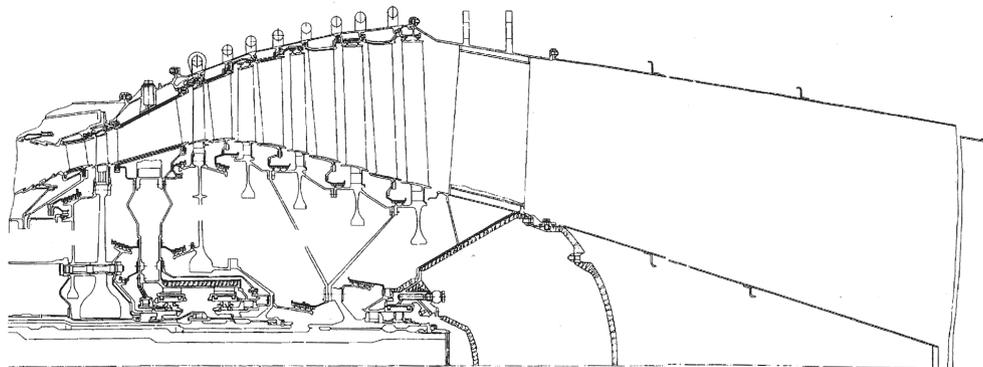


Thermodynamique de l'ingénieur
<http://thermo.ariadacapo.net>
Olivier Cleynen – Mars 2013 – v1.8.1

Cours 3

Les systèmes ouverts



~ nota bene ~

- Ces diapositives servent de support en classe ; elles n'ont pas vocation de remplacer un polycopié (ou un bon livre!)
- Certaines diapositives paraîtront inévitablement ambiguës ; attention à ne pas les interpréter sans l'aide des documents de cours.

Vos retours d'opinion sont les bienvenus :

olivier.cleynen@ariadacapo.net

Ces documents de cours sont téléchargeables
à l'adresse

<http://thermo.ariadacapo.net/>

Ce document est publié
sous licence Creative Commons.



Certains documents sont le fruit du travail des auteurs indiqués
au bas des diapositives, et publiés sous licence compatible.

Le reste est ©2009-2013 CC by-sa Olivier Cleynen

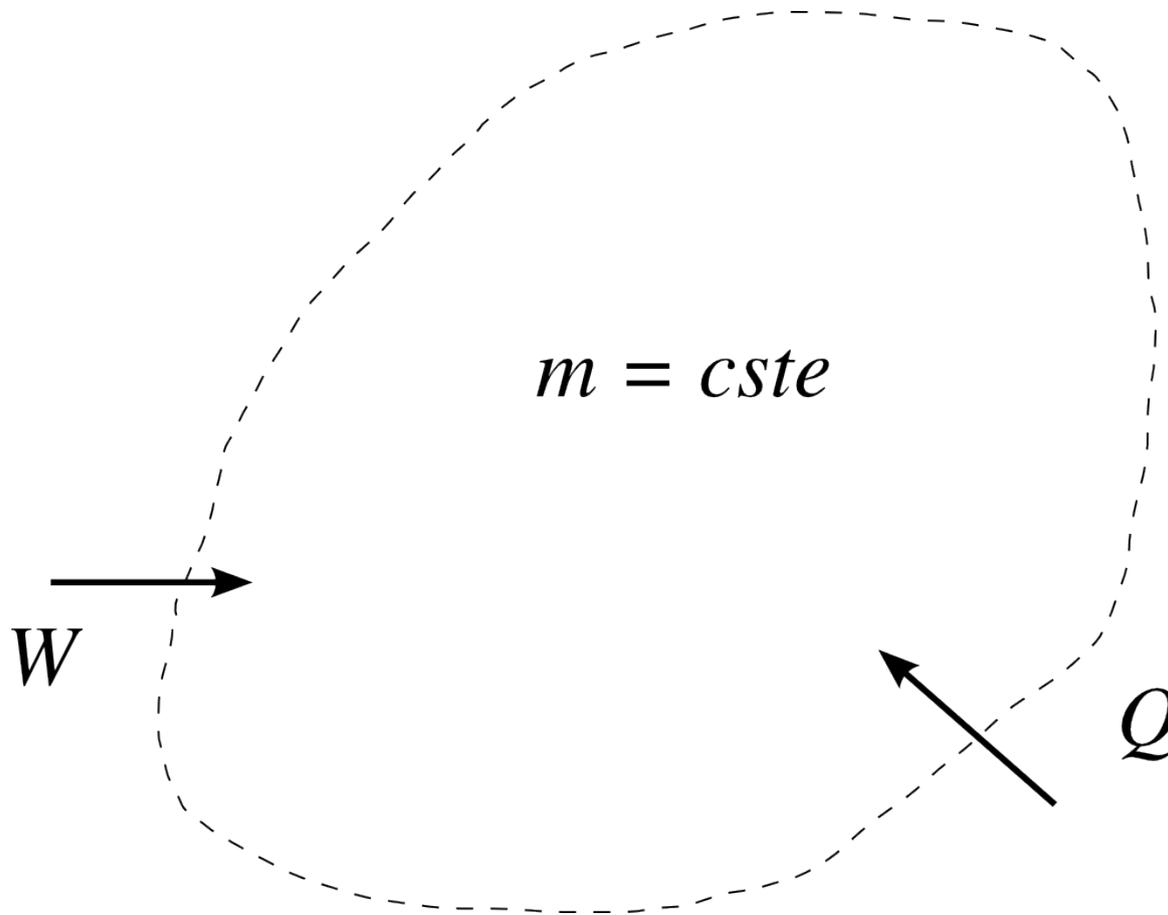
Vous êtes invité/es à copier, modifier, et ré-utiliser ce
document sous quelques conditions simples :

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.fr>

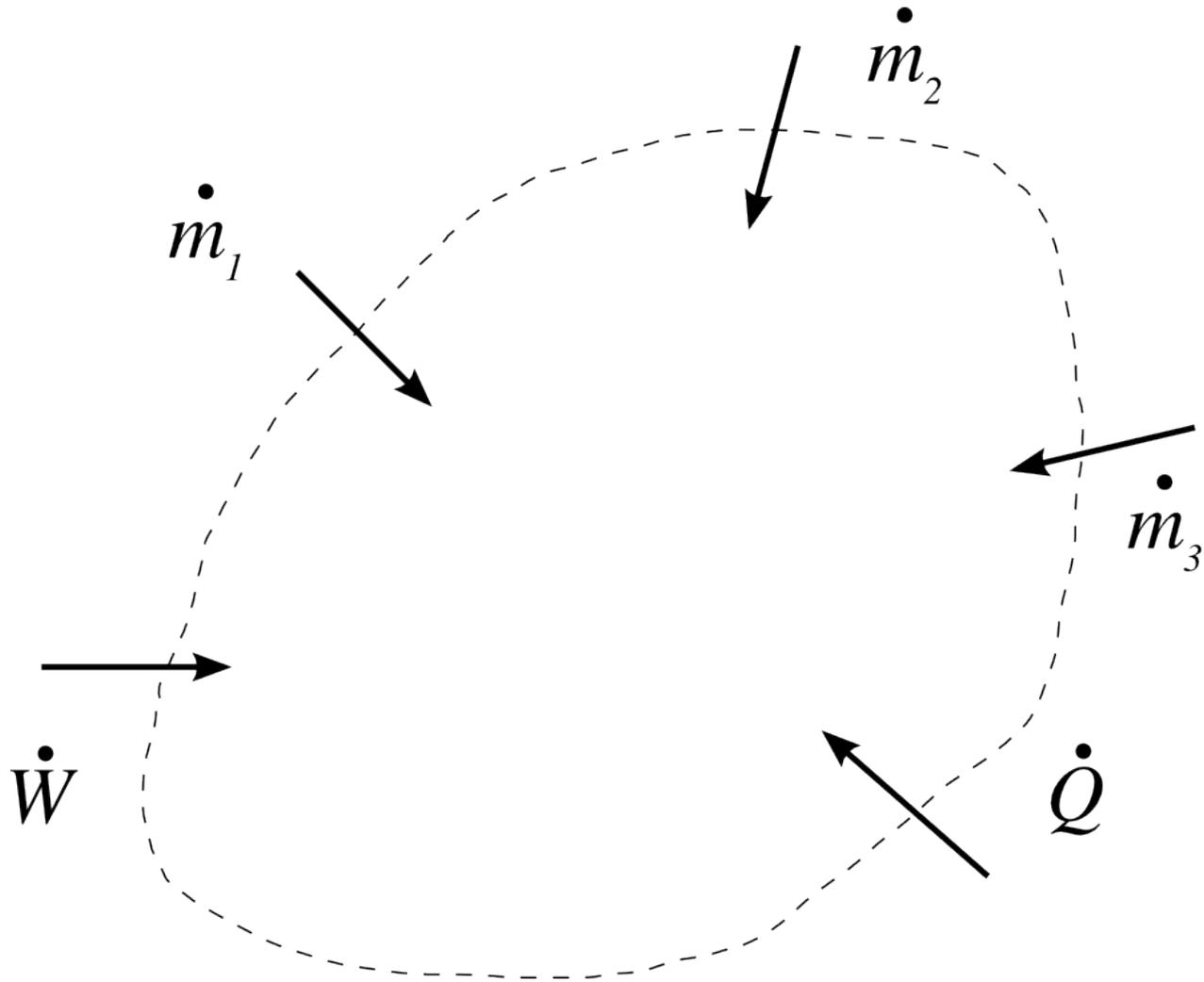
3.1 Définition

d'un système ouvert

Systeme fermé :

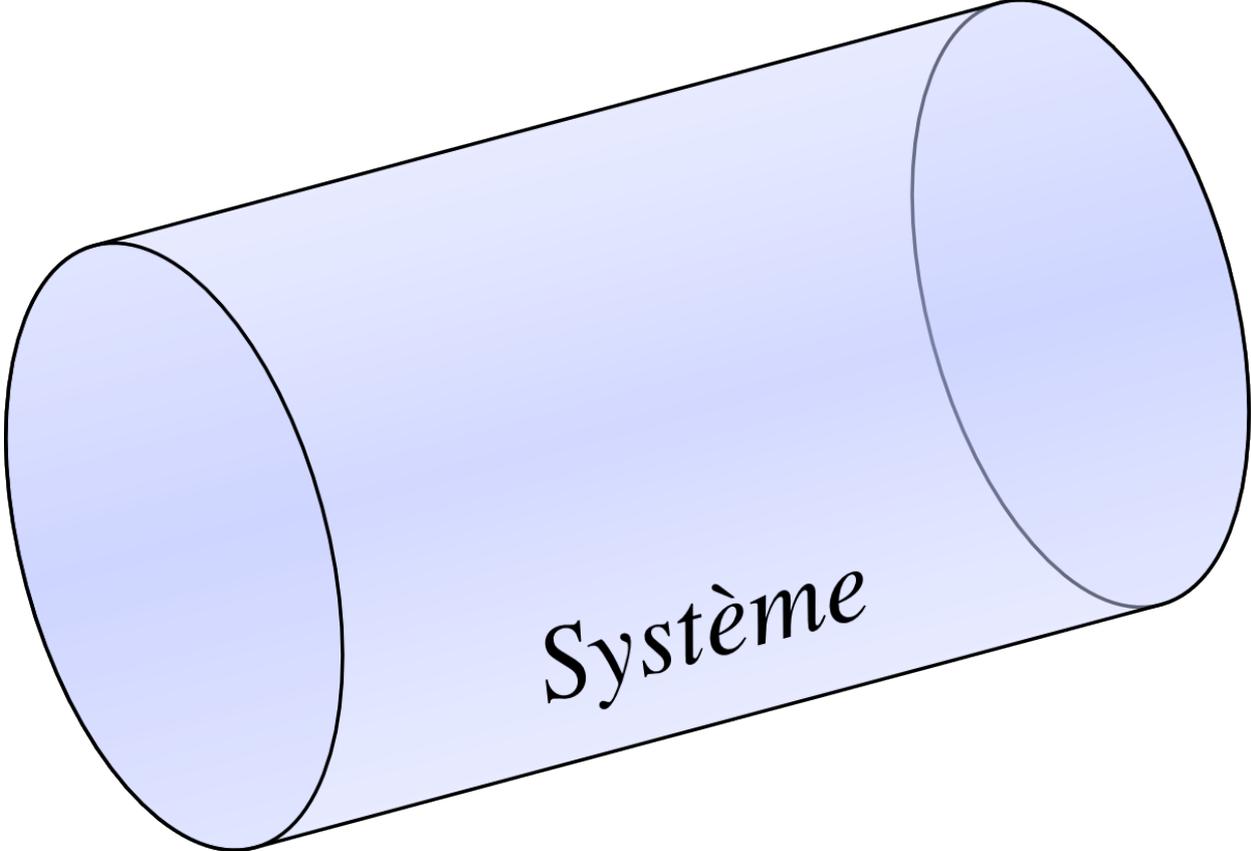


Système ouvert (oh!)

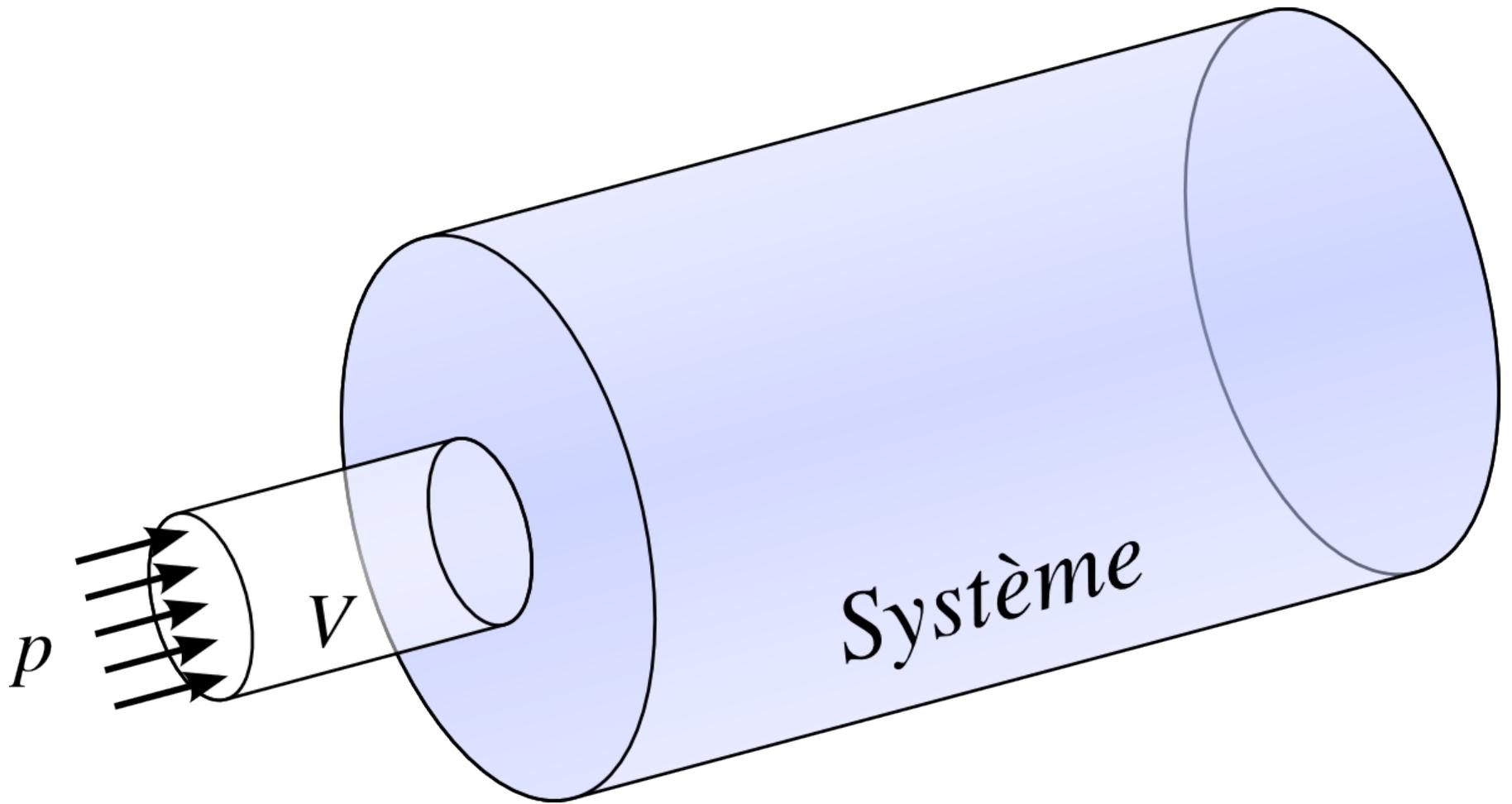


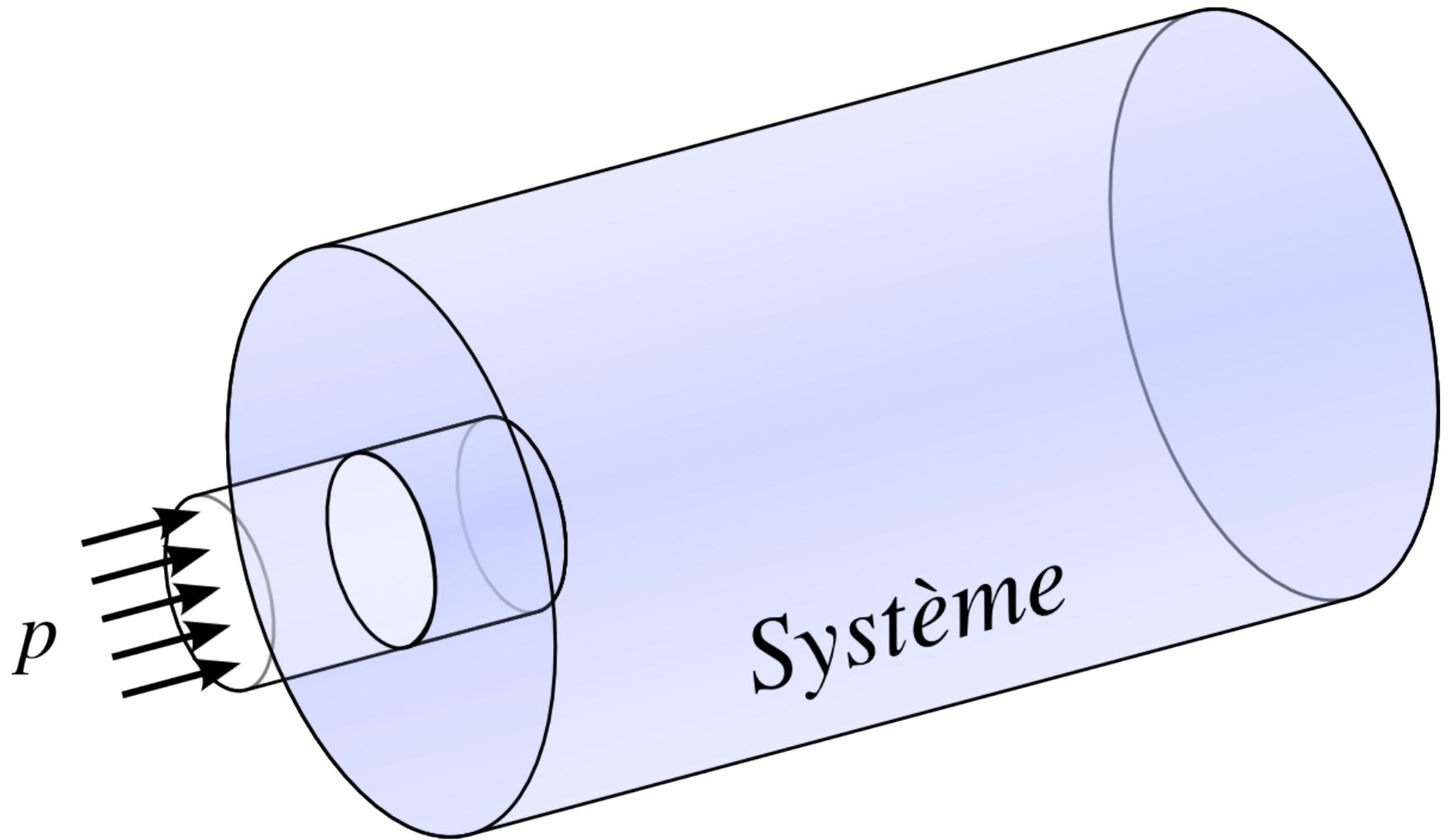
3.2 Le premier principe en système ouvert

3.2.1 Rentrer et sortir du système : le travail d'écoulement



Système





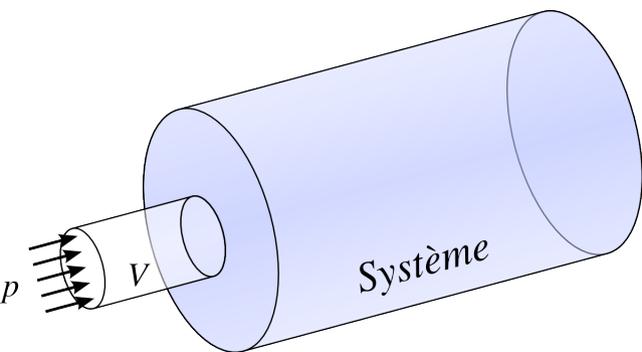
p

Système

Le travail et la puissance d'insertion

$$W_{\text{entrée}} = p_1 V_{\text{élément}}$$

$$\dot{W}_{\text{entrée}} = p_1 \dot{V}_{\text{fluide}}$$



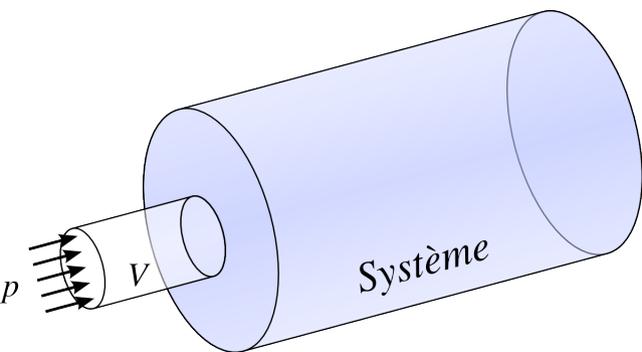
La puissance d'insertion
(puissance de frontière ou d'écoulement)

$$\dot{W}_{\text{entrée}} = \dot{m} p_1 v_{\text{fluide}}$$

$$w_{\text{entrée}} = p_1 v_1$$



(3/3)



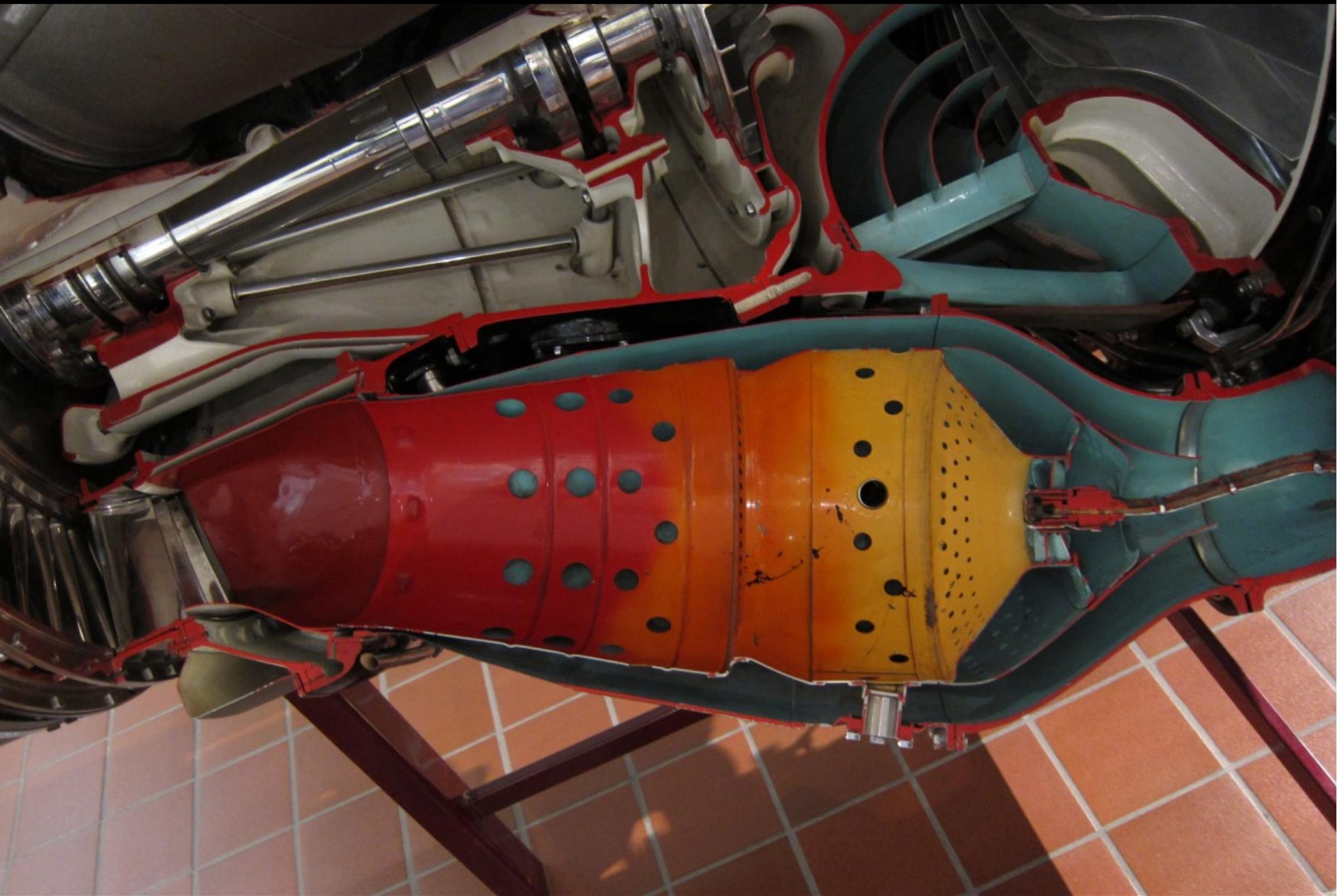
Puissance d'extraction :

$$\dot{W}_{\text{sortie}} = - p_2 \dot{V}_2$$

$$W_{\text{sortie}} = - p_2 v_2$$

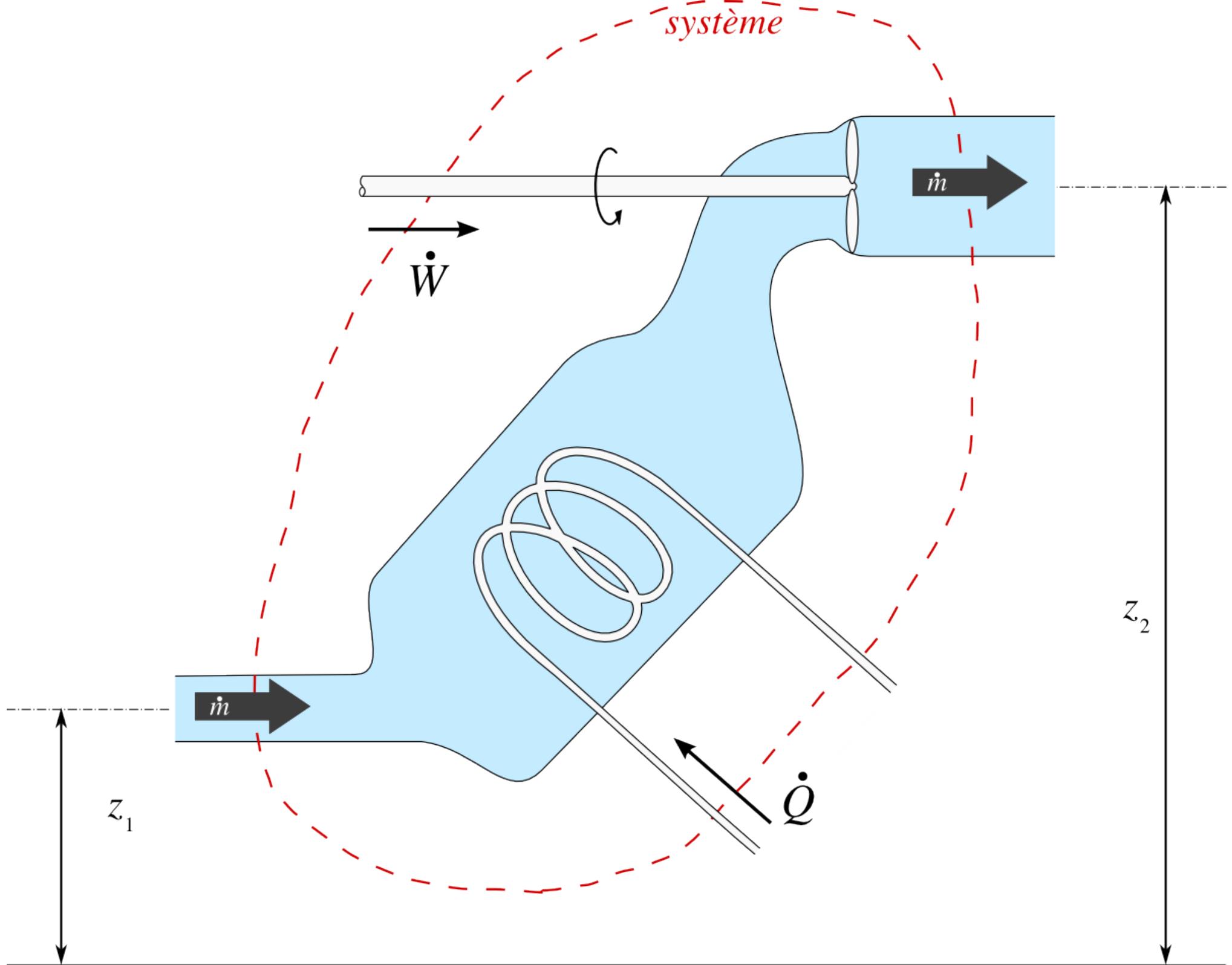
La puissance d'écoulement :

$$\left(\dot{W}_{\text{entrée}} + \dot{W}_{\text{sortie}} \right)$$



3.2.2 Bilan énergétique

~ où naît un acronyme légendaire ~



Puissance interne
(transportée par le fluide)

$$\dot{U}_1 = \dot{m} u_1$$

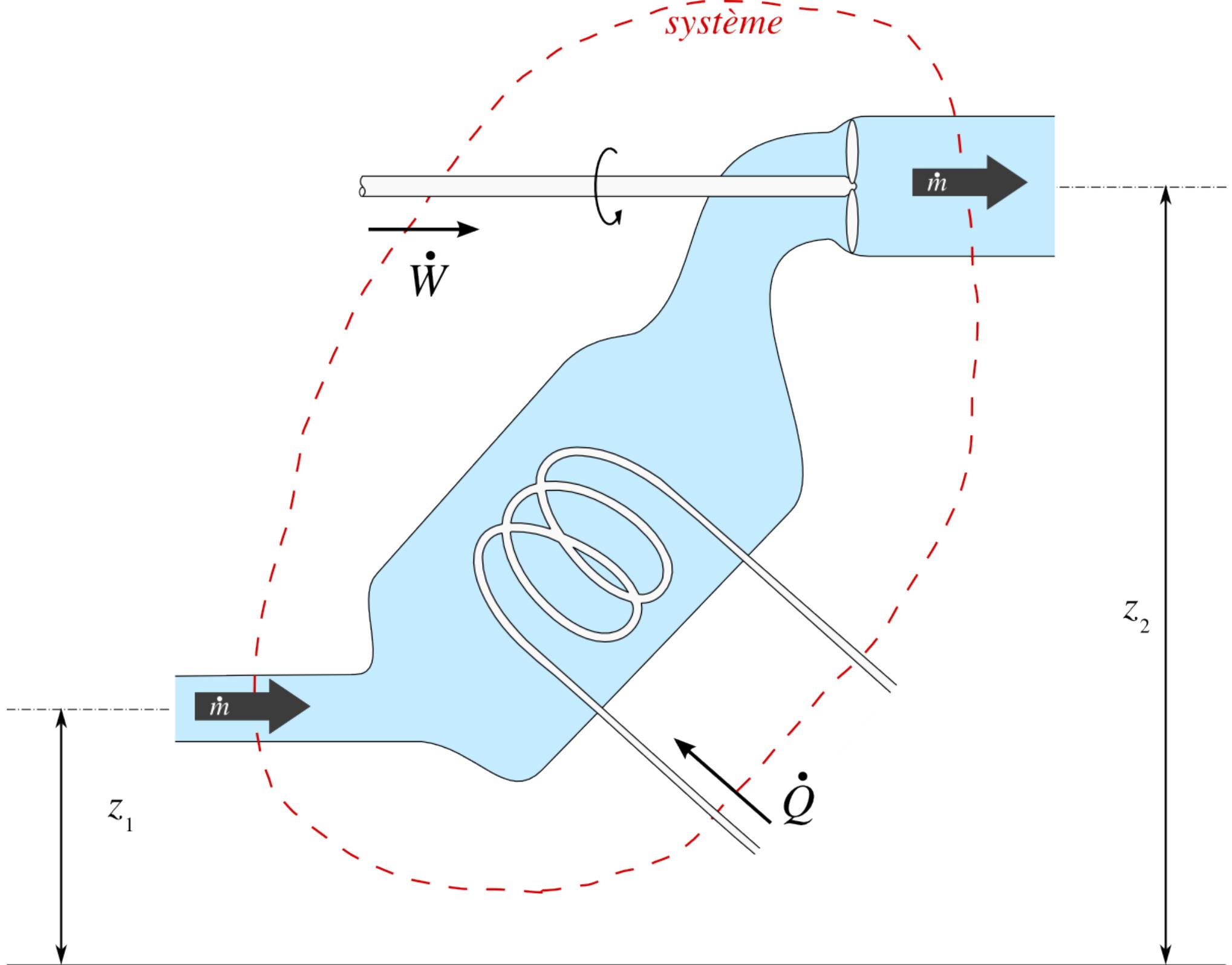
Puissance mécanique
(possédée par le fluide)

$$\dot{E}_{\text{mécal}} = \dot{m} \left(\frac{1}{2} C_1^2 + g z_1 \right)$$

$$\dot{W}_{\text{entrée}} = \dot{m} p_1 v_1$$

$$\dot{U}_1 \quad \dot{E}_{\text{méca1}} \quad \dot{W}_{\text{entrée}}$$

$$\dot{U}_2 \quad \dot{E}_{\text{méca2}} \quad \dot{W}_{\text{sortie}}$$



$$\begin{aligned} & \dot{W}_{\text{entrée}} + \dot{U}_1 + \dot{E}_{\text{méca1}} \\ & + \dot{Q}_{1 \rightarrow 2} + \dot{W}_{1 \rightarrow 2} \\ & + \dot{W}_{\text{sortie}} + \dot{U}_2 + \dot{E}_{\text{méca2}} = 0 \end{aligned}$$

L'énergie est indestructible !

utile !

$$\dot{m} \left(u_1 + p_1 v_1 + \frac{1}{2} C_1^2 + g z_1 \right) + \dot{Q}_{1 \rightarrow 2} + \dot{W}_{1 \rightarrow 2} \\ = \dot{m} \left(u_2 + p_2 v_2 + \frac{1}{2} C_2^2 + g z_2 \right)$$

(3/9)

Steady Flow Energy Equation (SFEE)

$$\dot{Q}_{1 \rightarrow 2} + \dot{W}_{1 \rightarrow 2} = \dot{m} \left(\Delta u + \Delta(pv) + \frac{1}{2} \Delta(C^2) + g \Delta z \right)$$



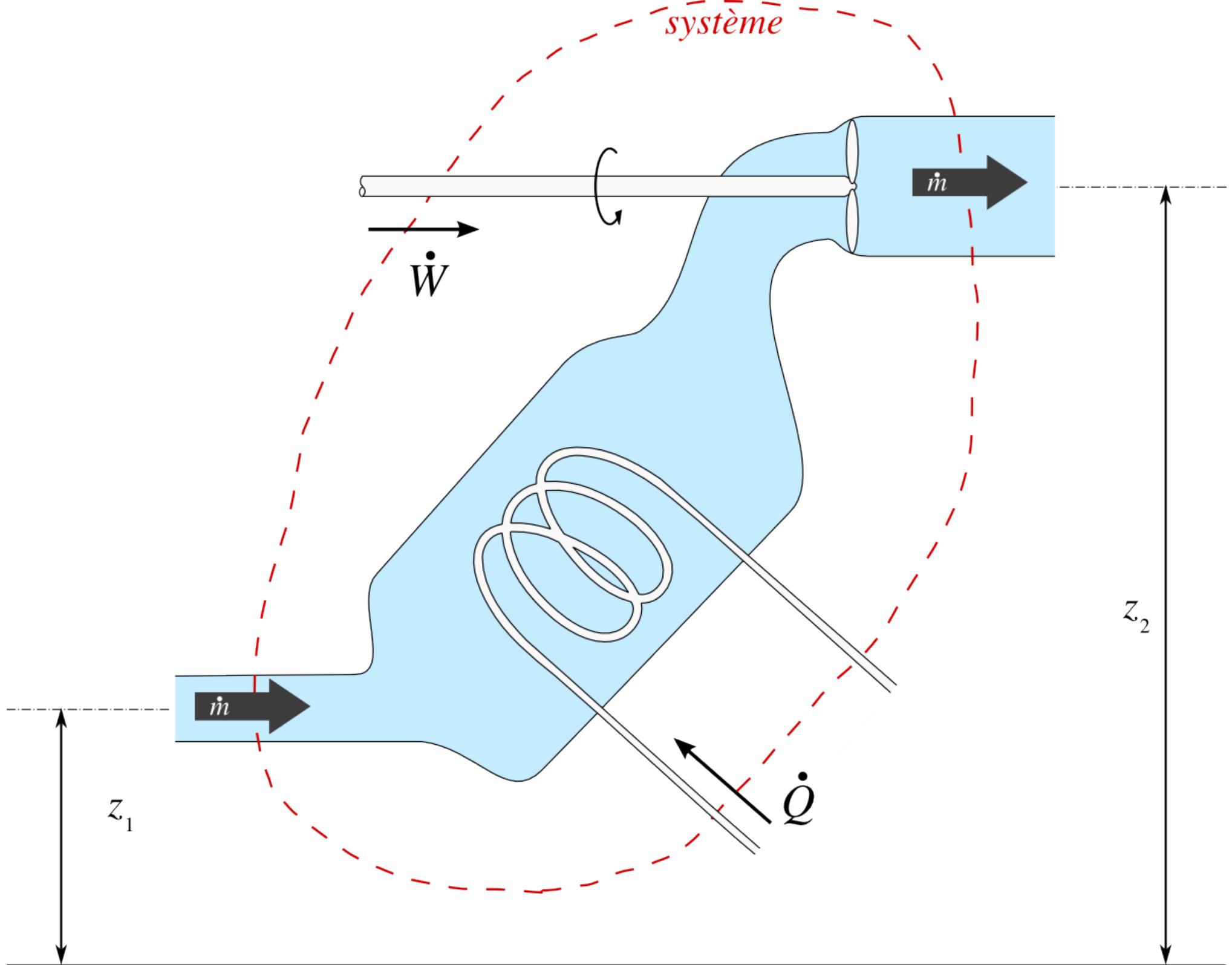
$$q_{1 \rightarrow 2} + w_{1 \rightarrow 2} = \Delta u + \Delta(pv) + \Delta e_m$$

Clin d'œil de Bernoulli
(Daniel, pas Johann, ni Jacob)

Culture
Générale

$$\frac{C^2}{2} + z g + p v = cst$$





3.2.3 L'enthalpie

Définition de l'enthalpie
(toute bête)

$$h \equiv u + p v$$

(3/12)

enthalpie spécifique

(J/kg)

L'enthalpie
(la vraie)

$$H \equiv m h$$

(3/13)

$$\dot{m} \left(u_1 + p_1 v_1 + \frac{1}{2} C_1^2 + g z_1 \right) + \dot{Q}_{1 \rightarrow 2} + \dot{W}_{1 \rightarrow 2}$$
$$= \dot{m} \left(u_2 + p_2 v_2 + \frac{1}{2} C_2^2 + g z_2 \right)$$

$$\begin{aligned} & \dot{m} \left(h_1 + \frac{1}{2} C_1^2 + g z_1 \right) + \dot{Q}_{1 \rightarrow 2} + \dot{W}_{1 \rightarrow 2} \\ & = \dot{m} \left(h_2 + \frac{1}{2} C_2^2 + g z_2 \right) \end{aligned}$$

Ou encore, en plus élégant



$$q_{1 \rightarrow 2} + w_{1 \rightarrow 2} = \Delta h + \Delta e_m$$

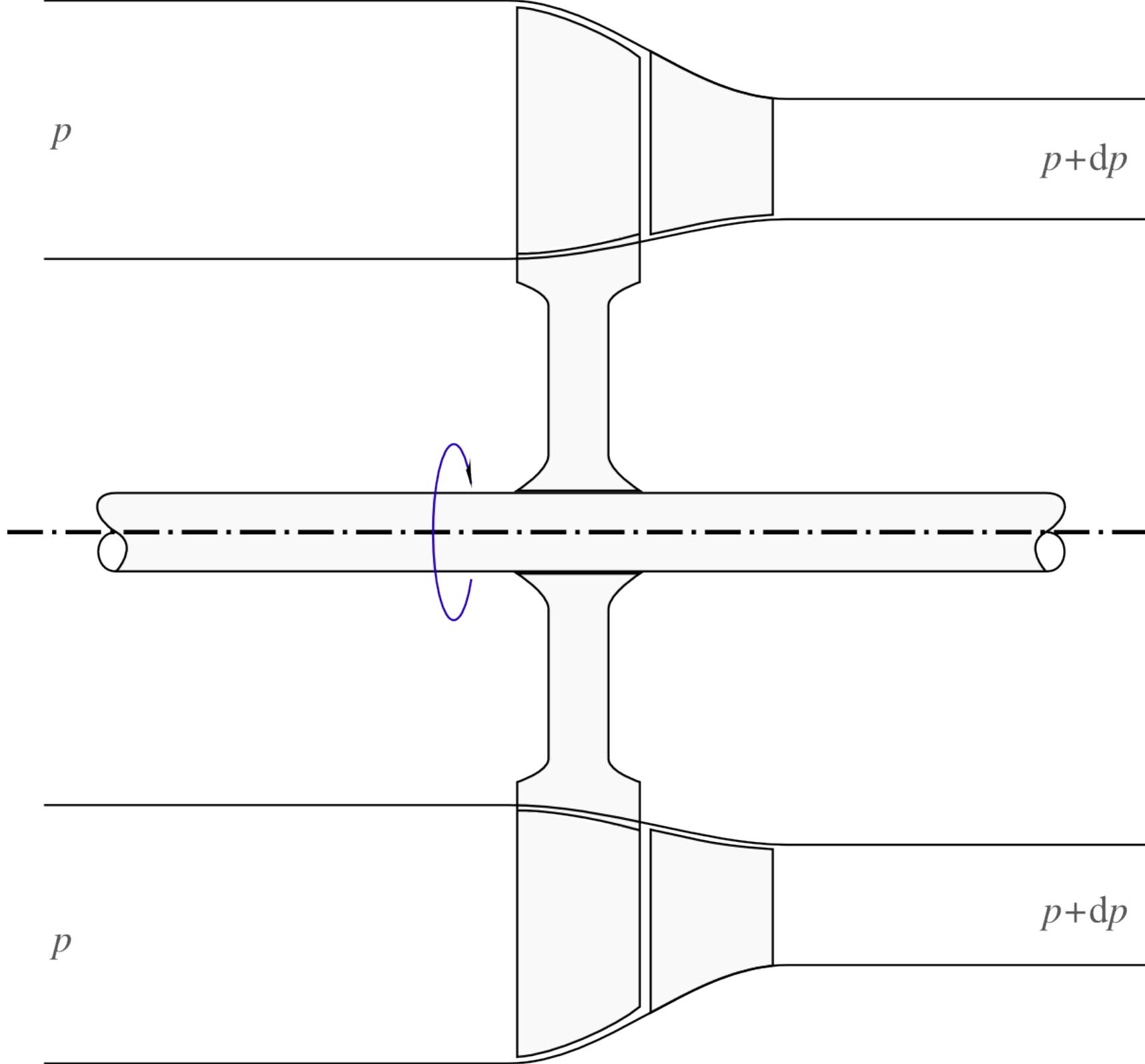
Énergie mécanique négligée ?

$$\dot{m} (h_1) + \dot{Q} + \dot{W} = \dot{m} (h_2)$$

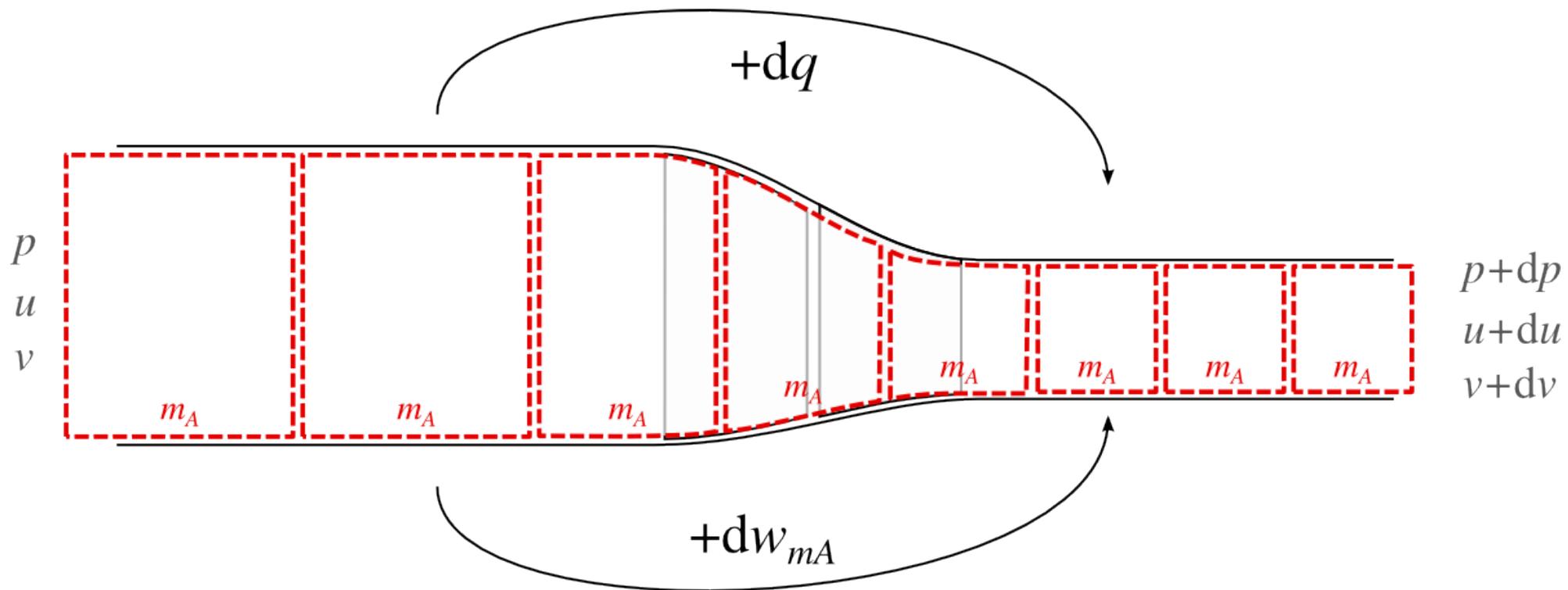
$$q_{1 \rightarrow 2} + w_{1 \rightarrow 2} = \Delta h$$

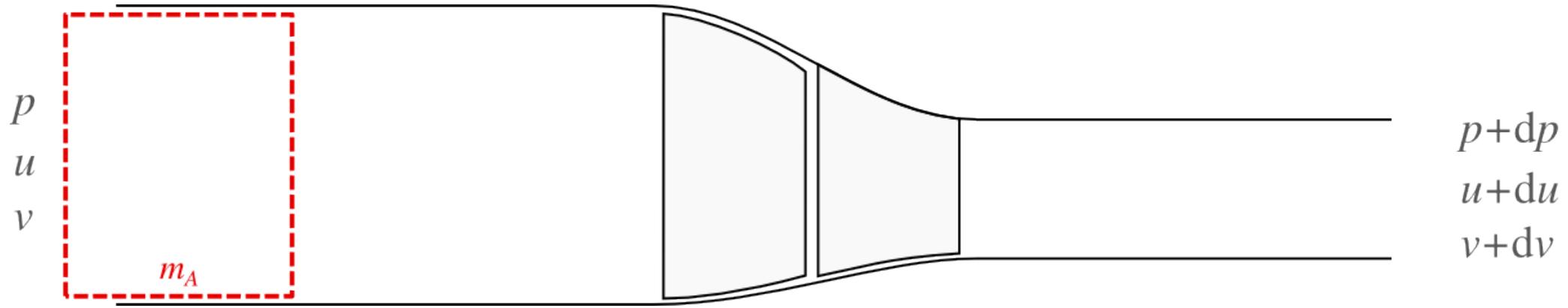
(3/16)

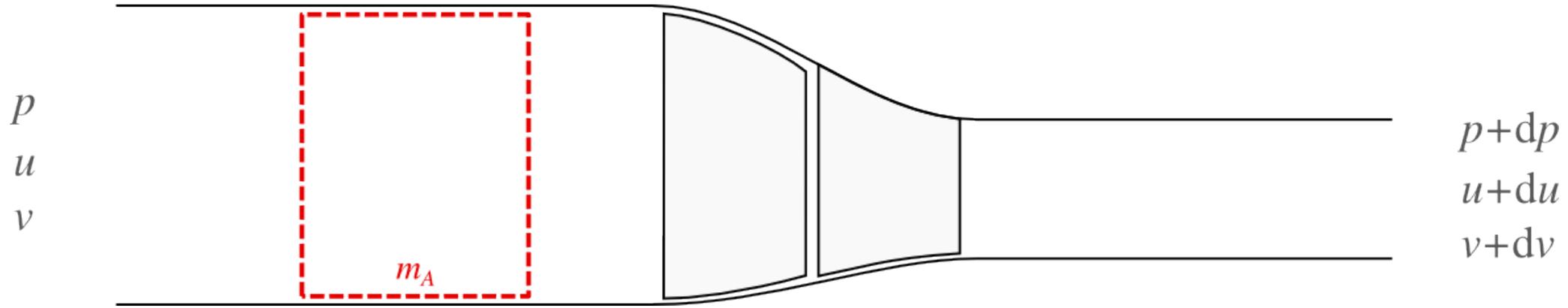
3.3 Travail réversible en régime permanent

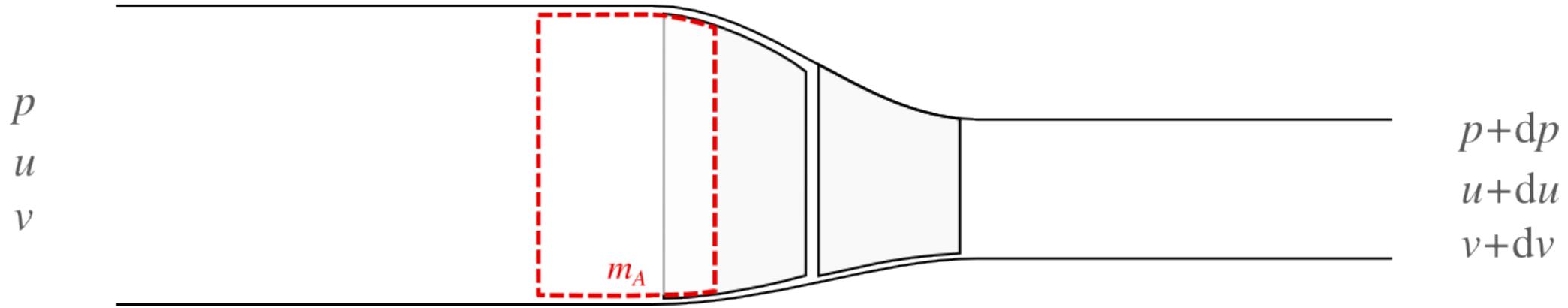


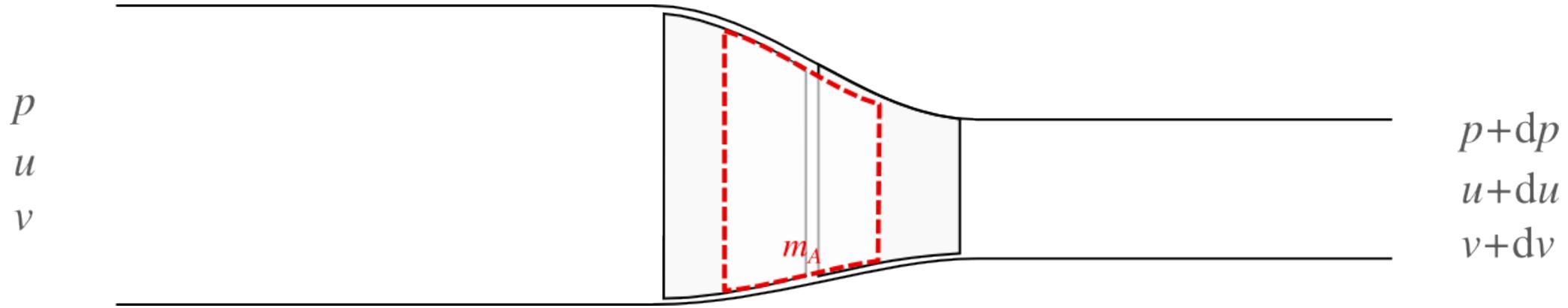


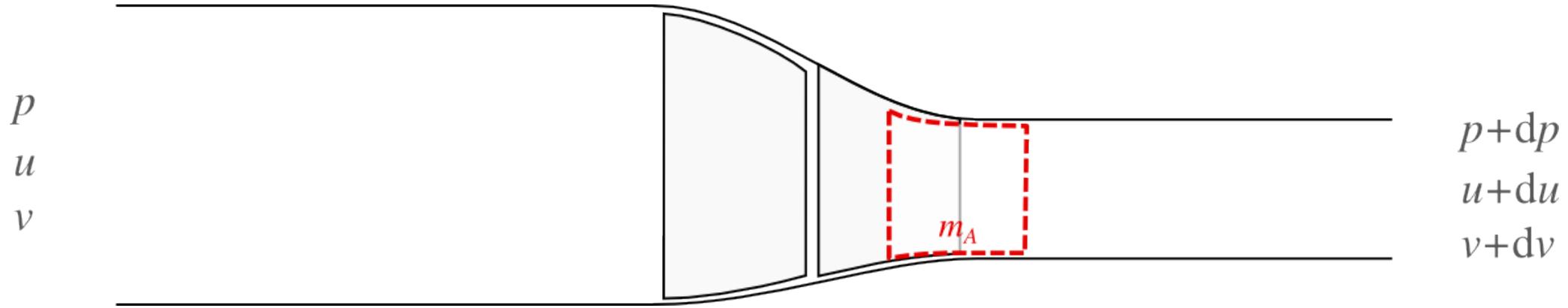


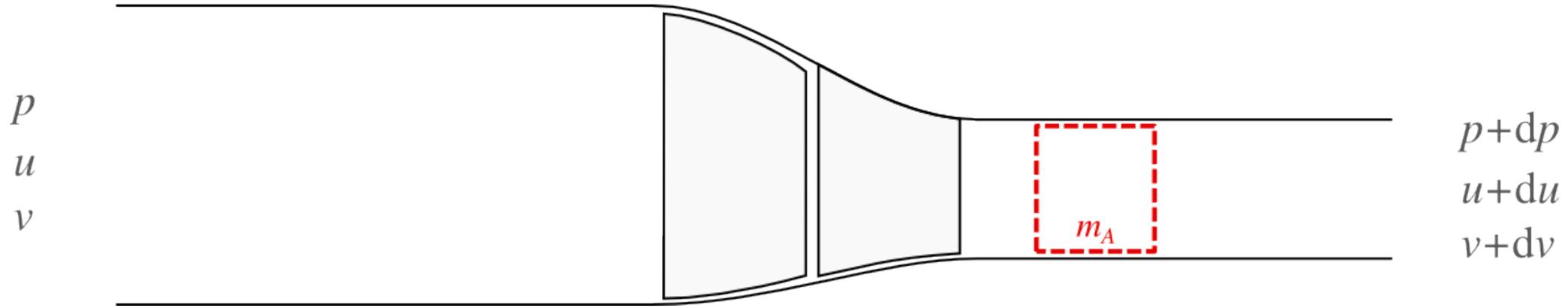


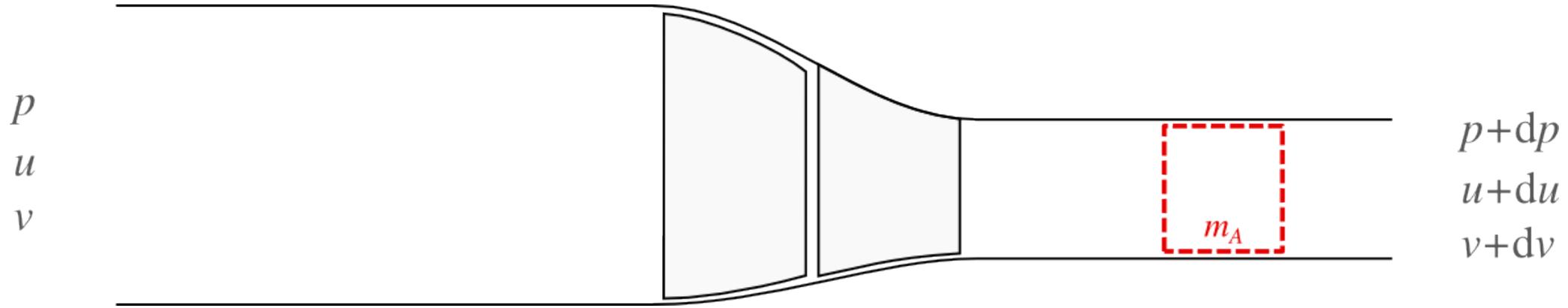


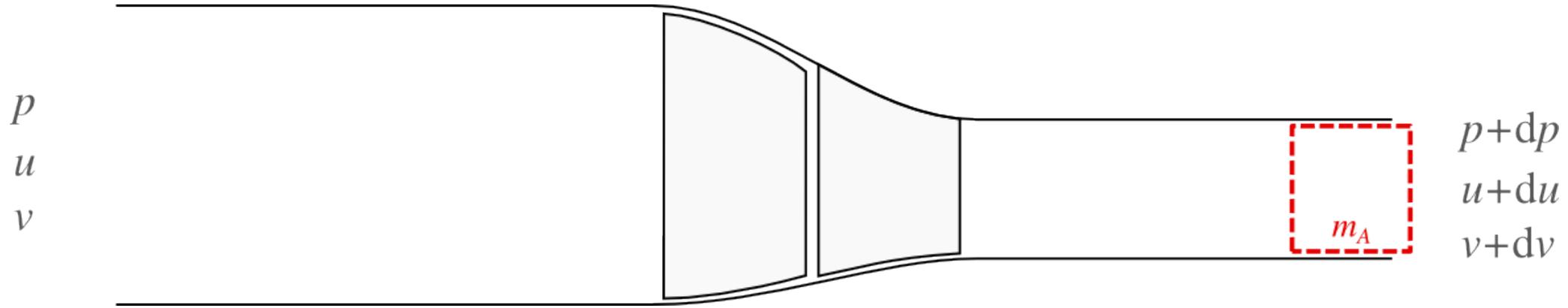


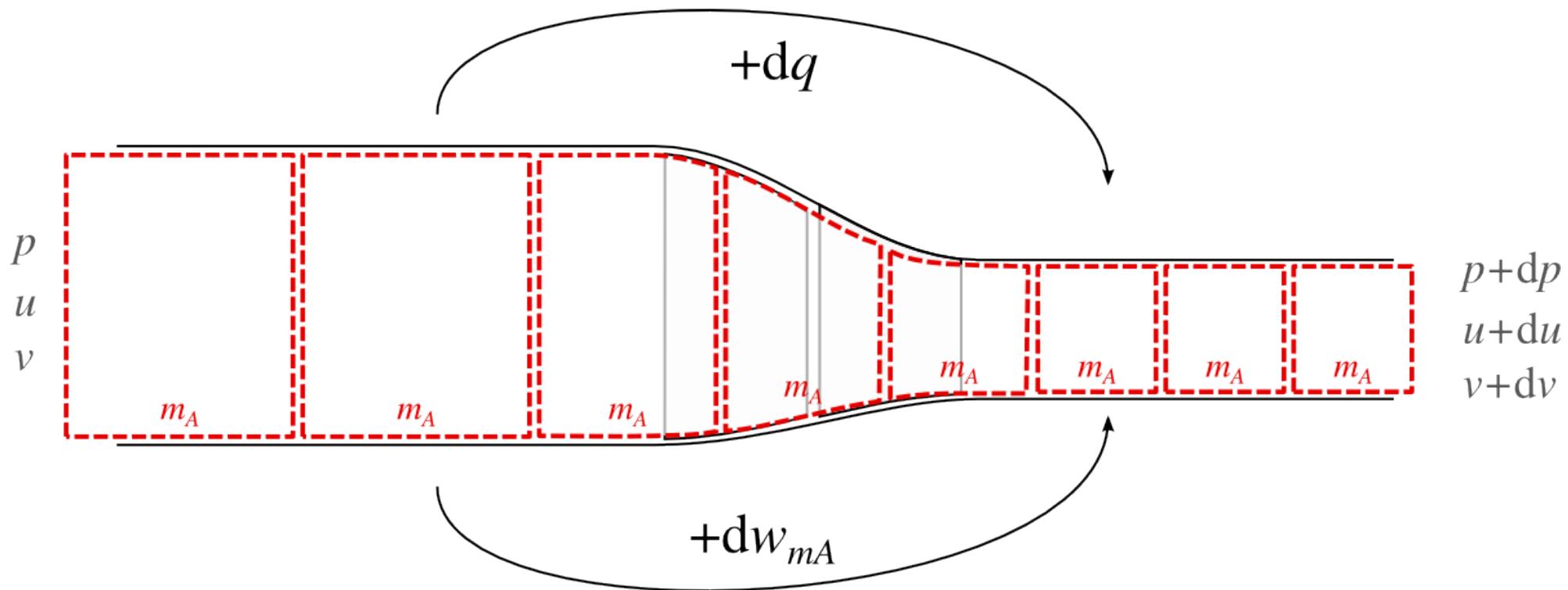






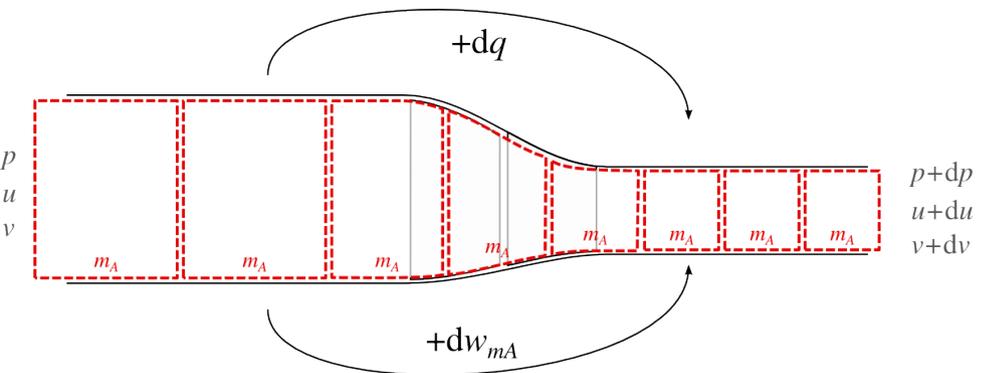


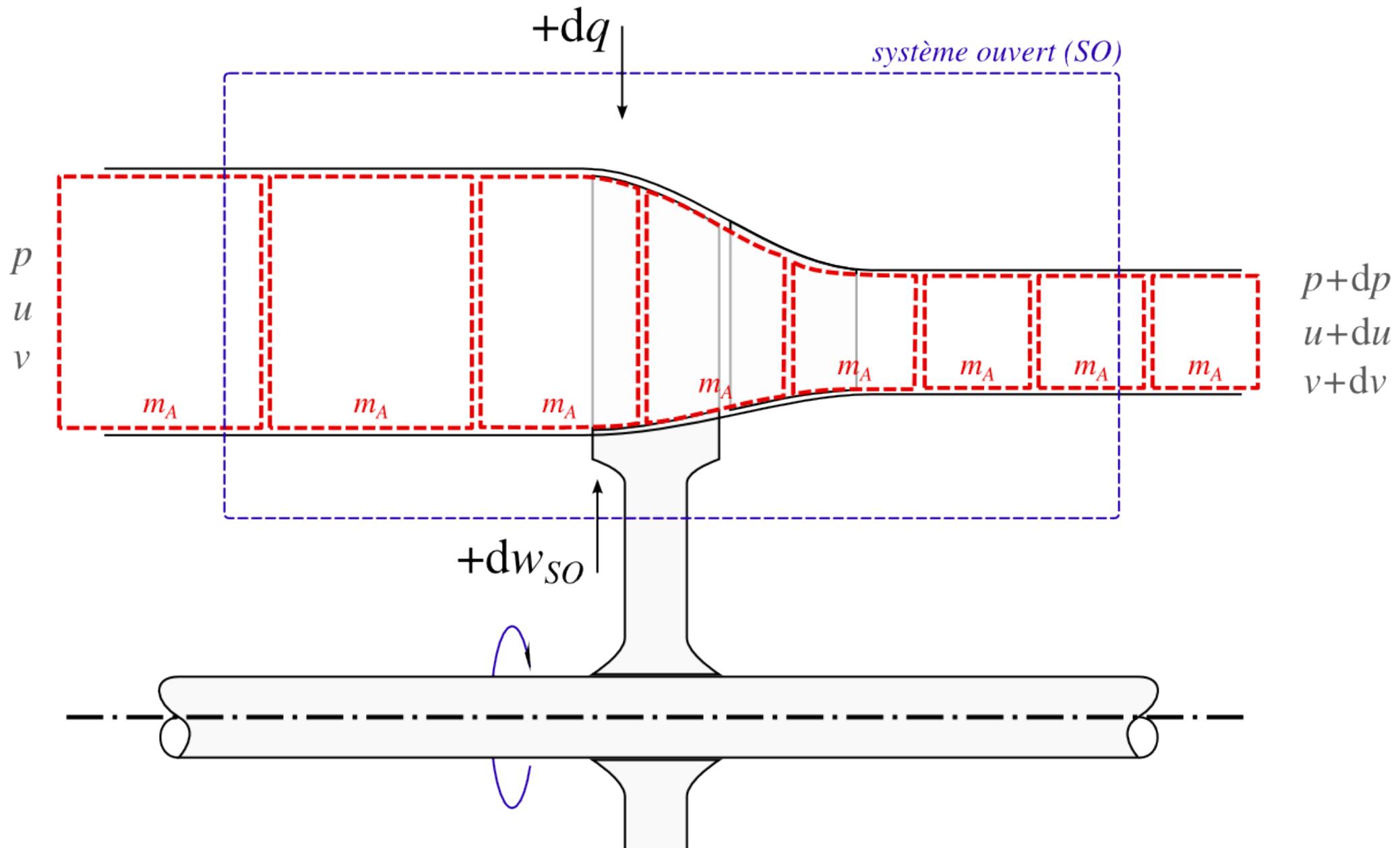




$$dw_{m_A} = -p dv$$

(3/17)

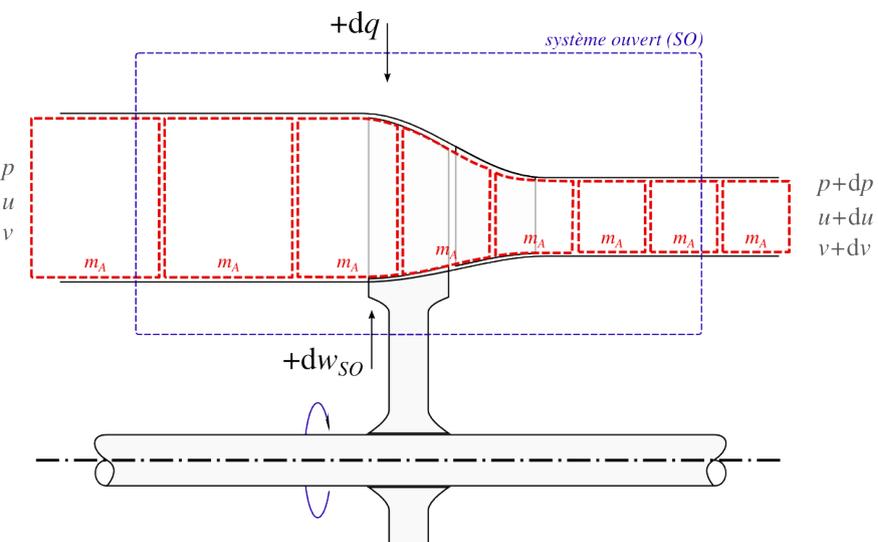




$$W_{\text{entrée}} = -p v$$

$$W_{\text{sortie}} = (p + dp)(v + dv)$$

(III-3.5)



$$d w_{so} = w_{entrée} + d w_{mA} + w_{sortie}$$

$$d w_{so} = -p v + (-p d v) \\ + (p + d p) (v + d v)$$

$$= -p v - p d v + p v + p d v + d p v + d p d v$$

$$d w_{so} = w_{entrée} + d w_{mA} + w_{sortie}$$

$$= d p v + d p d v$$

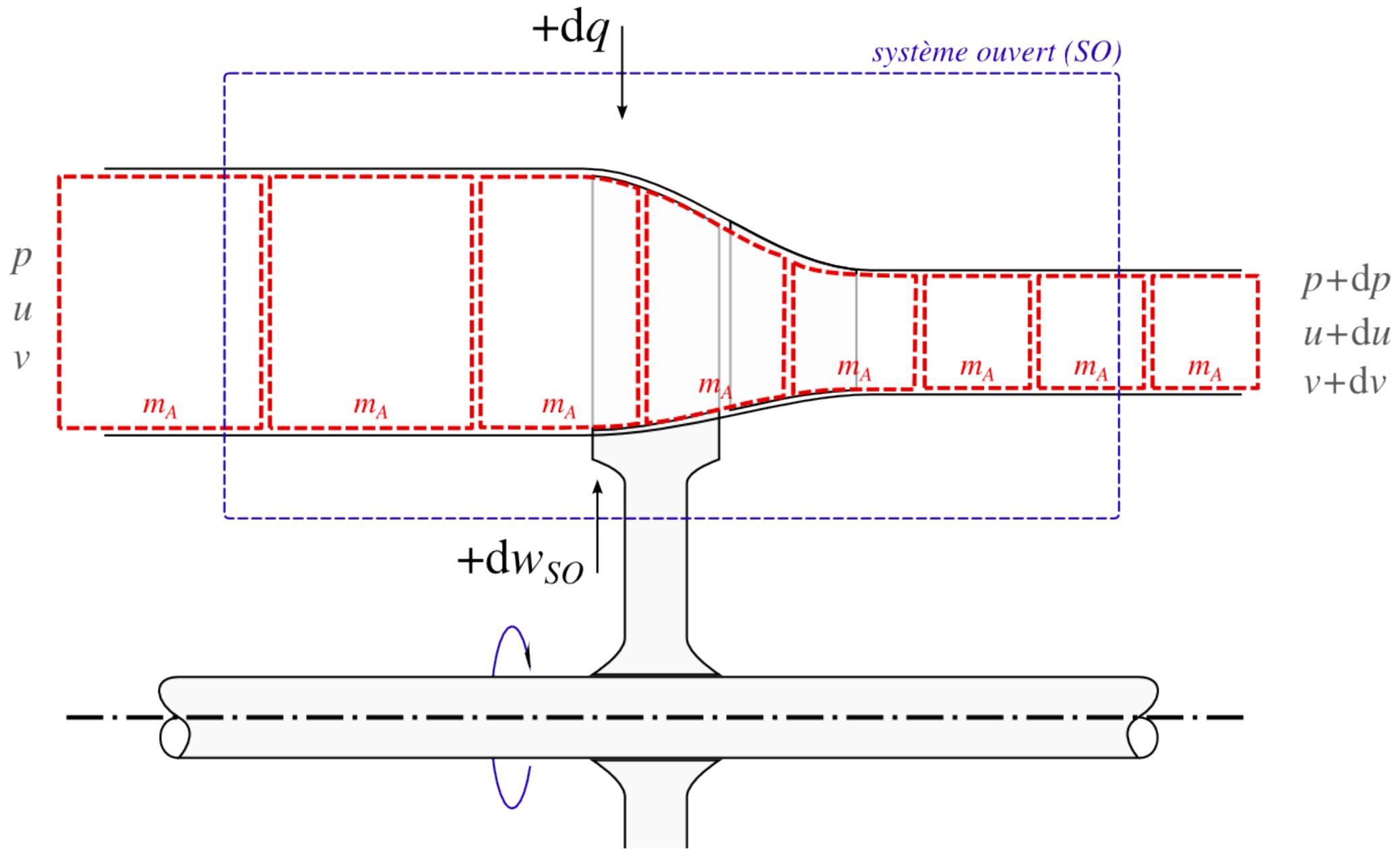
$$d w_{so} = v d p$$

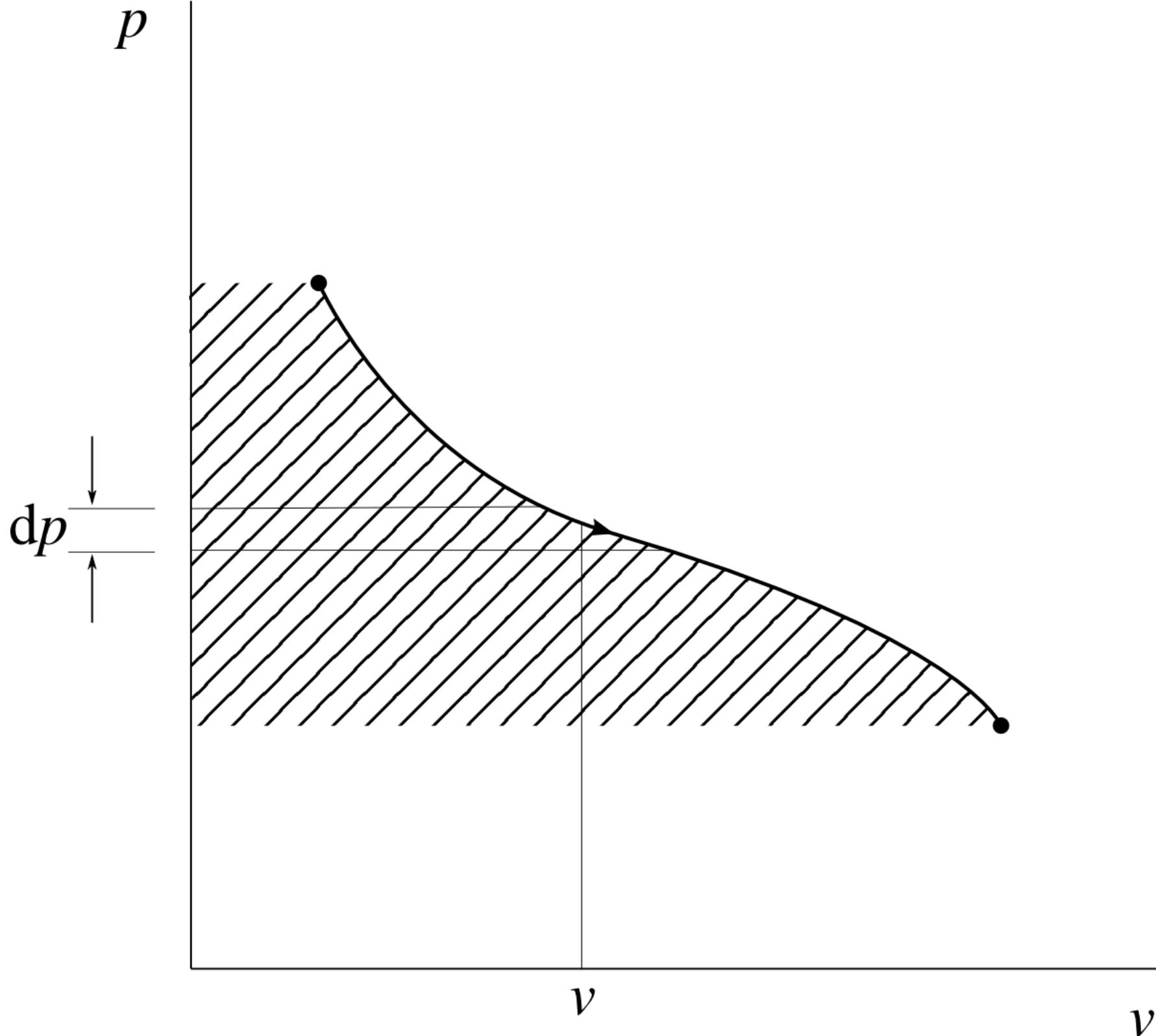
Le travail en système ouvert :

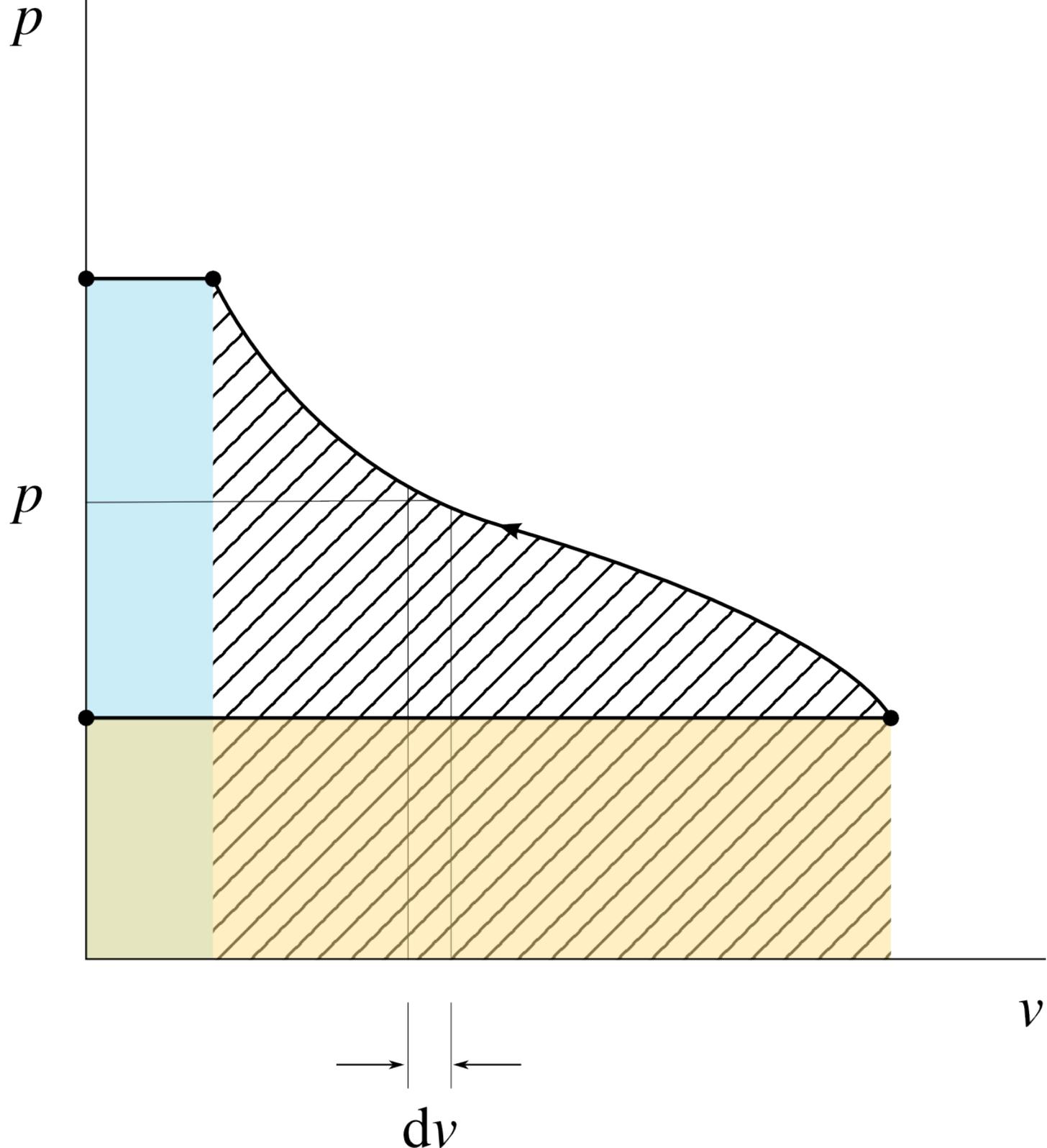
$$w_{so} = \int v \, d p$$



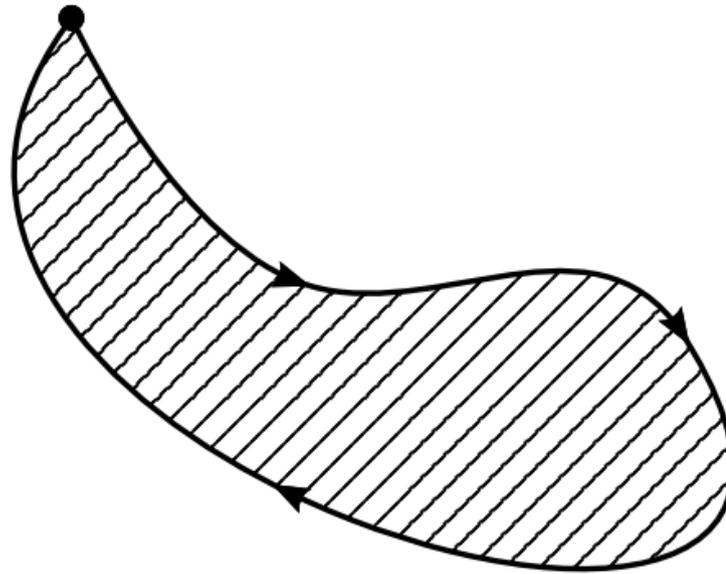
$$\dot{W}_{A \rightarrow B} = \dot{m} \int_A^B v \, d p$$







p



v

3.4 Vitesse d'écoulement et surface de coupe

~ où l'on ne prend pas des kilos ~



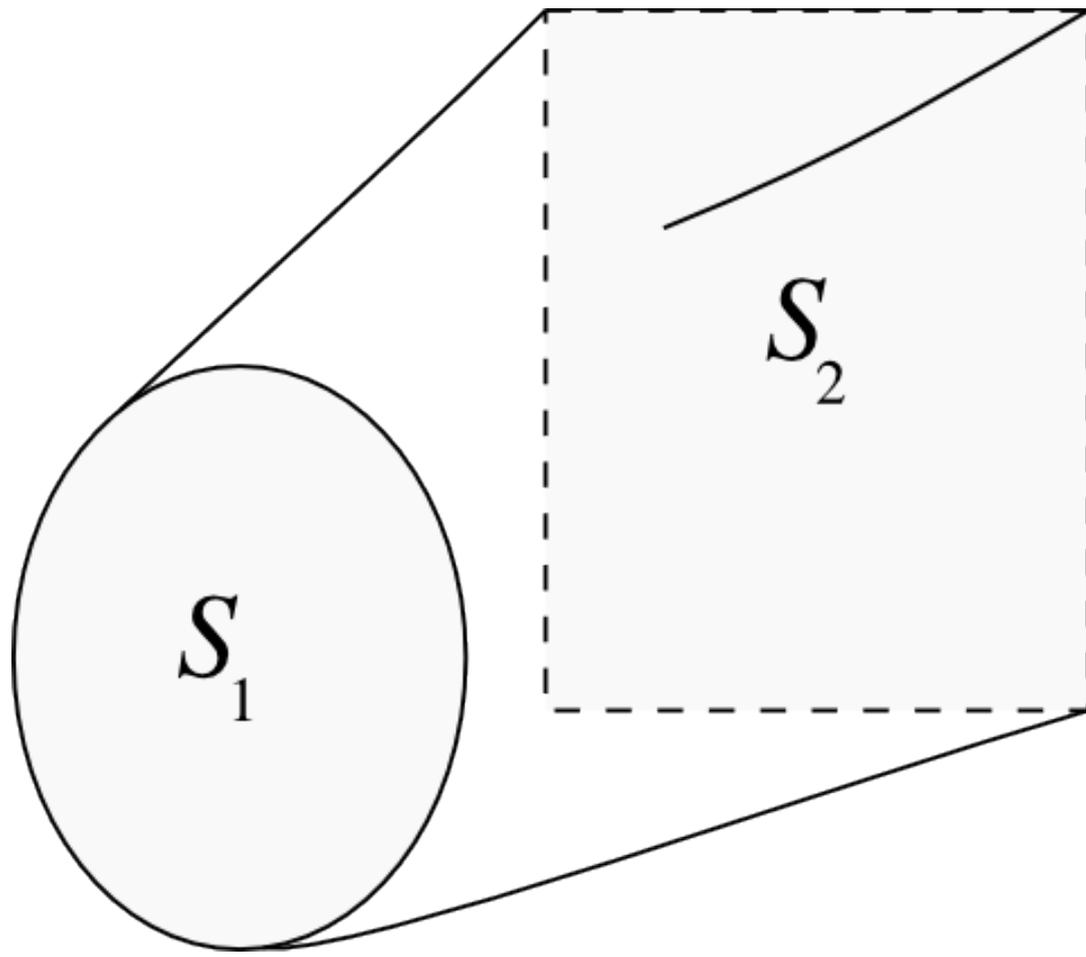
$$\dot{V}$$

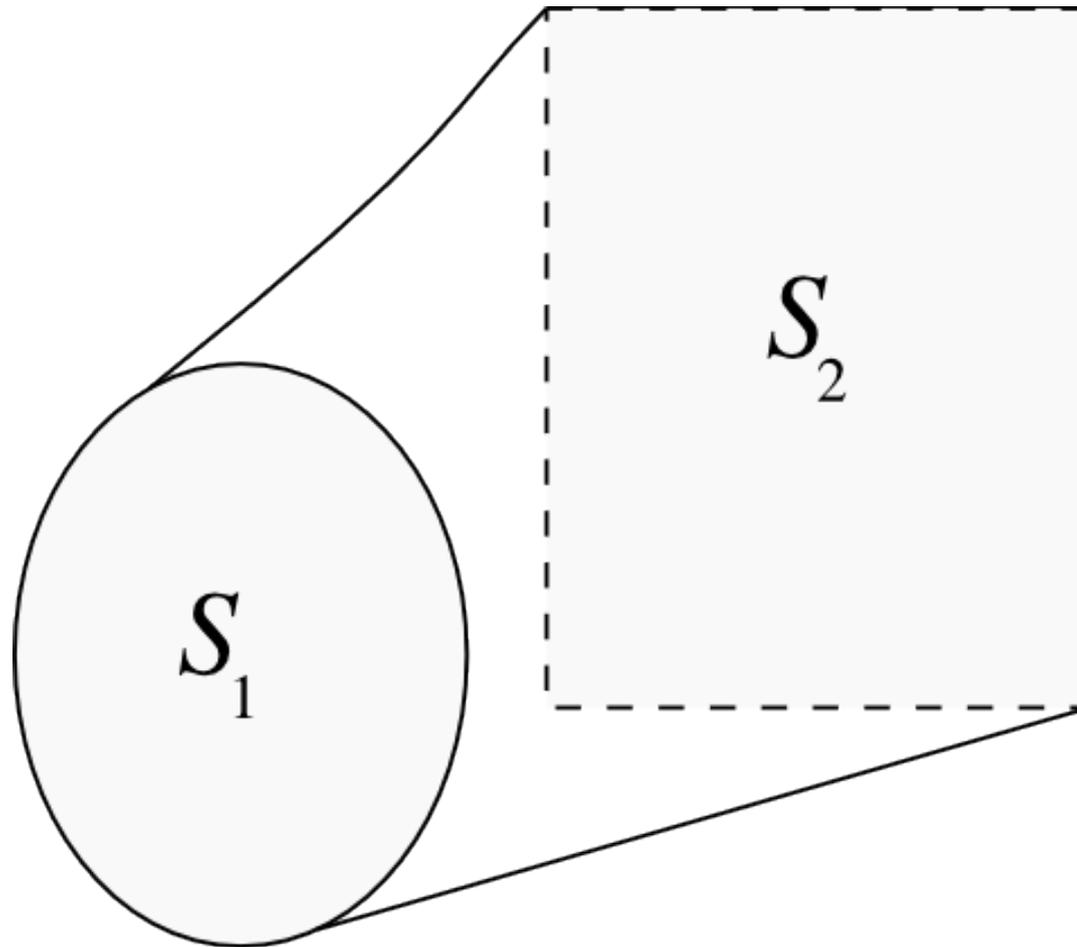
$$\dot{V} = C_{moy} S$$

$$\dot{V} \quad \dot{m}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{\nu} = \frac{C_{moy} S}{\nu}$$

$$\dot{m} = \rho C_{moy} S$$





$$\dot{m} = \rho C_{moy} S$$

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \frac{d m_{sys}}{d t}$$



Le régime permanent :

$$\sum \dot{m}_{in} = - \sum \dot{m}_{out}$$

Entre deux sections d'un système ouvert :

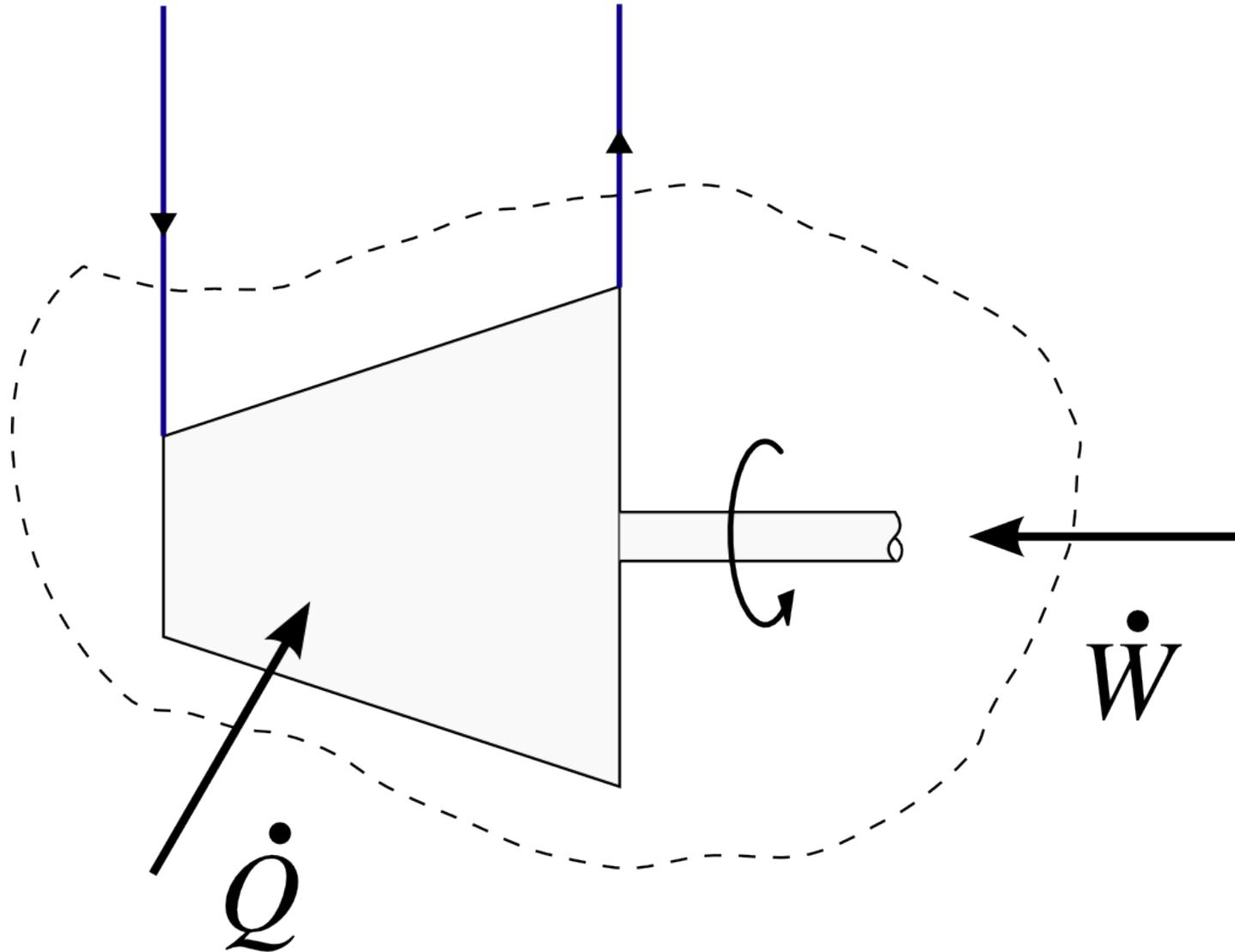


$$\rho_1 C_1 S_1 = \rho_2 C_2 S_2$$

(3/26)

(conservation de la masse)

$$\rho_1 C_1 S_1 = \rho_2 C_2 S_2$$



$$\rho_1 C_1 S_1 = \rho_2 C_2 S_2$$

