$m = \pm 1/2$: spin, $\uparrow$ ou $\downarrow$ $\Uparrow B$

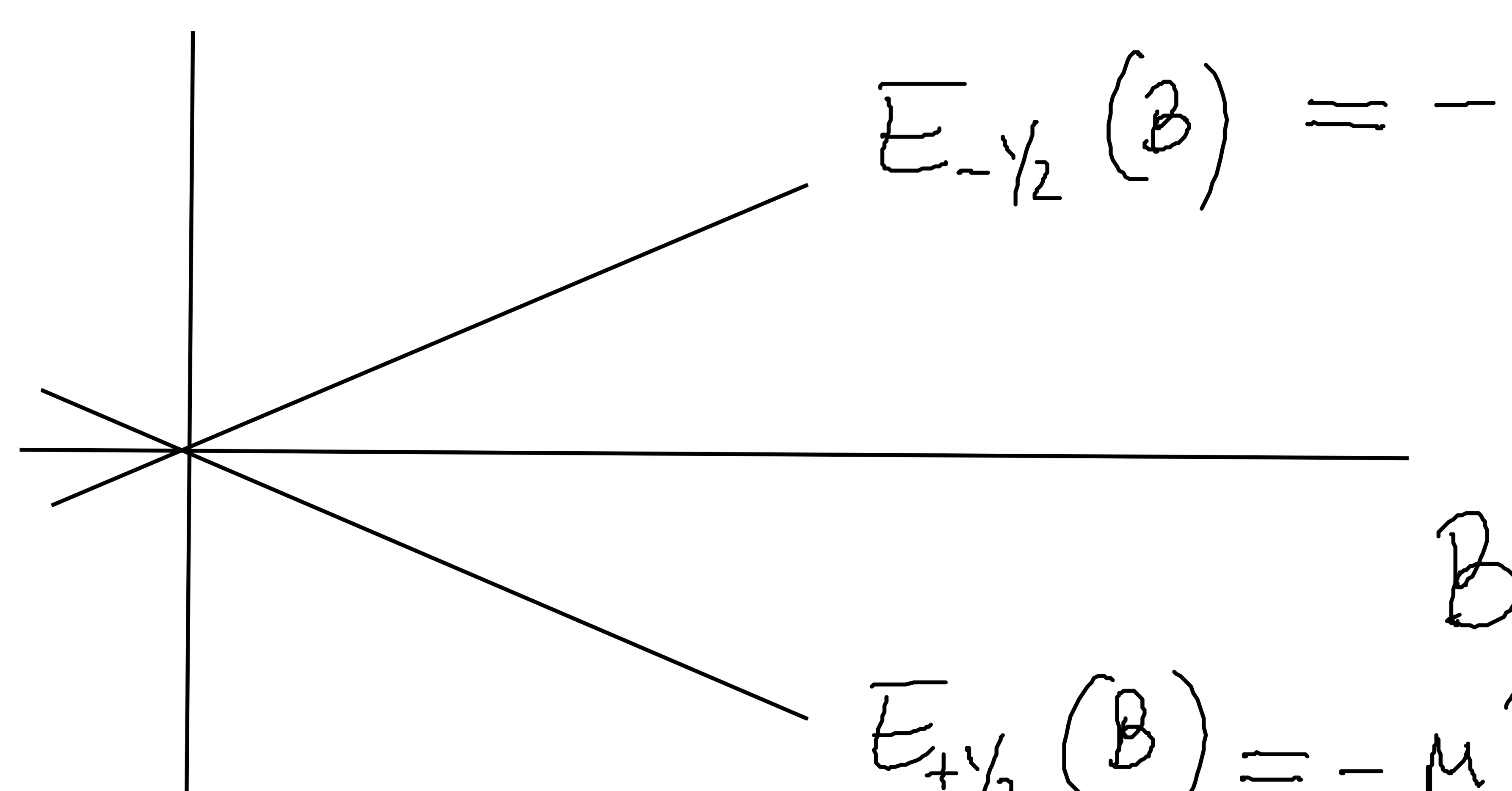
énergie : $E_m = -M_m B$, aimantation : $M_m = g\mu m$

avec $g = 2$: facteur de Landé

$\mu = \frac{e\hbar}{2m_e} = 0{,}9 \cdot 10^{-23}$ J/T magnéton de Bohr

B : champ magnétique

(1)



$E_{-1/2}(B) = -g\mu\left(-\frac{1}{2}\right)B = \mu B$

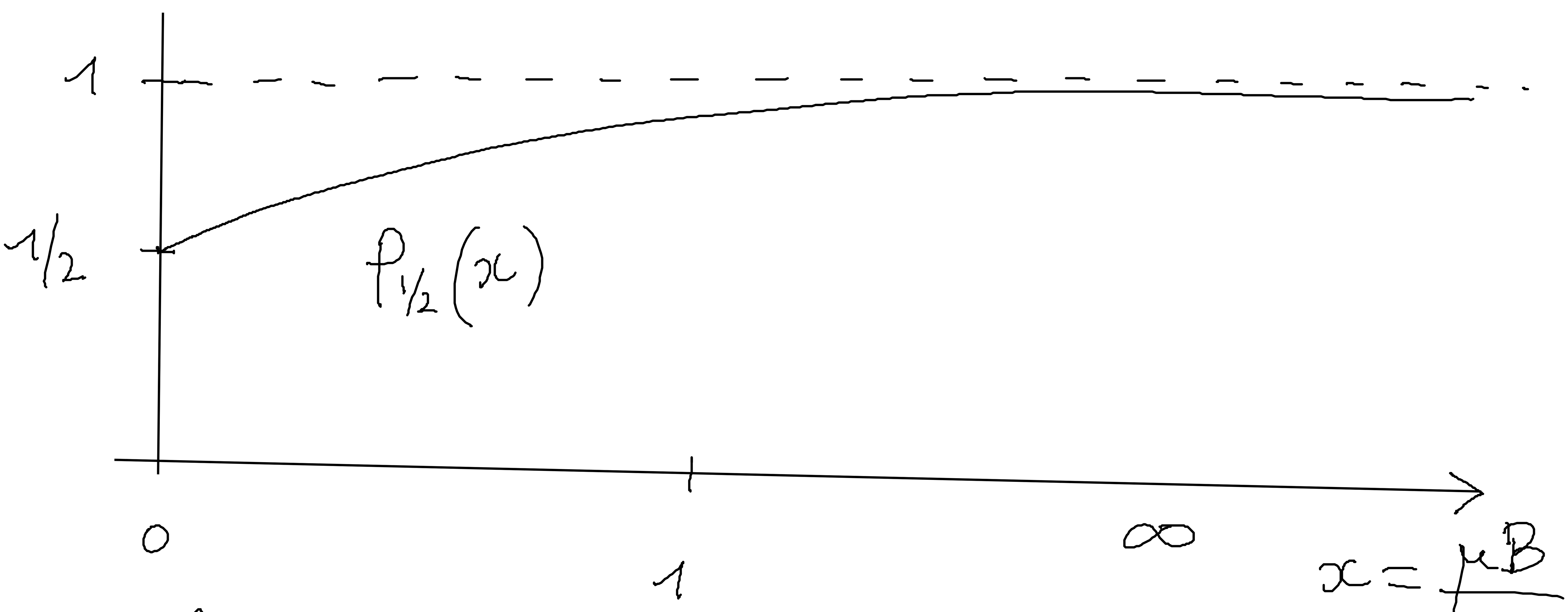
$E_{+1/2}(B) = -\mu B$

$$P_m = \frac{1}{Z} e^{-\frac{E_m}{kT}} = \frac{1}{Z} e^{\frac{g\mu m B}{kT}}$$

$$1 = P_{1/2} + P_{-1/2} \iff Z = e^{\frac{\mu B}{kT}} + e^{-\frac{\mu B}{kT}} = e^{x} + e^{-x},$$

avec $x := \frac{\mu B}{kT} \geq 0$.

$$P_{1/2} = \frac{1}{e^{x}+e^{-x}}\, e^{x} = \frac{1}{1+e^{-2x}} \quad , \qquad P_{-1/2} = \frac{1}{1+e^{2x}}$$



régime haute température

$kT \gg \mu B$

équipartition des deux niveaux, désordre.

↑↓↓↑↑↓↓↑↓

régime basse température

$kT \ll \mu B$

$P_{1/2} \simeq 1$: aimantation

↑↑↑↑↑↑↑

A.N. $B = 10^{-3}$ T, $T = 293$ K.

$$x = \frac{\mu B}{kT} = \frac{0{,}9 \cdot 10^{-23} \cdot 10^{-3}}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 293} \frac{\text{J} \cdot \text{T}^{-1} \cdot \text{T}}{\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{K}} = 2{,}2 \cdot 10^{-6}$$

$x \ll 1$: c'est donc le régime haute température désordonné.

② $\langle M_{atome} \rangle = P_{1/2} M_{1/2} + P_{-1/2} M_{-1/2}$

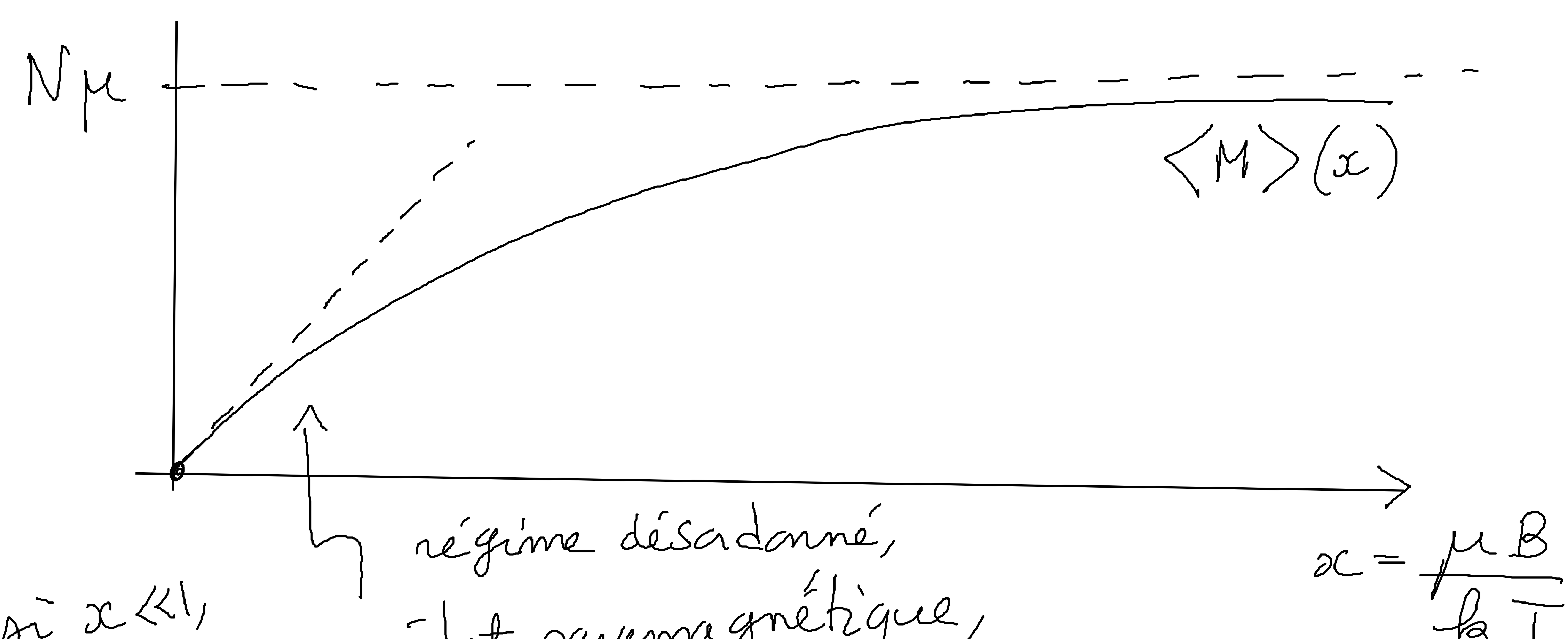
: moyenne

$$= \frac{1}{e^{x}+e^{-x}} \left(e^{x} \frac{g\mu}{2} - e^{-x} \frac{g\mu}{2} \right)$$

$$= \mu \underbrace{\left(\frac{e^{x}-e^{-x}}{e^{x}+e^{-x}} \right)}_{th(x)}$$

pour N atomes indépendants,

$$\langle M \rangle = N \langle M_{atome} \rangle = N\mu \, th(x)$$



si $x \ll 1$, $th(x) \sim x$, régime désordonné, état paramagnétique, $\langle M \rangle (x) \sim \chi B$, avec $\boxed{\chi = \frac{N\mu^2}{k_B T}}$