
DM N°7
Chimie & statique des fluides

Lycée ANGEVIN - WALLON

10 octobre 2020

À lire attentivement...

Les candidats devront vérifier que le sujet comporte bien 5 pages numérotées 1/5, 2/5, ... 5/5.

Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction : les copies illisibles ou mal présentées seront pénalisées.

Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points. Les résultats numériques devront être donnés sous la forme appropriée.

Le sujet comporte :

- 1 exercice d'annale de physique.

Les diverses parties peuvent être traitées dans l'ordre choisi par le candidat. Il prendra toutefois soin de bien numéroter les questions.



Fig. 1 – Carte mémoire de statique des fluides



Fig. 2 – Carte mémoire de thermochimie

L'EMPLOI DE LA CALCULATRICE OU DE TOUTE AUTRE AIDE ÉLECTRONIQUE,
NOTAMMENT PYTHON, EST AUTORISÉ.

LE TRAVAIL AVEC SON COURS SOUS LES YEUX EST RECOMMANDÉ.

LE PHOTO-COPILLAGE DU TRAVAIL D'UN CAMARADE SERA SANCTIONNÉ.

UN RÉSULTAT NON ENCADRÉ NE SERA PAS PRIS EN COMPTE.

Si au cours de la rédaction, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et poursuivra sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Le sujet aborde, sous l'angle de la physique et de la chimie, différents thèmes liés à la pratique de la randonnée : l'étude mécanique de la marche à pied, le repas du randonneur et la beauté de la nature.

1.1 Le repas en altitude

Pour préparer un repas chaud une fois arrivé au sommet de la colline, notre randonneur utilise un réchaud à combustible solide pour chauffer de l'eau qu'il aura préalablement purifiée à l'aide d'agents chimiques.

Document 1 – Set de cuisson (extrait du site marchand « monrechaud.com »)

Le set de cuisson Esbit® (popote/réchaud en aluminium anodisé dur, idéal pour les sorties en solo) comprend un casserole d'une capacité de 585 mL, un couvercle et un support de réchaud à combustible solide.

Le support de casserole permet de déposer une tablette de combustible solide Esbit® et fait office de pare-vent. Lors du transport, il se range à l'intérieur de la casserole.



L'ensemble est extrêmement léger et compact. Le set de cuisson Esbit® est livré avec un filet de rangement.

Document 2 – Tablettes de combustible solide (d'après le site marchand « monrechaud.com »)

Vingt tablettes de 4 g de combustible solide permettent de recharger les réchauds pliants Esbit®. Elles peuvent être également utilisées pour allumer un feu de camp, un barbecue ou une cheminée. Deux tablettes de 4 g permettent de faire bouillir 0,25 L d'eau en 5 min. Une tablette de 4 g brûle approximativement en 5 min.

- Matériaux : substance non toxiques dont l'hexamine ;
- Informations complémentaires :
 - Non explosif ;
 - S'allume avec une allumette ou un briquet ;
 - Pas d'étincelles ;

- Puissance de chauffe forte ;
- Pouvoir calorifique de l'hexamine : $7 \times 10^3 \text{ kcal/kg} = 31 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- Ne laisse pas de cendres après la combustion ;
- Aucune fumée visible ;
- Léger et compact ;
- Lorsqu'il est bien entreposé, le combustible solide Esbit® conserve ses caractéristiques techniques pendant de nombreuses années ;
- Fonctionne également à des températures inférieures à 0°C et à haute altitude.

Données 2

- Capacité thermique massique de l'eau liquide à pression constante : $c_{\text{eau}} = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- Masse volumique de l'eau liquide : $\mu_{\text{eau}} = 1,0 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$;
- Enthalpie massique de vaporisation de l'eau sous 1 bar : $\ell_V = 2,3 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- Constante des gaz parfaits : $R = 8,3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Données spécifiques à l'hexamine

- Aspect : poudre blanche ;
- Formule brute : $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$;
- Masse molaire : $M_h = 140 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- Masse volumique supposée indépendante de la température : $\mu_h = 1,33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$;
- Les produits de combustion de l'hexamine dans l'air varient selon les conditions : diazote N_2 , eau H_2O et dioxyde de carbone CO_2 dans les conditions optimales.

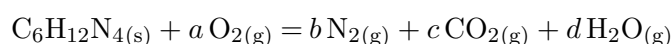
Enthalpies standard de formation à 25°C

Espèce	$\text{H}_2\text{O}_{(\text{g})}$	$\text{CO}_{2(\text{g})}$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_{4(\text{s})}$
$\Delta_f H^\circ$ en $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$-2,5 \cdot 10^2$	$-4,0 \cdot 10^2$	$1,23 \cdot 10^2$

1.1.1 La combustion des tablettes d'hexamine solide

Le but de cette sous-partie est de vérifier le pouvoir calorifique annoncé par le fournisseur.

1. La réaction de combustion dans l'air est notée (5) et s'écrit :



où a , b , c et d sont des coefficients stœchiométriques. Déterminer a , b , c et d .

2. Que valent les enthalpies standard de formation du diazote gazeux et du dioxygène gazeux à 25°C ? Justifier.
3. Déterminer numériquement l'enthalpie standard de réaction $\Delta_r H^\circ$ de la réaction (5) à 25°C . On suppose cette grandeur indépendante de la température. Pourquoi la valeur trouvée est-elle cohérente avec le fait que la réaction est une combustion ?

Le pouvoir calorifique est le transfert thermique libéré lors de la combustion complète d'un kilogramme de combustible sous une pression de 1 bar et à une température de 25°C .

4. Démontrer avec soin que le pouvoir calorifique de l'hexamine est : $\text{PC} = -\frac{\Delta_r H^\circ}{M_h}$. On précisera entre autres les conditions d'application des lois utilisées.
5. Calculer numériquement PC. La donnée fournisseur est-elle juste ?
6. Lorsque l'on monte en altitude, la pression diminue. On suppose que la réaction (5) reste un équi-

libre. Quel est l'effet de cette diminution de pression à température constante sur l'équilibre ? Le réchaud restera-t-il performant en altitude ?

On s'interroge maintenant sur l'affirmation lue sur le site du fournisseur : « Deux tablettes de 4g permettent de faire bouillir 0,25 L d'eau en 5 min ».

7. Quelle est la valeur numérique de l'énergie délivrée lors de la combustion des deux tablettes de combustible sous 1 bar et à 25 °C ? On utilisera le pouvoir calorifique fourni dans le document 2.
8. On considère le système thermodynamique fermé constitué par un volume $V = 0,25$ L d'eau liquide. On le chauffe de manière monobare (pression extérieure constante égale à 1 bar) depuis une température de $T_1 = 20$ °C jusqu'à une température $T_2 = 100$ °C (température d'ébullition sous 1 bar). Déterminer, en justifiant soigneusement, l'expression littérale du transfert thermique reçu par l'eau lors de ce chauffage. Faire l'application numérique.
9. En conséquence, quel est le rendement espéré par le fournisseur lorsqu'il affirme « deux tablettes de 4g permettent de faire bouillir 0,25 L d'eau en 5 min » ?

Une fois l'eau portée à ébullition, il faut encore apporter de l'énergie au système contenu dans la casserole pour maintenir l'ébullition.

10. Déterminer, en justifiant soigneusement, l'expression littérale du transfert thermique reçu par l'eau lors de la vaporisation monobare d'un volume $V' = 0,05$ L d'eau liquide déjà portée à 100 °C. Faire l'application numérique. Commenter.
11. Dans le set de cuisson, on dispose d'un couvercle. Quel est son rôle ? Nommer précisément un phénomène physique en partie évité grâce au couvercle.

1.1.2 Utilisation du réchaud en altitude

Tout randonneur chevronné sait que le temps de cuisson des aliments dans l'eau bouillante change avec l'altitude. Ceci est lié au fait que la pression atmosphérique diminue avec l'altitude. On cherche ici à retrouver la loi d'évolution de la pression avec l'altitude.

Le graphe de la fonction $f : x \mapsto \exp(-x)$ figure en fin d'énoncé.

On rappelle la loi fondamentale de la statique des fluides dans le champ de pesanteur uniforme, donnant les variations de la pression p avec l'altitude z (l'axe des z est vertical ascendant) :

$$\frac{dp}{dz} = -\mu_{\text{air}}g$$

où μ_{air} est la masse volumique de l'air et g la norme de l'accélération de la pesanteur supposée uniforme. L'air est assimilé à un gaz parfait diatomique de masse molaire M_{air} . L'atmosphère est supposée isotherme. On note T_0 la température et p_0 la pression à altitude nulle : $z = 0$. R est la constante des gaz parfaits.

12. Pourquoi considère-t-on l'air comme un gaz diatomique ?
13. Déterminer l'expression de la masse volumique de l'air en fonction de p , R , T_0 et M_{air} .
14. En déduire que p est solution de l'équation différentielle :

$$\frac{dp}{dz} + \frac{p}{D} = 0$$

où on exprimera D en fonction de g , R , T_0 et M_{air} .

15. Déterminer, en justifiant, l'unité de D à l'aide de l'équation différentielle, puis à l'aide de son expression. On l'exprimera à partir des unités de base du Système International.
16. Déterminer l'expression de p en fonction de z , de la pression p_0 et de D . Cela confirme-t-il que la pression diminue avec l'altitude ?
17. D est de l'ordre de 8 km. Que vaut la pression atmosphérique à 2 km d'altitude sachant que p_0 vaut 1 bar ?
18. On donne, figure 1.1, l'allure du diagramme d'équilibre pression-température du corps pur eau. Recopier ce diagramme et identifier les domaines. Préciser le nom du point d'intersection des trois courbes qui y apparaissent.

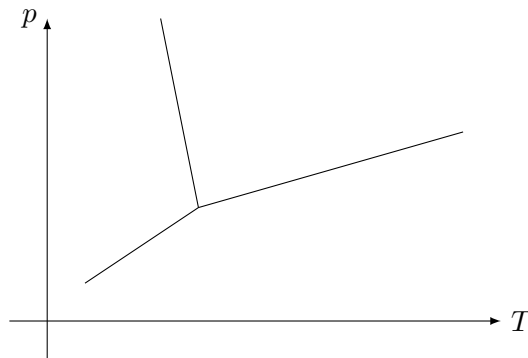


Fig. 1.1 – Diagramme pression-température du corps pur eau

19. On assimile l'ébullition à une vaporisation. Justifier à l'aide du diagramme de la figure 1.1 que la température d'ébullition diminue avec l'altitude.

On donne figure 1.2, la courbe d'évolution de la pression de vapeur saturante en bar (ou pression d'équilibre liquide-vapeur) de l'eau en fonction de θ , la température en degrés Celsius.

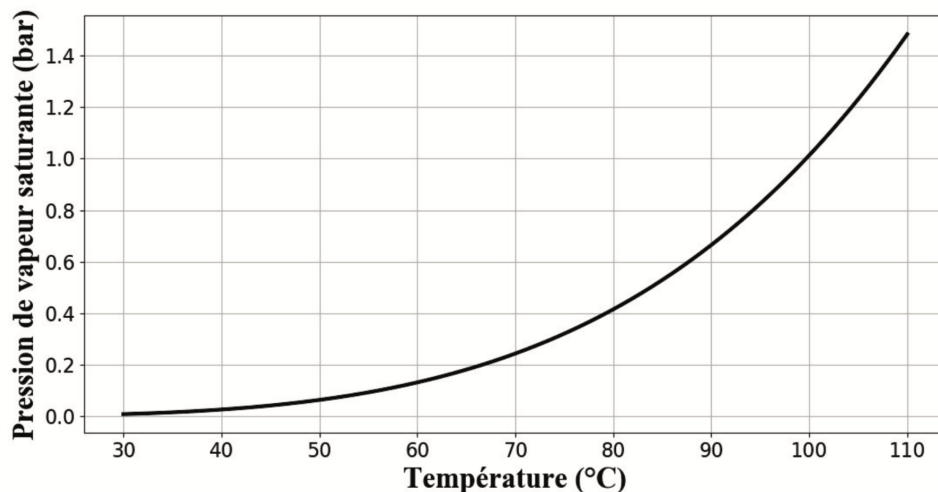


Fig. 1.2 – Graphe de $p_s(\theta)$

20. Déterminer la température d'ébullition de l'eau à 2 km d'altitude. La cuisson des aliments dans l'eau bouillante va-t-elle être plus longue ou plus courte en altitude ?