

Thème 17 – L'équilibre (4 heures)

17.1 L'équilibre liquide-vapeur



	Énoncé d'évaluation	Obj. Spéc.	Notes pour les enseignants
17.1.1	Décrire l'équilibre qui s'établit entre un liquide et sa propre vapeur et de quelle manière il est influencé par les variations de température.	2	
1.1.2	Esquisser les graphiques illustrant la relation entre la pression de vapeur et la température et expliquer cette relation sur la base de la théorie cinétique.	3	
17.1.3	Exprimer et expliquer la relation entre l'enthalpie de vaporisation, la température d'ébullition et les forces intermoléculaires.	3	

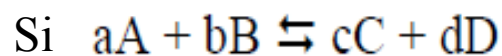
Caractéristique d'équilibre

C'est un équilibre dynamique dans un système fermé.

Les concentrations restent constantes.

Les autres propriétés macroscopiques aussi.

La vitesse de la réaction directe est égale à vitesse de la réaction inverse.



l'expression de la constante est
$$K_c = \frac{[C]_{eq}^c [D]_{eq}^d}{[A]_{eq}^a [B]_{eq}^b}$$

Si $K_c > 1$, [produits] > [réactifs] à l'équilibre

Si $K_c \gg 1$ la réaction est pratiquement complète

Si $K_c < 1$, [réactifs] > [produits] à l'équilibre

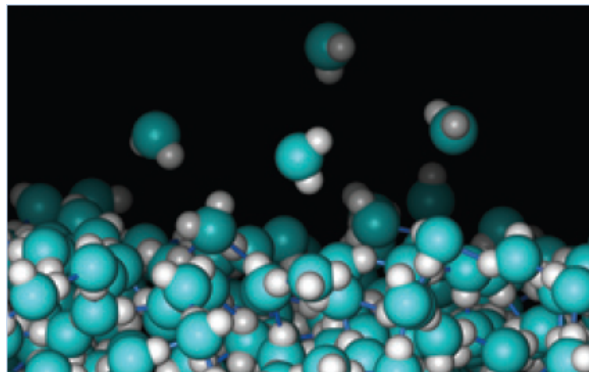
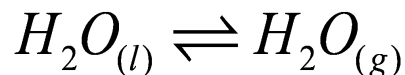
Si $K_c \ll 1$ la réaction ne se passe pratiquement pas

17.1 L'équilibre liquide-vapeur

<http://www.mhhe.com/physsci/chemistry/essentialchemistry/flash/vaporv3.swf>

La pression de vapeur est la pression exercée par une vapeur sur son propre liquide à l'équilibre liquide-vapeur.

L'équilibre liquide-vapeur (équilibre de phase) est l'équilibre dynamique entre le liquide et sa vapeur et est établi lorsque la vitesse de condensation est égale à la vitesse d'évaporation.



Facteurs influençant(ou pas) la pression de vapeur

Ceux qui n'influencent **pas** :

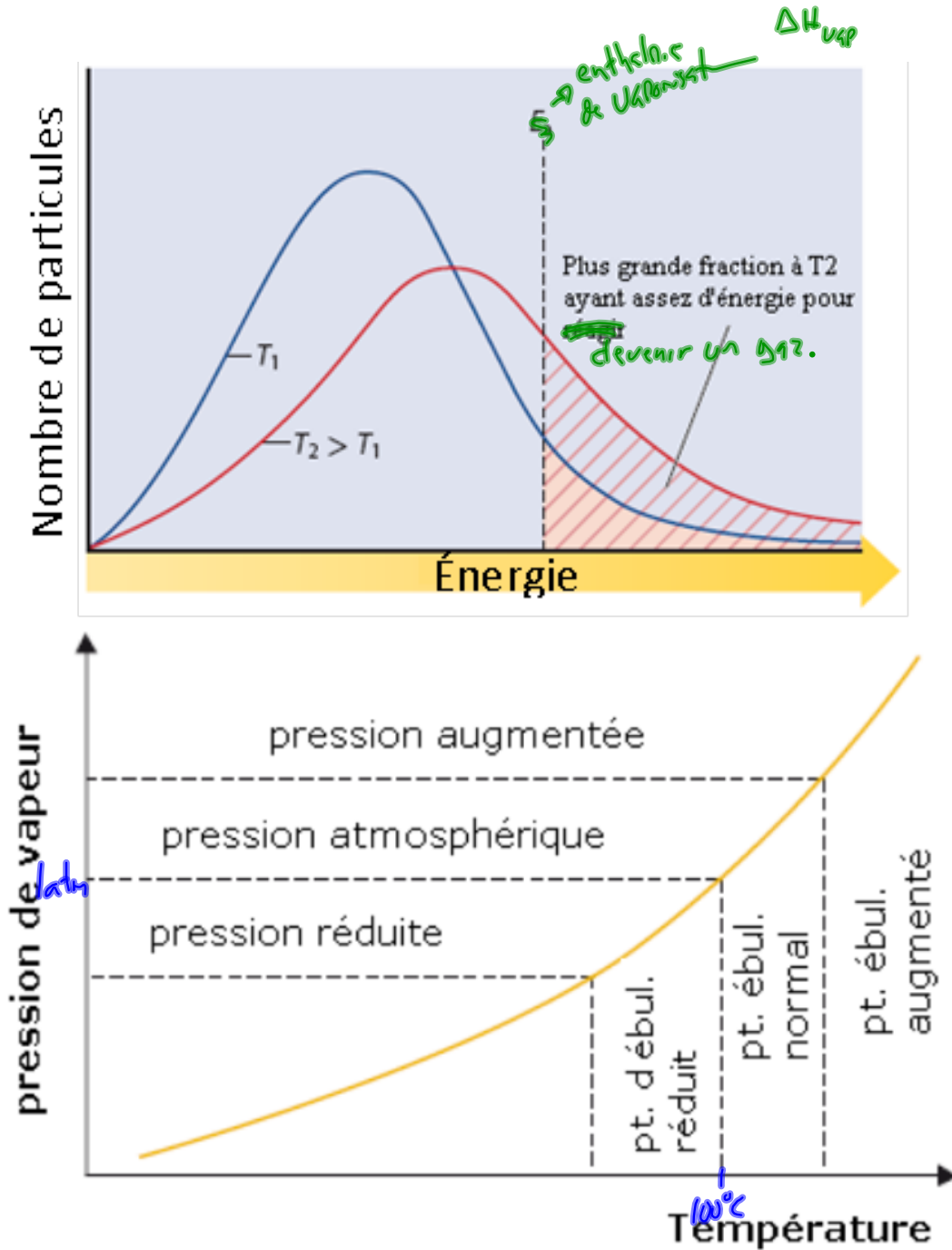
- l'aire de la surface du liquide
- le volume du liquide

Ceux qui influencent :

- la température
- la nature du liquide

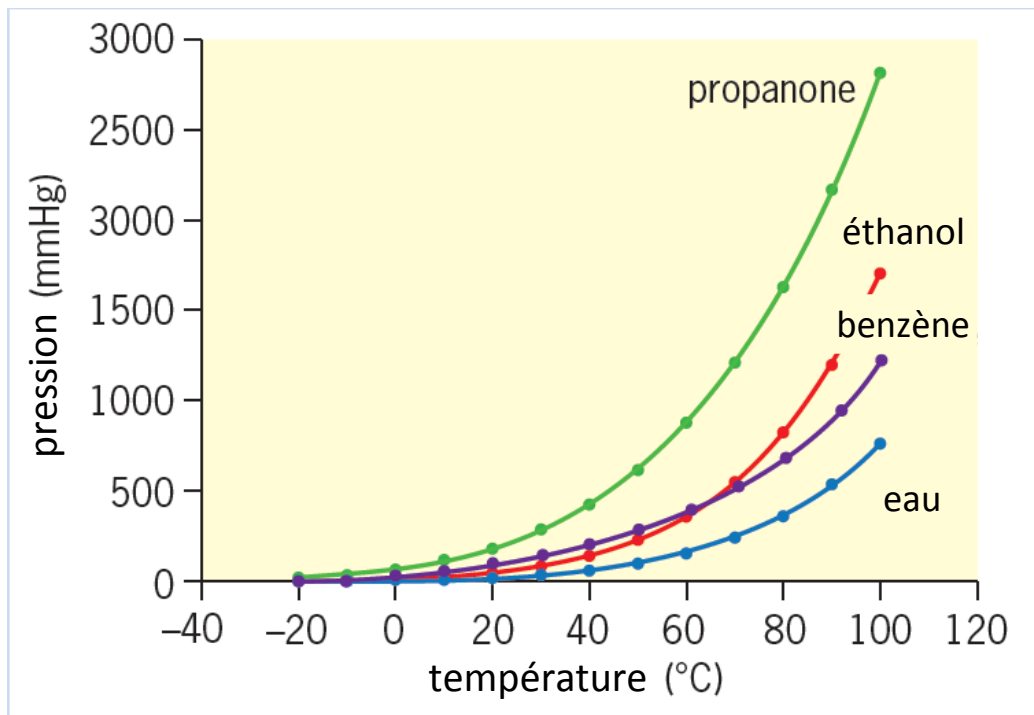
1° température

plus la $T^\circ \nearrow$, pression de vapeur \nearrow



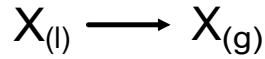
2° la nature du liquide

- + les forces intermoléculaires sont fortes,
- + basse est la pression de vapeur à la même température.



Le point d'ébullition d'un liquide est la température à laquelle la pression de vapeur du liquide est égale à la pression extérieure. Le point d'ébullition normal est la température à laquelle le liquide peut bouillir lorsque la pression extérieure est à 1 atm ou 101,3 Pa.

Enthalpie de vaporisation (ΔH_{vap}) :
 énergie nécessaire pour transformer une mole d'une
 substance à l'état liquide en une mole de gaz



Point d'ébullition et enthalpie de
 vaporisation de quelques liquides

substance	Enthalpie de vaporisation ΔH_{vap} (kJ mol ⁻¹)	point d'ébullition (°C)
mercure	59,0	357
eau	40,8	100
benzène	31,0	80,1
éthanol	39,3	78,3
propanone	31,0	56,0

+ haute est ΔH_{vap} , + haut est le pt d'ébull.

Sommaire

Plus fortes sont les forces intermoléculaires,
 plus basse est la pression de vapeur,

plus élevée est ΔH_{vap} ,

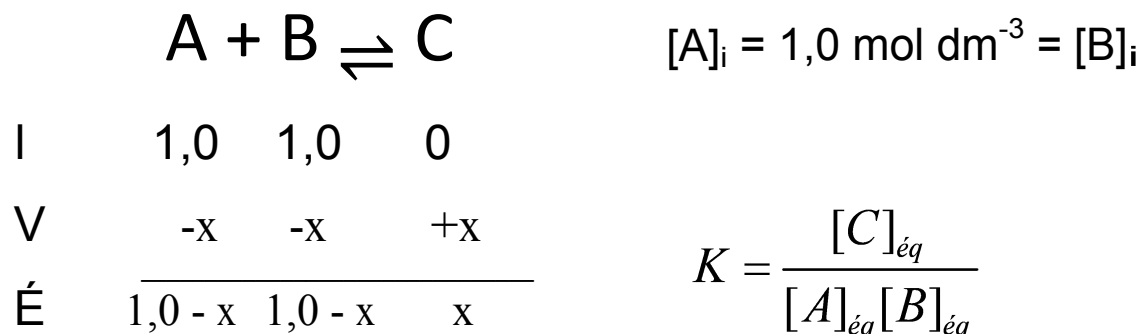
plus élevé est le pt d'ébull.

17.2 La loi de l'équilibre

	Énoncé d'évaluation	Obj. Spéc.	Notes pour les enseignants
17.2.1	Résoudre des problèmes d'équilibre homogène en utilisant l'expression de K_c .	3	L'utilisation d'équations quadratiques ne sera pas évaluée.

Soit la réaction réversible suivante : $wA + xB \rightleftharpoons yC + zD$;
à l'équilibre, on peut écrire les concentrations de chaque substance
comme suit : $[A]_{eq}$; $[B]_{eq}$; $[C]_{eq}$; $[D]_{eq}$
et on peut exprimer la constante d'équilibre,

$$K_c = \frac{[C]^{y_{eq}} \times [D]^{z_{eq}}}{[A]^{w_{eq}} \times [B]^{x_{eq}}}$$



$$1,2 \times 10^{-5} = \frac{x}{(1-x)^2}$$

$$1,2 \times 10^{-5} (x^2 - 2x + 1) = x \longleftarrow 1,2 \times 10^{-5} = \frac{x}{x^2 - 2x + 1}$$

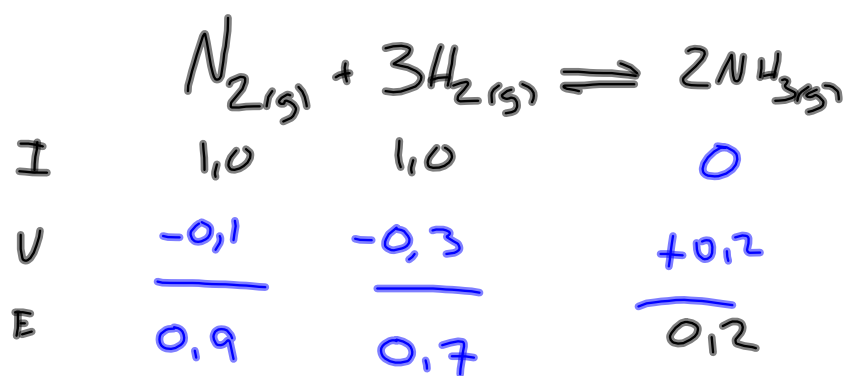
↓

$$1,2 \times 10^{-5} x^2 - 2,4 \times 10^{-5} x + 1,2 \times 10^{-5} = x$$

$$1,2 \times 10^{-5} x^2 - 1,000024x + 1,2 \times 10^{-5} = 0$$

Formule quadratique : $x = 1,2 \times 10^{-5}$

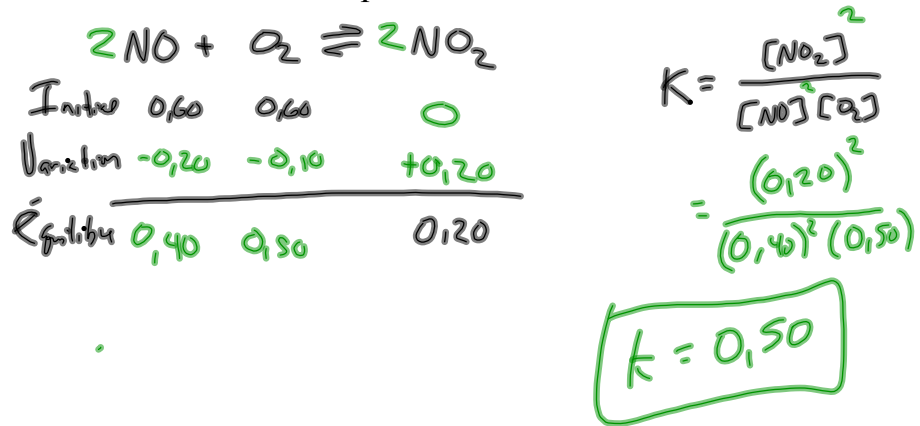
$$[A]_{\text{éq}} = 1,0 \text{ mol dm}^{-3} = [B]_{\text{éq}} ; [C]_{\text{éq}} = 1,2 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$$



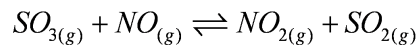
$$K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} = \frac{0,2^2}{0,9 \cdot 0,7^3} = \boxed{0,13}$$

Ex.1 L'oxydation (réaction avec O_2) de NO formant NO_2 se produit lors de la création de smog. Si on fait réagir 0,60 mol de NO avec 0,60 mol de O_2 dans un contenant de 1 dm^3 à 500°C on retrouve à l'équilibre 0,20 mol de NO_2 .

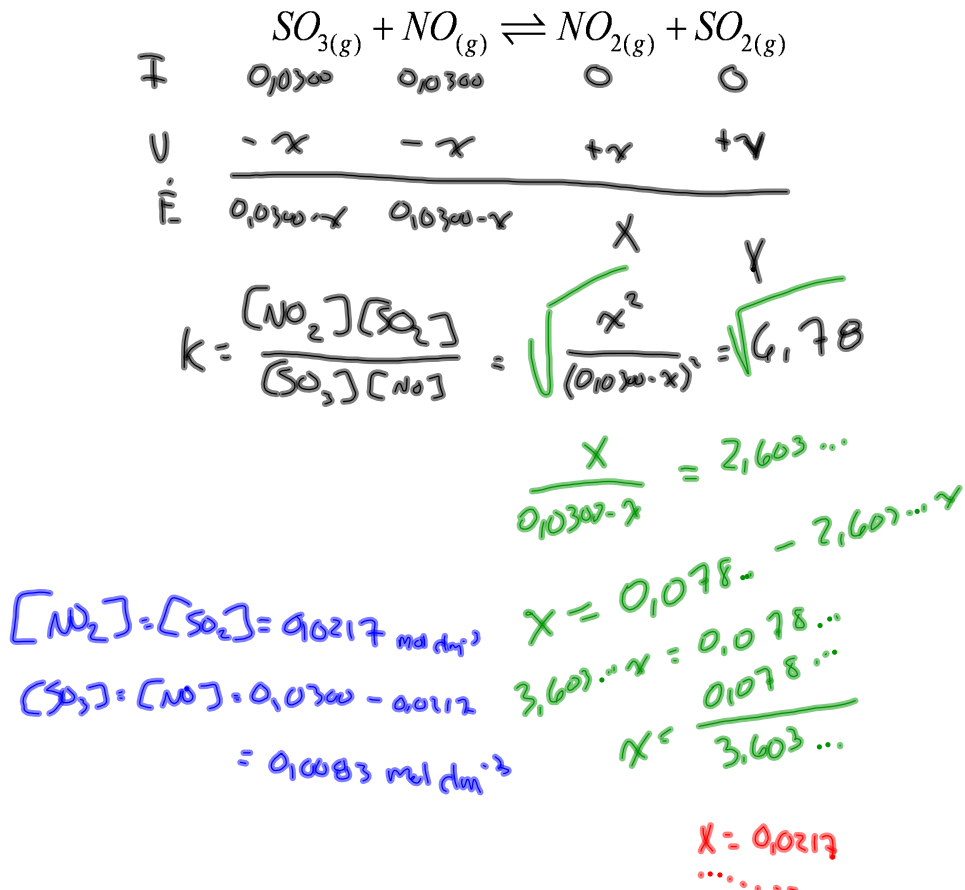
Calcule la constante d'équilibre.



Ex.2 La constante d'équilibre de la réaction suivante est de 6,78.

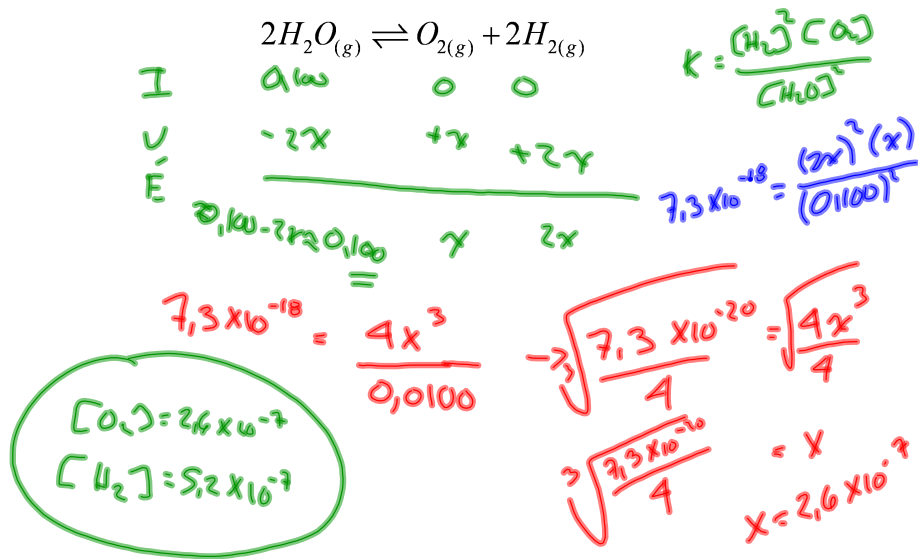


Calcule la concentration de chaque substance à l'équilibre si chacun des réactifs avait une concentration initiale de $0,0300 \text{ mol dm}^{-3}$.



Ex.3 La décomposition thermique de l'eau à 1000°C a une faible valeur de K_c : $7,3 \times 10^{-18}$

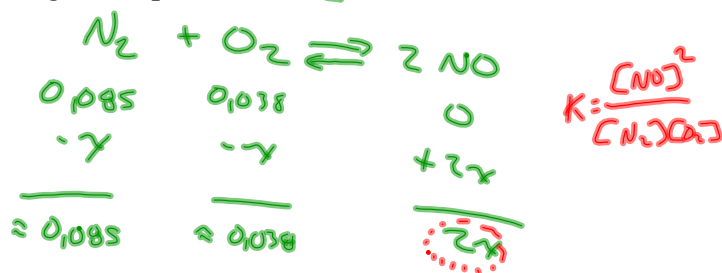
Calcule la concentration de chaque substance à l'équilibre si la concentration initiale de $H_2O_{(g)}$ était de $0,100 \text{ mol dm}^{-3}$.



Calculs avec une faible K_c ($< 10^{-3}$)

- Lorsque K_c est faible, on peut ignorer la diminution de concentration des réactifs car elle serait non significative
- L'augmentation des produits elle reste significative
- Ceci nous permet d'éviter d'avoir à utiliser la formule quadratique pour résoudre ces problèmes

Ex.3 On place 0,085 mol de $N_{2(g)}$ et 0,038 mol de $O_{2(g)}$ dans un cylindre de $1,0 \text{ dm}^3$. À la température des gaz d'échappement d'un moteur, K_c est de $4,2 \times 10^{-8}$. Quelle est la concentration de $NO_{(g)}$ dans le mélange à l'équilibre.



$$K_c = \frac{(2x)^2}{0,085 \cdot 0,038} = 4,2 \times 10^{-8}$$

$$\sqrt{\frac{4x^2}{4}} = \sqrt{\frac{1,356 \cdot 10^{-10}}{4}}$$

$x = 5,8 \times 10^{-6}$

$[NO] = 1,2 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$

Concentration (mol/L)	$N_{2(g)}$ +	$O_{2(g)}$ \rightleftharpoons	$2NO_{(g)}$
Initiale	0,085	0,038	0
Variation	-x	-x	+2x
Équilibre	$0,085-x \approx 0,085$	$0,038-x \approx 0,038$	2x

$$K_c = \frac{[NO]^2}{[N_2][O_2]}$$

$$4,2 \times 10^{-8} = \frac{(2x)^2}{0,085 \times 0,038}$$

$$= \frac{4x^2}{0,00323}$$

$$x = 5,8 \times 10^{-6}$$

$$[NO] = 1,2 \times 10^{-5}$$

Manipulation de K_c selon les différents équations d'une réaction

K_c étant défini avec les produits au numérateur et les réactifs au dénominateur, chacun d'eux élevé à la puissance équivalent à leur coefficient stoechiométrique, on peut «manipuler» la valeur de K_c en fonction des changements apportés à la réaction.

Voici un résumé des effets sur K_c .

	Effet sur l'expression de l'équilibre	effet sur K_c
inverser la réaction	inverse l'expression	$1 / K_c$ ou K_c^{-1}
doubler les coefficients	élève l'expression au carré	K_c^2
couper de moitié les coefficients	provoque la racine carrée de l'expression	$\sqrt{K_c}$
additionner 2 réactions	multiplie les 2 expressions	$K_c \cdot K_c'$

Ex.: Si la réaction suivante : $2\text{HI}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$, $K_c = 0,04$,
quelle serait la valeur de K_c de la réaction : $\frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{HI}(\text{g})$
dans les mêmes conditions?

$$\sqrt{\frac{1}{0,04}} = 5$$

$$\sqrt{\frac{100}{4}} = \frac{\sqrt{100}}{\sqrt{4}} = \frac{10}{2}$$

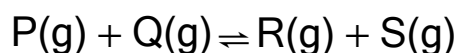
$$\downarrow \sqrt{25} \rightarrow \textcircled{5}$$

Questions d'anciens examen du BI

1. Quelle combinaison est correcte?

	ΔH_{vap}	point d'ébullition	forces intermoléculaires
A	haute	haut	fortes
B	haute	bas	faibles
C	basse	bas	fortes
D	basse	haut	faibles

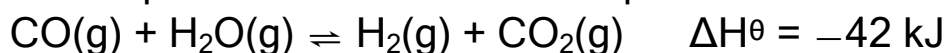
2. Un récipient scellé contient 6,0 mol de P et 6,0 mol de Q. À l'équilibre, 4,0 mol de R sont présentes. Quelle est la valeur de K_c pour la réaction suivante?



$$K_c = \frac{[R][S]}{[P][Q]} = \frac{4 \cdot 4}{2 \cdot 2}$$

- A. 0,11 B. 0,25 C. 0,44 D. 4,00

3. Voici l'équation d'une réaction à l'équilibre :



a) Sous certaines conditions de température et de pression, 2,0 mol de $CO(g)$ et 3,2 mol de $H_2O(g)$ ont été placés dans un récipient scellé. Rendu à l'équilibre, le mélange réactionnel contient 1,6 mol chacun de $H_2(g)$ et de $CO_2(g)$. Calcule la quantité de $CO(g)$ et de $H_2O(g)$ présente à l'équilibre et calcule la valeur de K_c . [3]

b) Sous les mêmes conditions de température et de pression, 2,0 mol de $CO(g)$ et 2,0 mol de $H_2O(g)$ ont été placés dans un récipient scellé. Calcule la quantité de chaque réactif et chaque produit présente à l'équilibre. [2]

1. A

2. D

3a)	CO(g) + H ₂ O(g) ⇌ H ₂ (g) + CO ₂ (g)			
n_i (mol) (l)	2,0	3,2	0,0	0,0
Variation (V)	-1,6	-1,6	+1,6	+1,6
$N_{\text{éq}}$ (mol) (É)	0,4	1,6	1,6	1,6
$[\]_{\text{éq}}$ mol dm ⁻³	0,4	1,6	1,6	1,6

Donc $n(\text{CO})_{\text{éq}} = 0,4$ mol et $n(\text{H}_2\text{O})_{\text{éq}} = 1,6$ mol.

$$K_c = \frac{[\text{H}_2][\text{CO}_2]}{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]} = \frac{(1,6)^2}{0,4 \times 1,6} = 4,0$$

3b)	CO(g) + H ₂ O(g) ⇌ H ₂ (g) + CO ₂ (g)			
n_i (mol) (l)	2,0	2,0	0,0	0,0
Variation (V)	-x	-x	+x	+x
$N_{\text{éq}}$ (mol) (É)	2,0 - x	2,0 - x	x	x

Supposons volume = 1 dm³

$$K_c = \frac{[\text{H}_2][\text{CO}_2]}{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]} = \frac{(x)^2}{(2,0 - x)^2} = 4,0$$

$$\sqrt{\frac{(x)^2}{(2,0 - x)^2}} = \sqrt{4,0}$$

$$x = 4,0 - 2x$$

$$3x = 4,0$$

$$\frac{x}{2,0 - x} = 2,0$$

$$x = \frac{4}{3}$$

$n(\text{H}_2)$ et $n(\text{CO}_2) = 1,3$ mol

$n(\text{CO})$ et $n(\text{H}_2\text{O}) = 0,67$ mol

$$2,0 - 1,3 = 0,7 \text{ mol}$$