituée l'hiver à une source froide. L'enfouissement de l'eau chaude se fait par gravité et son retour à la surface est convectif.

Anthony Morel est un journaliste qui informe le plus clairement possible la population. L'auteur (anonyme) du sujet est lui physicien-chimiste et cela ne l'a pas empêché de recycler, applications numériques comprises, un vieux sujet de chimie bien connu (CCP TSI 2003 + Oral PT 2014 + Oral CCS TSI 2016 + ...)