

Chimie, mécanique et circuit électrique**Extrait de l'entête des sujets de la banque PT :**

La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la **rédaction**, la **clarté et la précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans l'**appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

Problème : Le carbure de silicium (extrait Centrale-Supélec TSI 2016)

I Un matériau pour la fabrication de miroirs de télescope : le carbure de silicium

Le carbure de silicium, de formule SiC, a été découvert par Jöns Jacob BERZELIUS en 1824 lors d'une expérience pour synthétiser du diamant. Il est devenu un matériau incontournable pour la fabrication d'instruments optiques nécessitant une stabilité thermomécanique importante. Les technologies actuelles permettent de réaliser des instruments constitués uniquement de SiC, que ce soient les miroirs, la structure ou les supports de détecteurs. En particulier la face optique des miroirs peut être revêtue de SiC par dépôt chimique en phase vapeur (ou CVD pour l'anglais « chemical vapor deposition ») afin de masquer toute porosité résiduelle et obtenir une surface polissable parfaite.

Par exemple, le télescope spatial infrarouge HERSCHEL, lancé en 2009 et développé par l'agence spatiale européenne (ESA), opérationnel entre 2009 et 2013, emportait un miroir primaire de 3,5 m de diamètre, le plus grand miroir de l'espace, constitué de 12 segments en carbure de silicium fritté, assemblés par brasage.

I.A – Structure de la matière

- I.A.1)** Rappeler les règles permettant de déterminer la configuration électronique à l'état fondamental d'un atome.
- I.A.2)** Le numéro atomique du carbone est $Z_C = 6$. Donner sa configuration électronique à l'état fondamental.
- I.A.3)** Le silicium Si est situé juste en-dessous du carbone dans le tableau périodique. Quel est son numéro atomique ?
- I.A.4)** Que peut-on dire des propriétés chimiques respectives du carbone et du silicium ?

I.C – Formation de SiC par CVD

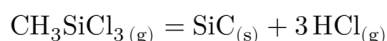
Le dépôt chimique en phase vapeur (CVD) est un procédé utilisé pour produire des matériaux solides de grande pureté et sous forme de couches minces. Dans ce procédé, un solide inerte servant de support est exposé à un ou plusieurs composés chimiques en phase gazeuse qui se décomposent à sa surface pour former le matériau désiré. Généralement, plusieurs réactions se produisent conjointement, les produits des réactions indésirables étant évacués par un flux gazeux traversant en continu la chambre réactionnelle.

De nombreux composés chimiques sont utilisés pour produire des films minces de SiC. Parmi ceux-ci, le méthyl-trichlorosilane MTS CH_3SiCl_3 est très souvent choisi. La réaction se déroule sur un solide en graphite, à une

température de l'ordre de 1000 °C et sous pression réduite. Elle se déroule dans un courant de dihydrogène et, d'un point de vue microscopique, en deux étapes :

- une décomposition du MTS en présence de dihydrogène pour former des produits intermédiaires gazeux ;
- puis une réaction entre ceux-ci pour former le carbure de silicium solide.

L'équation-bilan globale de réaction s'écrit



On considère maintenant une enceinte vide, de volume constant, thermostatée à la température $T_2 = 1200$ K, dans laquelle, à la date $t = 0$, on introduit une quantité n de MTS. Pour cette température, la réaction de formation de carbure de silicium peut être considérée comme totale. La figure 2 représente l'évolution de la concentration de MTS dans l'enceinte, pour différentes quantités n introduites, au cours du temps.

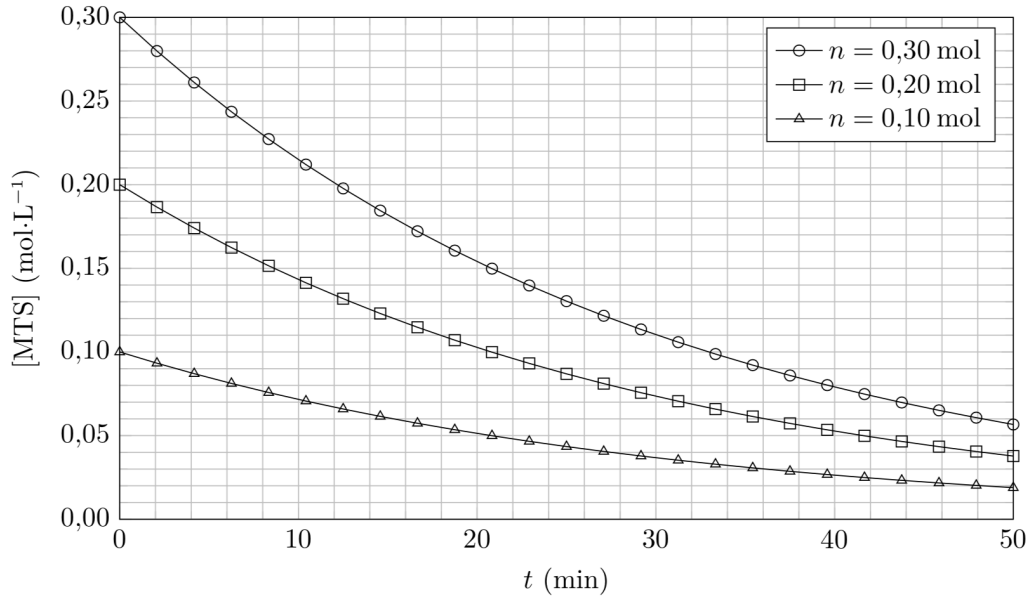


Figure 2 Cinétique de décomposition du MTS

I.C.9) Déterminer le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ pour chacune de ces trois expériences. Que peut-on en déduire concernant l'ordre par rapport au MTS ?

I.C.10) On notera k la constante de vitesse de la réaction. Quelle est l'équation différentielle vérifiée par la concentration en MTS ?

I.C.11) Exprimer la concentration en MTS dans l'enceinte au cours du temps, en fonction de la concentration initiale $[MTS]_0$, du temps et de la constante de vitesse k .

I.C.12) Exprimer le temps de trois-quarts de réaction $t_{3/4}$ en fonction de k .

I.C.13) Que vaut le rapport $\frac{t_{3/4}}{t_{1/2}}$? Ceci est-il vérifié dans le cas présent ?

I.C.14) Une augmentation de la température de 100 K pour atteindre $T_3 = 1300$ K entraîne une diminution du temps de demi-réaction d'un facteur 20. La constante de vitesse est fonction de la température T selon la loi d'ARRHENIUS

$$k(T) = A \exp \left(-\frac{E_a}{RT} \right)$$

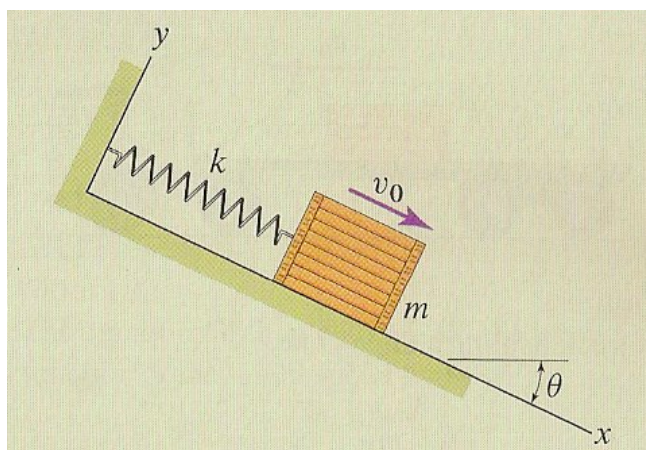
où A (de même dimension que k) et E_a (appelé énergie d'activation et exprimée en $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) sont des constantes. En déduire la valeur de l'énergie d'activation de la réaction.

Les trois exercices suivants sont assez « ouverts » dans le sens où il y a peu d'indications sur la méthode à suivre pour les résoudre.

C'est donc à vous de jouer ☺. Comme nous n'avons pas encore étudié l'approche énergétique (qui permet entre autre de déterminer facilement des vitesses), il faudra intégrer l'équation différentielle donnée par la seconde loi de Newton, pensez à la méthode de séparation des variables rencontrée en cinétique chimique.

Exercice 1: Caisse sur un plan incliné arrêtée par un ressort

Une caisse, de masse $m = 45 \text{ kg}$, glisse sans frottement vers le bas sur un plan incliné ($\theta = 25^\circ$) comme indiqué sur la figure. Elle est reliée à un ressort de constante de raideur $k = 100 \text{ N.m}^{-1}$ et de longueur à vide $\ell_0 = 1,2 \text{ m}$. Quand le ressort n'est pas étiré, la vitesse de la caisse vaut $v_0 = 8 \text{ m.s}^{-1}$. Déterminez la distance d (à partir de ℓ_0) que parcourt alors la caisse avant d'être stoppée de façon temporaire.

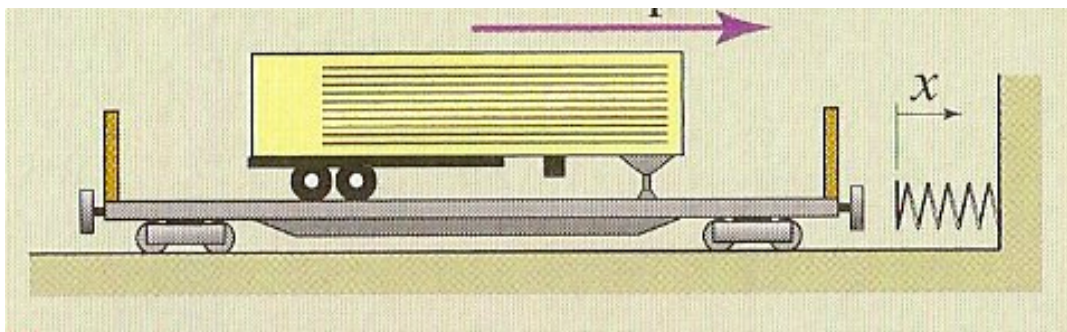


Réponse : $d \approx 7,6 \text{ m}$

Exercice 2: Arrêt d'un wagon par un ressort géant

On considère un wagon et sa charge (cf. figure), dont l'ensemble pèse 87 tonnes, se déplaçant vers la droite à une vitesse de 6 m.s^{-1} , quand il rencontre un ressort géant. Ce dernier est dimensionné pour stopper un wagon de 60 tonnes à une vitesse de 8 m.s^{-1} sur une distance de 1 m , le ressort étant initialement non comprimé.

De combien le ressort va-t-il être comprimé pour arrêter le wagon et sa charge ?

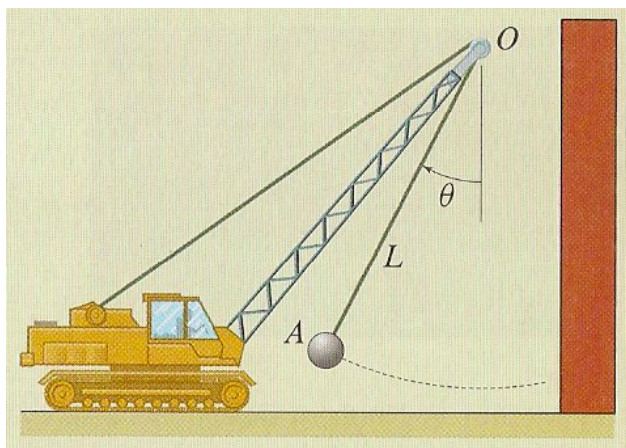


Réponse : $d \approx 0,9 \text{ m}$

Exercice 3: Tension sur le câble d'une boule de destruction

Une boule de destruction de chantier (cf. figure) est lâchée à vitesse nulle d'un angle de $\theta_0 = 30^\circ$. La masse de la balle vaut $m = 1000$ kg et le câble a une longueur $L = 10$ m.

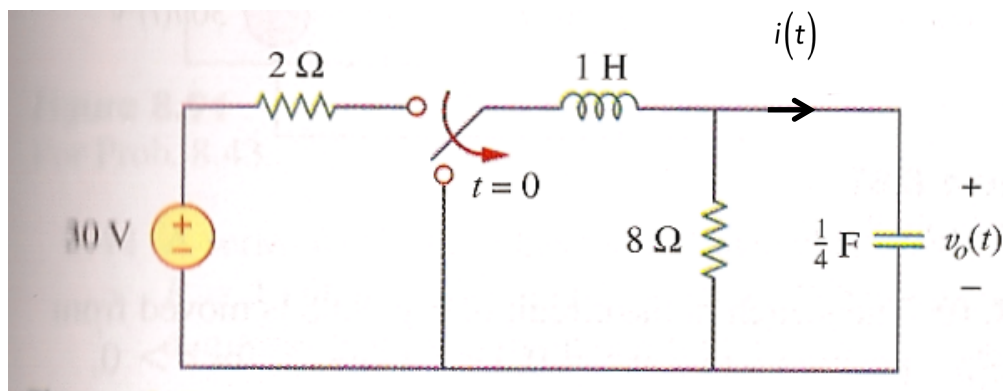
Déterminez la tension du câble quand la boule atteint $\theta_0 = 0^\circ$. Conclusion ?



Réponse : $T \approx 12\,439$ N

Exercice 4: Transitoire du second ordre

A $t = 0$, l'interrupteur bascule comme indiqué sur le schéma ci-dessous. On considère le courant qui passe dans le condensateur.



- a) Calculer $i(t \rightarrow \infty)$.
- b) Calculer $i(t = 0^+)$ et $\frac{di}{dt}(t = 0^+)$.
- c) Etablir l'équation différentielle satisfaite par le courant $i(t)$ qui traverse le condensateur.
- d) Donner l'expression numérique de $i(t)$ et tracer l'allure de la courbe $i(t)$ avec un code Python.

Réponse : $i(t) = 11,97 e^{-0,25t} \cos\left(1,98t + \frac{\pi}{2}\right)$ A