

CHM 103 Transformation de la matière

Examen final

Date : 16 avril 2024
Responsable : Pedro A. Segura

Local : D3-2033
Heure : 9h00-12h00

Consignes :

- Seulement les résumés des notes de cours, **écrits à la main**, sont permis.
- L'annexe se trouve aux pages 4 à 6.
- Répondez aux questions sur les feuilles de réponses.

1. (25 points) En 1750, Joseph Black a réalisé une expérience qui a finalement conduit à la découverte des enthalpies de fusion. Il a placé deux échantillons d'eau de 150 g à 0,00 °C (l'un en glace et l'autre liquide) dans une pièce maintenue à la température constante de 5,00 °C (Figure 1). Il a ensuite observé le temps mis par chaque échantillon pour parvenir à sa température finale. L'échantillon liquide a mis 30,0 min pour atteindre 5,00 °C. Mais la glace a mis 10,5 h pour atteindre 5,00 °C. Il en a conclu que la différence des temps nécessaires pour que les deux échantillons atteignent la même température représentait la différence des quantités de chaleur nécessaires pour augmenter la température des deux échantillons.

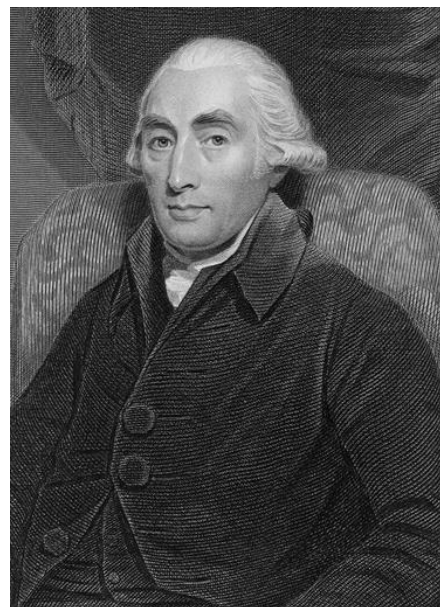


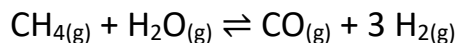
Figure 1. À gauche : Illustration générée par DALL-E 2 de l'expérience de Black. À droite : Portrait de Joseph Black.

Source du portrait: Black's Balance. Disponible sur: <https://www.chemistryworld.com/opinion/blacks-balance/4013872.article> (dernière visite 2024-03-08).

- (10 points) Dessinez les courbes de chauffage des deux échantillons utilisés par Black dans cette expérience.
- (10 points) Utilisez les données de Black pour calculer l'enthalpie de fusion de la glace en kilojoules par mole. La capacité calorifique de l'eau liquide est de $4.184 \text{ J } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ g}^{-1}$.
- (5 points) L'enthalpie de fusion du méthane (CH_4) est de 0.94 kJ mol^{-1} et celle du tétrachlorure de carbone (CHCl_4) est de 2.67 kJ mol^{-1} . Expliquez, du point de vue moléculaire, la différence de ΔH_{fus} de ces deux composés et celle de l'eau.

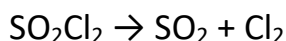
CHM 103 Transformation de la matière
Examen final

2. (40 points) Pour la réaction suivante:



- a. (5 points) Calculez la variation d'enthalpie standard de réaction à 298 K.
- b. (5 points) Calculez la variation de l'énergie de Gibbs standard de réaction à 298 K.
- c. (5 points) La réaction directe est-elle spontanée à 298 K dans les conditions standards? Expliquez.
- d. (5 points) Déterminez la variation d'entropie standard de réaction à 298 K.
- e. (10 points) Comment pouvez-vous expliquer la variation d'entropie calculée en 2e?
- f. (5 points) Déterminez la constante d'équilibre K de cette réaction.
- g. (5 points) Dans cette réaction qui est favorisée? Les produits ou les réactifs? Expliquez.

3. (25 points) La dissociation du chlorure de sulfuryle (SO_2Cl_2) est donnée par la réaction suivante:



Cette réaction est une réaction d'ordre 1. À 600 K, sa constante de vitesse vaut $1,32 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$.

- a. (5 points) Écrivez la loi de vitesse de cette réaction de décomposition en fonction de la concentration de SO_2Cl_2 .
- b. (5 points) Comment pouvez-vous déterminer expérimentalement que cette réaction est d'ordre 1? Proposez une approche et décrivez brièvement les étapes.
- c. (5 points) Quel est le temps de demi-vie de cette réaction à 600 K ?
- d. (5 points) La réaction de décomposition du SO_2Cl_2 est exothermique. Dessinez le profil de cette réaction.
- e. (5 points) Quel serait l'effet d'un catalyseur sur l'énergie d'activation de cette réaction? Expliquez votre réponse.

4. (10 points) Les scientifiques conçoivent souvent des expériences de pensée, c.-à-d. des expériences complètement imaginées permettant d'améliorer notre compréhension des phénomènes naturels ou de trouver aussi des contradictions ou de paradoxes dans leurs théories. Une des expériences de pensée les plus connues en thermodynamique est celle du *démon de Maxwell*, conçue par le scientifique écossais James Clerk Maxwell (1831-1879) en lien avec la deuxième loi de la thermodynamique.

D'après l'Encyclopédie Wikipédia, le protagoniste de cette expérience de pensée est un être ayant la capacité de suivre le mouvement des molécules dans un contenant complètement isolé rempli d'un gaz. Ce démon est capable de contrôler une porte entre les deux chambres du contenant sans aucune dépense d'énergie (Figure 2). Initialement les molécules de gaz se trouvent dans un équilibre thermique (Figure 2, gauche). À mesure que les molécules individuelles

CHM 103 Transformation de la matière
Examen final

de gaz s'approchent de la porte, le démon ouvre et ferme rapidement celle-ci pour permettre uniquement aux molécules ayant des vitesses élevées de passer dans une direction (chambre B), et uniquement aux molécules se déplaçant à des vitesses faibles dans la chambre A. Parce que la température cinétique d'un gaz dépend de la vitesse des molécules qui le constituent, les actions du démon provoquent le réchauffement de la chambre B et le refroidissement de la chambre A (Figure 2, droite).

- a. (5 points) Le phénomène décrit dans cette expérience de pensée serait-il spontané sans la présence du démon? Expliquez votre réponse.
- b. (5 points) Quel est le lien entre cette expérience de pensée et la 2^e loi de la thermodynamique? Expliquez votre raisonnement.

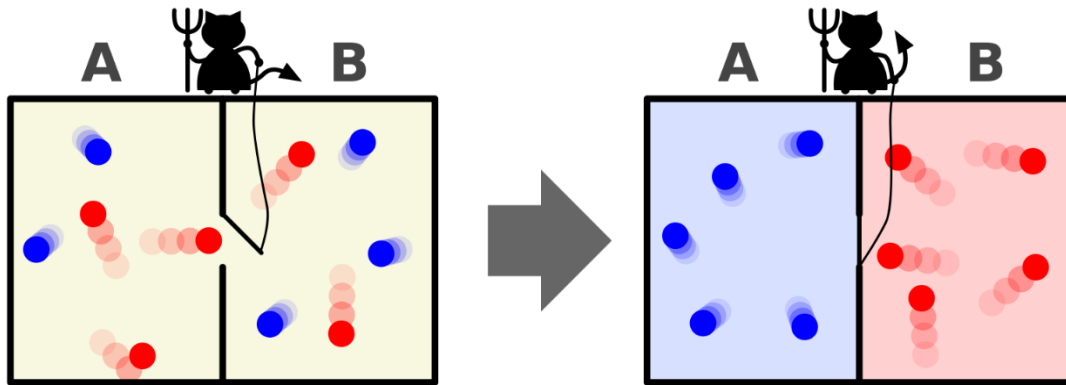


Figure 2. Diagramme illustrant l'expérience de pensée du démon de Maxwell. Selon la théorie cinétique des gaz, les molécules dans la figure de gauche ne se déplacent pas toutes à la même vitesse, leurs vitesses vont avoir une certaine gamme des valeurs (distribution de Maxwell) qui va dépendre de la pression et de la température. Dans la figure de droite, les molécules lentes se trouvent toutes dans la chambre A, tandis que les molécules rapides se trouvent dans la chambre B.

Source: Wikimedia Commons. Schematic figure of Maxwell's demon thought experiment. Disponible sur:
https://en.wikipedia.org/wiki/Maxwell%27s_demon#/media/File:Maxwell's_demon.svg (dernière visite 2024-03-011).

CHM 103 Transformation de la matière

Examen final

Annexe

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H Hydrogène 1,008																	He Hélium 4,0026
2	Li Lithium 6,94	Be Béryllium 9,0122																Ne Neon 20,180
3	Na Sodium 22,990	Mg Magnésium 24,305																Ar Argon 39,948
4	K Potassium 39,098	Ca Calcium 40,078	Sc Scandium 44,956	Ti Titane 47,867	V Vanadium 50,942	Cr Chrome 51,996	Mn Manganèse 54,938	Fe Fer 55,845	Co Cobalt 58,933	Ni Nickel 58,693	Cu Cuivre 63,546	Zn Zinc 65,38	Ga Gallium 69,723	Ge Germanium 72,630	As Arsenic 74,922	Se Sélénium 78,971	Br Brome 79,904	Kr Krypton 83,798
5	Rb Rubidium 85,468	Sr Strontium 87,62	Y Yttrium 88,906	Zr Zirconium 91,224	Nb Niobium 92,906	Mo Molybdène 95,95	Tc Technétium (98)	Ru Ruthénium 101,07	Rh Rhodium 102,91	Pd Palladium 106,42	Ag Argent 107,87	Cd Cadmium 112,41	In Indium 114,82	Sn Étain 118,71	Sb Antimoine 121,76	Te Tellure 127,60	I Iode 126,90	Xe Xénon 131,29
6	Cs Césium 132,91	Ba Baryum 137,33	57-71	Hf Hafnium 178,49	Ta Tantale 180,95	W Tungstène 183,84	Re Rhenium 186,21	Os Osmium 190,23	Ir Iridium 192,22	Pt Platine 195,08	Au Or 196,97	Hg Mercure 200,59	Tl Thallium 204,38	Pb Plomb 207,2	Bi Bismuth 208,98	Po Polonium (209)	At Astate (210)	Rn Radon (222)
7	Fr Francium (223)	Ra Radium (226)	89-103	Rf Rutherfordium (261)	Db Dubnium (268)	Sg Seaborgium (269)	Bh Bohrium (270)	Hs Hassium (277)	Mt Meitnerium (278)	Ds Darmstadtium (281)	Rg Roentgenium (282)	Cn Copernicium (285)	Nh Nihonium (286)	Fl Flerovium (289)	Mc Moscovium (290)	Lv Livermorium (293)	Ts Tennessine (294)	Og Oganesson (294)

Les masses atomiques entre parenthèses sont celles de l'isotope le plus stable ou le plus commun.

Tableau Périodique Copyright du design et interface © 1997 Michael Dayah Ptable.com Dernière mise à jour 16 juin 2017

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La Lanthane 138,91	Ce Cérium 140,12	Pr Praséodyme 140,91	Nd Néodyme 144,24	Pm Prométhium (145)	Sm Samarium 150,36	Eu Europium 151,96	Gd Gadolinium 157,25	Tb Terbium 158,93	Dy Dysprosium 162,50	Ho Holmium 164,93	Er Erbium 167,26	Tm Thulium 168,93	Yb Ytterbium 173,05	Lu Lutécium 174,97
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac Actinium (227)	Th Thorium 232,04	Pa Protactinium 231,04	U Uranium 238,03	Np Neptunium (237)	Pu Plutonium (244)	Am Américium (243)	Cm Curium (247)	Bk Berkélium (247)	Cf Californium (251)	Es Einsteinium (252)	Fm Fermium (257)	Md Mendélévium (258)	No Nobélium (259)	Lr Lawrencium (266)

CHM 103 Transformation de la matière
Examen final

RELATIONS ENTRE LES UNITÉS*

Propriété	Unité courante	Unité SI
Masse	2,205 lb (lb = livre)	1,000 kg
	1,000 lb	453,6 g
	1,000 oz (oz = once)	28,35 g
	1,000 ton (= 2000 lb)	907,2 kg
	1 t (t = tonne)	10 ³ kg
Longueur	1,094 yd (yd = yard)	1,000 m
	0,3937 in, (in, = inch)	1,000 cm
	0,6214 mi (mi = mile)	1,000 km
	1 in,	2,54 cm
	1 ft (ft = pied)	30,48 cm
	1,000 yd	0,9144 m
	1 Å (Å = ångström)	10 ⁻¹⁰ m
Volume	1 L (L = litre)	10 ³ cm ³ , 1 dm ³
	1,000 gal (gal = gallon) [†]	3,785 dm ³ (3,785 L)
	1,00 ft ³ (ft ³ = pied cube)	2,83 × 10 ⁻² m ³ (28,3 L)
	1,00 qt (qt = quart) [†]	9,46 × 10 ⁻² m ³ (0,946 L)
Temps	1 min (min = minute)	60 s
	1 h (h = heure)	3600 s
	1 jour	86 400 s
Pression	1 atm (atm = atmosphère)	1,013 25 × 10 ⁵ Pa
	1,000 Torr, soit 1,000 mmHg	133,3 Pa
	1,000 psi (psi = livre par pouce carré)	6,895 kPa
	1 bar	10 ⁵ Pa
Énergie	1 cal	4,184 J
	1 eV	1,60218 × 10 ⁻¹⁹ J; 96,485 kJ·mol ⁻¹
	1 C·V	1 J
	1 kWh (kWh = kilowatt-heure)	3,600 × 10 ³ kJ
	1 L·atm	101,325 J
Conversions de température	(Température Fahrenheit)/°F = $\frac{9}{5} \times$ (Température Celsius)/°C + 32	
	(Température Celsius)/°C = $\frac{5}{9} \times \{$ (Température Fahrenheit)/°F – 32}	
	(Température Kelvin)/K = (Température Celsius)/°C + 273,15	

* Les valeurs en caractères gras sont exactes.

[†] Le quart et le gallon européens et canadiens sont 1,201 fois plus grands.

TABLEAU 3B.1 La constante des gaz, R^*

8,205 74 × 10⁻² L·atm·K⁻¹·mol⁻¹
 8,314 46 × 10⁻² L·bar·K⁻¹·mol⁻¹
 8,314 46 L·kPa·K⁻¹·mol⁻¹
 8,314 46 J·K⁻¹·mol⁻¹
 62,364 L·Torr·K⁻¹·mol⁻¹

* La constante des gaz est reliée à la constante de Boltzmann, k , par $R = N_A k$, où N_A est la constante d'Avogadro.

CHM 103 Transformation de la matière
Examen final

Enthalpies standard de formation et enthalpies libres (énergie de Gibbs) standard de formation à 298 K.

	$M/(\text{g mol}^{-1})$	$\Delta_f H^\circ/(\text{kJ mol}^{-1})$	$\Delta_f G^\circ/(\text{kJ mol}^{-1})$
C(s) (graphite)	12.011	0	0
C(s) (diamond)	12.011	+1.895	+2.900
CO ₂ (g)	44.040	-393.51	-394.36
Hydrocarbons			
CH ₄ (g), methane	16.04	-74.81	-50.72
CH ₃ (g), methyl	15.04	+145.69	+147.92
C ₂ H ₂ (g), ethyne	26.04	+226.73	+209.20
C ₂ H ₄ (g), ethene	28.05	+52.26	+68.15
C ₂ H ₆ (g), ethane	30.07	-84.68	-32.82
C ₃ H ₆ (g), propene	42.08	+20.42	+62.78
C ₃ H ₆ (g), cyclopropane	42.08	+53.30	+104.45
C ₃ H ₈ (g), propane	44.10	-103.85	-23.49
C ₄ H ₈ (g), 1-butene	56.11	-0.13	+71.39
C ₄ H ₈ (g), <i>cis</i> -2-butene	56.11	-6.99	+65.95
C ₄ H ₈ (g), <i>trans</i> -2-butene	56.11	-11.17	+63.06
C ₄ H ₁₀ (g), butane	58.13	-126.15	-17.03
C(g)	12.011	+716.68	+671.26
C ₂ (g)	24.022	+831.90	+775.89
CO(g)	28.011	-110.53	-137.17
H ₂ (g)	2.016	0	0
H(g)	1.008	+217.97	+203.25
H ⁺ (aq)	1.008	0	0
H ⁺ (g)	1.008	+1536.20	
H ₂ O(s)	18.015		
H ₂ O(l)	18.015	-285.83	-237.13
H ₂ O(g)	18.015	-241.82	-228.57