

# Optimisation d'un procédé chimique

Agrégation 2020

# Procédé Haber-Bosh pour la synthèse de l'ammoniac

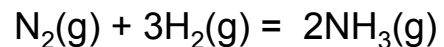


Fritz HABER (1868 – 1934)  
PRIX NOBEL DE  
CHIMIE 1918 pour la  
synthèse de l'ammoniac



Carl BOSCH (1874 – 1940)  
PRIX NOBEL DE  
CHIMIE 1931 pour les  
procédés chimiques  
haute pression

Equation de la synthèse :

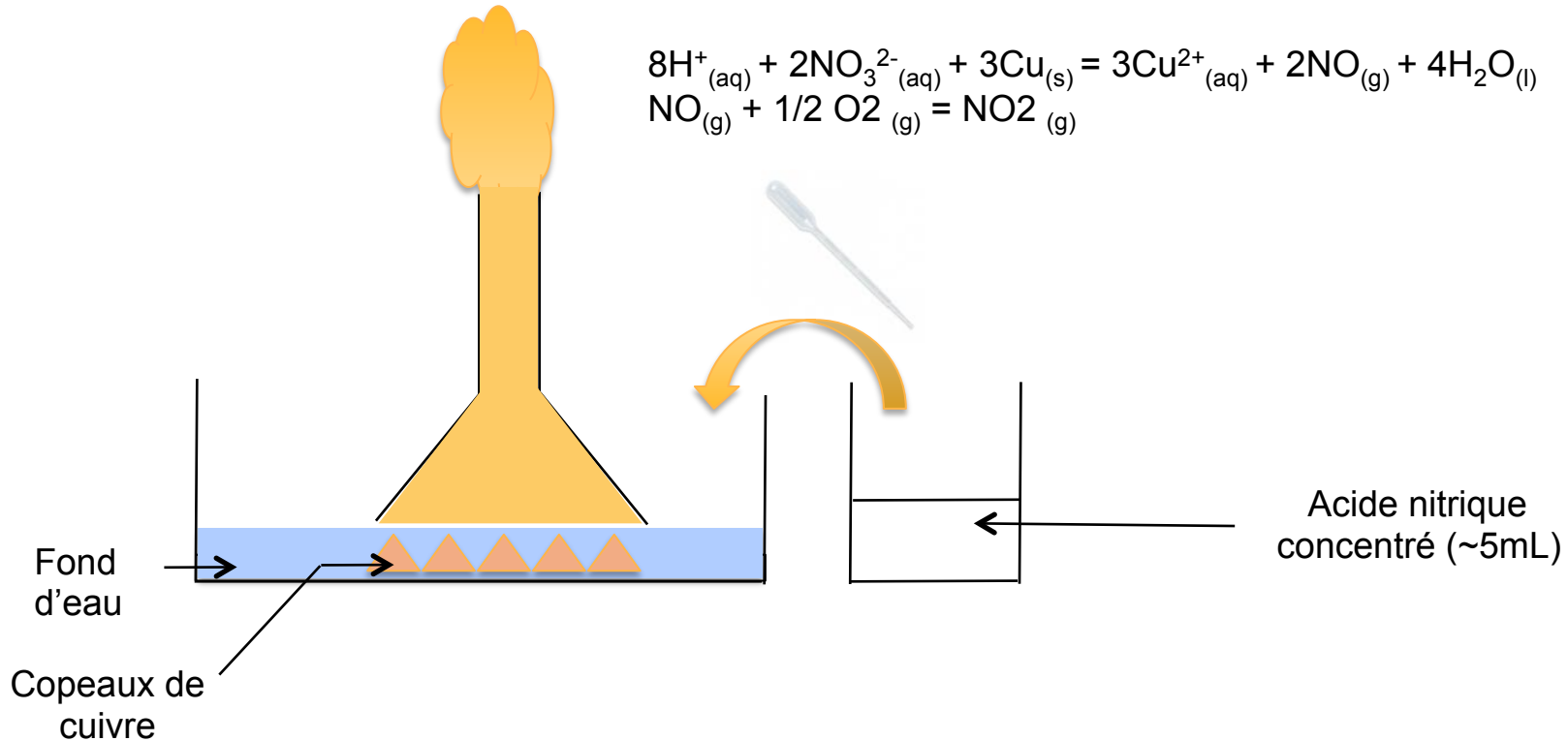
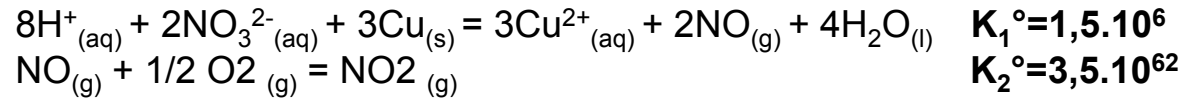


Conditions de la synthèse :

Température	350 – 500 °C
Pression	8 – 30 MPa
Catalyseur	Fer

# Synthèse du dioxyde d'azote

## Equation de réaction:



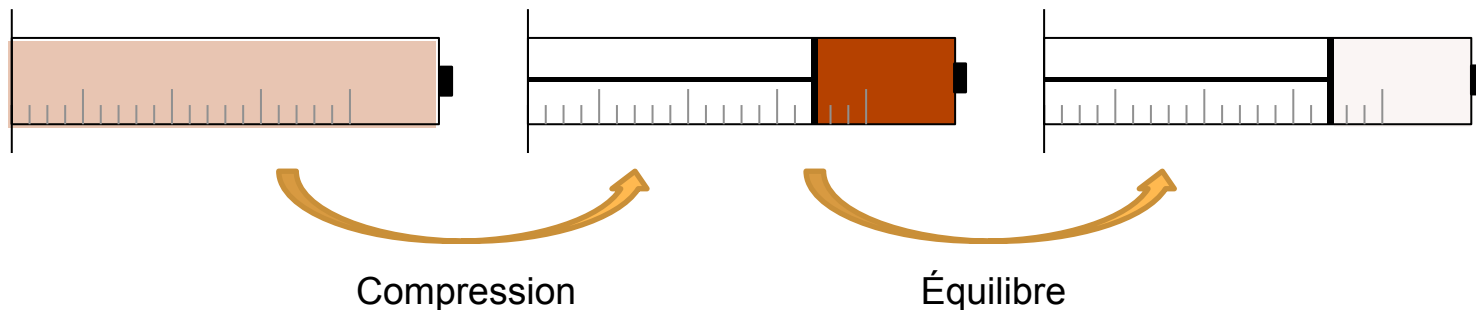
## Description de l'équilibre $2 \text{NO}_2 (\text{g}) = \text{N}_2\text{O}_4 (\text{g})$

- $Q_r = \frac{x^g_{\text{N}_2\text{O}_4} \cdot p^\circ}{(x^g_{\text{NO}_2})^2 \cdot P}$  où  $x^g_{\text{N}_2\text{O}_4} = \frac{p_{\text{N}_2\text{O}_4}}{P}$
- $K^\circ(25^\circ\text{C}) = 0,31$

# Influence de la pression sur l'équilibre $2 \text{NO}_2 (\text{g}) = \text{N}_2\text{O}_4 (\text{g})$

$$Q_{r,\text{éq}} = K^\circ = \left( \frac{x_{\text{N}_2\text{O}_4}^{(\text{g})} p^\circ}{(x_{\text{NO}_2}^{(\text{g})})^2 P} \right)_{\text{éq}}$$

$$Q_r = \frac{x_{\text{N}_2\text{O}_4}^{(\text{g})} p^\circ}{(x_{\text{NO}_2}^{(\text{g})})^2 P'} < K^\circ$$



## Cas de la synthèse de l'ammoniac

- $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} = 2NH_{3(g)}$
- $$Q_r = \frac{p_{NH_3}^2 \times p^{\circ 2}}{p_{N_2} \times p_{H_2}^3} = \left( \frac{x_{NH_3}^2}{x_{N_2} \times x_{H_2}^3} \right) \times \frac{P^{\circ 2}}{P_{tot}^2}$$
- Pression du procédé Haber-Bosch :  $P = 8 - 30 \text{ MPa}$

# Optimisation de la quantité de matière initiale

	$\text{N}_2(\text{g})$	+	$3 \text{H}_2(\text{g})$	$\rightarrow$	$2\text{NH}_3(\text{g})$
Initialement	$n_0(\text{N}_2)$		$n_0(\text{H}_2)$		
A l'équilibre	$n(\text{N}_2) = n_0(\text{N}_2) - \xi$		$n_0(\text{H}_2) - 3\xi$		$2\xi$

$$\diamond dx_{\text{NH}_3} = 0$$

différentielle

$$\diamond K^\circ = \frac{(x_{\text{NH}_3})^2 P^{\circ 2}}{x_{\text{N}_2} (x_{\text{H}_2})^3 P_{\text{tot}}^2} \xrightarrow{\ln} \ln(K^\circ) = 2\ln(x_{\text{NH}_3}) - \ln(x_{\text{N}_2}) - 3\ln(x_{\text{H}_2}) \xrightarrow{\text{différentielle}} 0 = \frac{dx_{\text{N}_2}}{x_{\text{N}_2}} + 3 \frac{dx_{\text{H}_2}}{x_{\text{H}_2}}$$

$$\diamond dx_{\text{NH}_3} + dx_{\text{N}_2} + dx_{\text{H}_2} = 1 \xrightarrow{\text{différentielle}} dx_{\text{N}_2} = -dx_{\text{H}_2}$$

$$x_{\text{H}_2} = 3x_{\text{N}_2} \xrightarrow{x n_{\text{tot}}} n(\text{H}_2) = 3n(\text{N}_2) \xrightarrow{\text{Tableau d'avancement}} \boxed{n_0(\text{H}_2) = 3n_0(\text{N}_2)}$$

# Présentation de la dissolution de $PbI_2$ dans l'eau

	$PbI_{2(s)}$	=	$Pb^{2+}_{(aq)}$	$2 I^{-}_{(aq)}$
Etat initial	Excès		0	0
Etat final (équilibre)	Excès		s	2s

$[Pb^{2+}]$  et  $[I^{-}]$  tel que  $K_s = [Pb^{2+}] \cdot [I^{-}]^2 = s \cdot (2s)^2$



# Influence de la température sur une constante de réaction

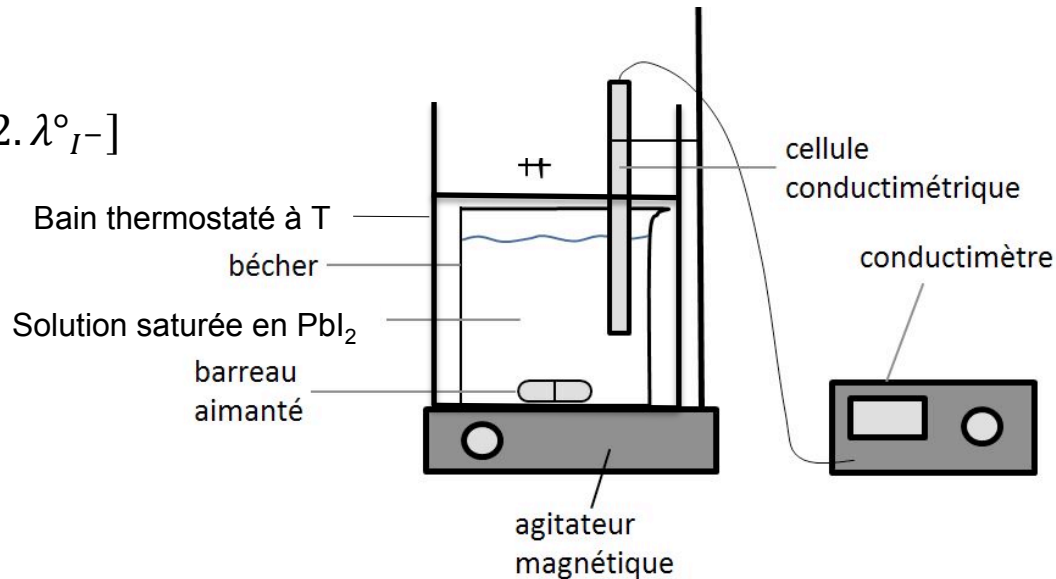
	$PbI_{2(s)}$	=	$Pb_{(aq)}^{2+}$	$2 I_{(aq)}^-$
Etat initial	Excès		0	0
Etat final (équilibre)	Excès		s	2s

$[Pb^{2+}]$  et  $[I^-]$  tel que  $K_s = [Pb^{2+}] \cdot [I^-]^2 = s \cdot (2s)^2 = 4s^3$

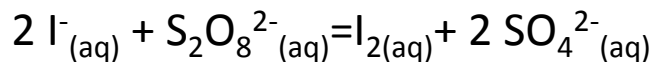
## Loi de Kohlrausch :

$$\sigma = [\lambda_{Pb^{2+}}^\circ \cdot s + \lambda_{I^-}^\circ \cdot (2s)] = s[\lambda_{Pb^{2+}}^\circ + 2 \cdot \lambda_{I^-}^\circ]$$

$$K_s(T) = 4s^3 = 4 \times \left[ \frac{\sigma(T)}{(\lambda_{Pb^{2+}}^\circ(T) + 2 \cdot \lambda_{I^-}^\circ(T))} \right]^3$$

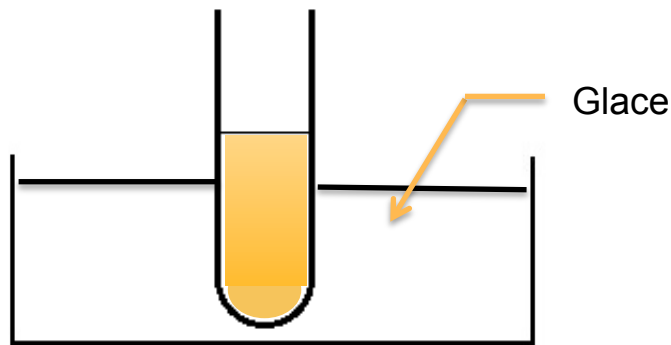


# Influence de la température sur une réaction



Préparation du mélange réactionnel initial:

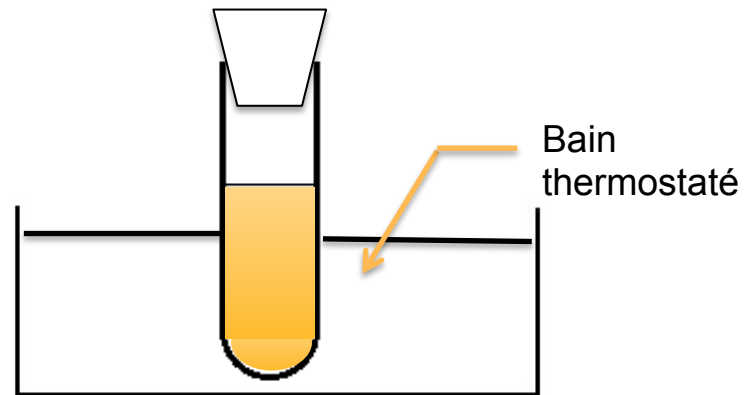
- Eau distillée (tube à essai à mi hauteur) 10mL
- 1mL de KI à 0,1 mol/L
- 1mL de  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$



TUBE N°1

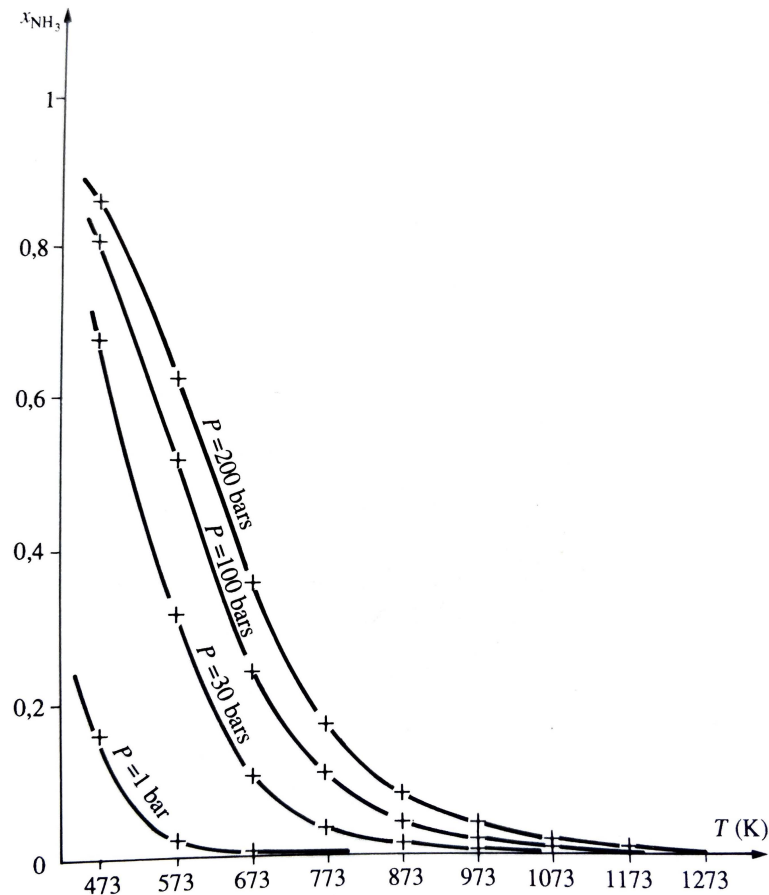


TUBE N°2

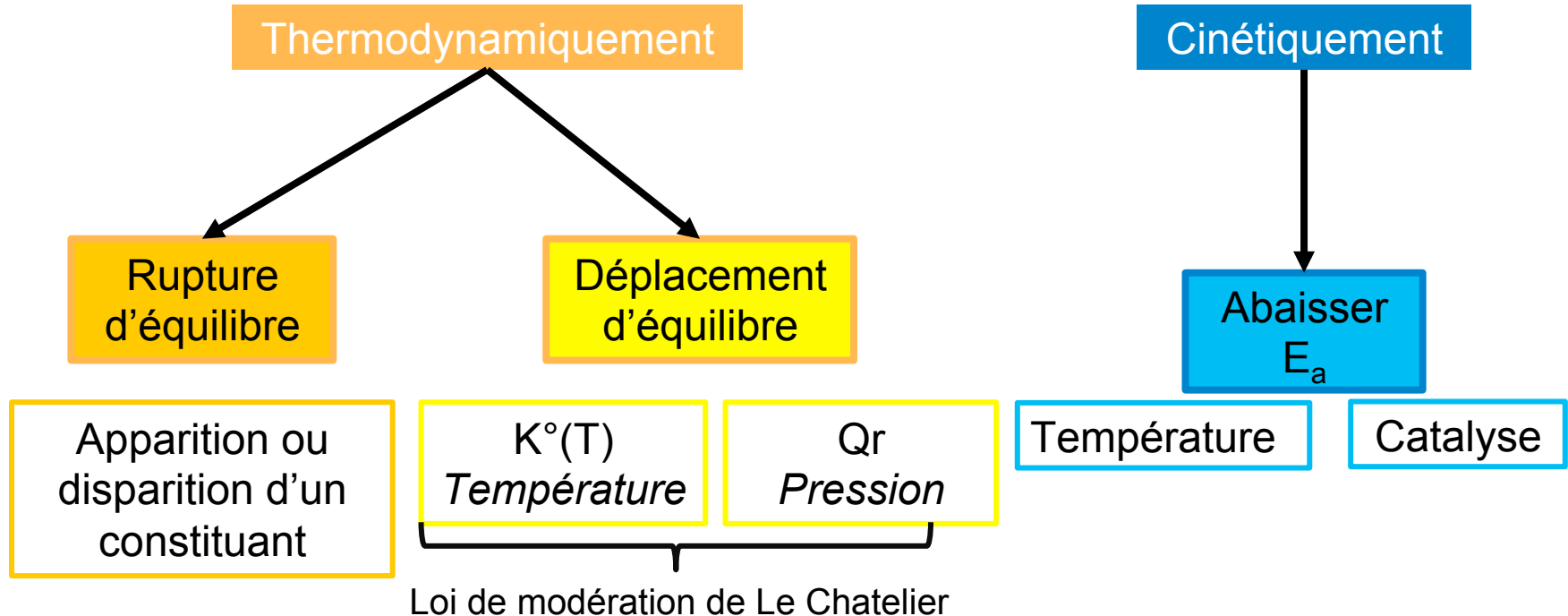


TUBE N°3

# Procédé Haber-Bosch



# Conclusion



# Le procédé Haber-Bosch

