

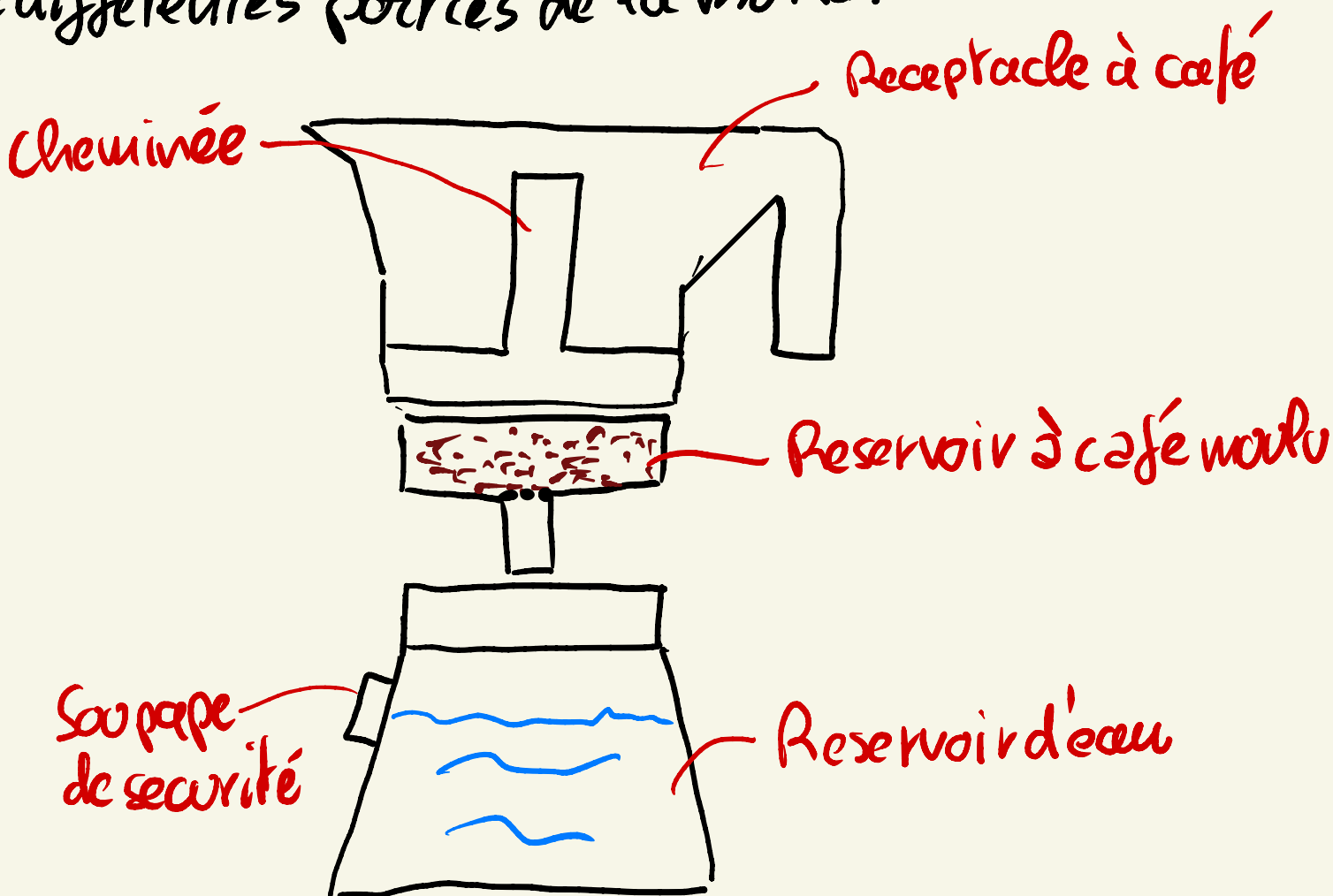
La physique d'un bon café ---

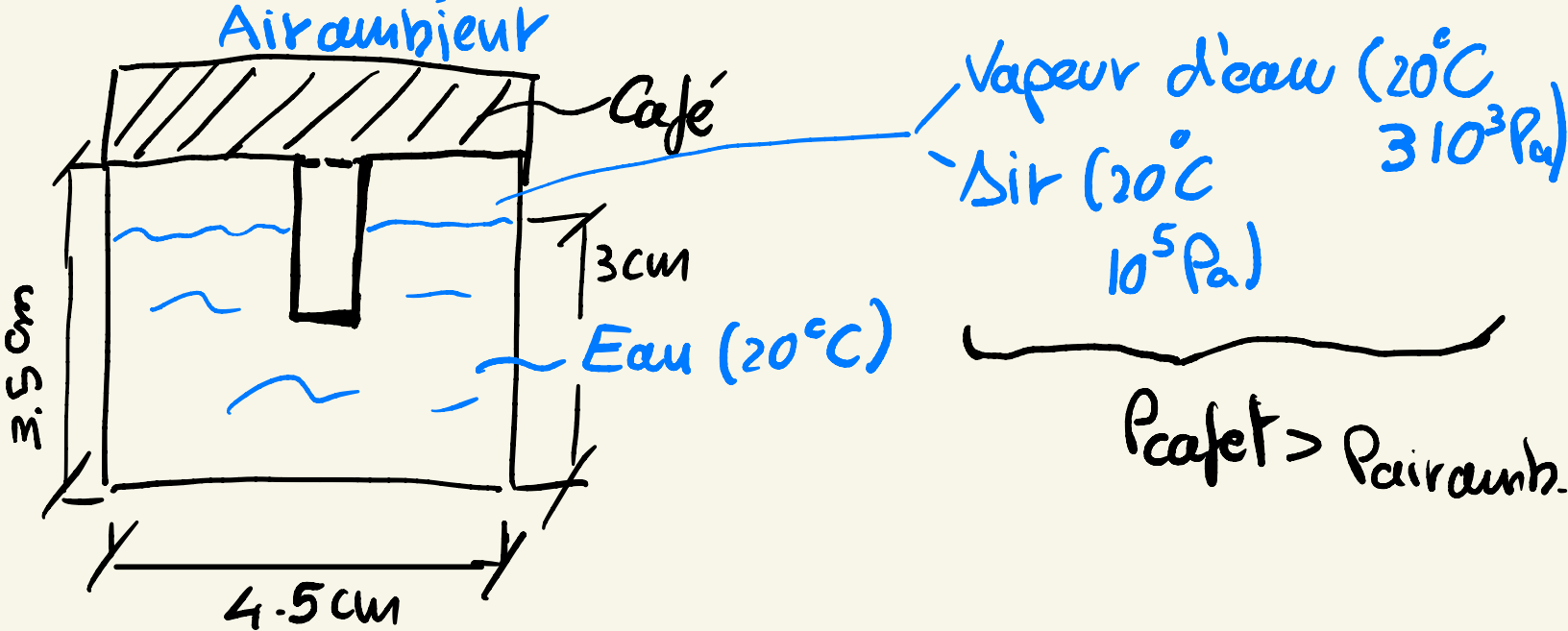
Entre 1932 et 1933 trois événements bouleversent le cours de la physique

- 1) Chadwick découvre le neutron
- 2) Hitler prends le pouvoir en Allemagne
- 3) Bialetti, ingénieur italien, invente la moka!

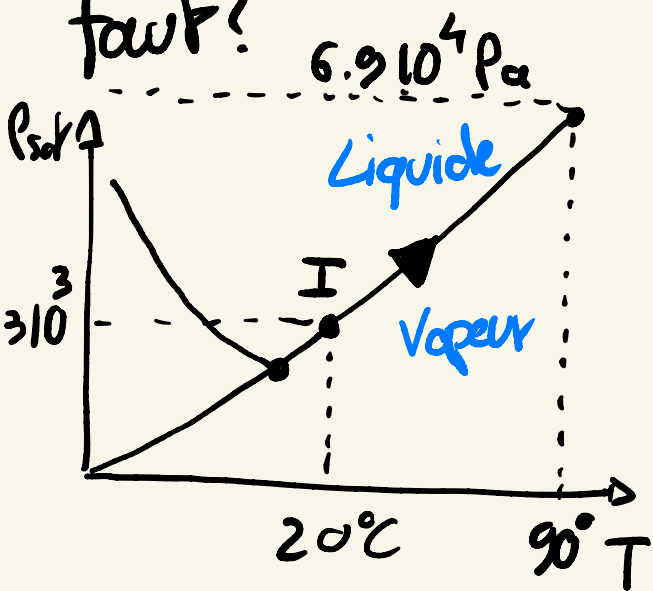
Alfred Renyi (1920-1970): "Un mathématicien est une machine qui transforme café en théorèmes".

Les différentes parties de la moka.





Que se passe-t-il si la cafetière marche comme il faut?



$$P_{\text{sat}} = P_0 e^{\left(\frac{H_L}{RT_0} - \frac{H_L}{RT}\right)}$$

$$P_{\text{sat}}(20^\circ\text{C}) \sim 3 \cdot 10^3 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{tot}} = (10^5 + 3 \cdot 10^3) \text{ Pa}$$

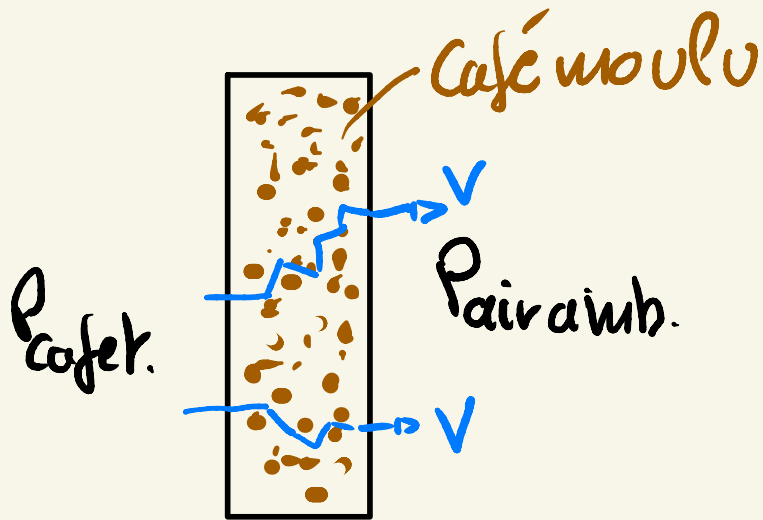
à 20°C

On fournit de la chaleur et donc la Température augmente et la pression aussi :

$$\text{à } T = 90^\circ\text{C} \quad P_{\text{vapeur}} = 6.9 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

$$\text{à vol. const} \quad P_{\text{air}} = \frac{10^5}{273+20} (273+90) \sim 1.2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Le café moulu se comporte comme un filtre



$$\Delta p = \frac{H \mu V}{K}$$

$$\Delta p = R \mu V$$

La filtration est régie par la loi de Darcy

$$\Delta p = P_{\text{café}} - P_{\text{amb}} = R \mu V$$

$\mu \equiv$ viscosité dynamique de l'eau

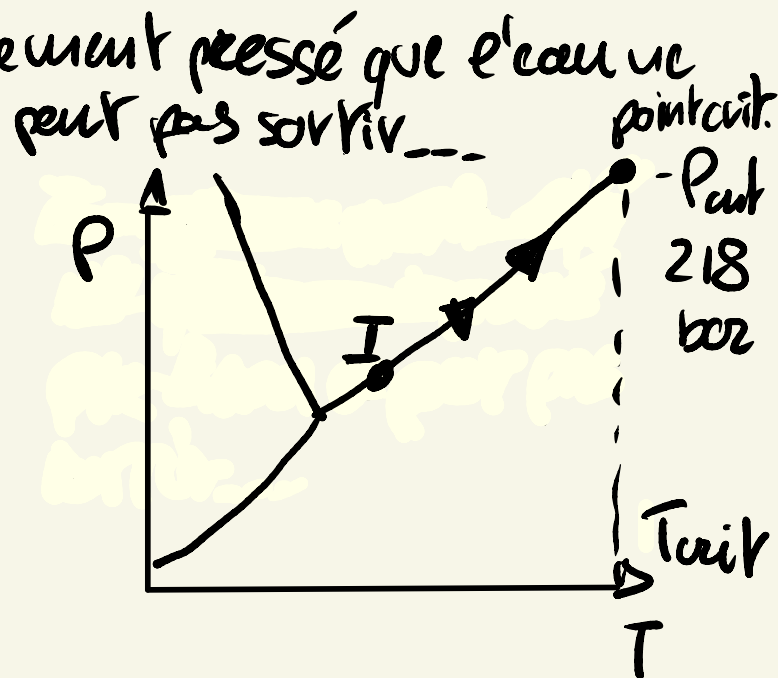
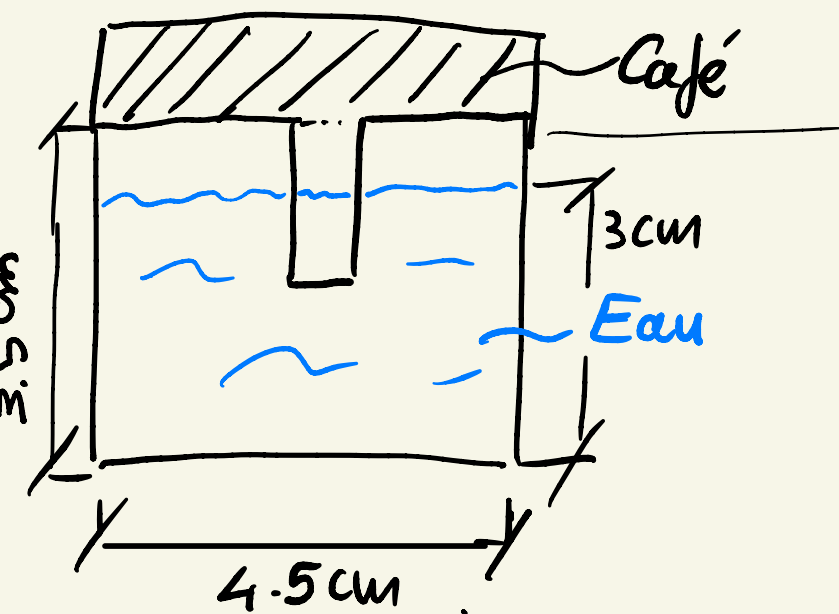
$V \equiv$ vitesse de filtration

$R \equiv$ résistance à la filtration du filtre

grains moulu fin $\rightarrow$ R
pressé peu beaucoup

Avec un café finement moulu et très pressé
 R peut devenir infini!

Imaginons que le café soit tellement pressé que l'eau ne peut pas sortir...



Que se passe-t-il si toute l'eau est évaporée?

$$V_{\text{eau}} = \pi \times (3 \cdot 10^{-2})^2 \times \left(\frac{4.5 \cdot 10^{-2}}{2}\right)^2 = 4.8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}} \times V_{\text{eau}} = 0.048 \text{ kg} = 48 \text{ g d'eau}$$

$$n_{\text{eau}} = \frac{48}{18} = 2.7 \text{ moles}$$

$$pV = nRT \rightarrow p = \frac{n_{\text{eau}}RT}{V_{\text{tot}}}$$

$$T_{\text{crit}} = 373.946^\circ\text{C}$$

$$V_{\text{tot}} = \pi \times (3.5 \cdot 10^{-2})^2 \times \left(\frac{4.5 \cdot 10^{-2}}{2}\right)^2 = 5.56 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

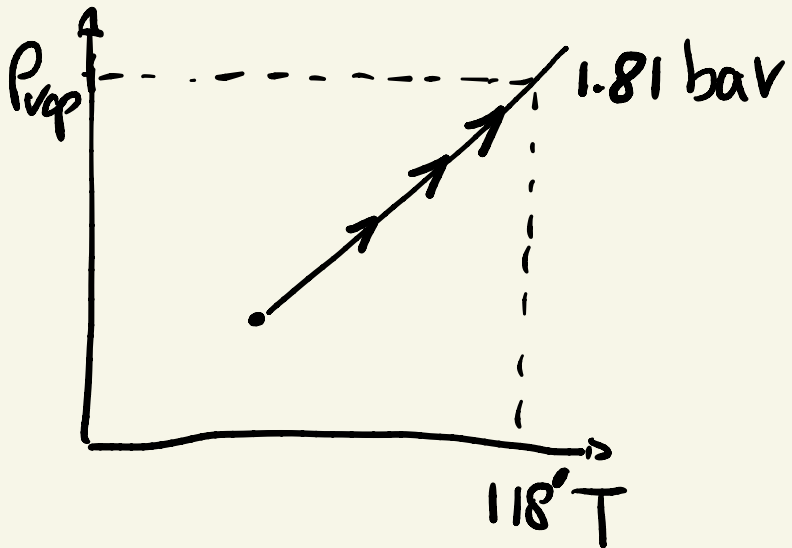
$$p = \frac{n_{\text{eau}} R T_{\text{crit}}}{V_{\text{tot}}} = \frac{2.7 \times 8.3 \times 647}{5.56 \cdot 10^{-5}} = 2.2 \cdot 10^8 \text{ Pa}$$

$$\approx 2200 \text{ bar}$$

Nous avons généré une bombe! → Voilà pourquoi la soufrière

Est-ce que l'eau boue en sortant?

Pour la pression totale à l'intérieur de la cafetière est $(0.69 + 1.2) \approx 1.81 \text{ bar}$



L'eau est poussée à travers le café à $T = 90^\circ\text{C}$ mais l'eau ne boue jamais!

Le café a une température d'extraction qui varie selon le café: typiquement $92-96^\circ\text{C}$

Comment peut-on donc faire un meilleur café? $\rightarrow$ connaître le café (température d'extraction)

Pour les cafés à basse température d'extraction il faut presser plus et vice versa.

Quelle est l'invention de Nespresso?