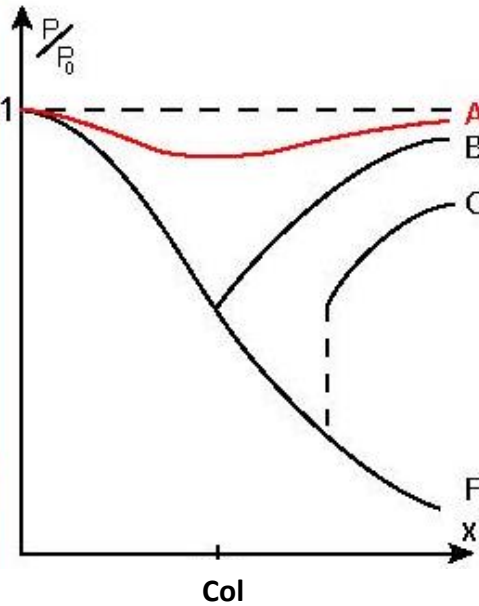
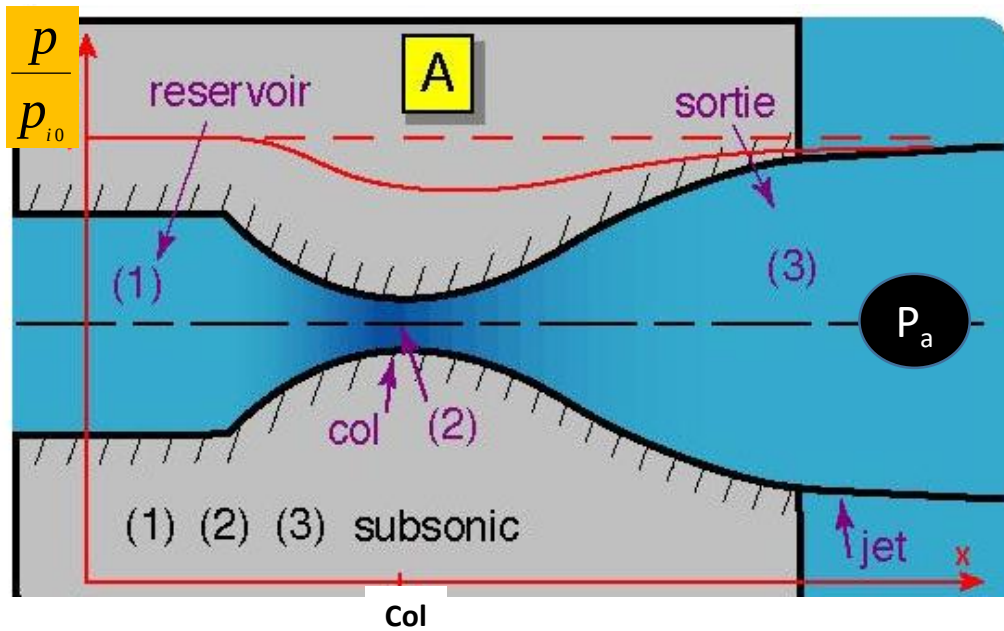


Ecoulement dans une tuyère de Laval

Complément du cours de dynamique des gaz compressibles
2018-2019

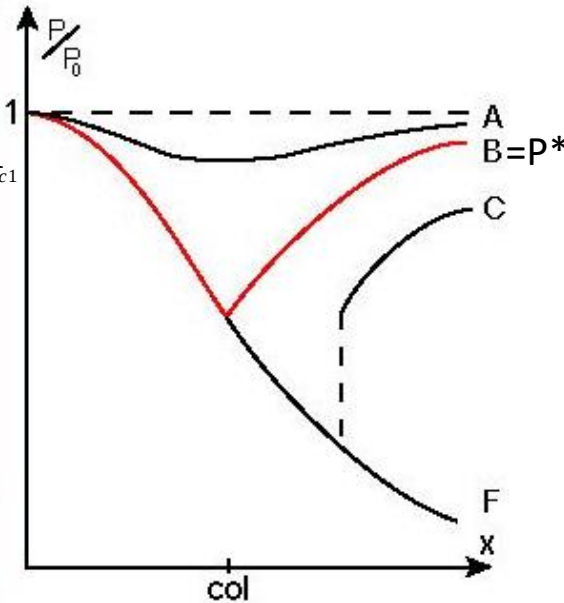
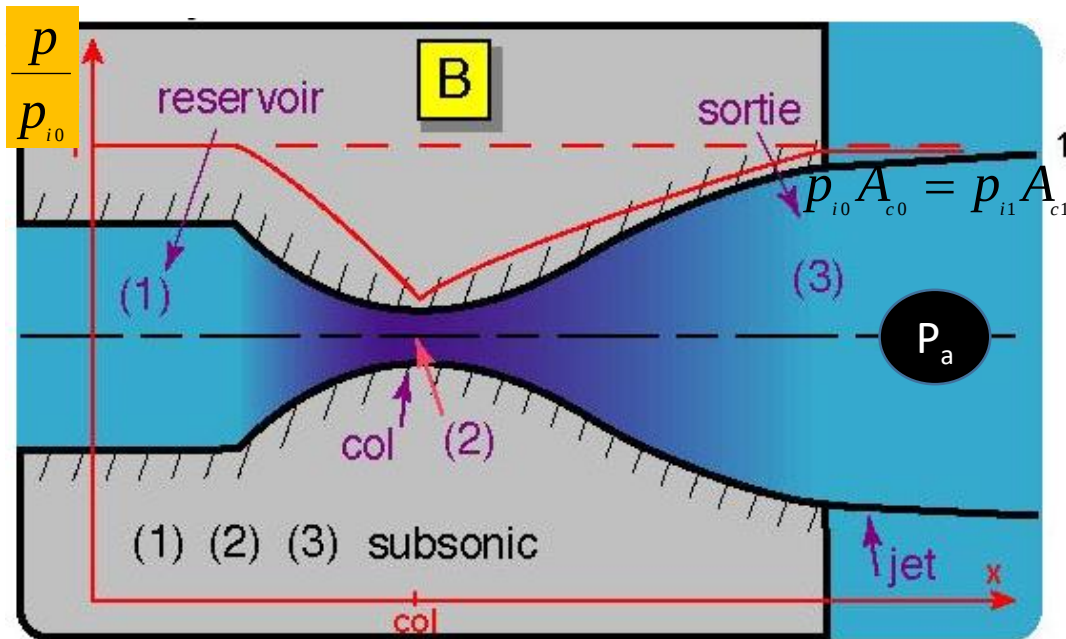


P_{i0} = pression génératrice

P_a = pression atmosphérique extérieure

P_s = pression dans le plan de sortie

$$P_s = P_a$$



$$P_s = P_a = P^*$$

- Le col géométrique devient sonique, mais tout juste en dessous de $M=1$ au col
- L'écoulement dans le divergent reste subsonique

Débit dans une tuyère amorcée

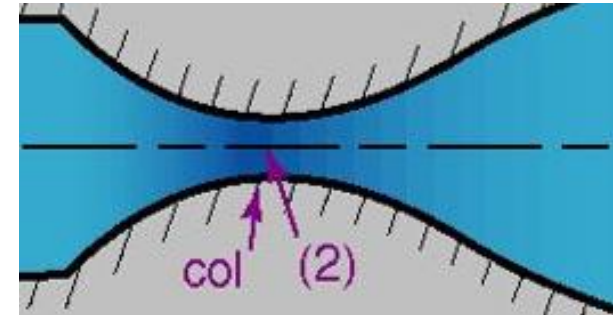
$$\dot{m} = \rho_c V_c A_c = \frac{\rho}{\rho_i} (M = 1) \rho_i \frac{V_c}{c_c} c_c A_c$$

$$M_c = \frac{V_c}{c_c} = 1$$

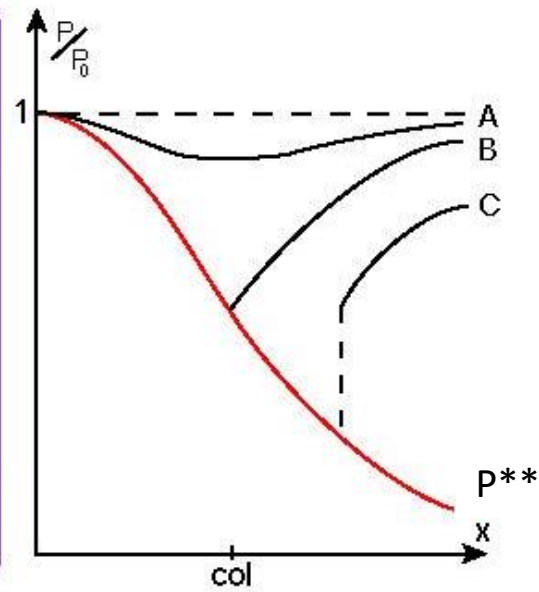
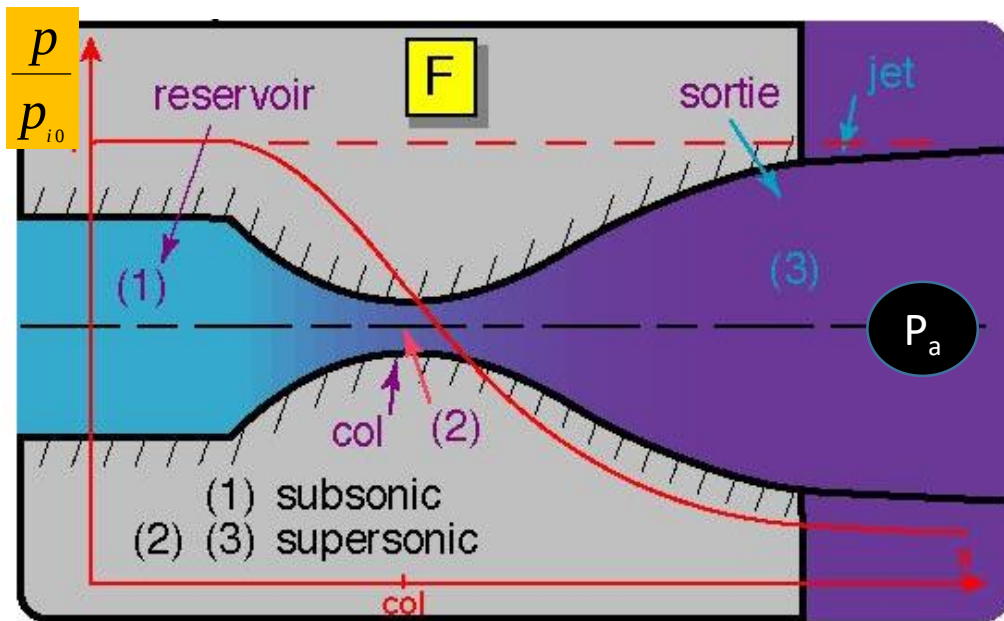
$$\frac{c_c}{c_i} = \frac{\sqrt{\gamma r T_c}}{\sqrt{\gamma r T_i}} = \frac{\sqrt{T_c}}{\sqrt{T_i}} = \sqrt{\theta(M)}$$

➡ $\dot{m} = \rho_c V_c A_c = \frac{\rho}{\rho_i} (M = 1) \rho_i \frac{c_c}{c_i} c_i A_c$ car $M=1$ au col

➡ $\dot{m} = \rho_c V_c A_c = \frac{\rho}{\rho_i} (M = 1) \rho_i \sqrt{\theta(1)} c_i A_c$



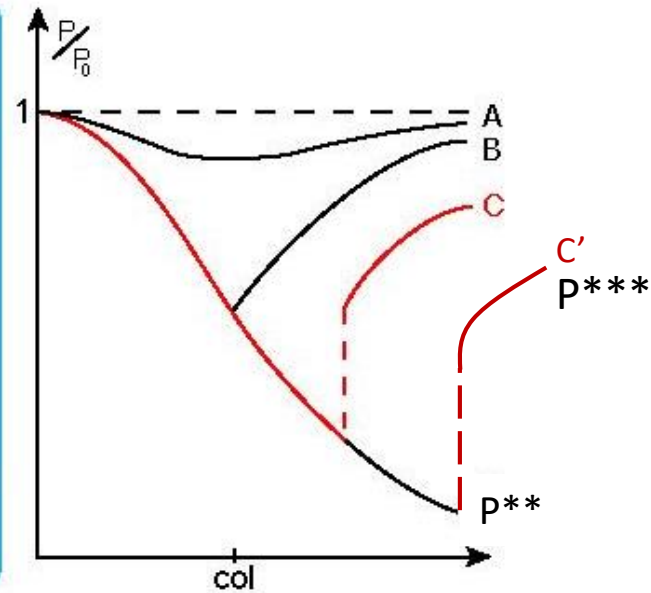
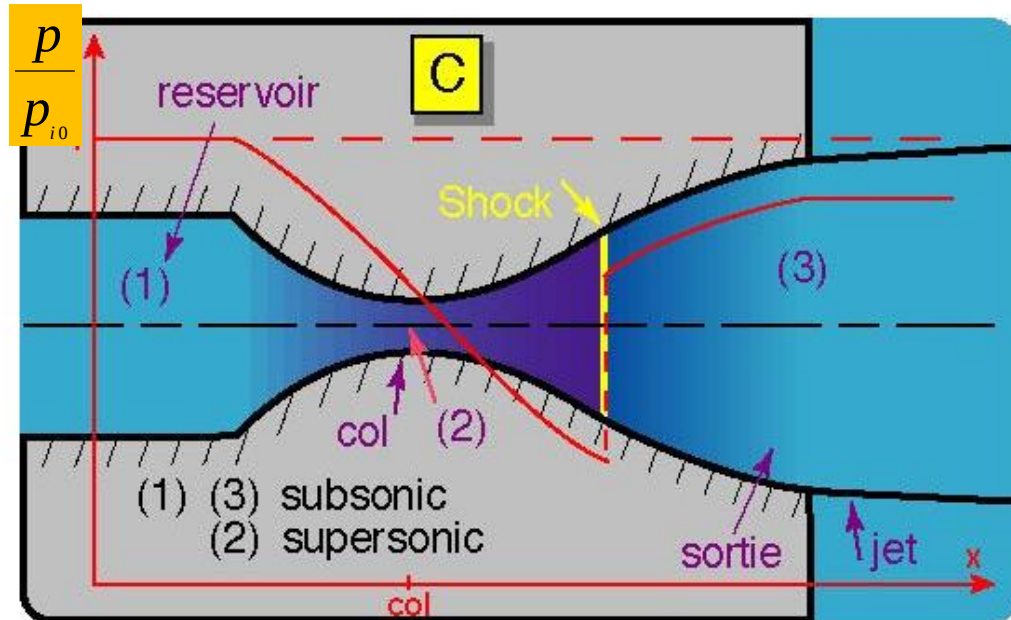
Ainsi, dès que le col est amorcé (M=1) – col sonique, le col impose son débit qui ne dépend plus des conditions en aval du col



$$P_S = P_a = p^{**}$$

Pression pour laquelle l'écoulement est supersonique dans le divergent

- Le col géométrique devient sonique, mais tout juste en dessus de $M=1$ au col
- L'écoulement dans le divergent est totalement supersonique



$$P_S = P_a > p^{**}$$

et $P_a < p^*$

- L'écoulement ne peut plus rester isentropique dans le divergent
- Un choc apparaît pour passer en subsonique
- Le choc recule vers la sortie quand on diminue P_a
- A l'extrême le choc est positionné en sortie

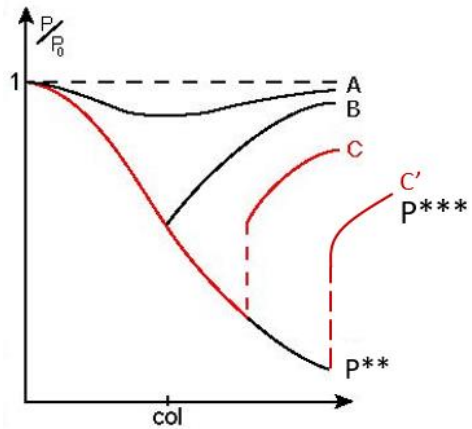
Cas particulier d'un choc positionné juste en sortie de la tuyère

p^{***} : pression telle que l'écoulement est directement ramené dans des conditions réservoir

Écoulement sans vitesse derrière le choc

$$\frac{p^{***}}{p_0} = \pi(M_s) \quad \text{Rapport des pressions génératrice}$$

Cas: $p_s = p_a > p^{**}$
et $p_a < p^*$ Un choc est positionné dans le divergent est fait passer l'écoulement du régime supersonique
Au régime subsonique



Supersonique p_{i0} | Subsonique p_{i1}

Conservation du débit
massique

$$p_{i0} A_{c0} = p_{i1} A_{c1}$$

A_c section du col fictif dans chacune
des zones de l'écoulement

$$p_{i0} A_{c0} = \frac{p_{i1}}{p_s} p_s \frac{A_{c1}}{A_s} A_s \quad \longrightarrow \quad p_{i0} A_{c0} = \frac{p_s A_s}{\varpi(M_s) \Sigma(M_s)} \quad \longrightarrow \quad \boxed{\varpi(M_s) \Sigma(M_s) = \frac{p_s A_s}{p_{i0} A_{c0}}} \quad \longrightarrow \quad M_s$$

p_{i0} , A_{c0} , A_s et sachant que $p_s = p_a$, on peut déterminer M_s , puisque les fonctions $\varpi(M)$ et $\Sigma(M)$ sont connues.

On obtient p_{i1} (pression génératrice derrière le choc) par :

$$p_{i1} = \frac{p_s}{\omega(M_s)}$$

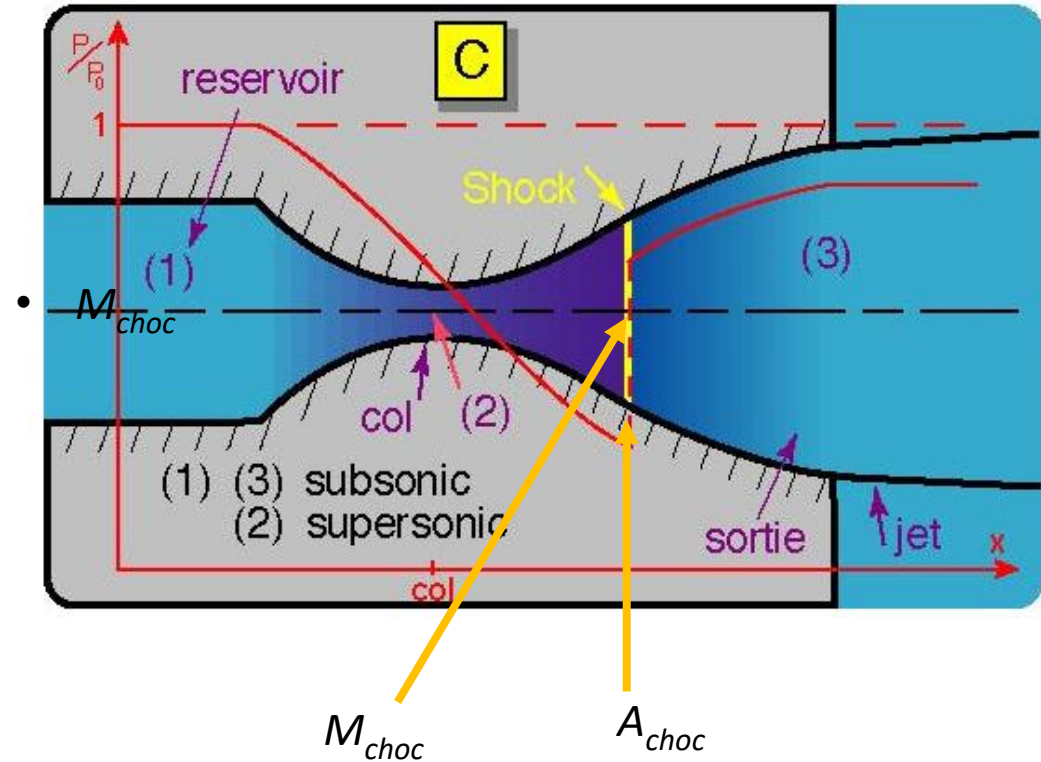
Caractéristiques du choc par :

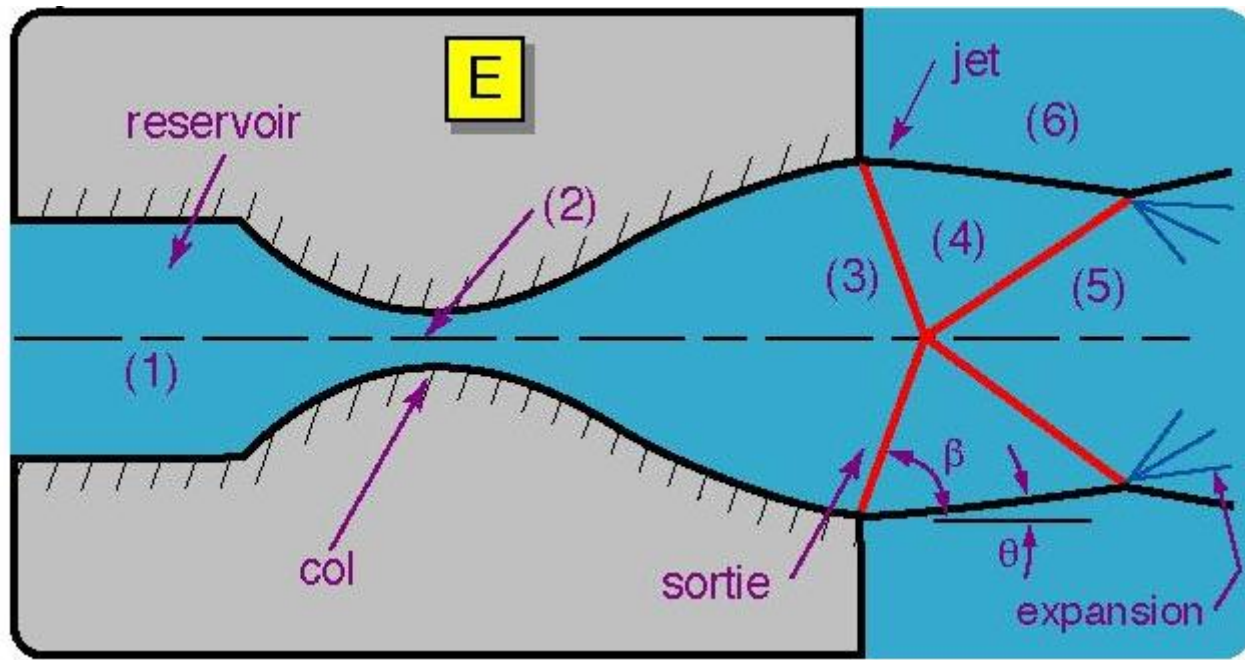
- Le nombre de Mach du choc : M_{choc}

$$\frac{p_{i1}}{p_{i0}} = \pi(M_{choc})$$

- La section A_{choc} dans laquelle il se produit.

$$\frac{A_{choc}}{A_{c0}} = \Sigma(M_{choc})$$

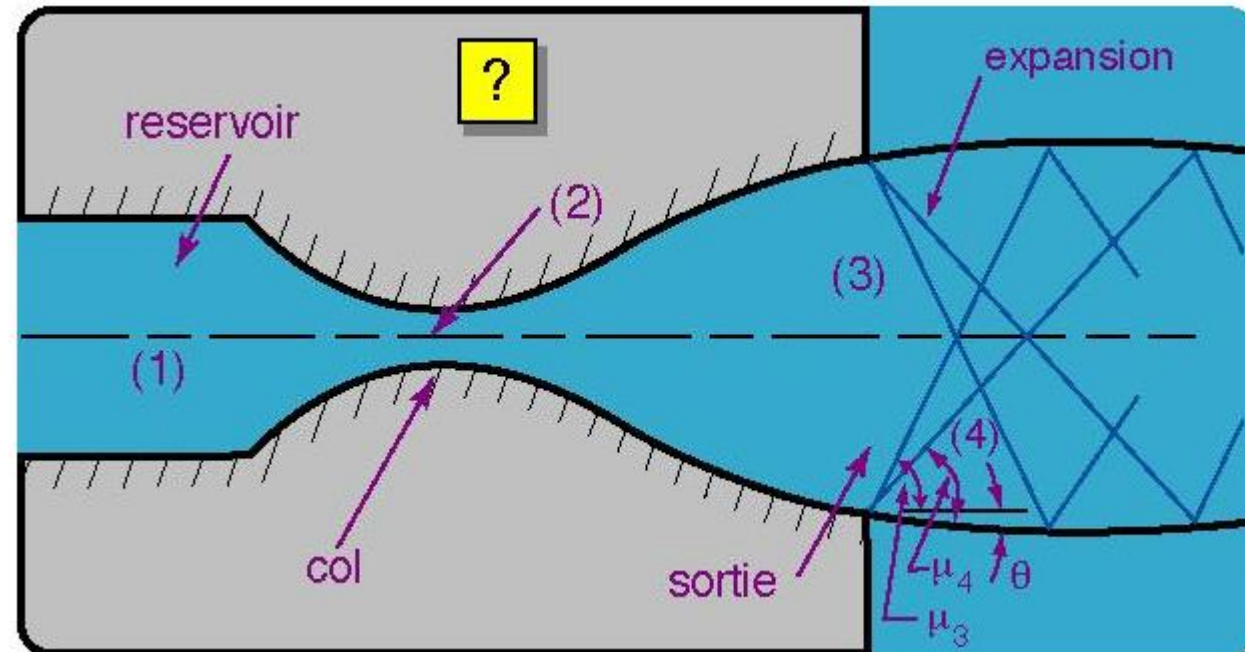




$$P^{***} < P_s < P^{**}$$

$$P_s < P_a$$

- Jet sur détendu
- Recompression hors de la tuyère par un système de chocs obliques



$$P_s < p^{**}$$

- Jet sur sous-détendu
- La détente se produit hors de la tuyère par des ondes de détentes
- Il y a apparition d'une ligne de glissement isobare