

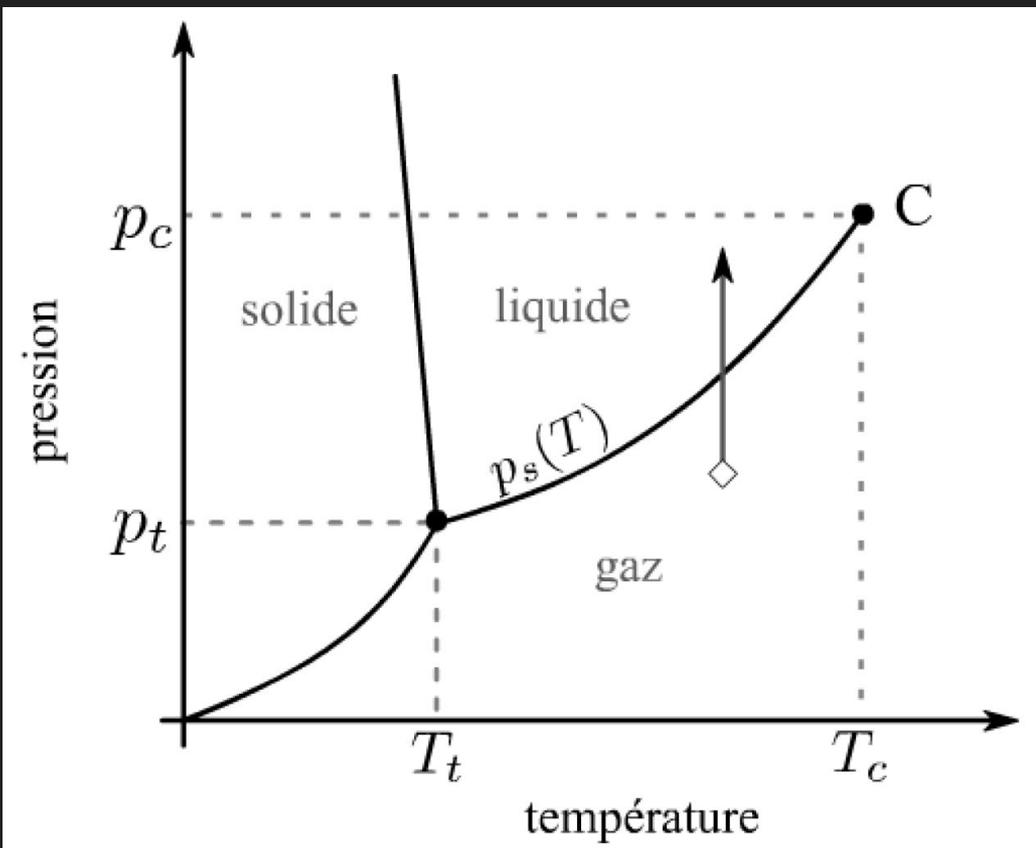
LP 15 : Transitions de phases

Niveau : L3

Prérequis :

- Physique statistique,
- Fluide de Van der Waals,
- Paramagnétisme de Brillouin

Diagramme de phase de l'eau



Pour l'eau :

$$p_c = 221.2 \text{ bars}$$

$$T_c = 374.15 \text{ }^\circ\text{C}$$

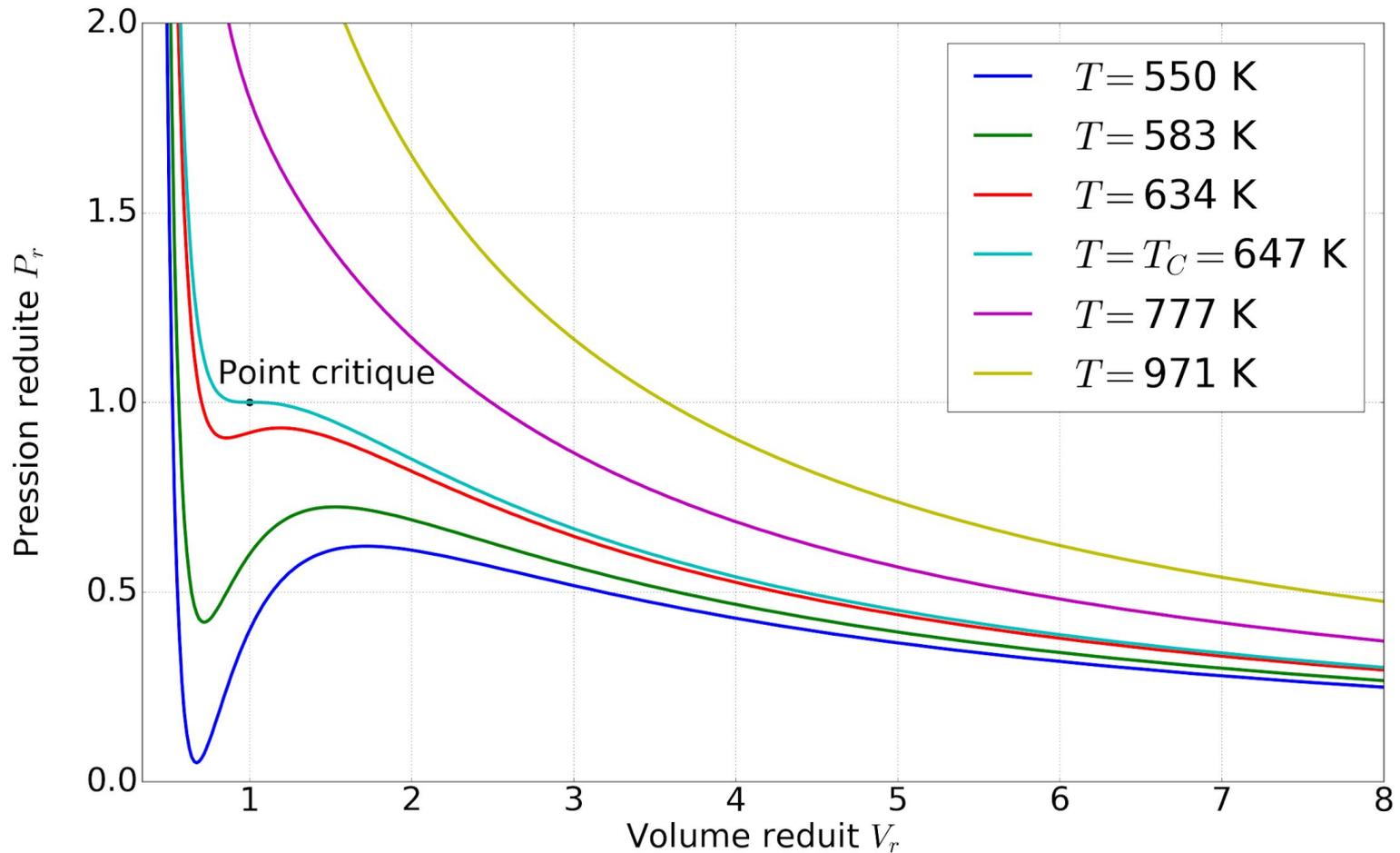
Rappel : fluide de Van der Waals

Hypothèses :

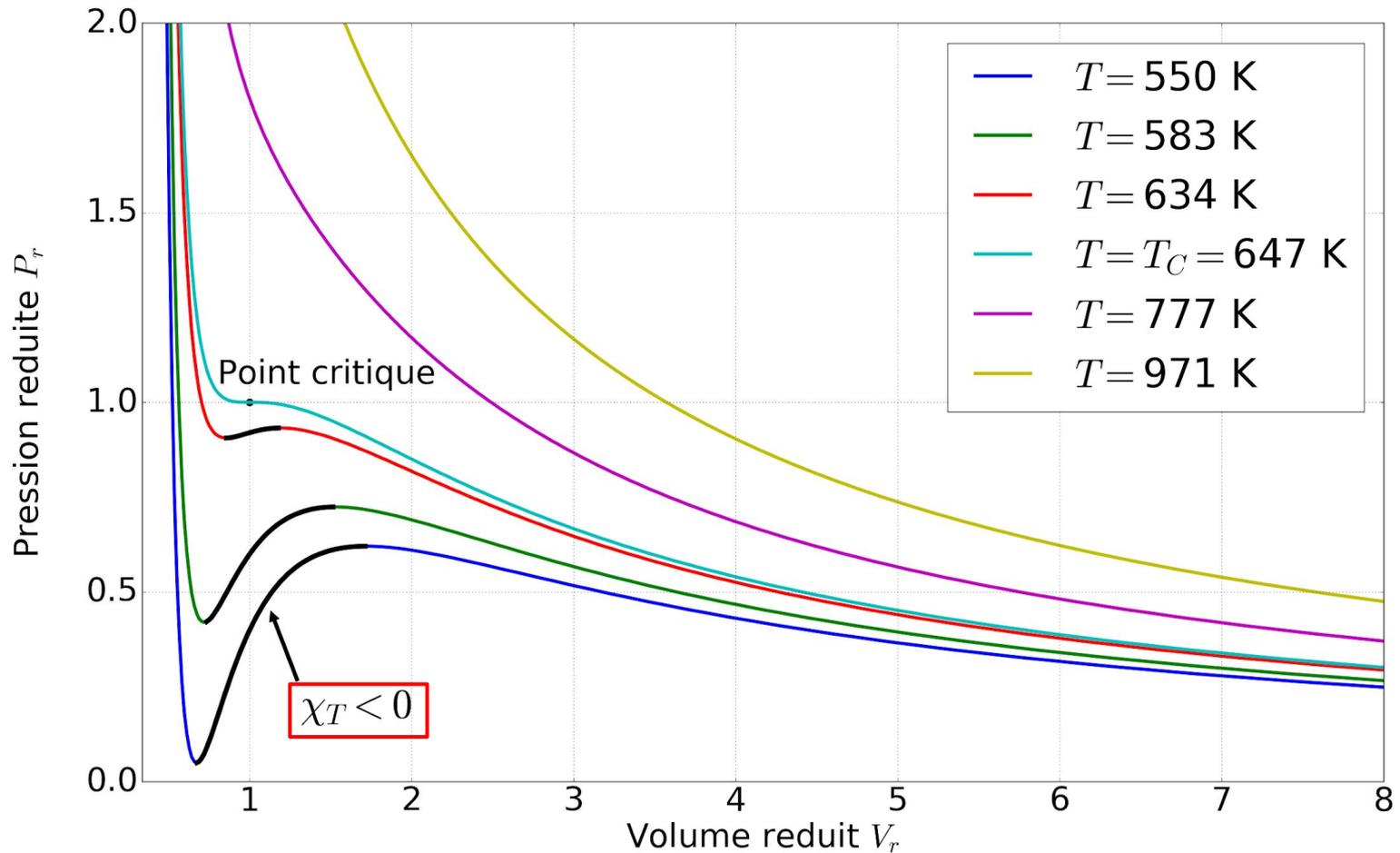
- Modèle de sphères dures,
- Fluide homogène,
- Interactions entre particules modélisées par un potentiel moyen.

$$\left(P + \frac{a}{v^2} \right) (v - b) = RT$$

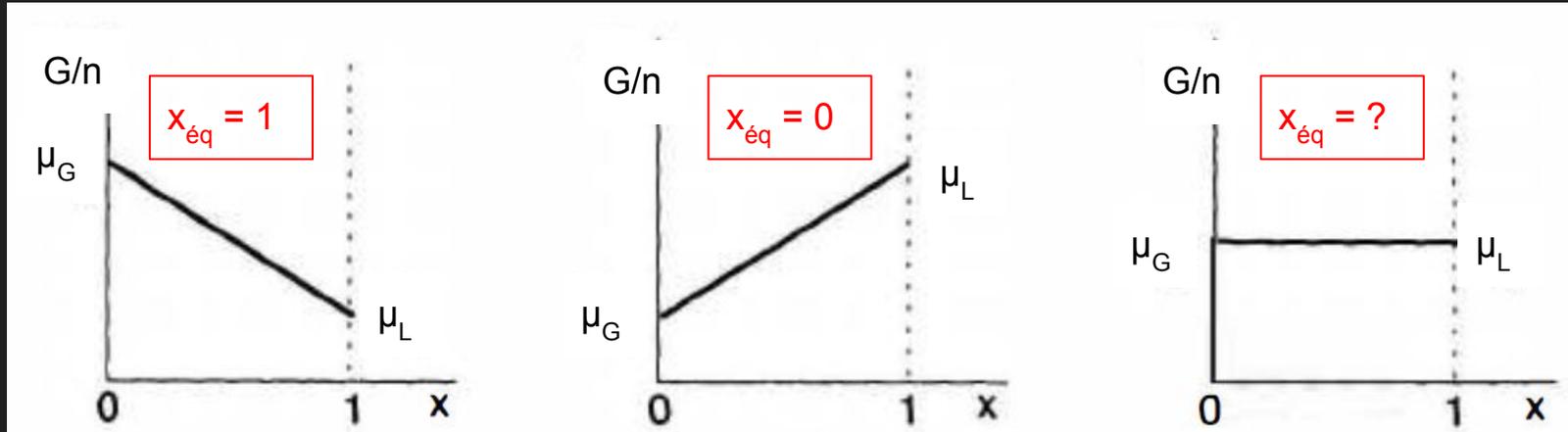
Transition liquide-vapeur pour un fluide de Van der Waals



Transition liquide-vapeur pour un fluide de Van der Waals

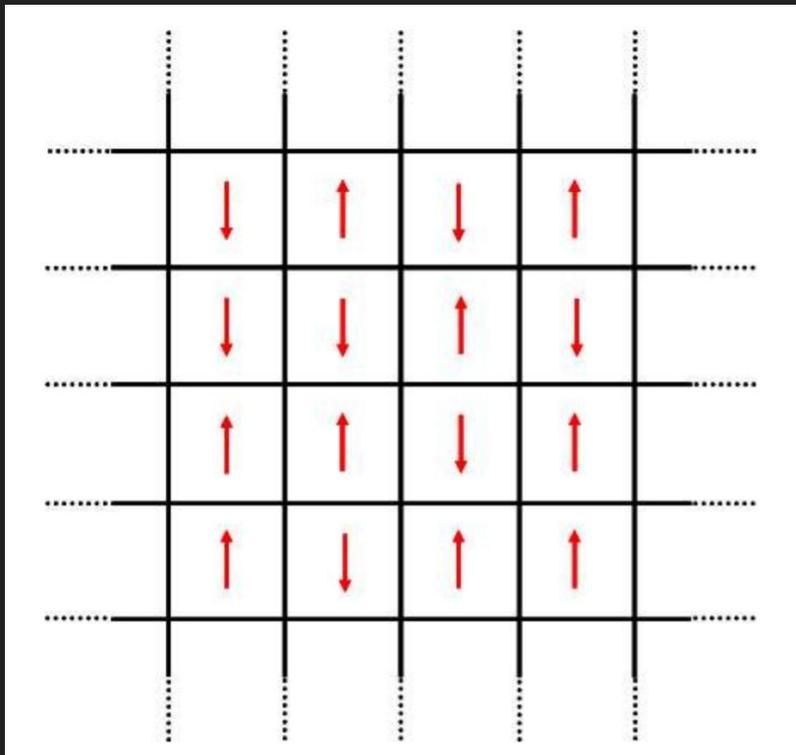


Équilibre diphasique



Evolution de l'enthalpie libre du mélange avec la fraction molaire de liquide

Rappels : paramagnétisme de Brillouin



Micro-état :

$$\{\sigma_i\}_{i=1,\dots,N}$$

$$\mathcal{H}_{para} = -B \sum_{i=1}^N \sigma_i$$

Aimantation moyenne par spin :

$$m = \tanh \left(\frac{B}{k_B T} \right)$$

Rappels : paramagnétisme de Brillouin

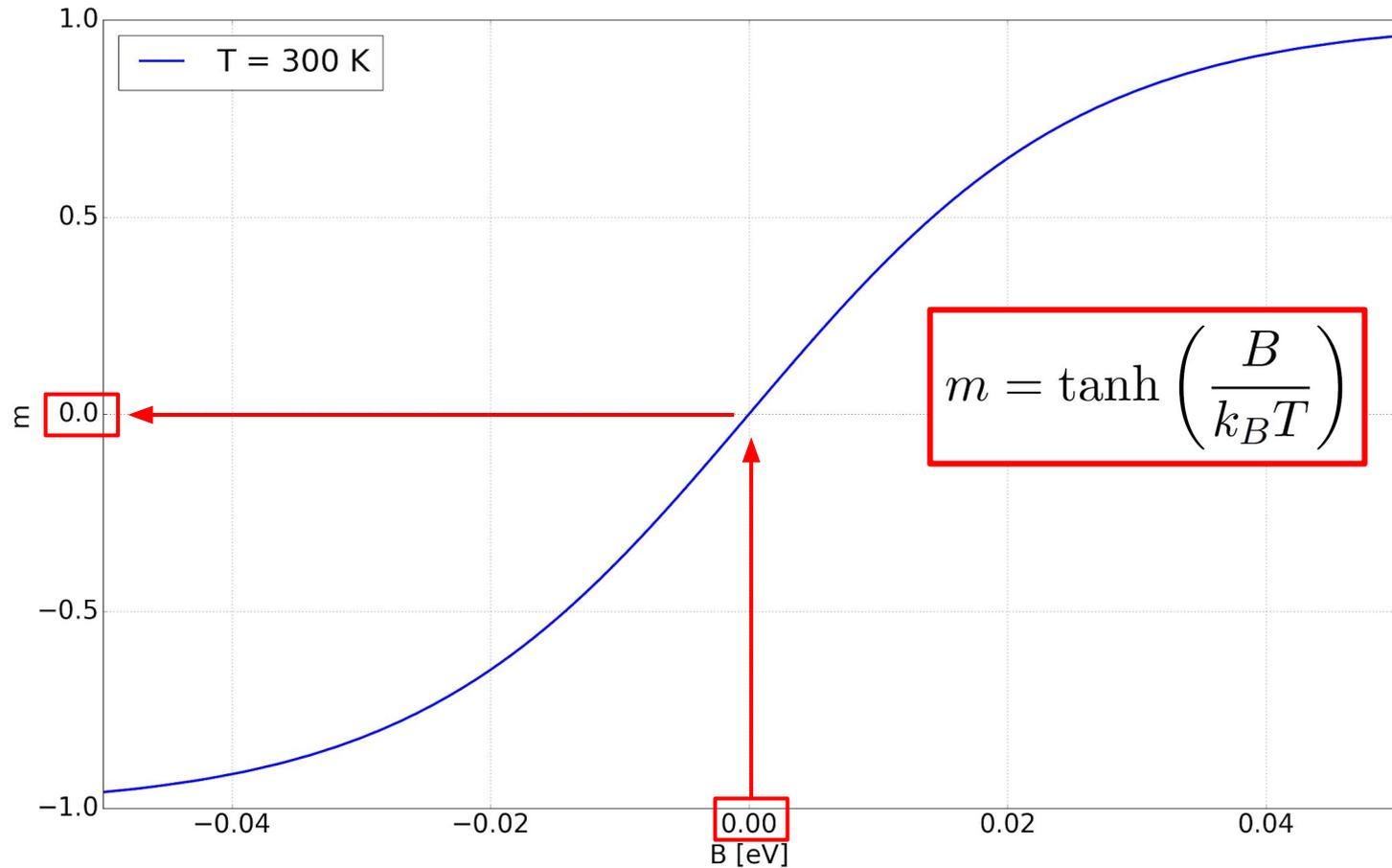


Diagramme de phases du fer à $B_{EXT} = 0$

Aimantation par spin adimensionnée m

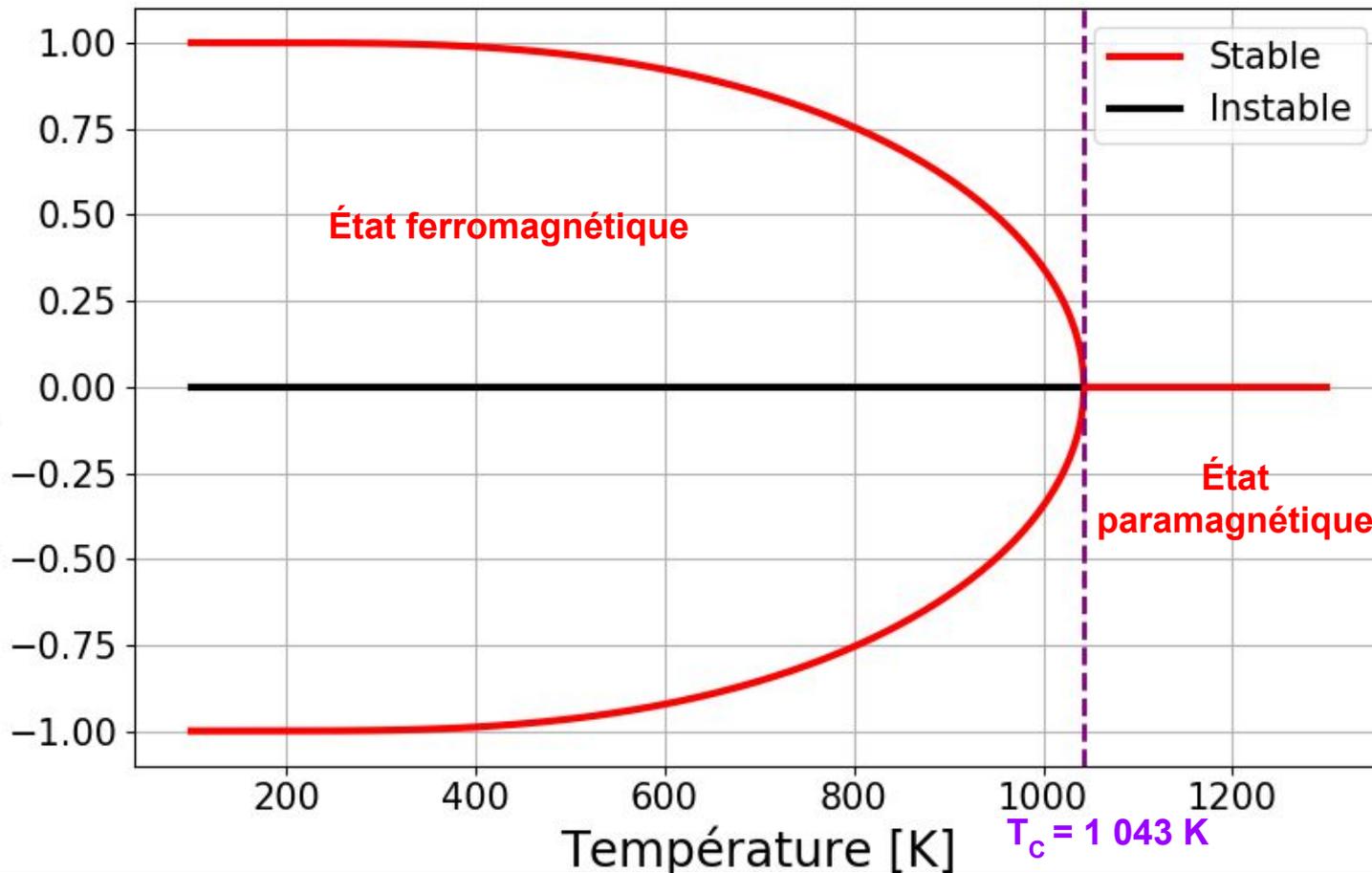
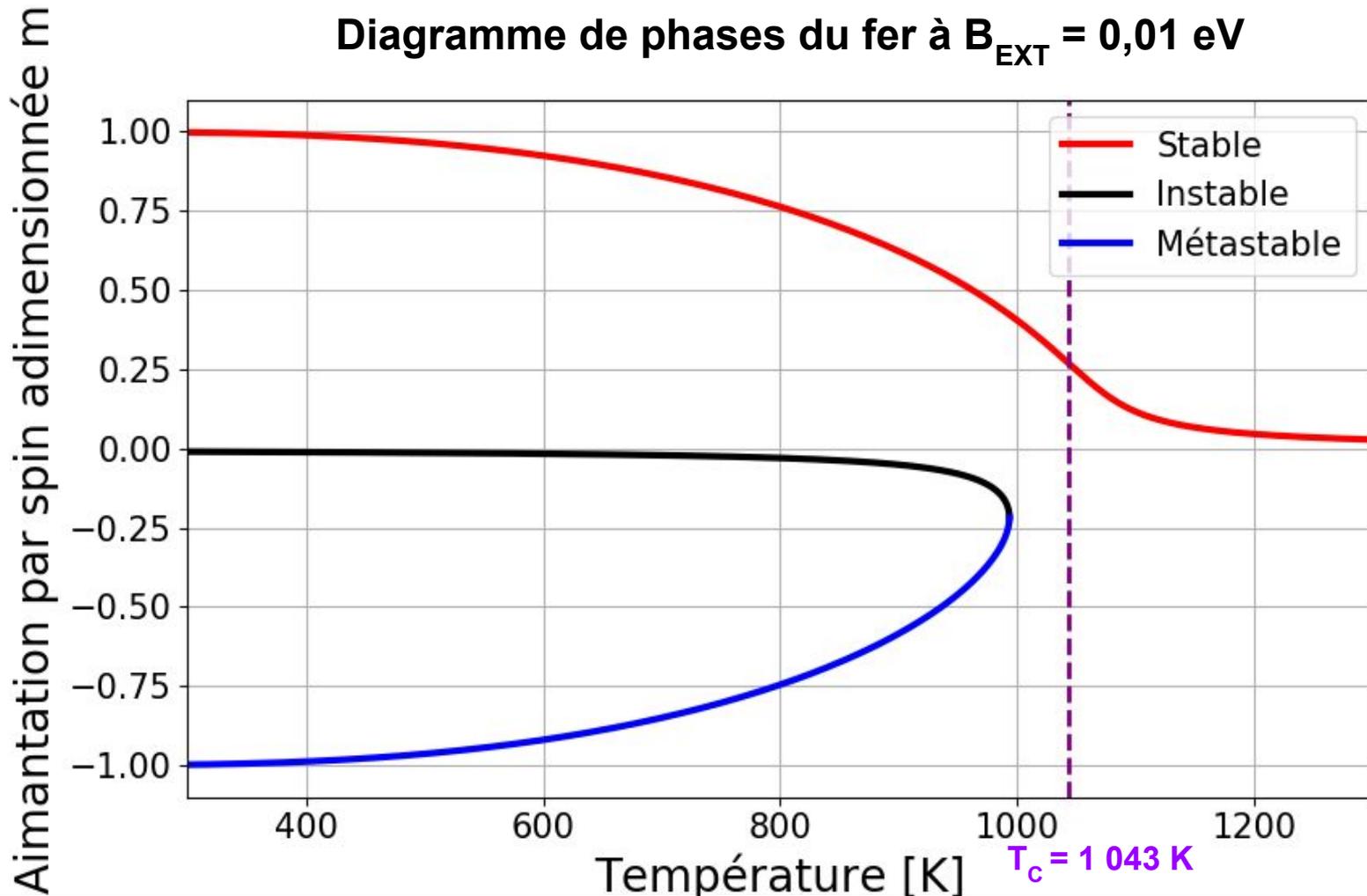
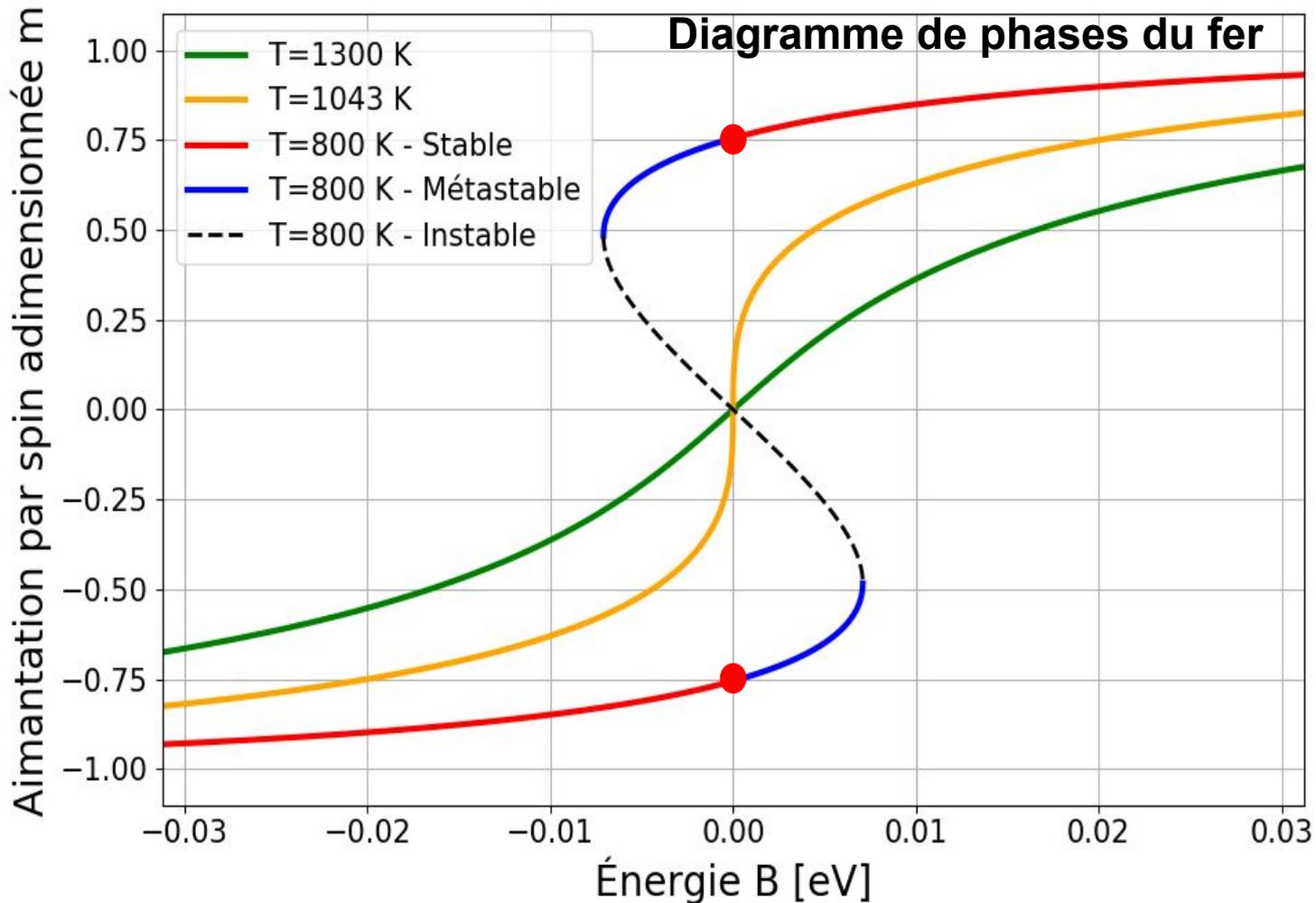


Diagramme de phases du fer à $B_{EXT} = 0,01$ eV



Pas de transition de phase en température à $B \neq 0$

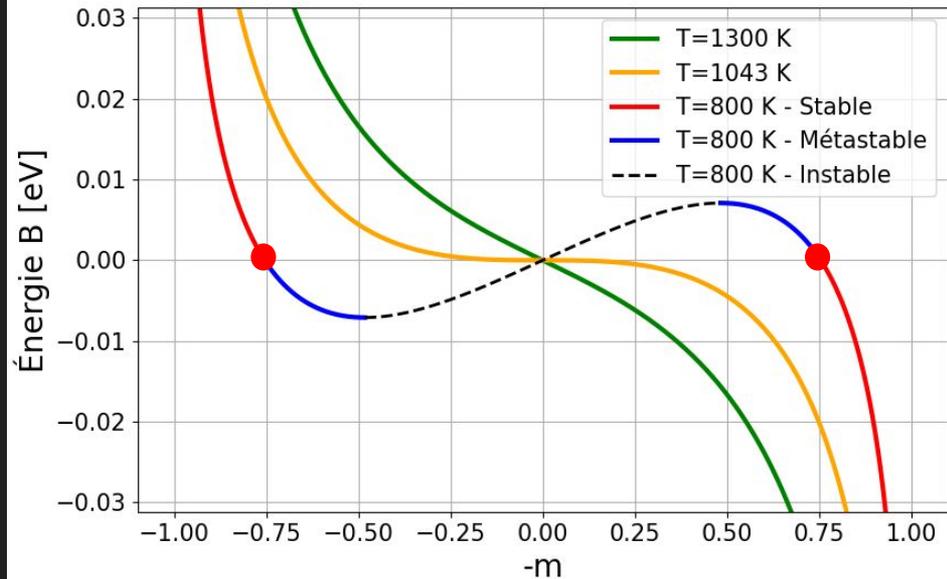
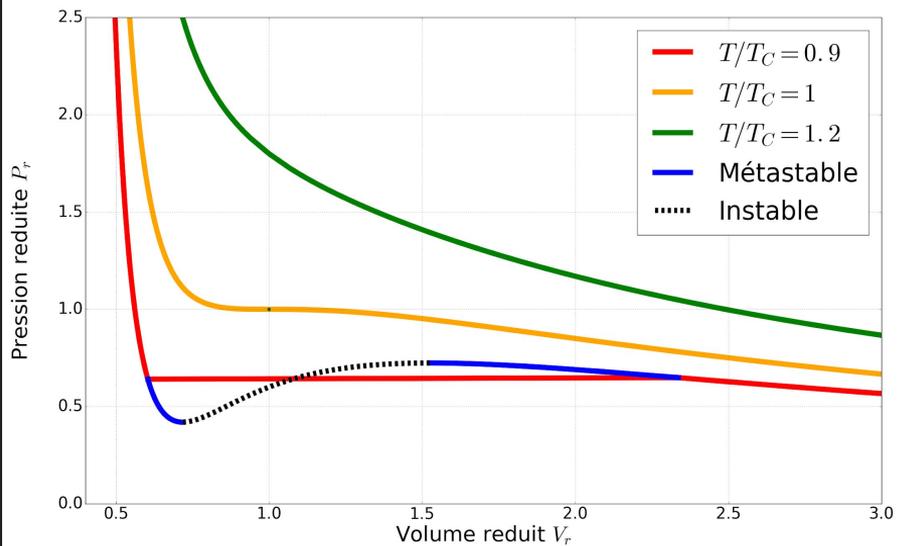


Pour $T < T_c$ fixée
: Transition
ferromagnétique
ferromagnétique
du 1er ordre à
 $B=0$

Analogie : Transitions de phases du 1er ordre pour $T < T_c$, en variant p ou B

Transitions de phases du 2nd ordre pour $p = p_c$ ou $B = 0$, en variant T

Transition liquide-vapeur pour un fluide de Van der Waals



Bilan sur les transitions liquide / gaz et paramagnétique / ferromagnétique

	Liquide / gaz	Paramagnétique / ferromagnétique
Grandeurs conjuguées	$v = \left(\frac{\partial g}{\partial p} \right)_T$	$m = - \left(\frac{\partial f}{\partial B} \right)_T$
$T > T_c$	Volume par particule v variant continûment avec (p, T) Phase supercritique	Aimantation par particule m variant continûment avec (B, T) Phase paramagnétique
$T < T_c$	Transition du 1er ordre liquide / gaz Discontinuité de v , en variant p Présence d'états métastables Enthalpie de vaporisation : présence d'états de mélange diphasique	Transition du 1er ordre ferro / ferro Discontinuité de m , en variant B Présence d'états métastables Brisure spontanée de symétrie à $B=0$
$T = T_c$	Transition du 2nd ordre en un point critique à (P_c, v_c, T_c)	Transition du 2nd ordre en un point critique à $(B=0, m=0, T_c)$

Exposants critiques en champ moyen

Liquide / gaz	Paramagnétique / ferromagnétique	Champ moyen
$C_V(T) \propto T - T_c ^{-\alpha}$ $(n(P_c, T) - n_c) \propto (T_c - T)^\beta$ $(n(P, T_c) - n_c) \propto (P - P_c)^{1/\delta}$ $\chi_T(P_c, T) \propto T - T_c ^{-\gamma}$	$C_m(T) \propto T - T_c ^{-\alpha}$ $m(B = 0, T) \propto (T_c - T)^\beta$ $m(B, T_c) \propto B^{1/\delta}$ $\chi_m(T) \propto T - T_c ^{-\gamma}$	$\alpha = 0$ $\beta = 1/2$ $\delta = 3$ $\gamma = 1$

Exposants critiques expérimentaux

	liquide-gaz		para-ferro	
Capacité calorifique	$C(T) \sim t ^{-\alpha}$	CO ₂ $\alpha = 0.111(1)$	$C(T) \sim t ^{-\alpha}$	FeF ₂ $\alpha = 0.11(3)$
Paramètre d'ordre	densité $n(T) - n_c \sim (-t)^\beta$	CO ₂ $\beta = 0.324(2)$	aimantation $m(T, 0) \sim (-t)^\beta$	FeF ₂ $\beta = 0.325(2)$
Susceptibilité	Compressibilité $\kappa_T(T) \sim t ^{-\gamma}$	Xe $\gamma = 1.246(10)$	Susceptibilité $\chi(T) \sim t ^{-\gamma}$	FeF ₂ $\gamma = 1.25(1)$

Données de H. W. Blöte, E. Luijten & J. R. Heringa, Journal of Physics A **28**, p. 6289 (1995)