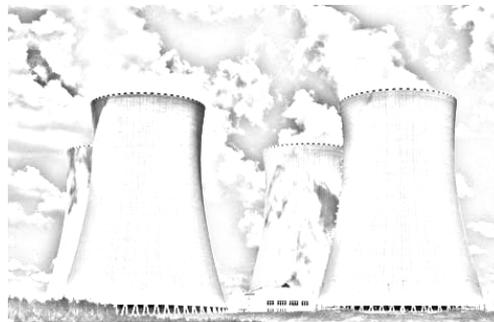


Cours 9

Cycles de puissance à vapeur



We will make electric light so cheap
that only the rich will be able to burn candles.

THOMAS A. EDISON — 1879

~ 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.



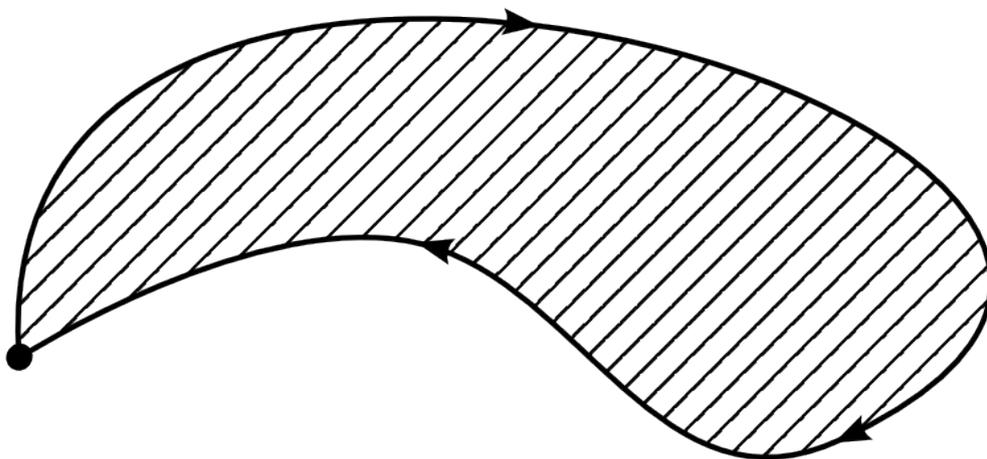
Certains documents sont le fruit du travail des auteurs indiqués
au bas des diapositives, et publiés sous licence compatible.

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

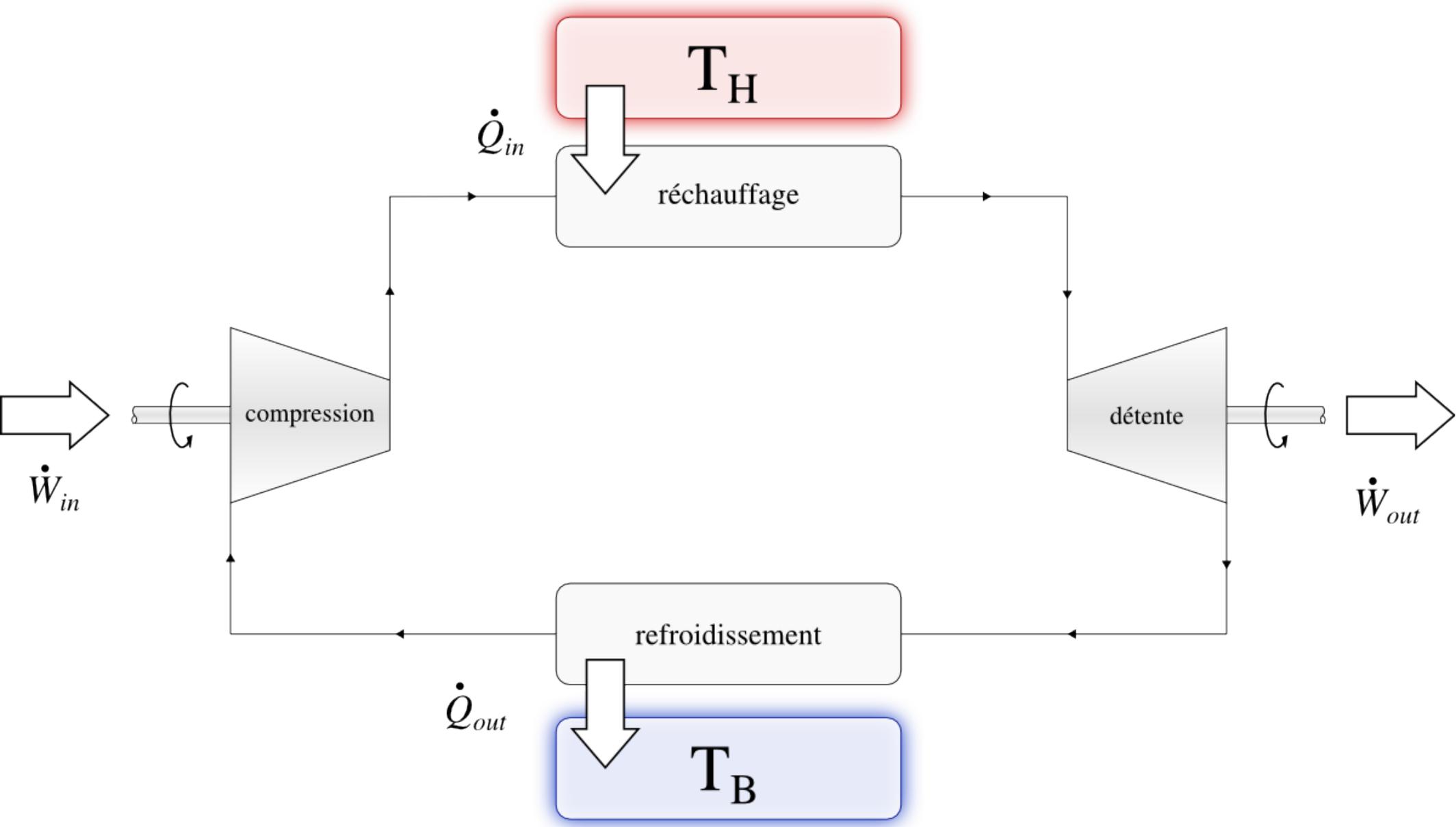
Vous êtes invité/es à copier, modifier, et ré-utiliser ce
document sous quelques conditions simples :

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

T



S



9.1 Pourquoi utiliser un moteur à vapeur ?

Pourquoi *ne pas* utiliser la vapeur ?

- On ne peut rien brûler dans l'eau
 - Il faut « récupérer » la chaleur à l'extérieur
 - Perte nécessaire de chaleur et/ou de température
- Pour faire de la vapeur il faut de l'eau
 - soit recycler l'eau (condenseur)
 - soit continuellement « remplir » le moteur





Capter de la chaleur *extérieure* au moteur

Capacité calorifique volumique :

$$c_{\text{liquide}} \approx 1000 c_{\text{gaz}}$$

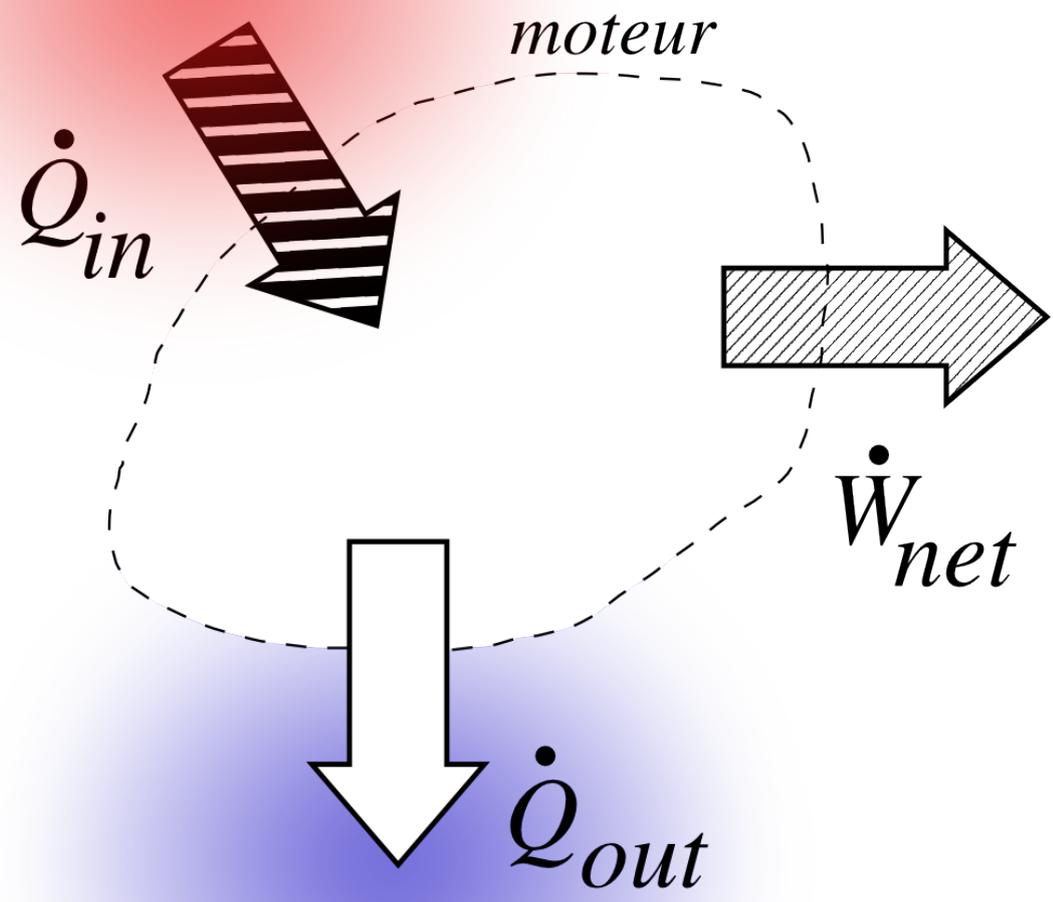
Le moteur à vapeur

permet d'exploiter efficacement les sources
de chaleur externes

(souvent beaucoup moins chères)

9.2 Critères de performance

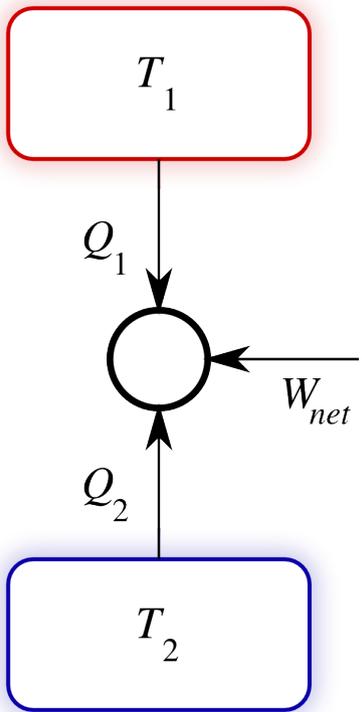
9.2.1 Rendement thermodynamique et coût final





$$\eta_{\text{moteur}} \equiv \left| \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{in}} \right|$$

(VI-3.1)



$$\eta_{\text{moteur Carnot}} = 1 - \frac{T_{\text{basse}}}{T_{\text{haute}}}$$

(7/8)

pour un moteur réversible

η_{moteur}

Rendement :

→ coût énergétique *marginal*

Coût marginal *économique*

(maintenance, supervision)

Coût d'investissement initial
(conception, construction)

9.2.2 La consommation spécifique

Combien de kilos par seconde

Pour un watt de puissance ?

Consommation spécifique de vapeur

Specific Steam Consumption → SSC

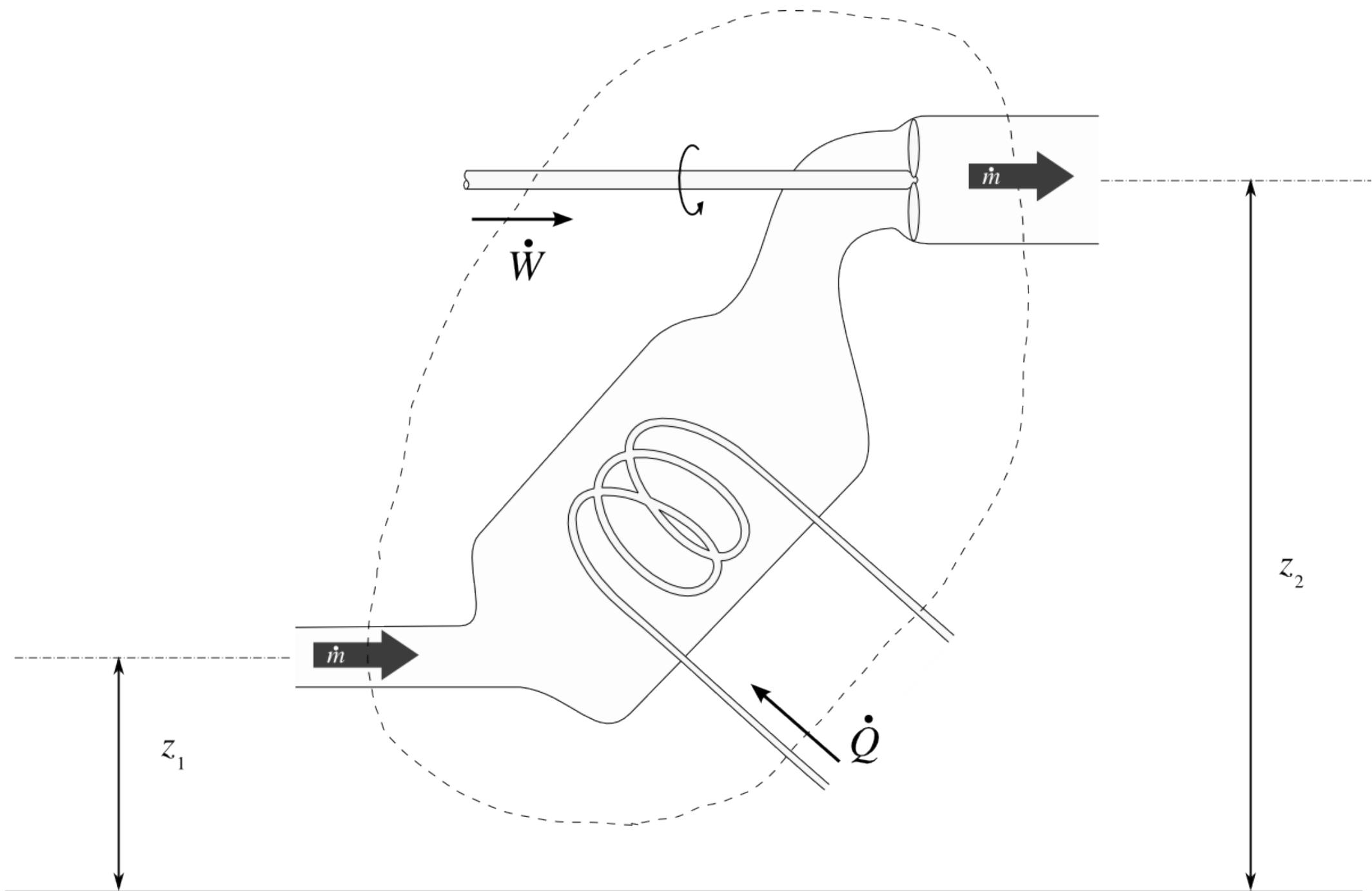
$$SSC \equiv \frac{1}{|w_{net}|}$$

(9/1)

$kg/s \text{ par watt} \rightarrow kg/J \rightarrow kg/kWh$

9.3 Composants des installations

9.3.1 Puissances en jeu



Énergie mécanique négligée :

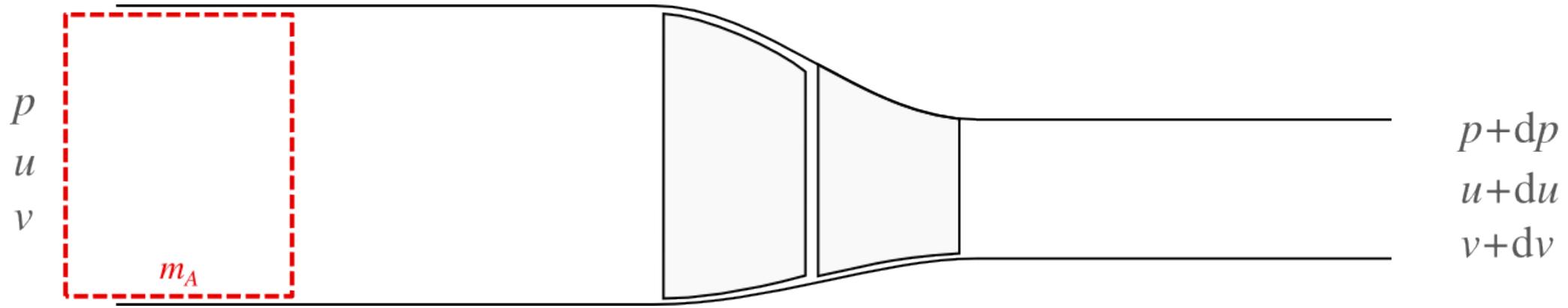
$$\dot{Q} + \dot{W} = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

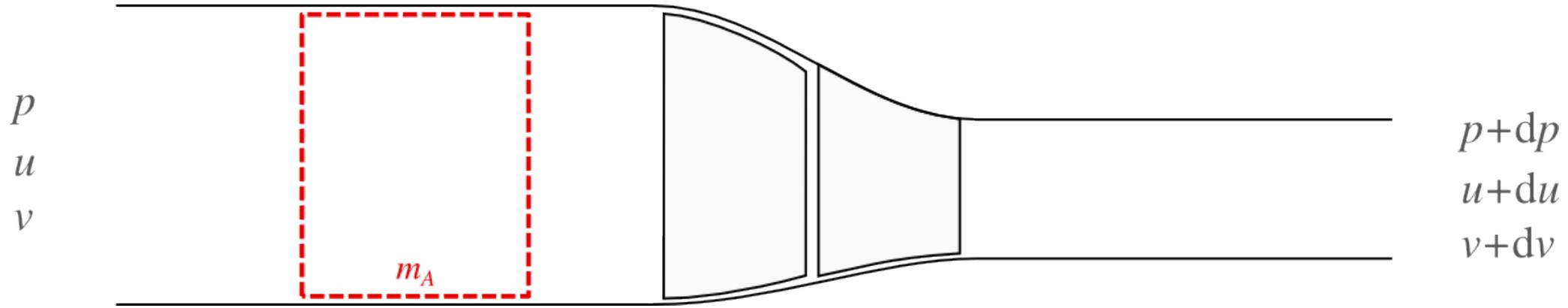
$$q + w = \Delta h$$

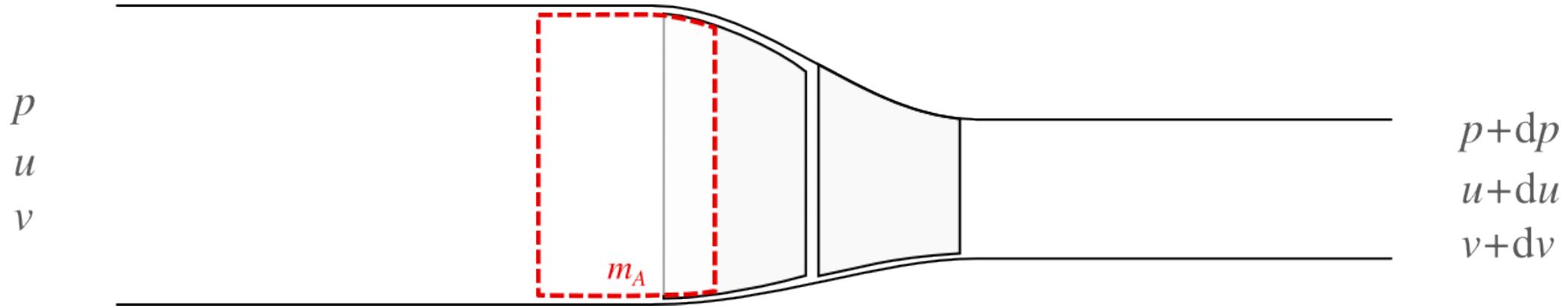
Travail réversible en système ouvert

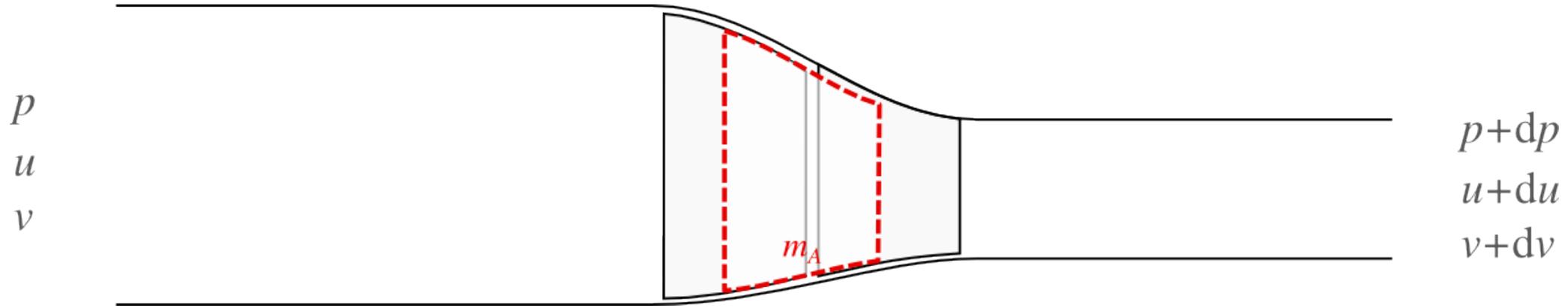
$$\dot{W}_{A \rightarrow B} = \dot{m} \int_A^B v \, dp$$

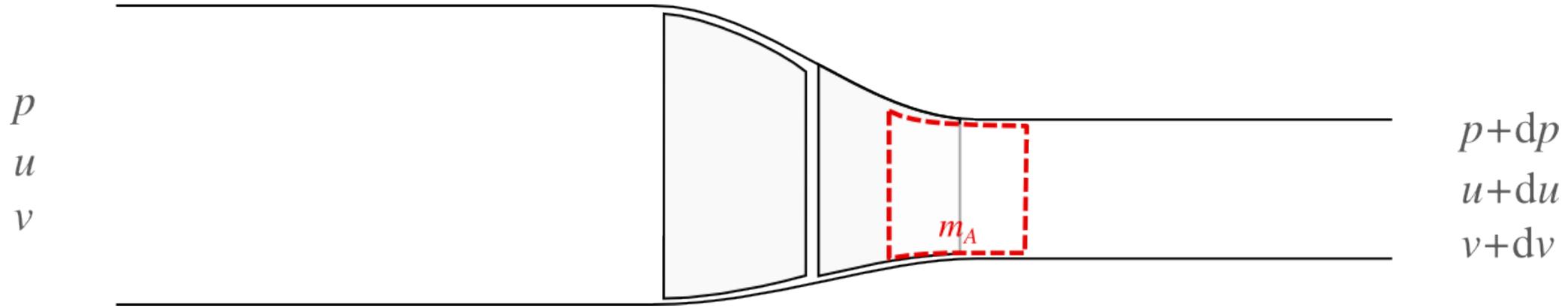
$$w_{A \rightarrow B} = \int_A^B v \, dp$$

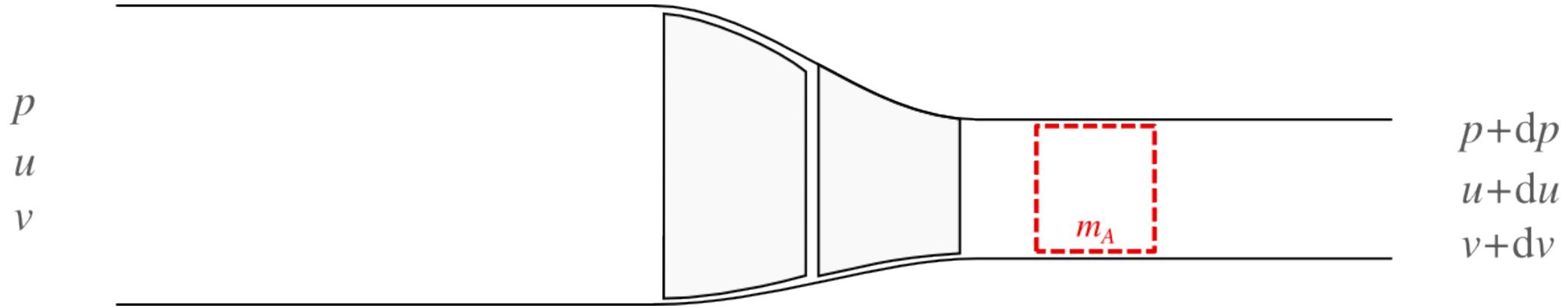


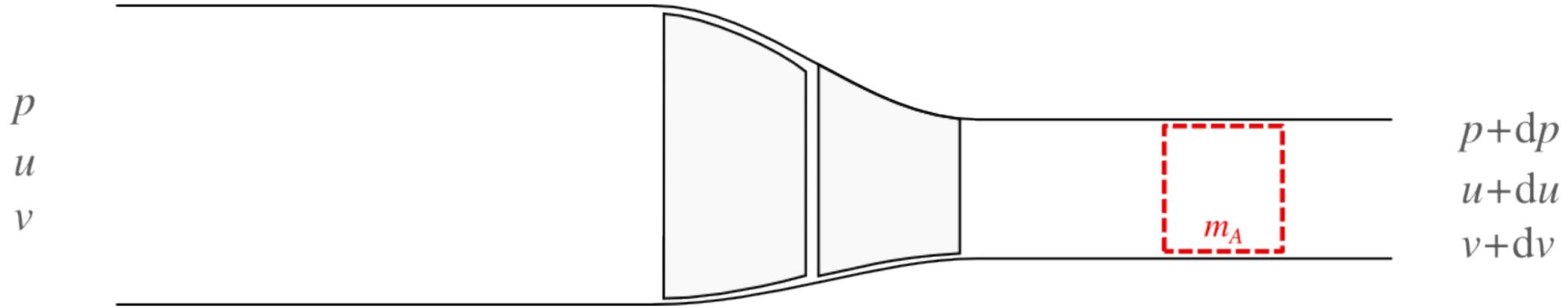


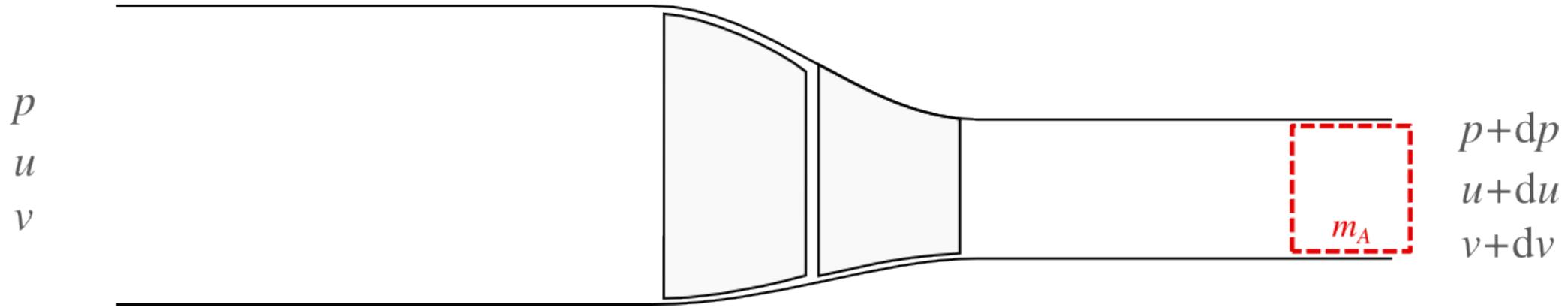


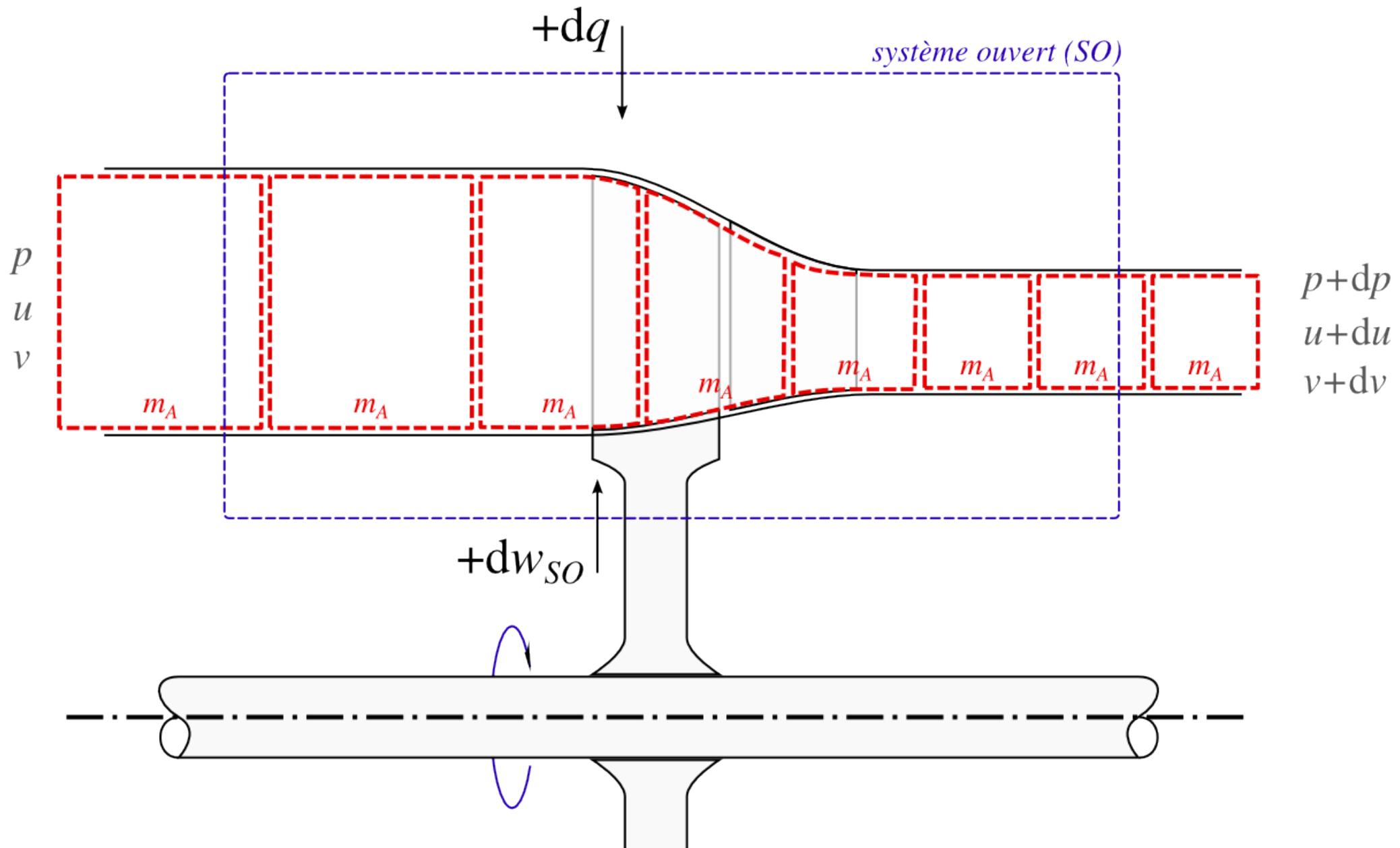


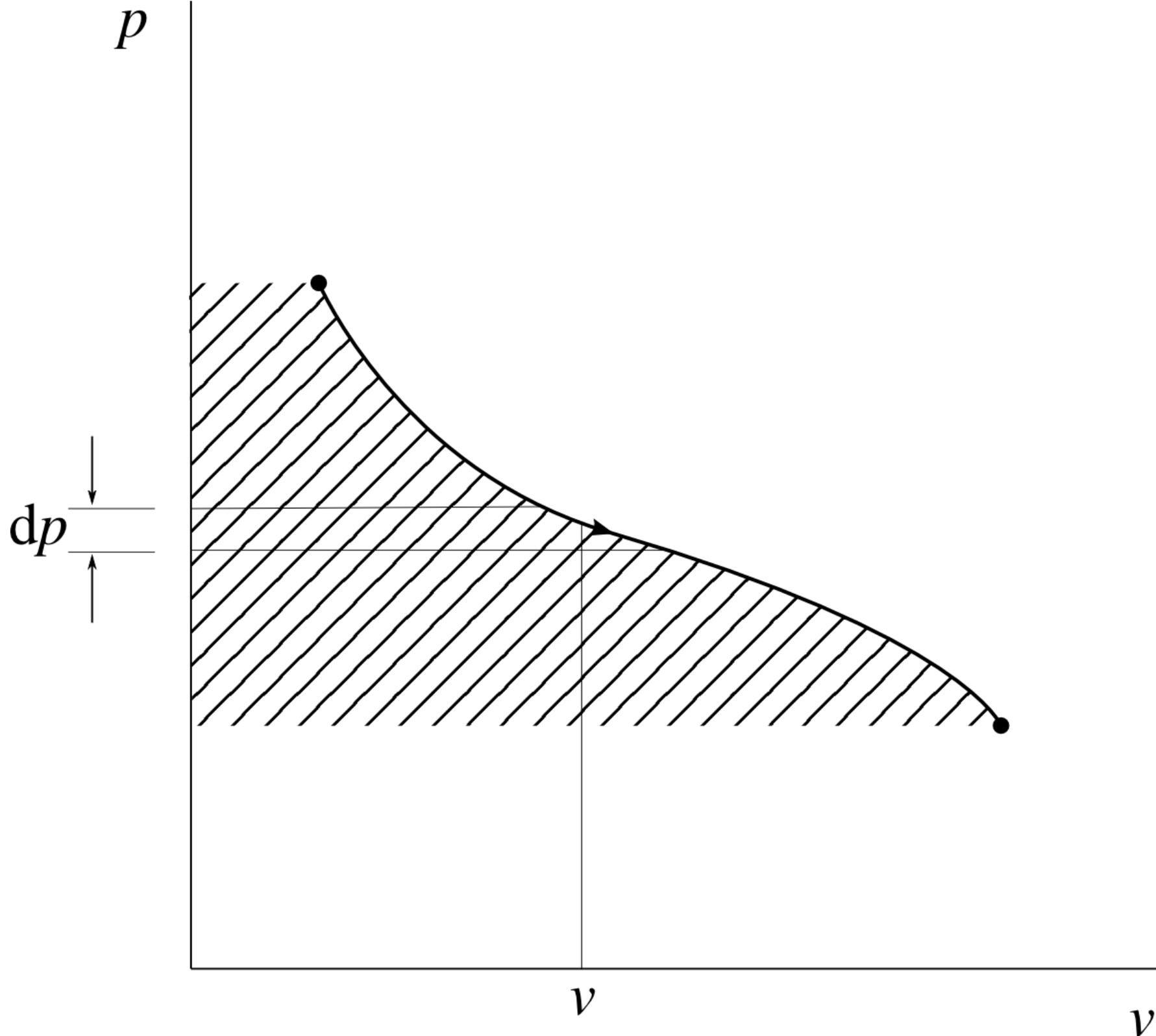




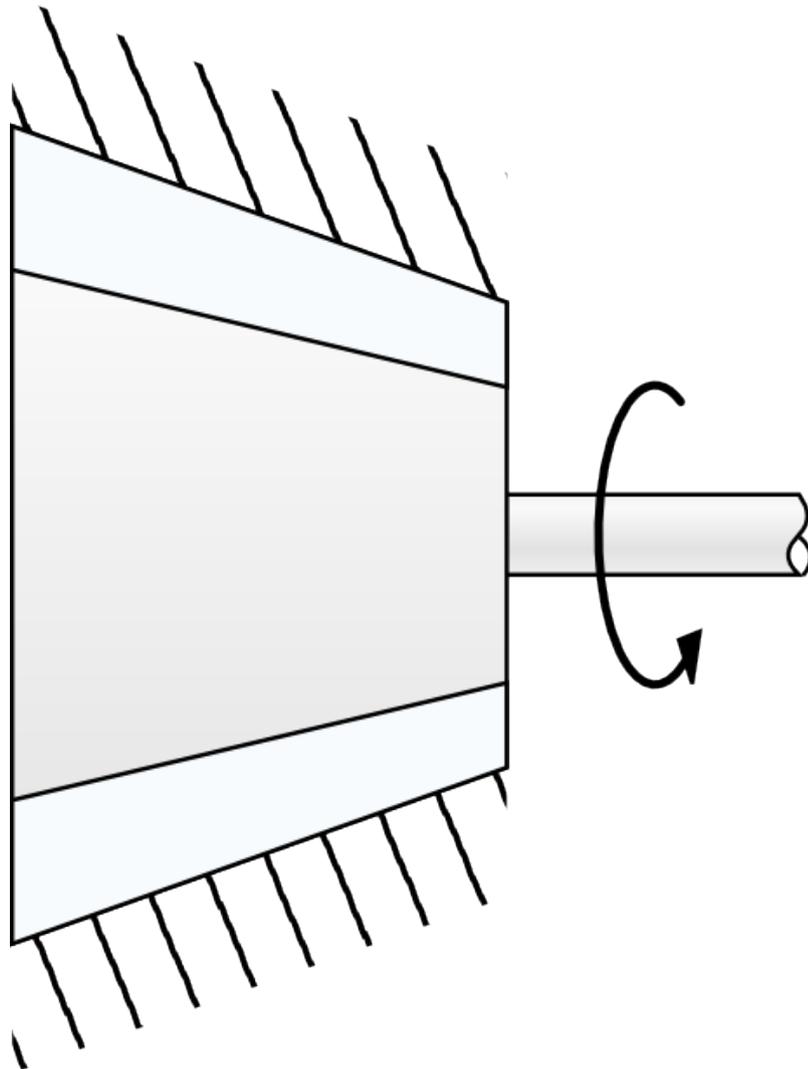


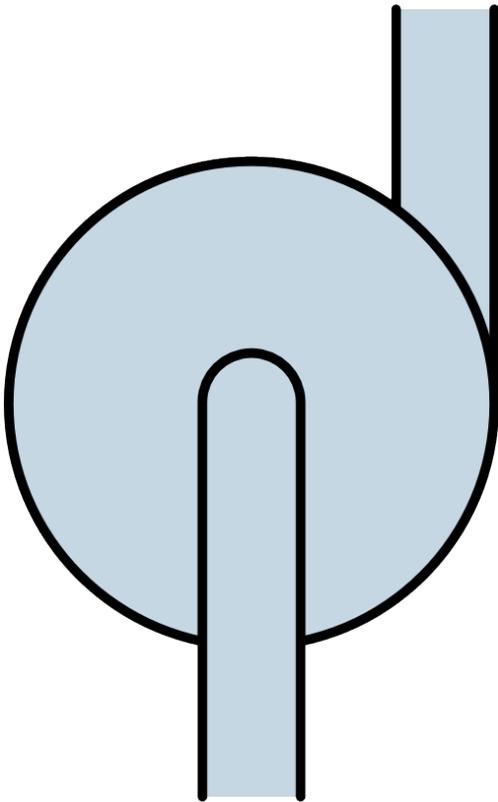




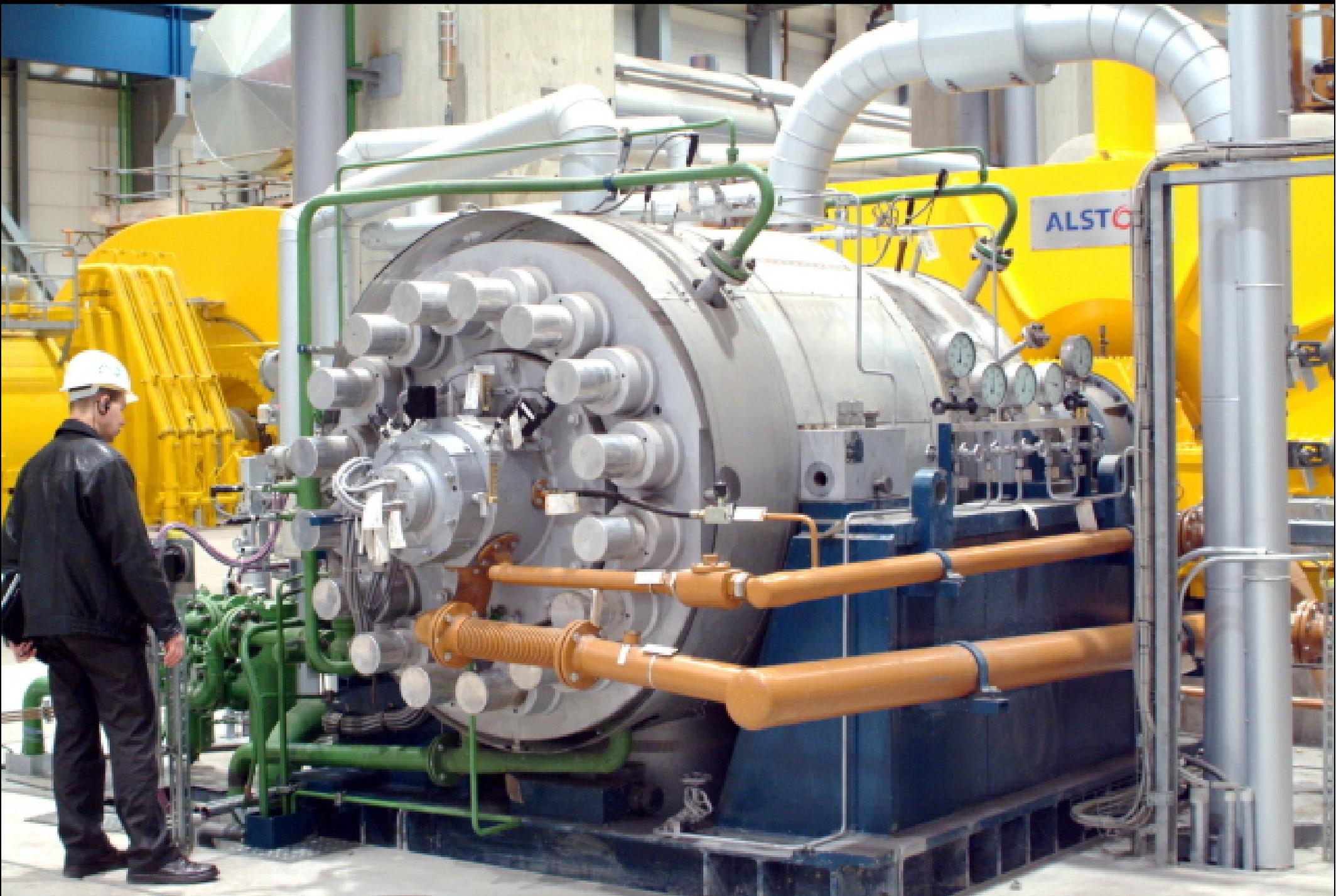


9.3.2 Compresseurs et pompes





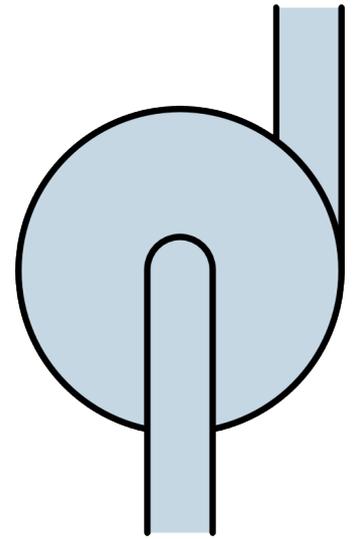




Pompe réversible :

$$w_{A \rightarrow B} = \int_A^B v \, dp$$

Pompe dans une centrale :

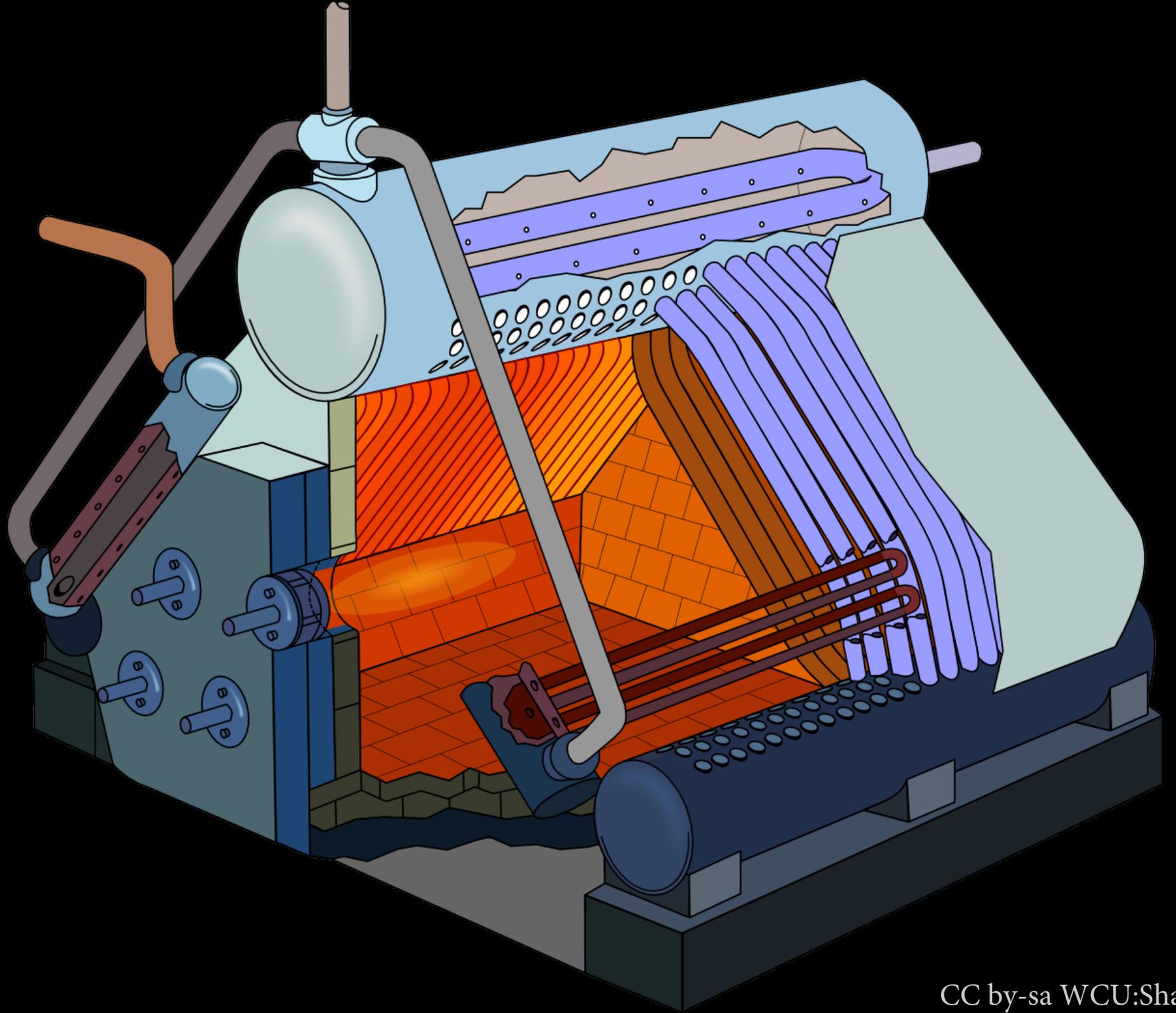


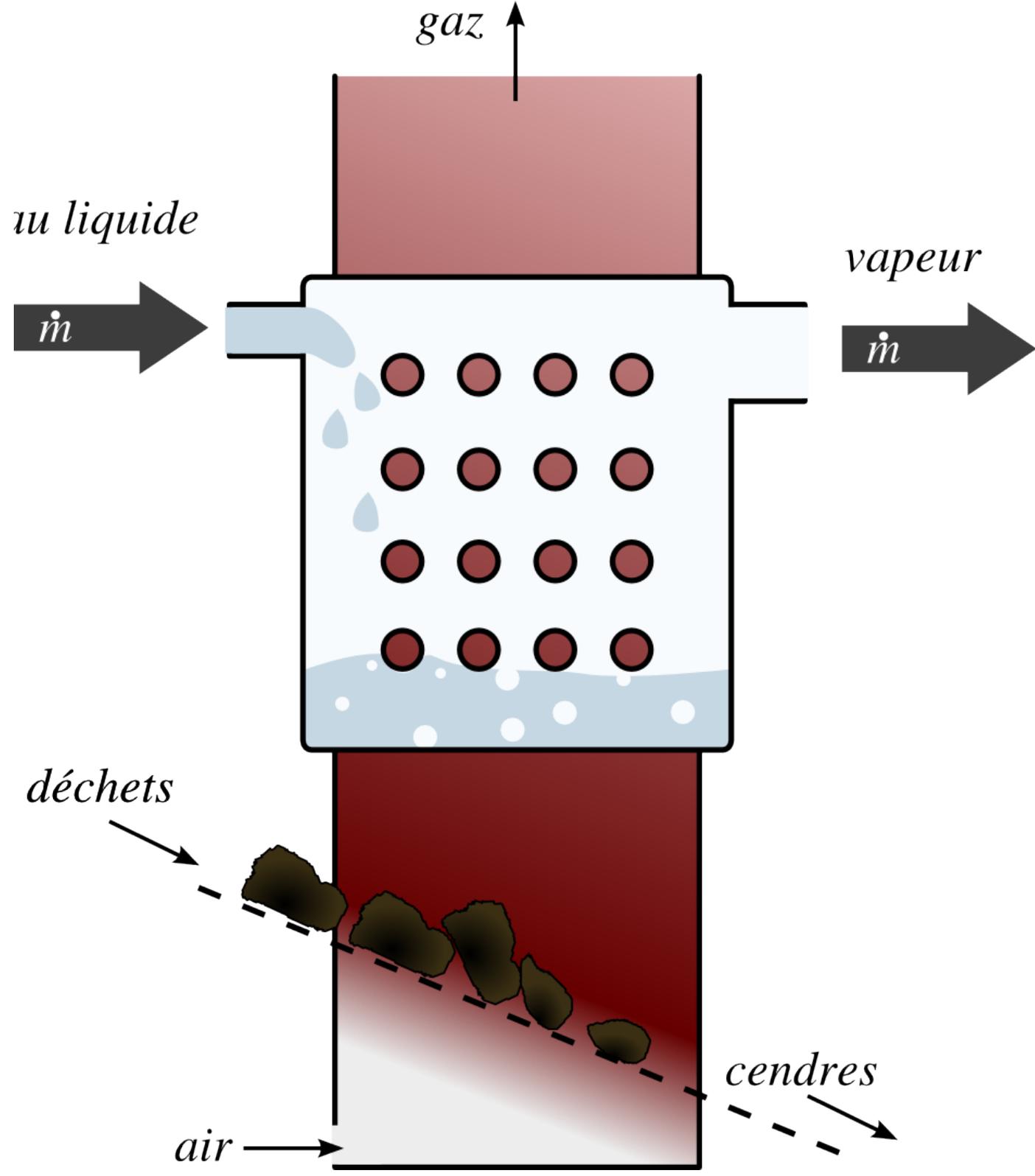
$$w_{A \rightarrow B} \approx v_L \int_A^B dp = v_L (p_B - p_A)$$

$$w_{A \rightarrow B} = h_B - h_A$$

9.3.3 Chaudière

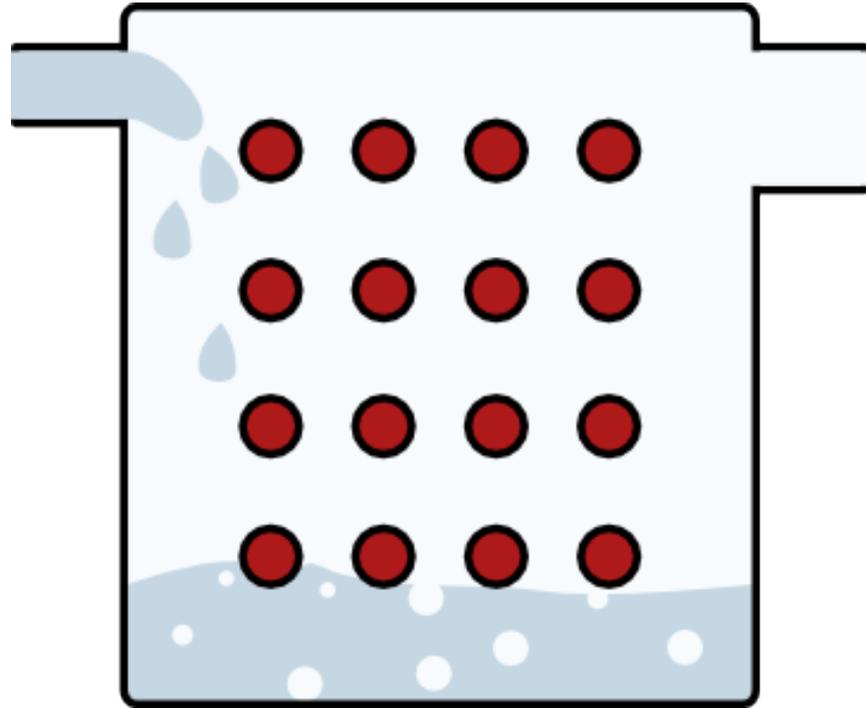
~ thermodynamique à faire des bulles ~





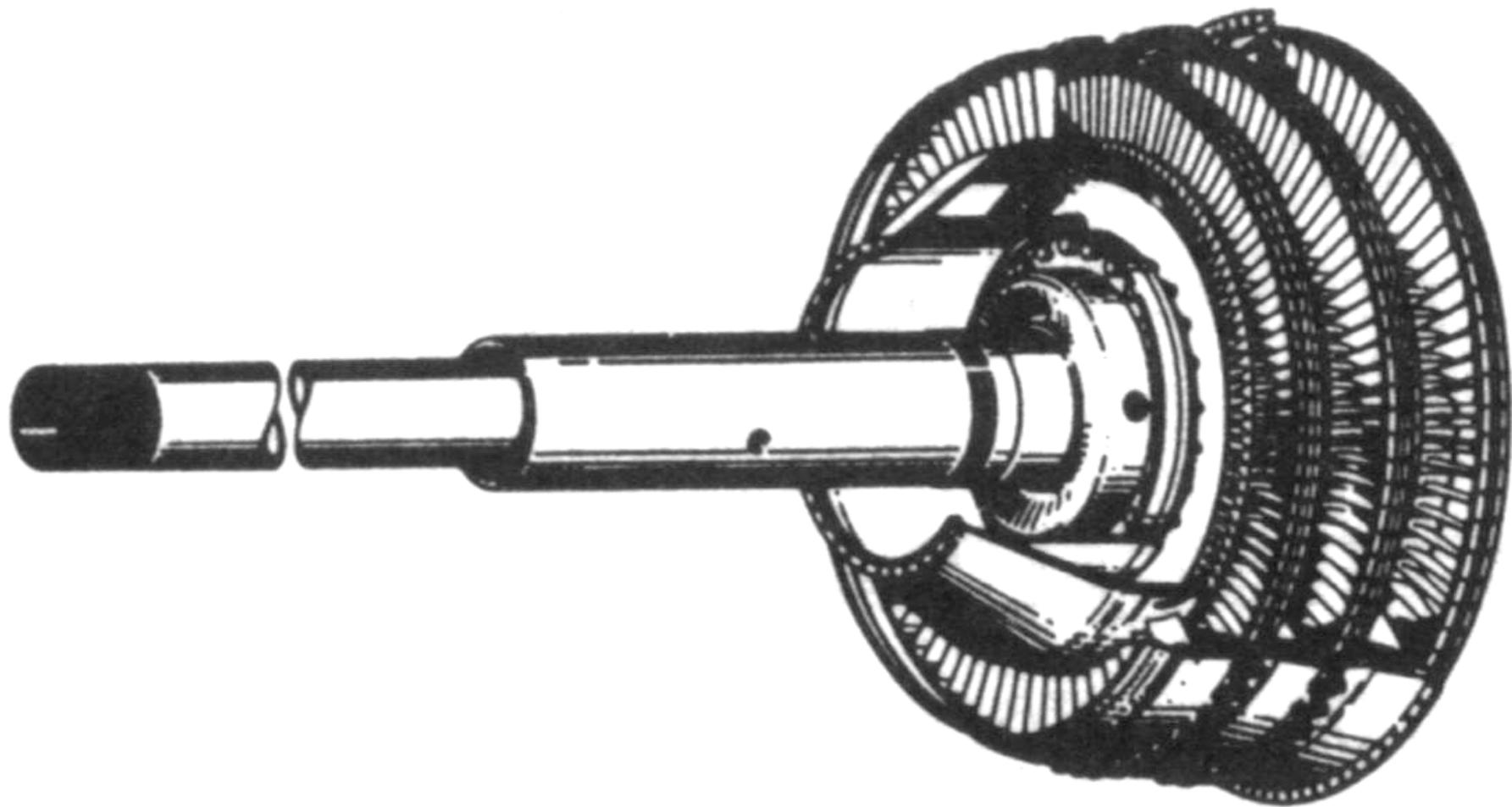
Chaudière à bois



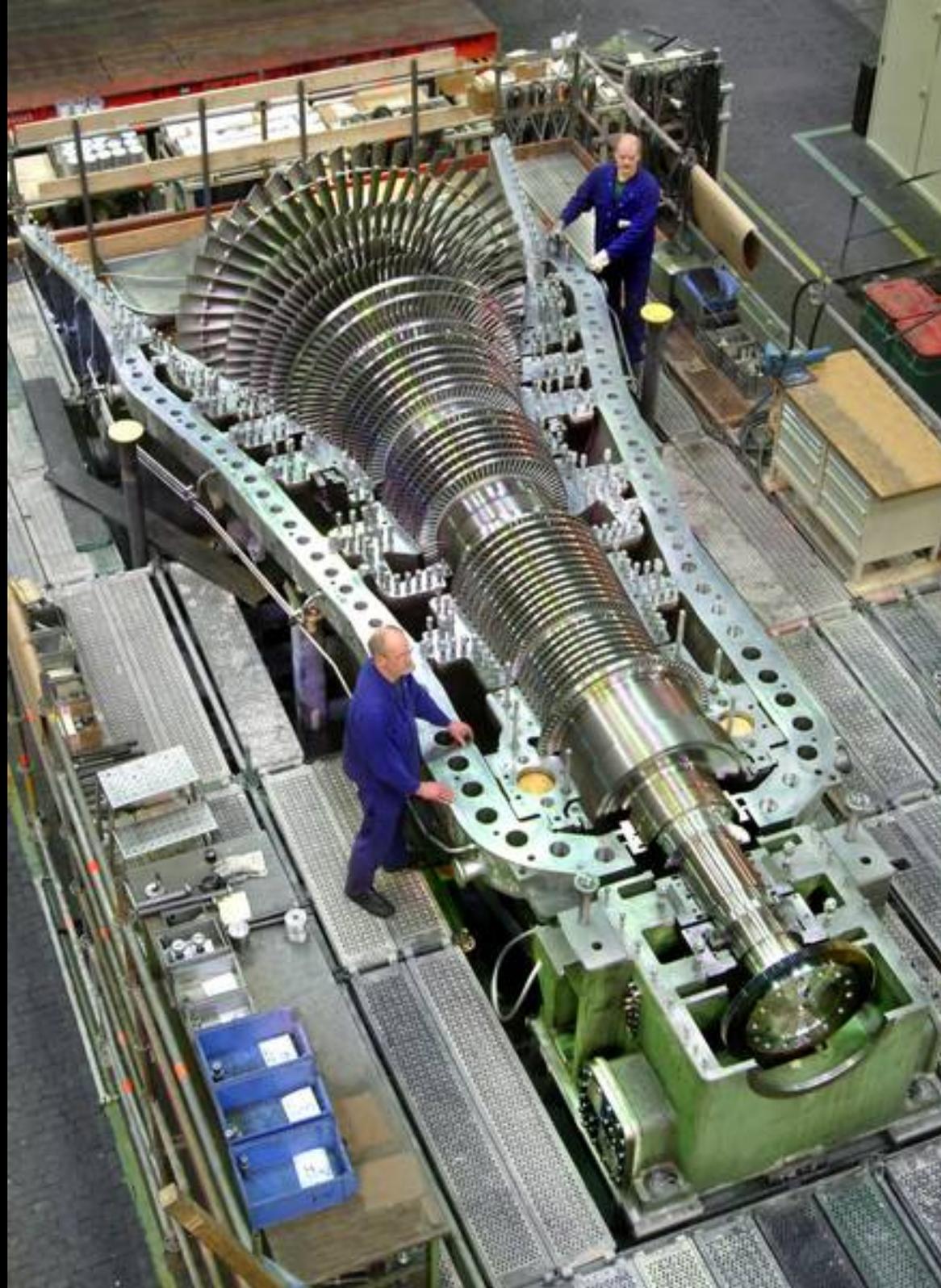


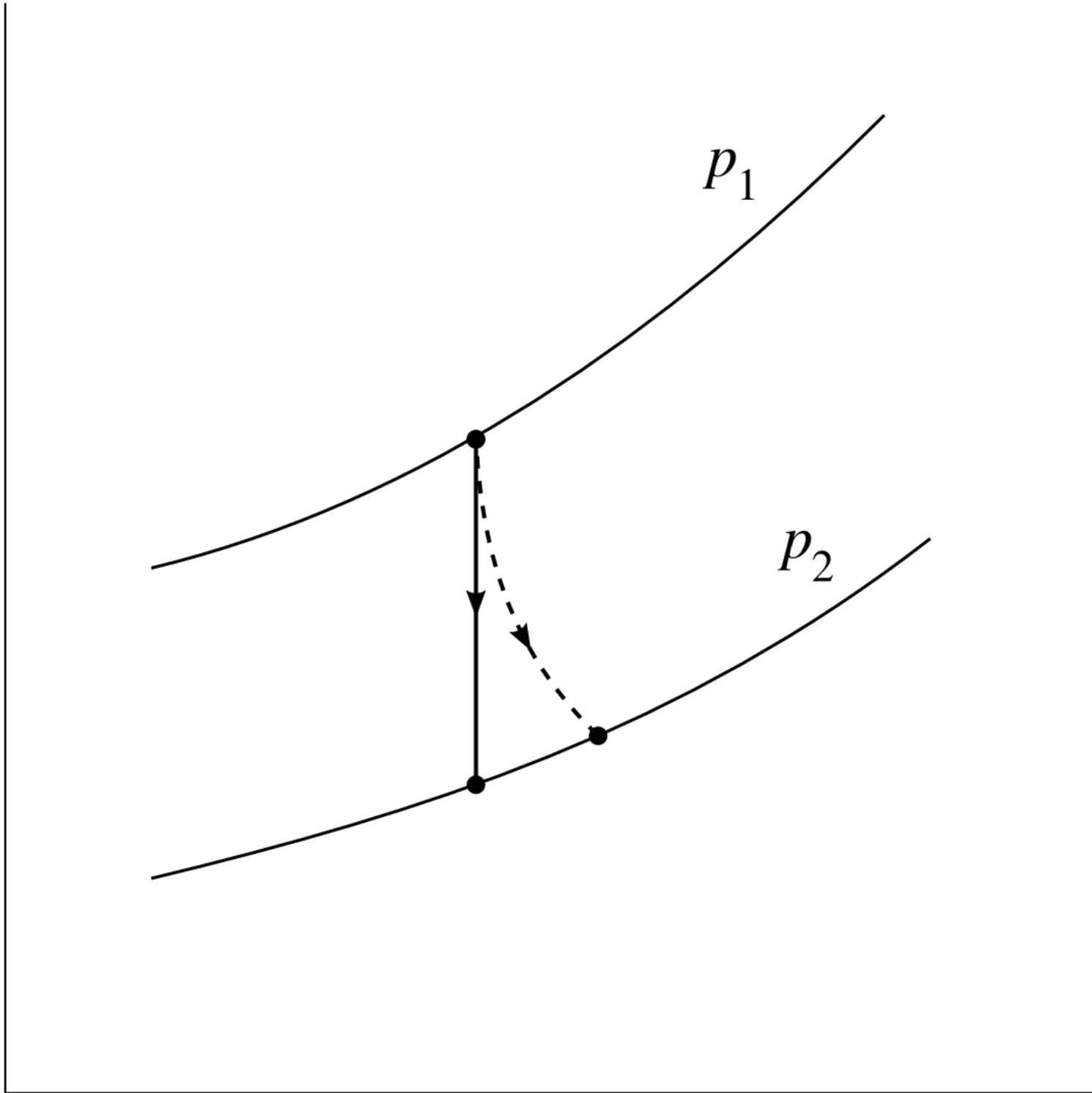
$$\dot{Q}_{chaud} = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

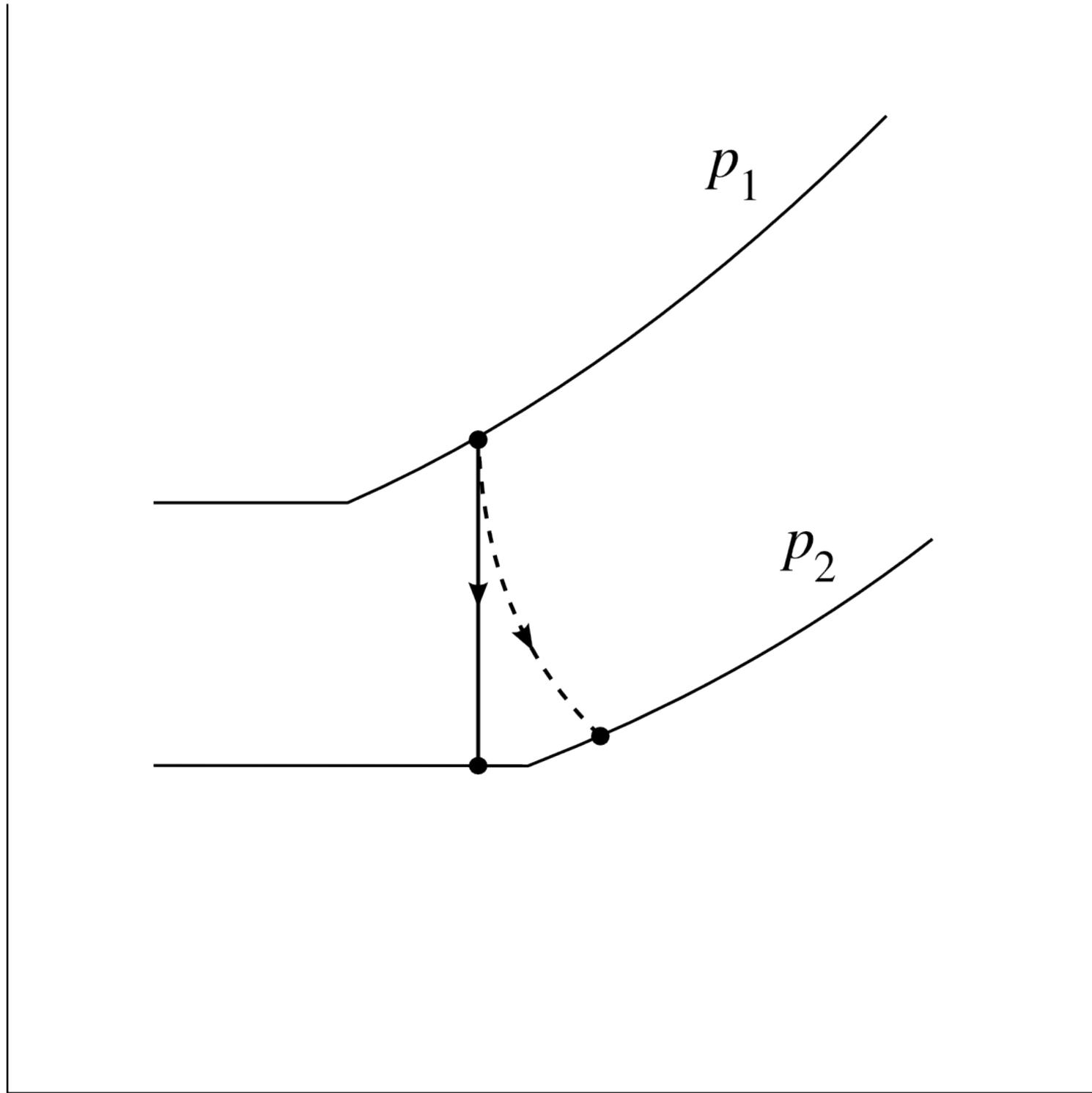
9.3.4 Turbine







T  S

T  S

$$\eta_T \equiv \frac{\dot{W}_{T \text{ Réel}}}{\dot{W}_{T \text{ is.}}}$$

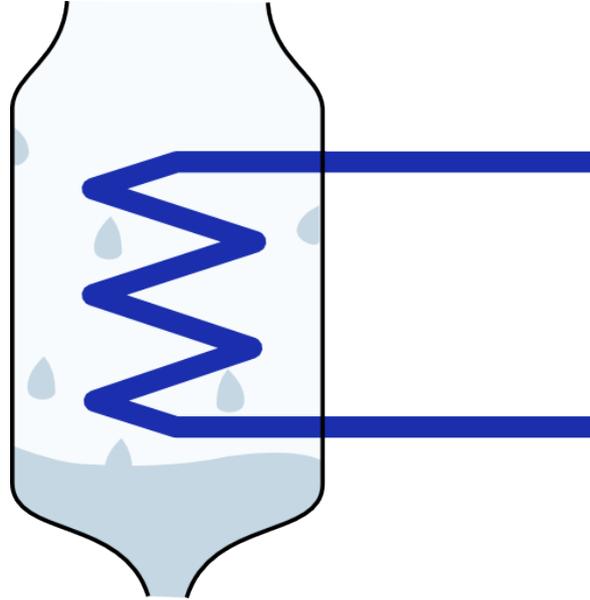
Quelle puissance par rapport à une turbine isentropique ?

$$\dot{W}_{Tréel} = \dot{m} (h_{2réel} - h_1)$$

$$\dot{W}_{T is} = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

9.3.5 Condenseur

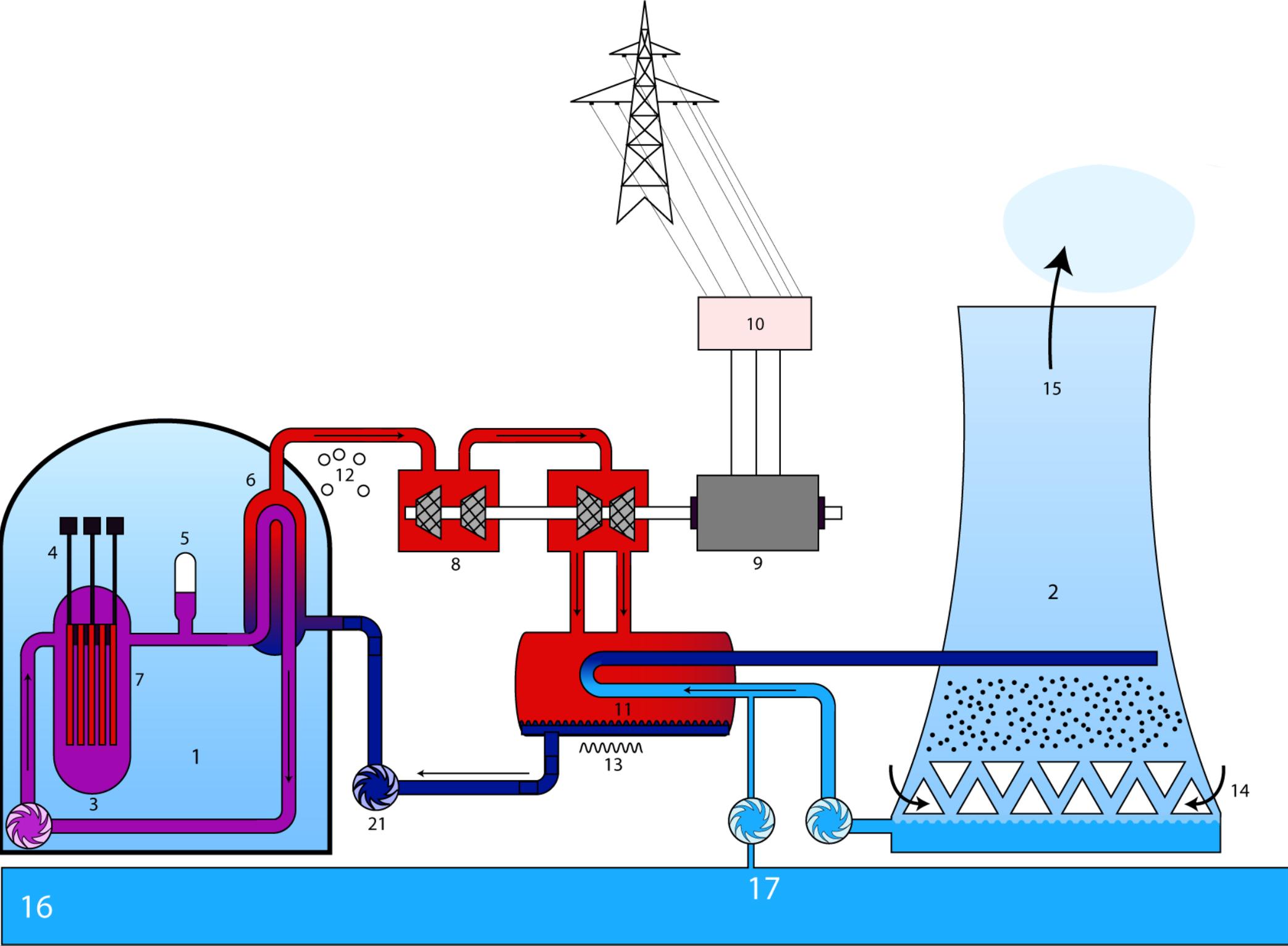
~ la poubelle thermodynamique ~



$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m} (h_2 - h_1)$$



Photo CC-by-sa Cenk Endustri



16

17



CC by-sa par l'utilisateur·rice Commons Wolkenkratzer



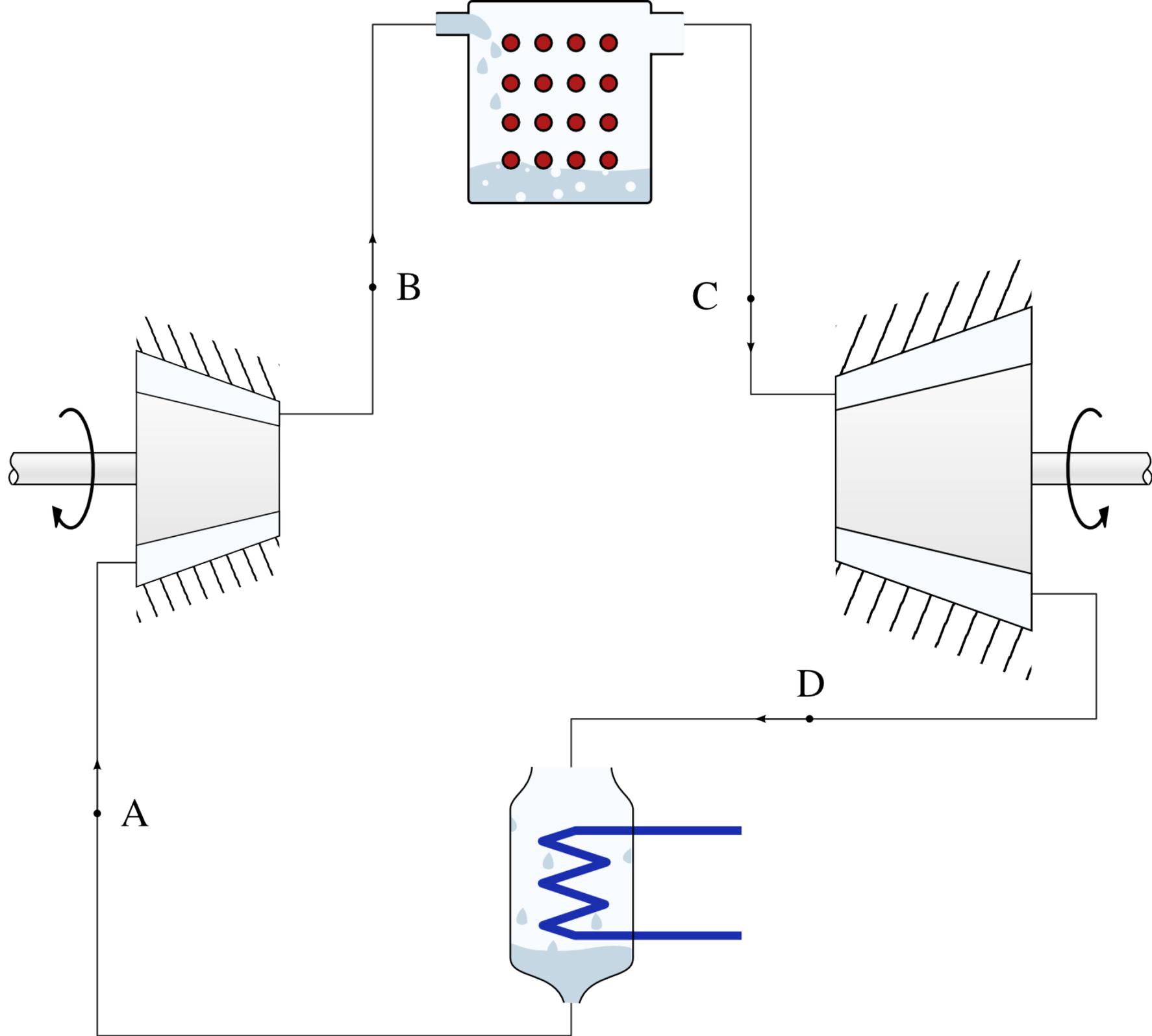
Douches de refroidissement (circuit externe)

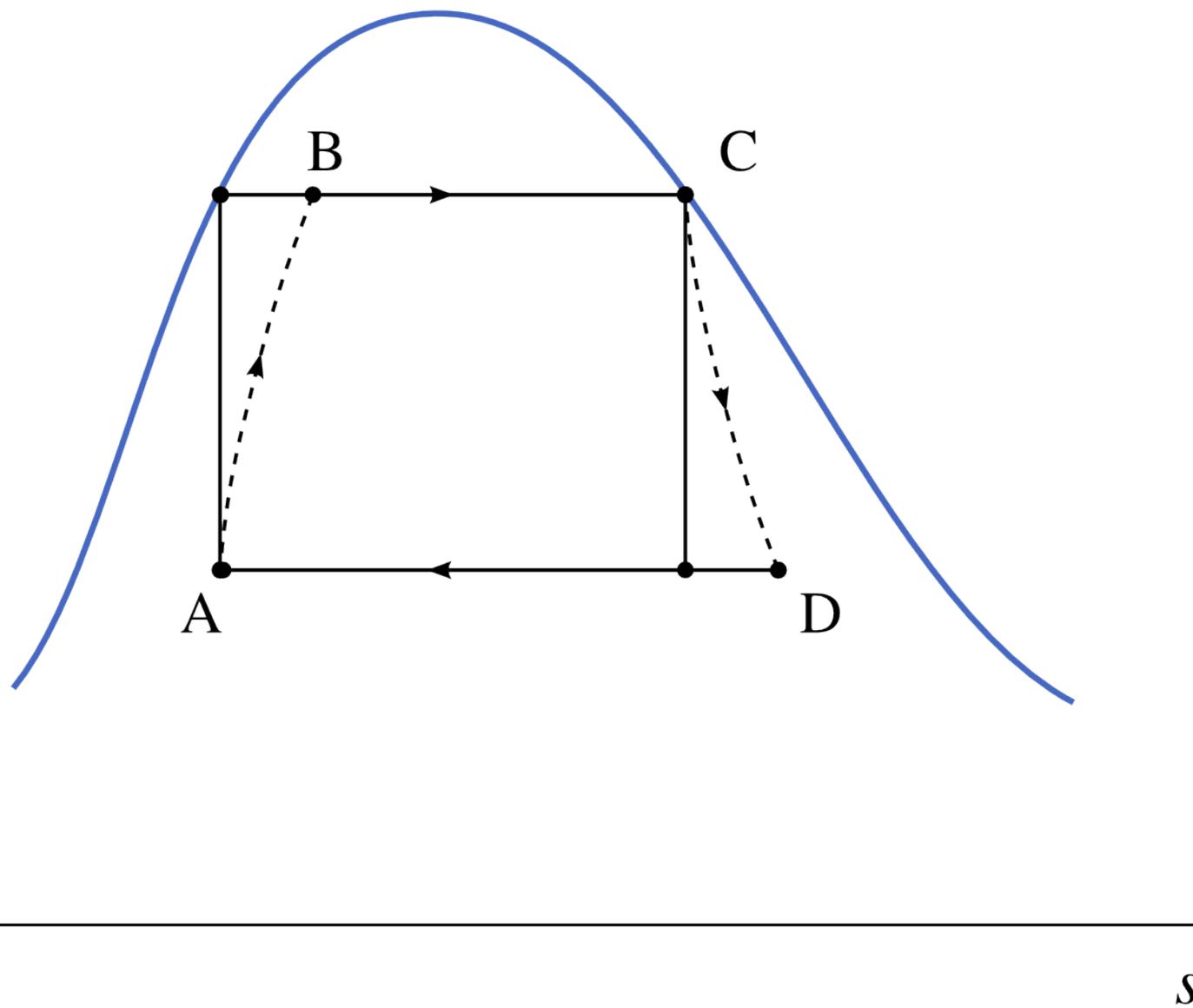


9.4 Cycles moteurs

9.4.1 Le cycle de Carnot

~ encore Carnot ~



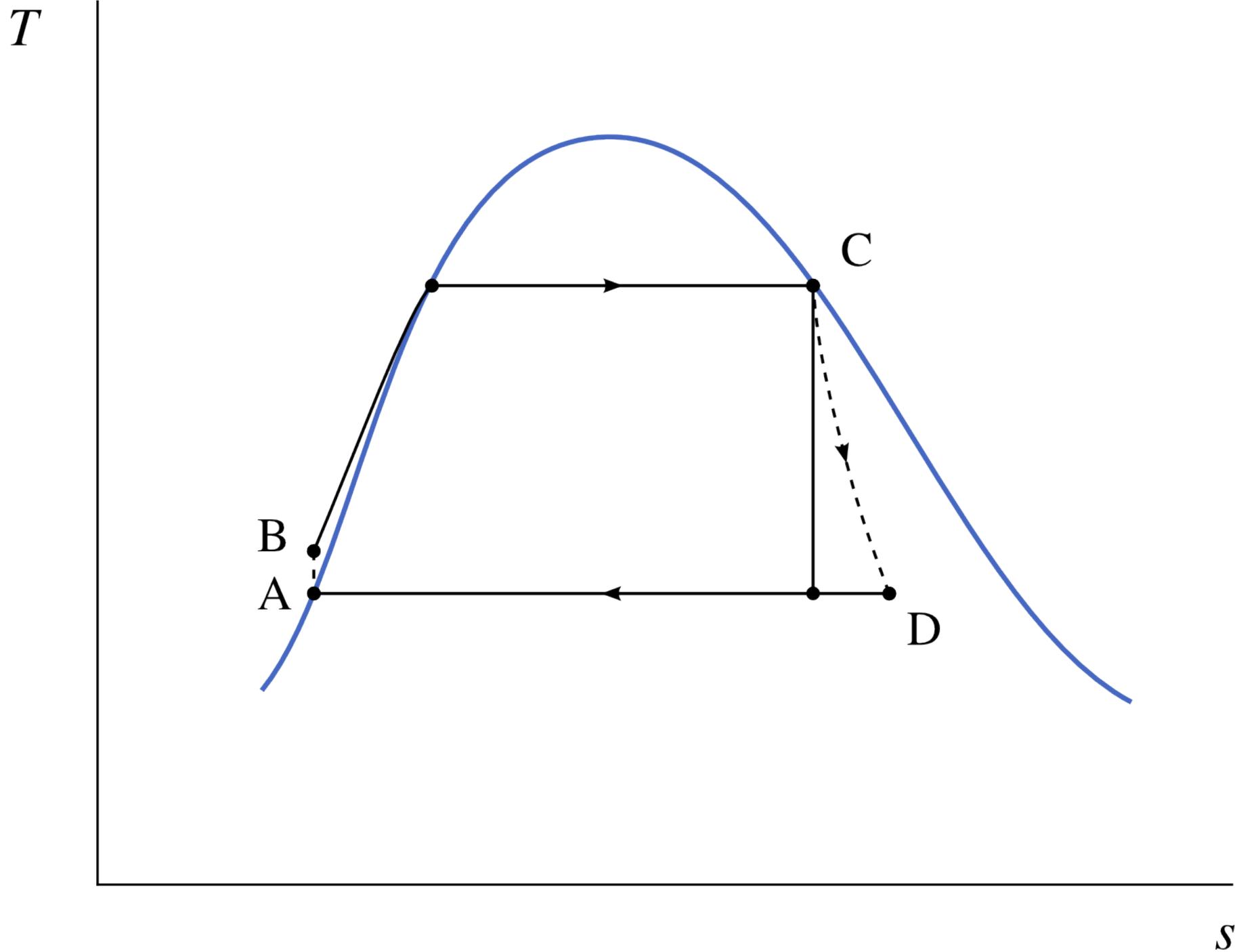
T 

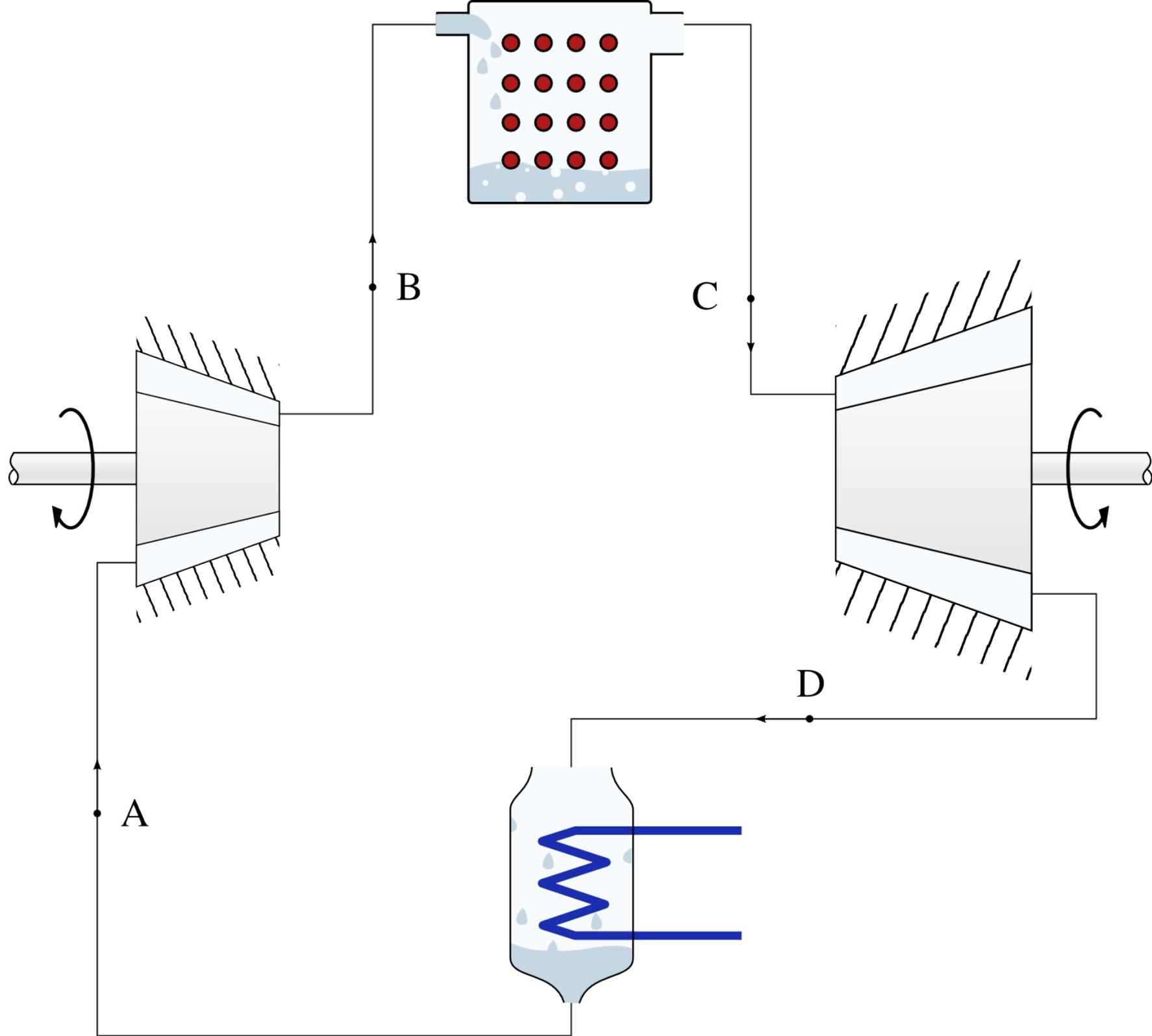
$$W_{T \text{ Réel}} = (h_{D, \text{ Réel}} - h_C) = \eta_T (h_D - h_C)$$

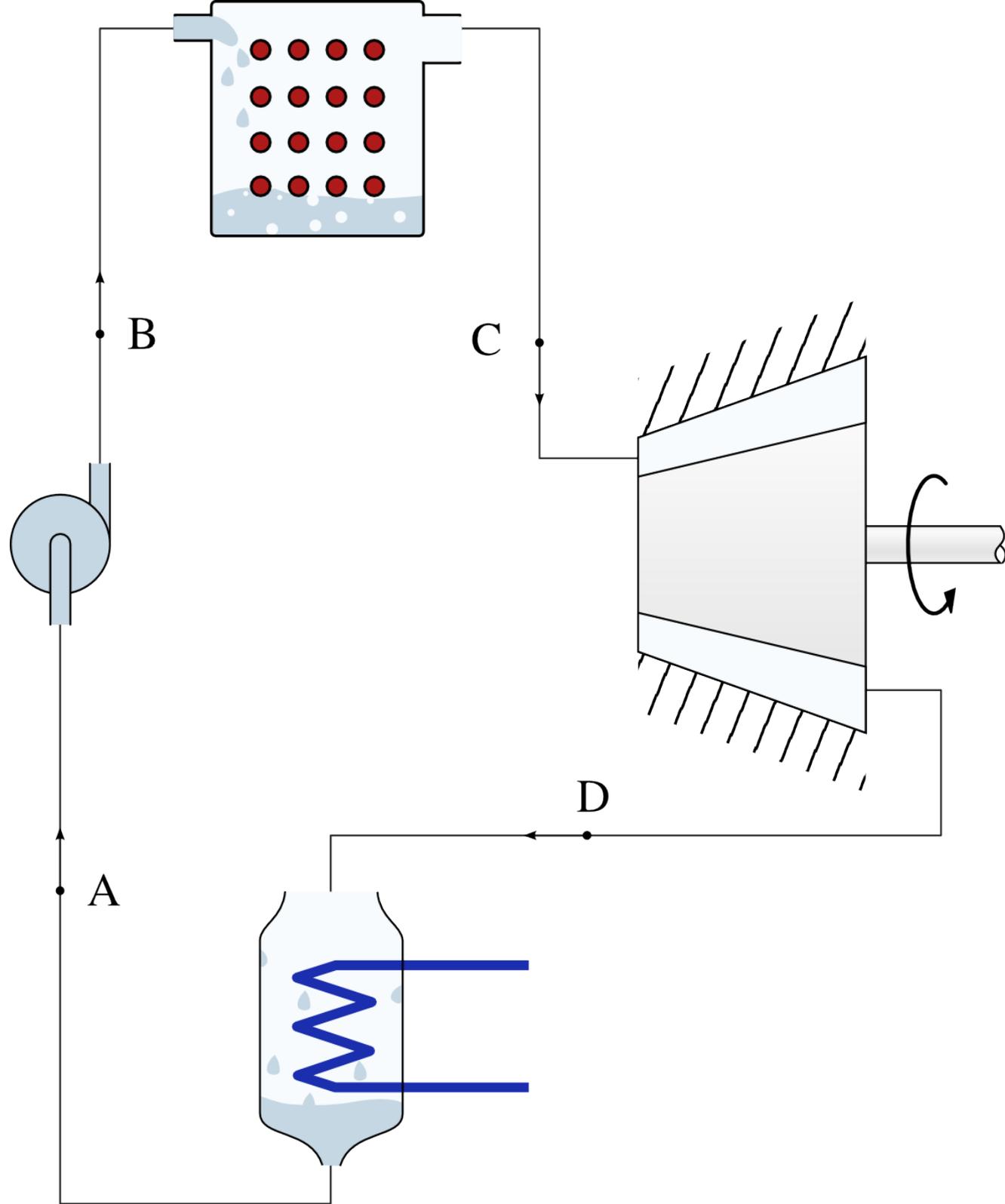
9.4.2 Le cycle de Rankine

~ bye-bye Carnot ~

Carnot relooké Rankine







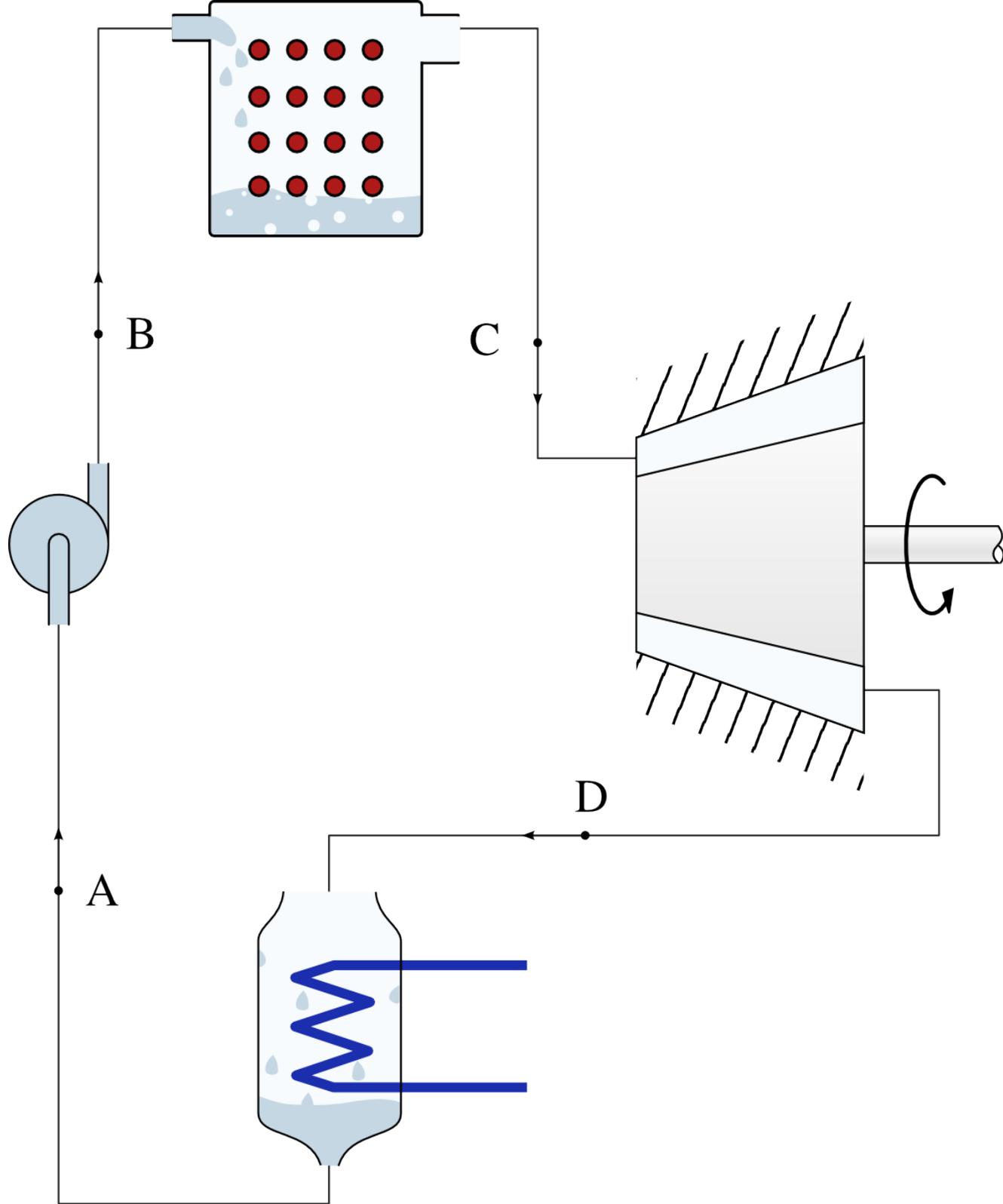
Comment varie l'efficacité ?

L'efficacité thermodynamique *diminue*

(moins de travail

par joule de chaleur reçu par la vapeur)

mais



L'apport de chaleur supplémentaire
peut être effectué avec des gaz tièdes

→ alors l'efficacité *globale* augmente !

(rapport entre la chaleur
à *la source* et le travail fourni)

William John Macquorn Rankine, 1820-1872



William John Macquorn Rankine



botanique
théorie de la musique
optique
théorie des nombres
installation des voies ferrées
théorie de la chaleur
chanteur, pianiste, violoncelliste
ondes de choc, propriétés des gaz
résistance des matériaux
mécanique des sols
architecture navale

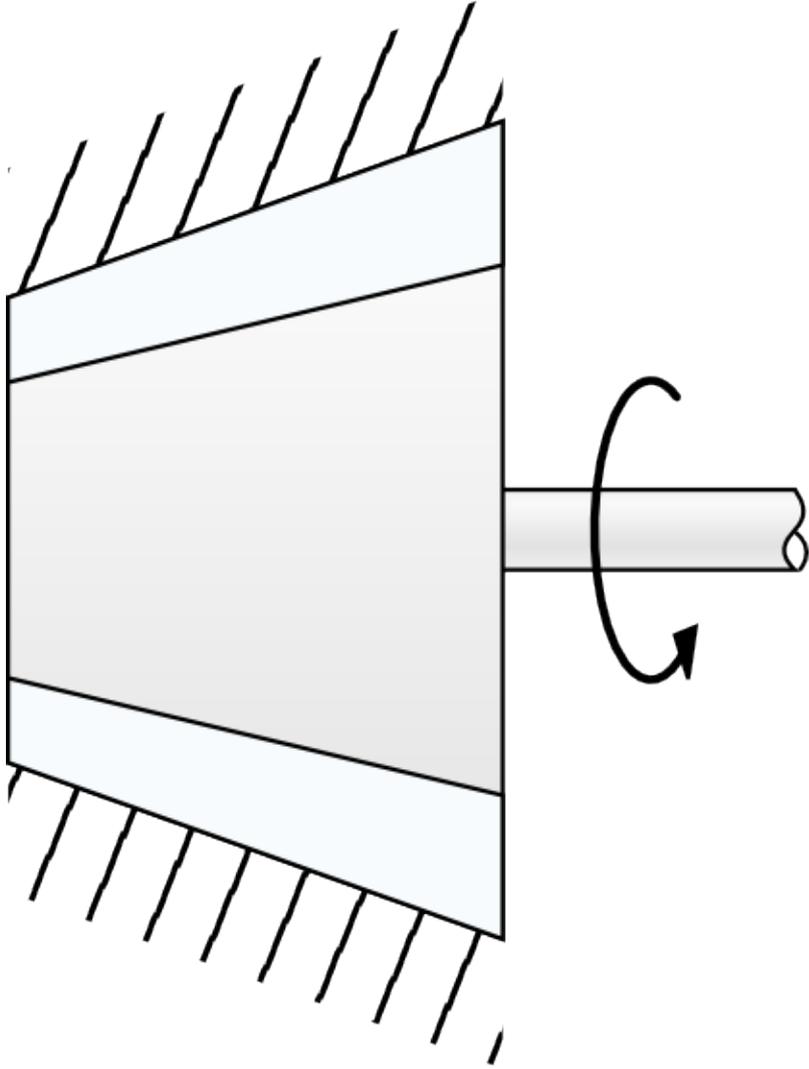


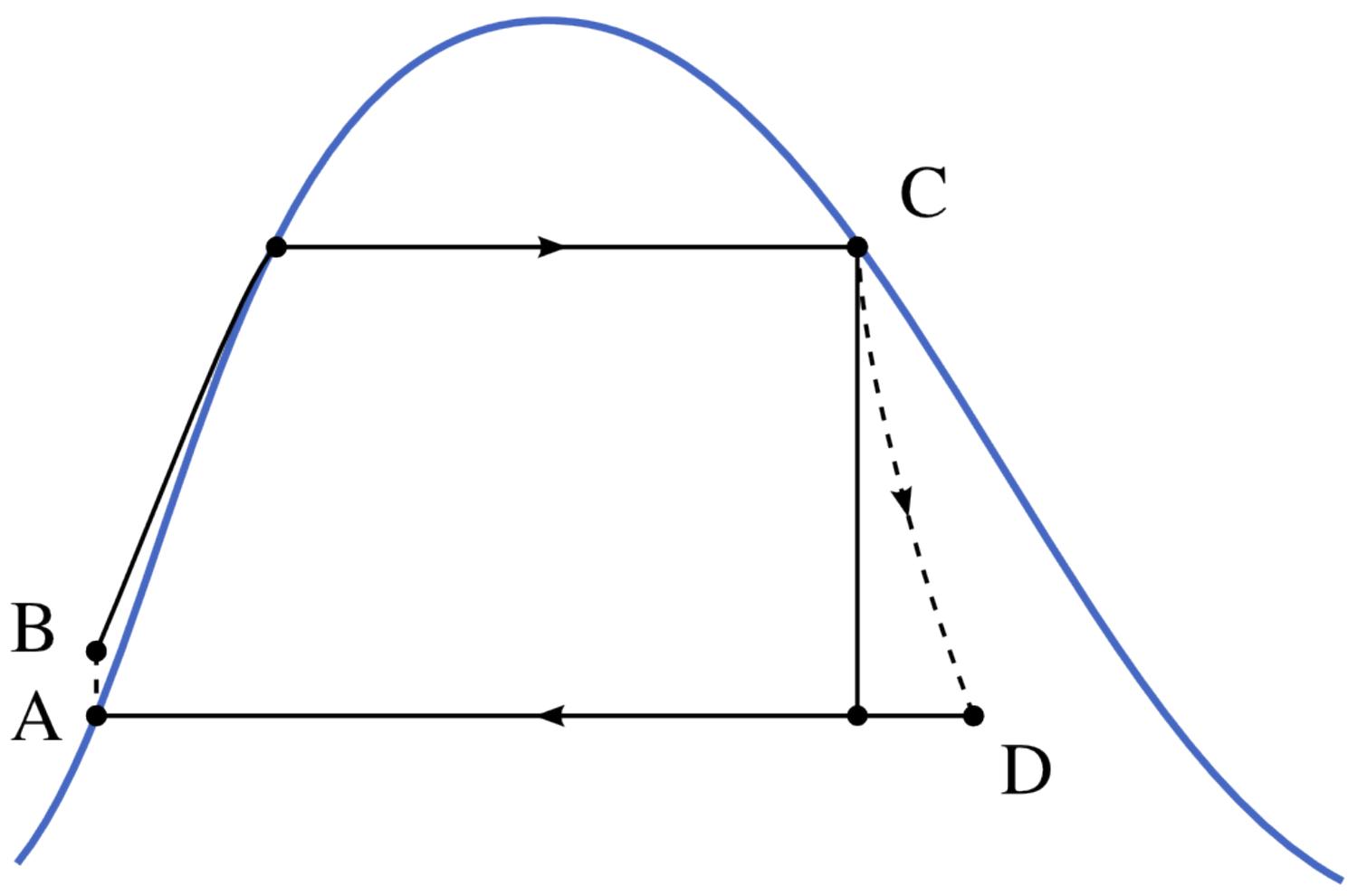
H. ADAMS, Sc.

W. Macquhan Rankine

9.4.3 La surchauffe

~ FTFY Rankine ~



T 

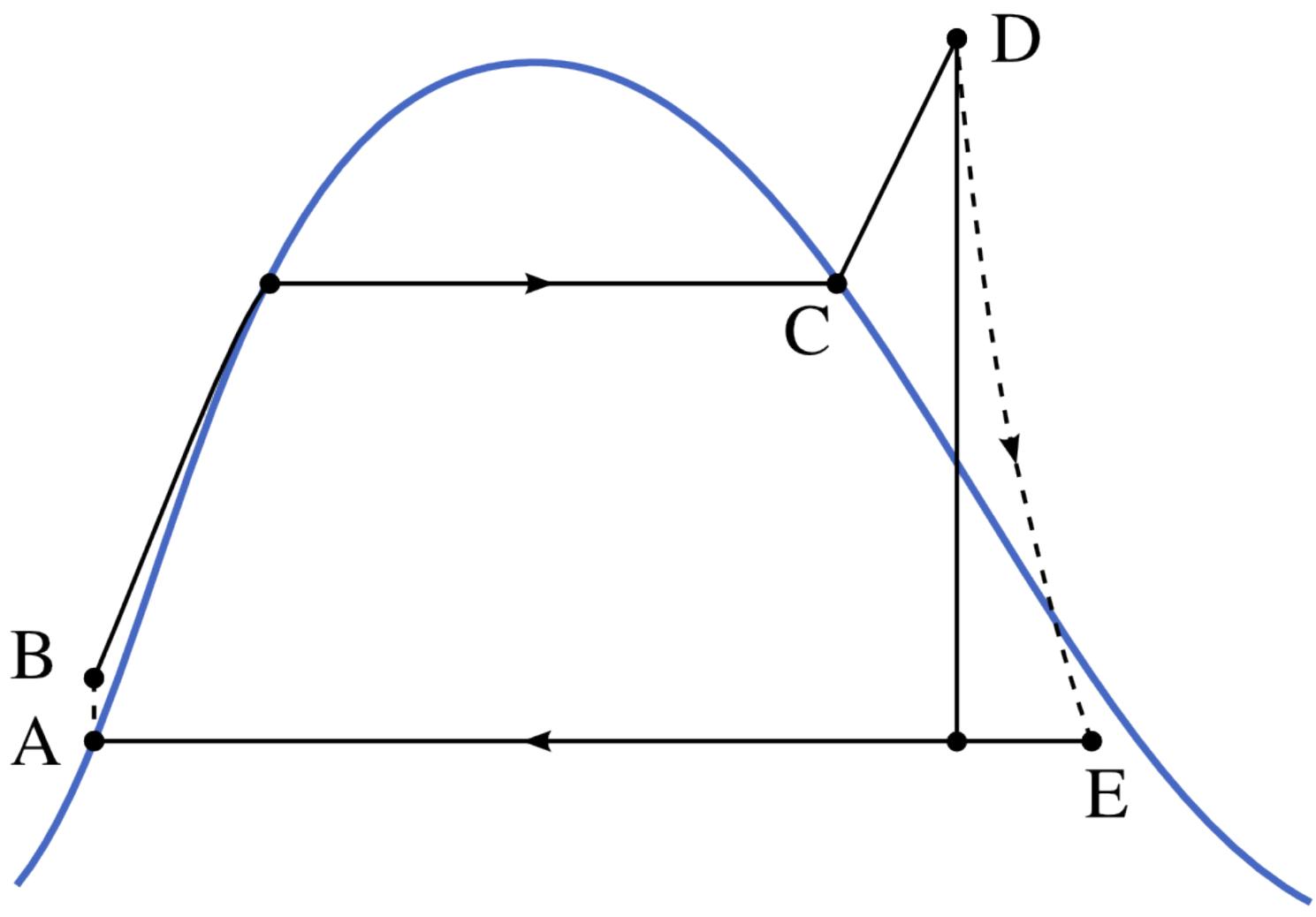
B

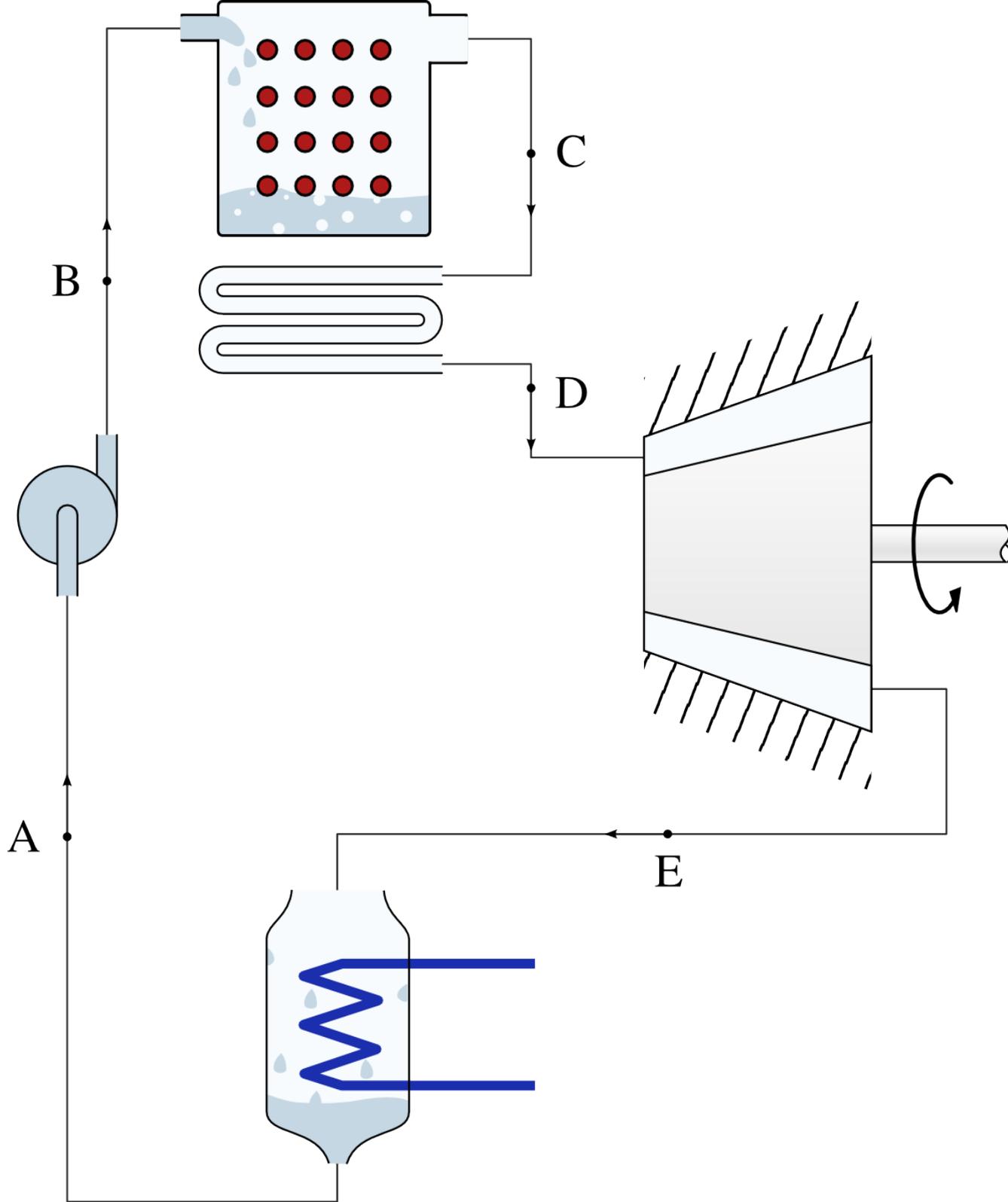
A

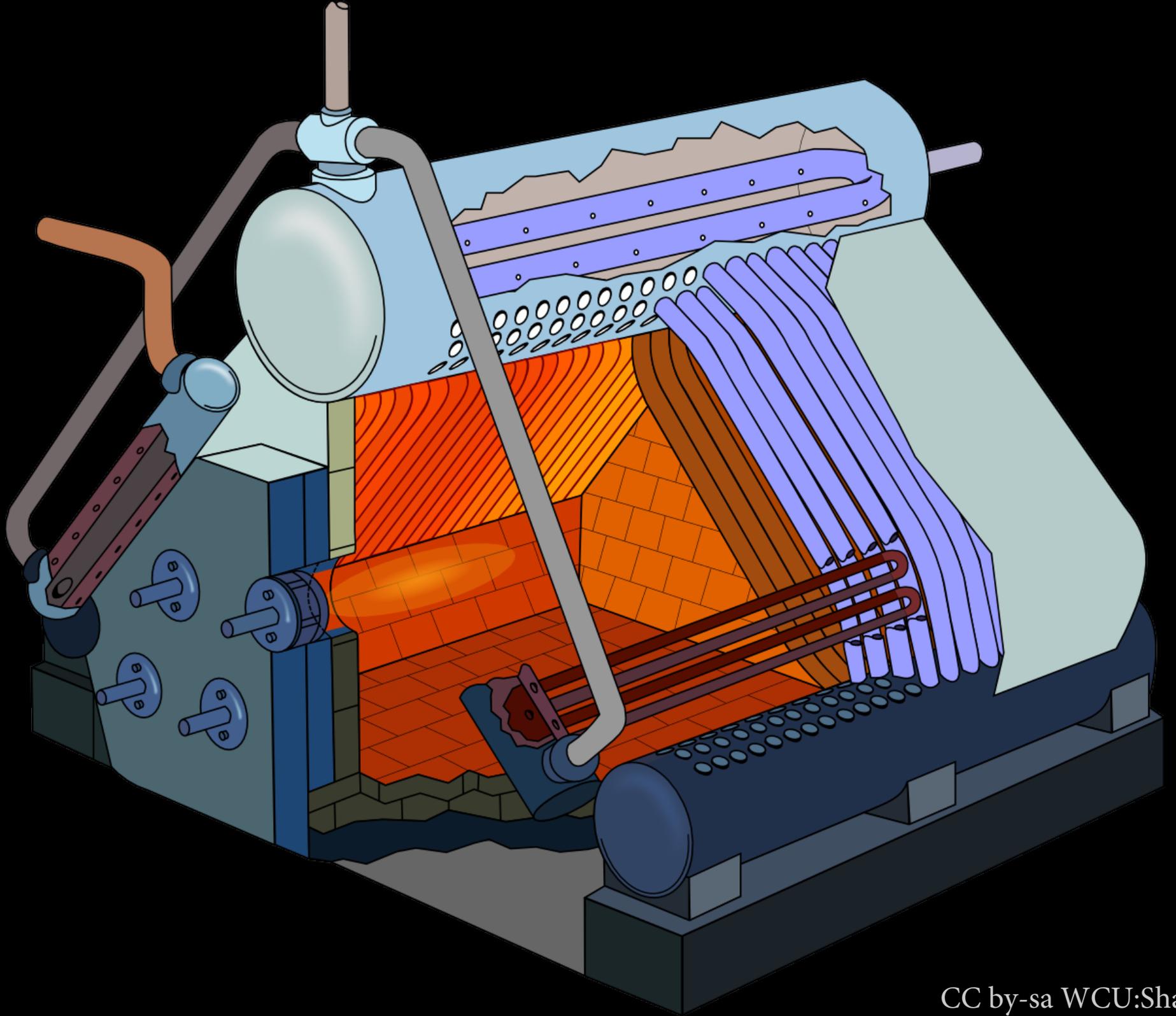
C

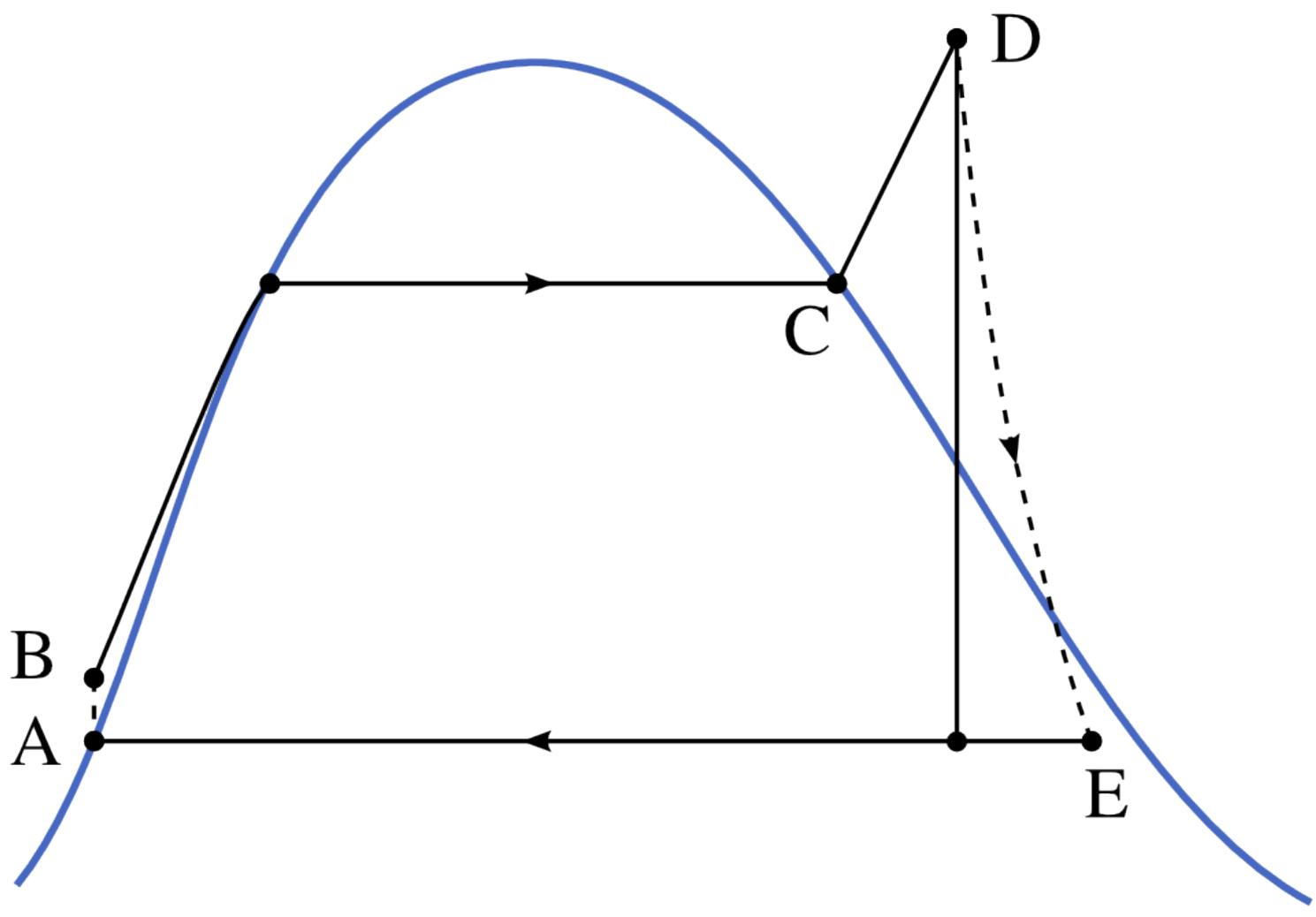
D

 S

T  S





T 

B
A

C

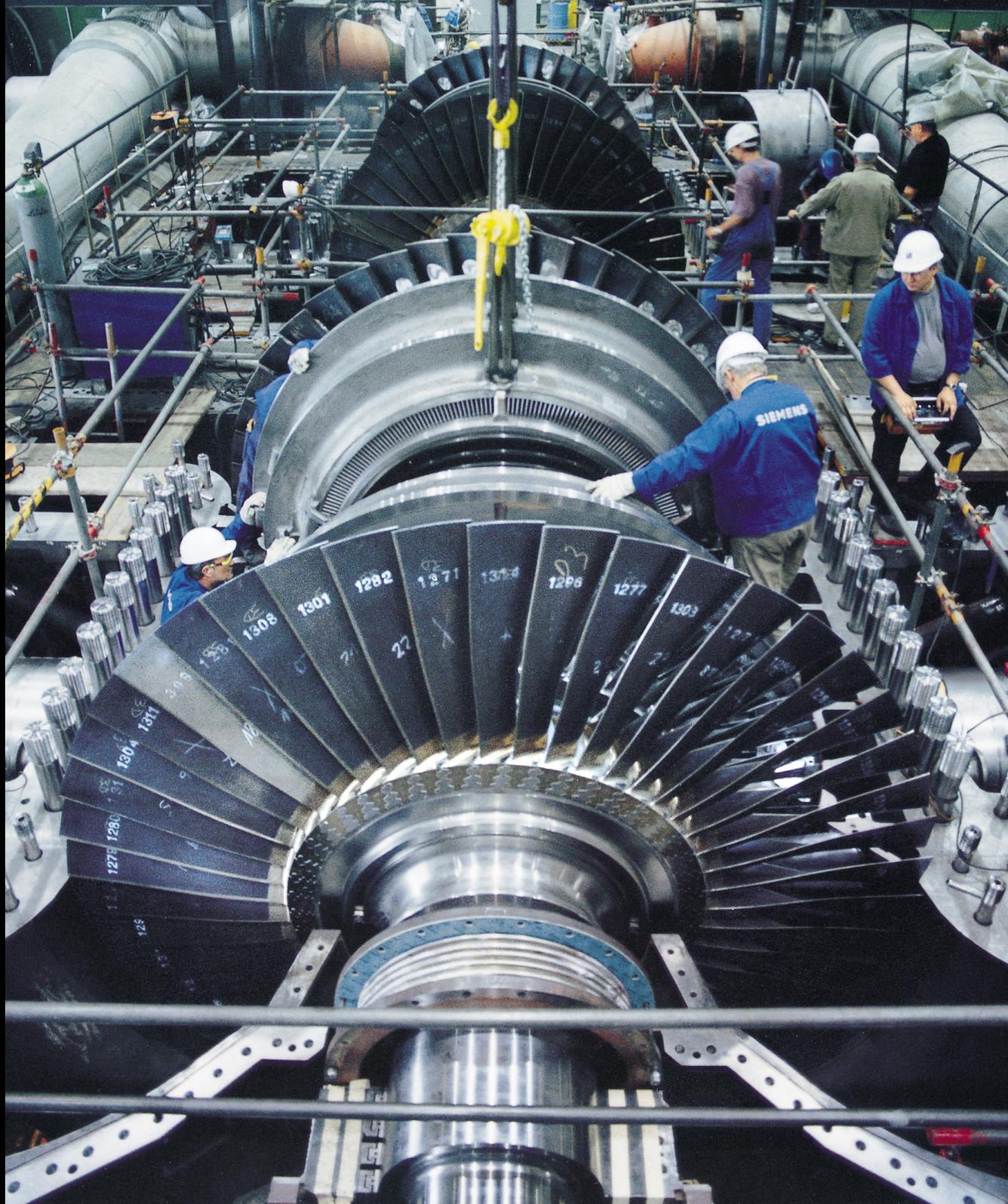
D

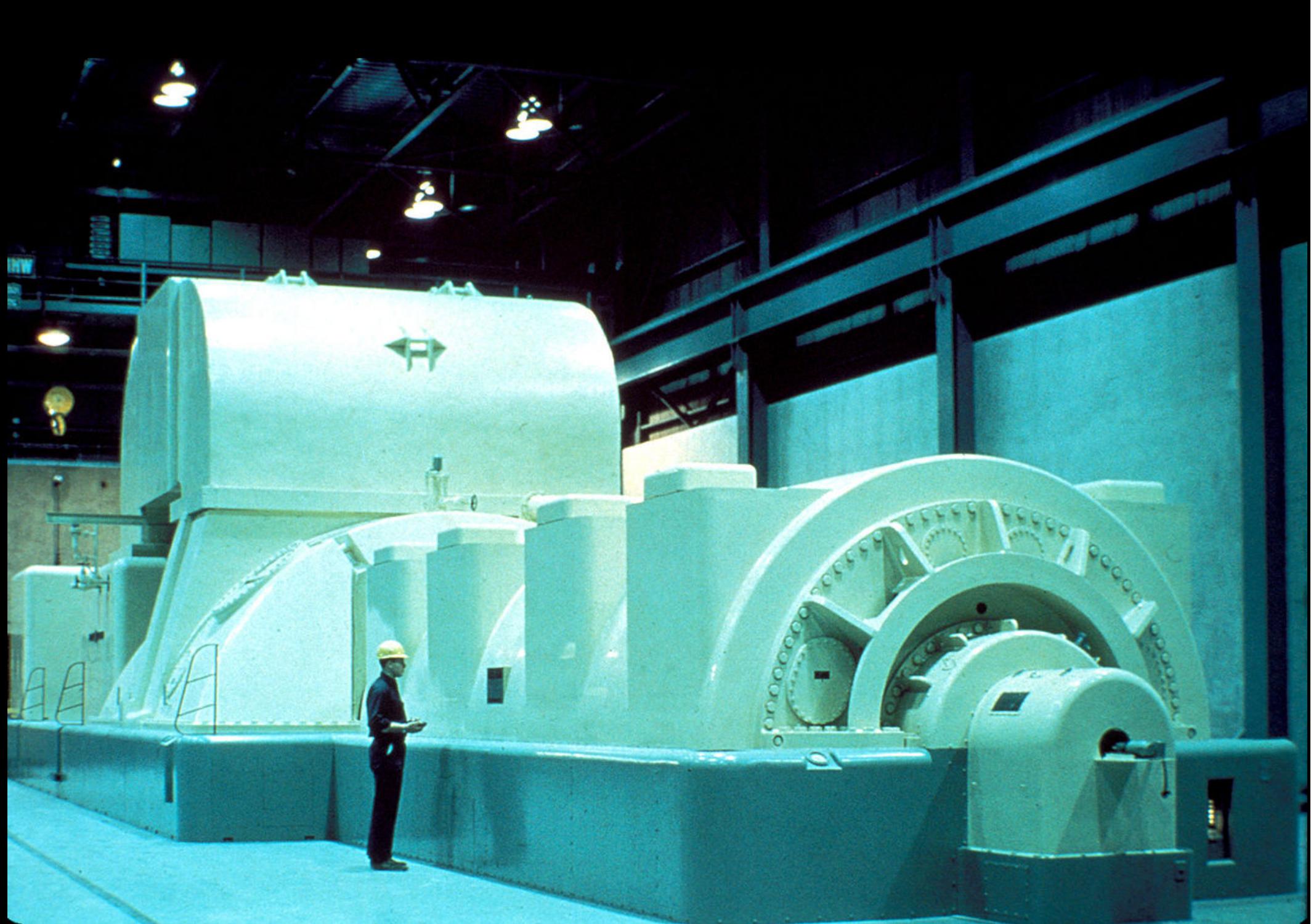
E

 S

190t ; D=5,6m ; 1500rpm ; 10,54 bar → 0,0456 bar ; 480 kg/s

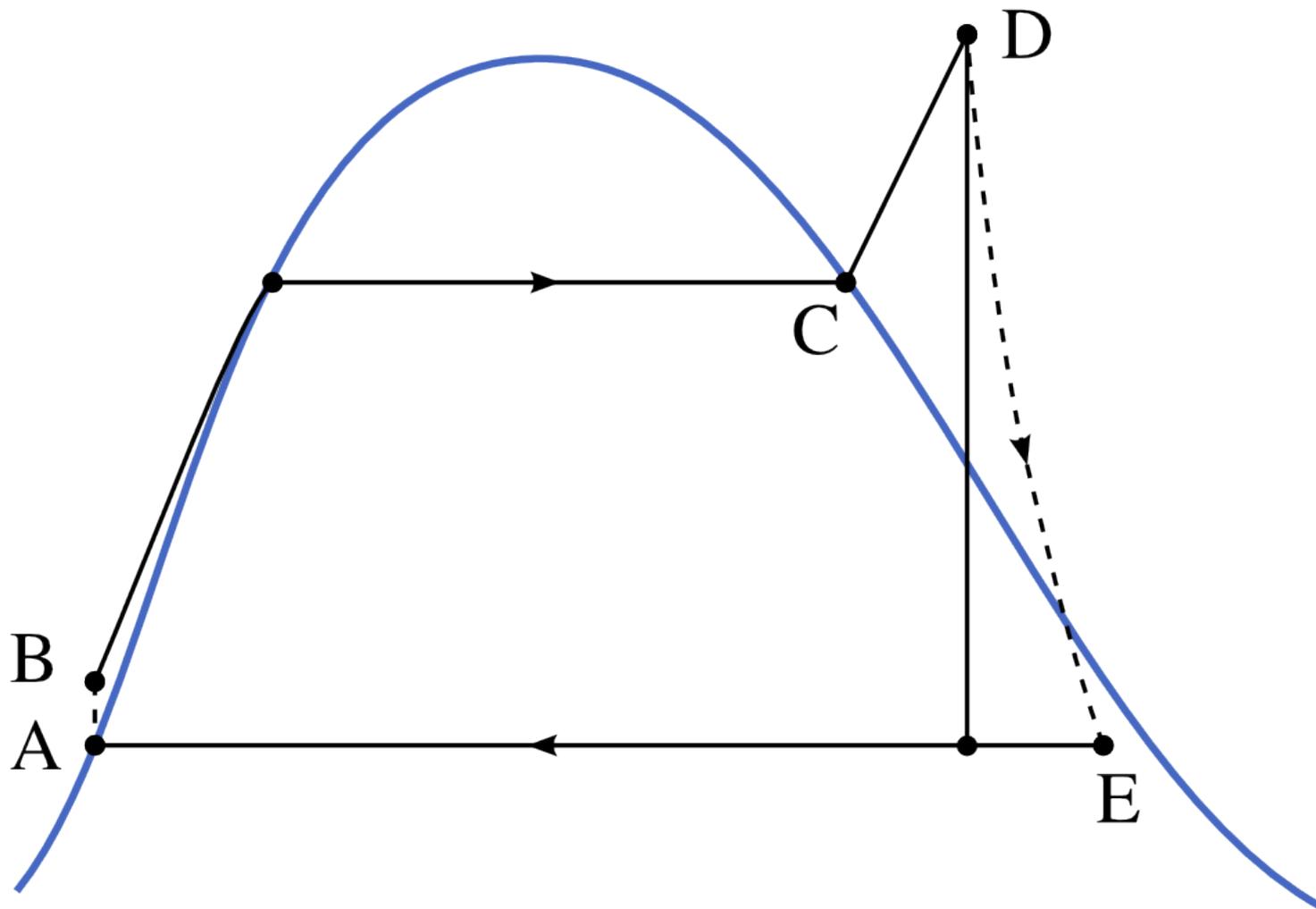


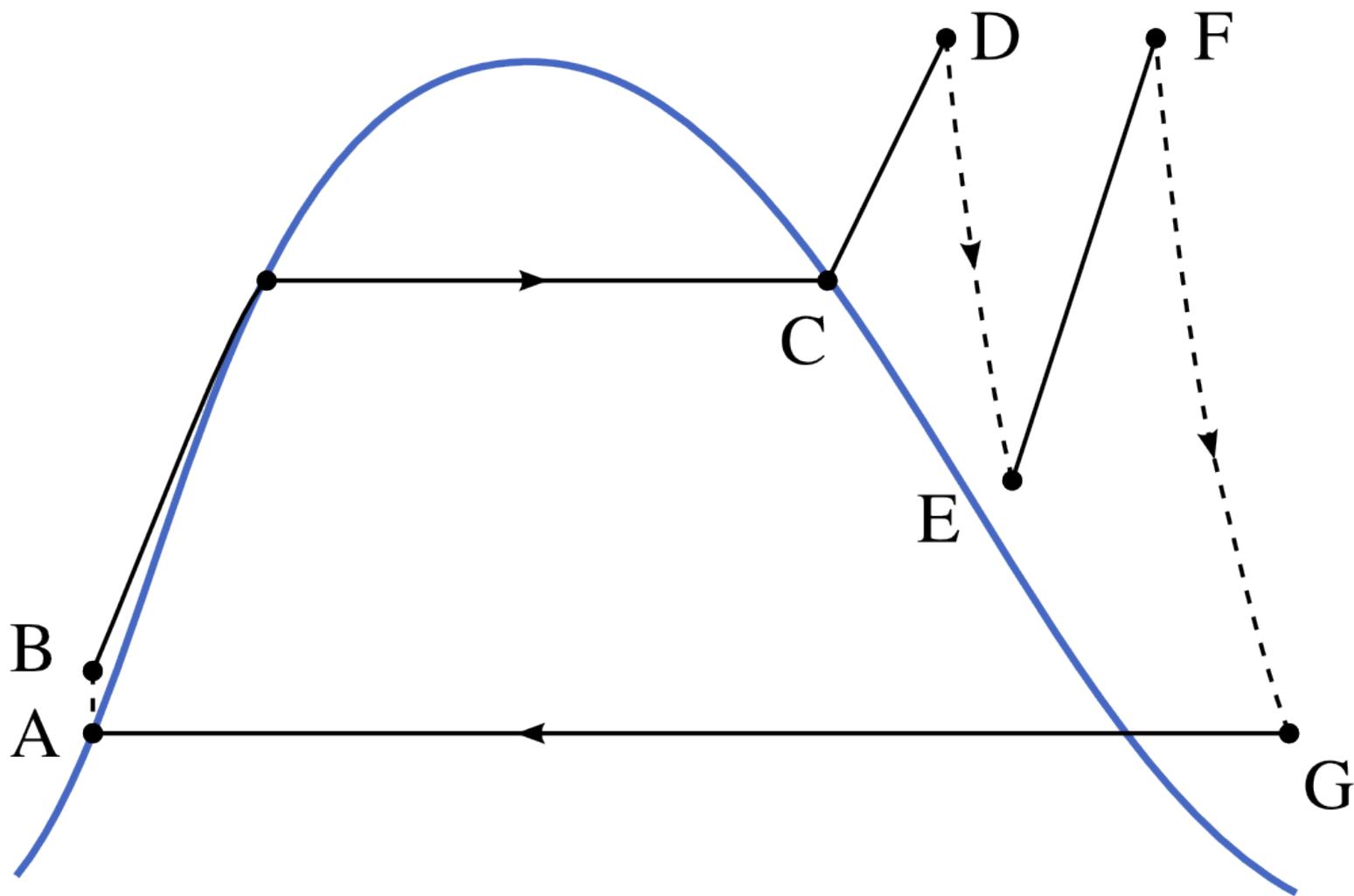




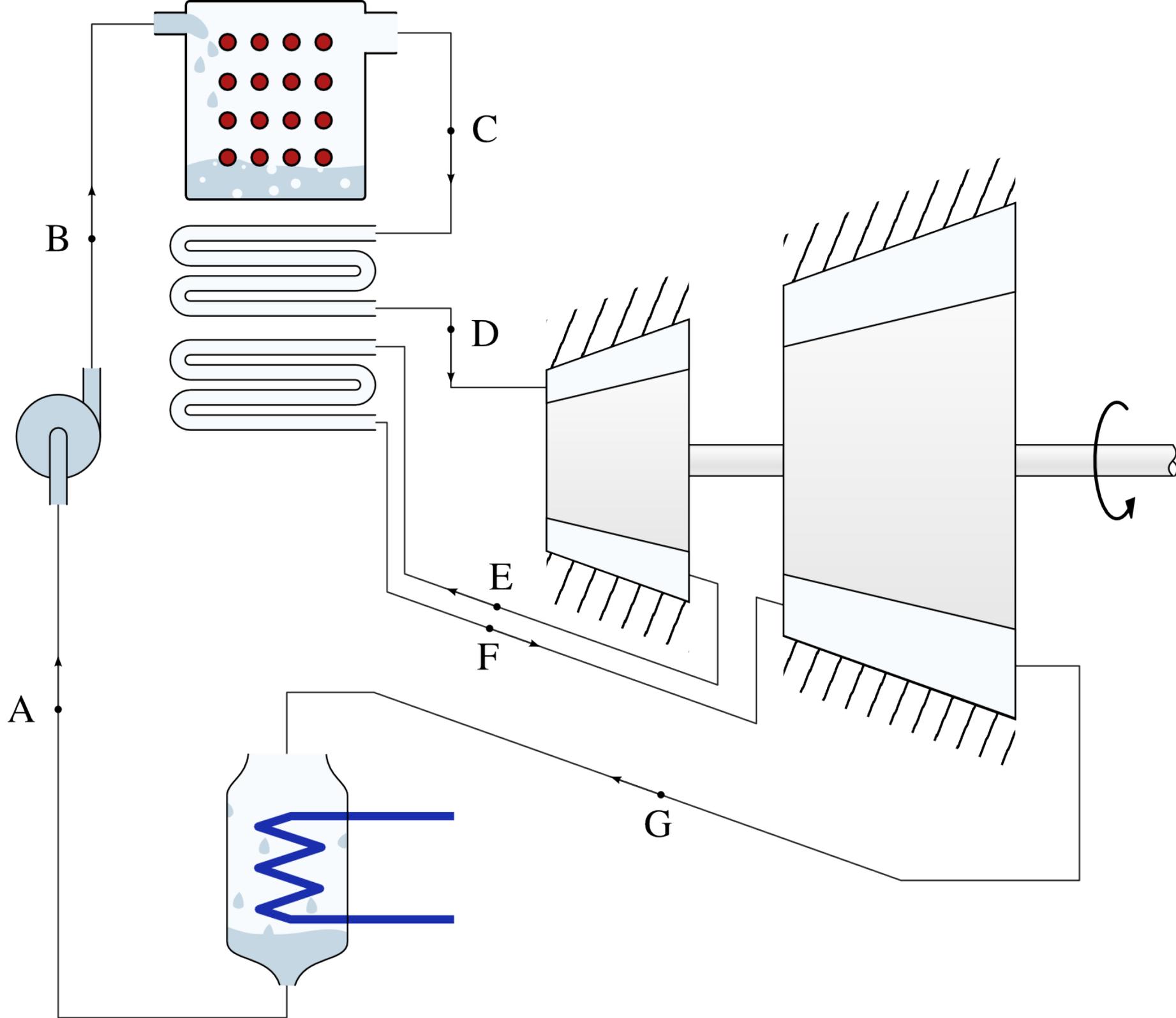
9.4.4 La resurchauffe

~ youpi ~





S

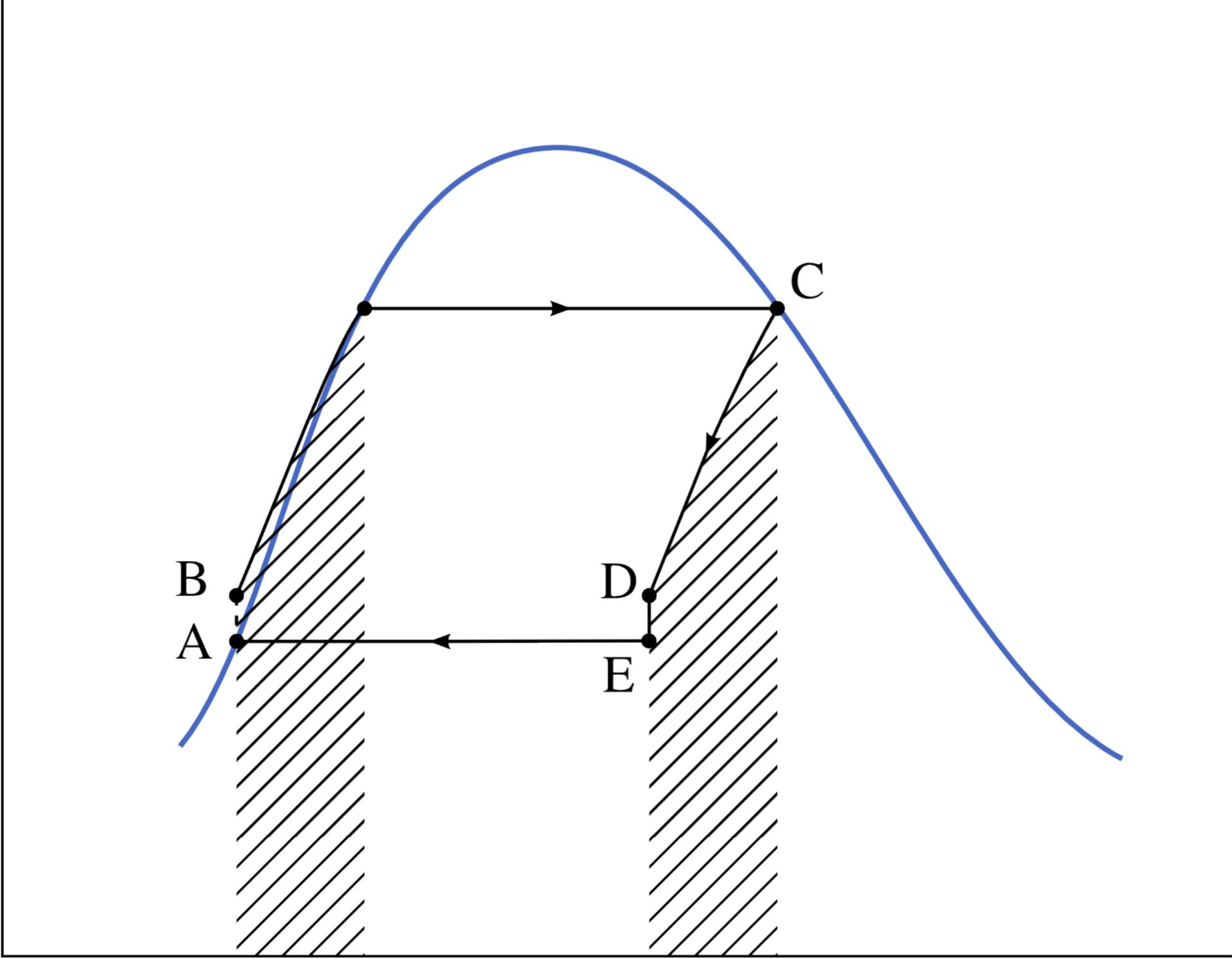


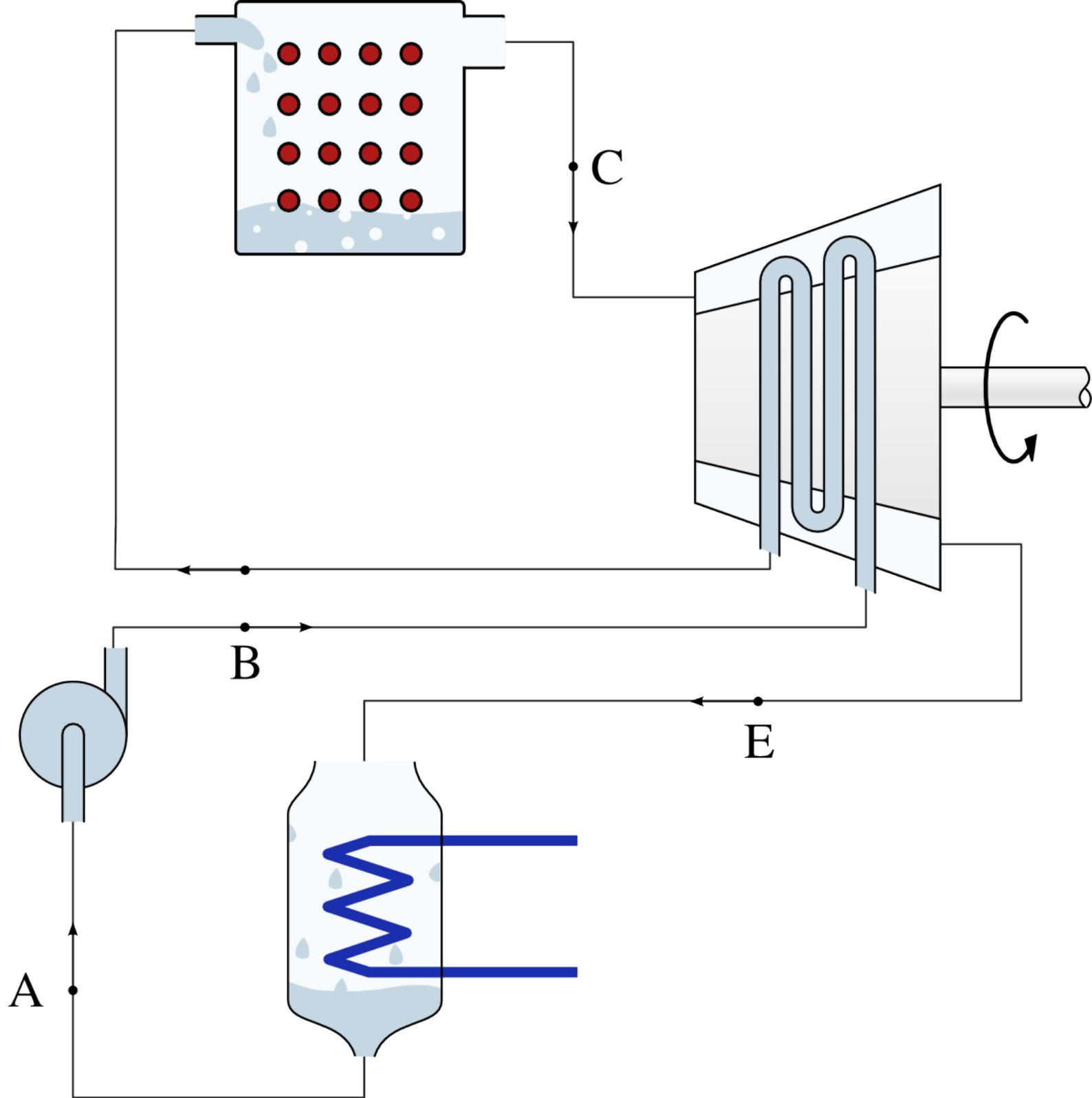
Érosion des pales de turbine

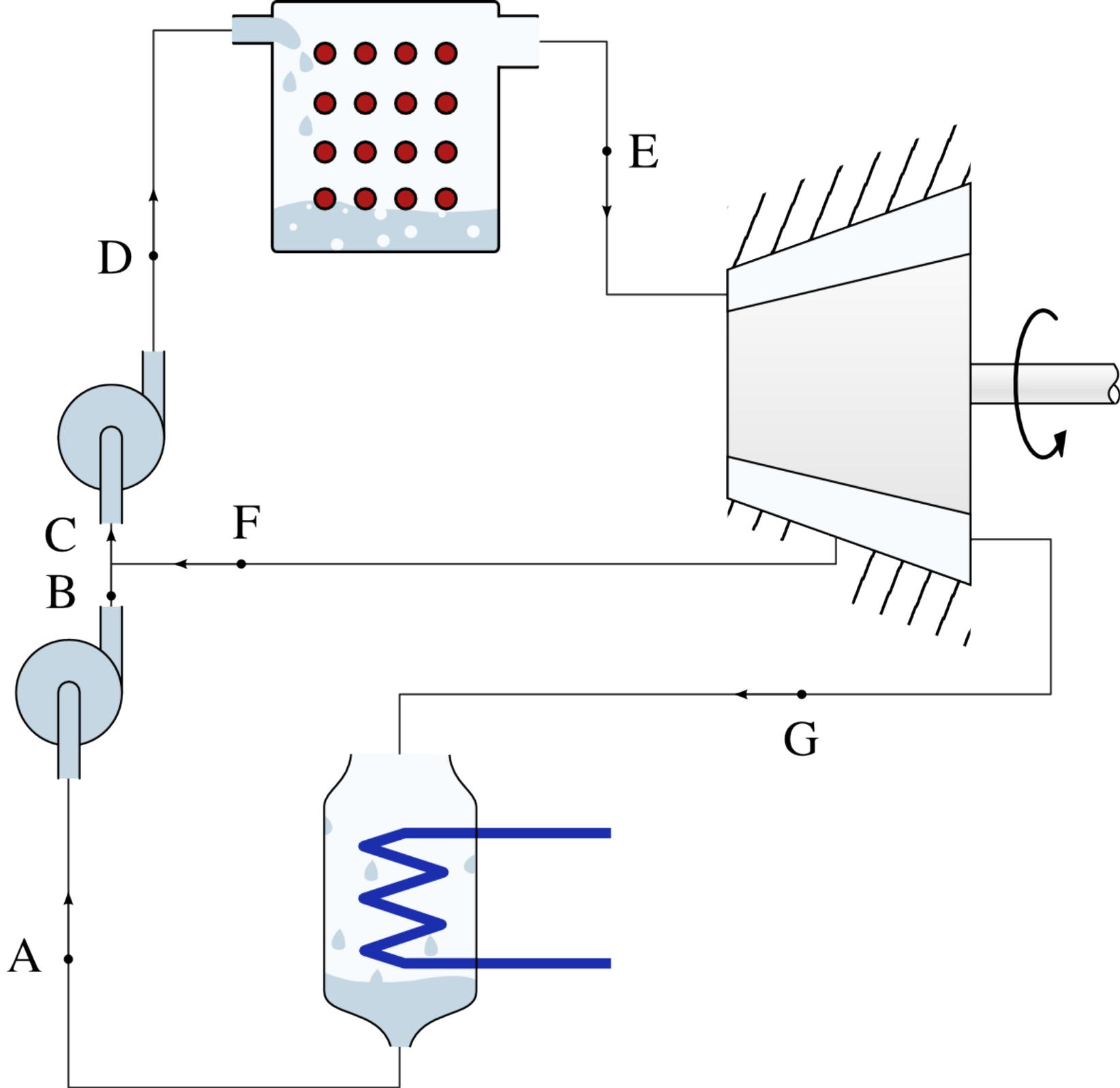


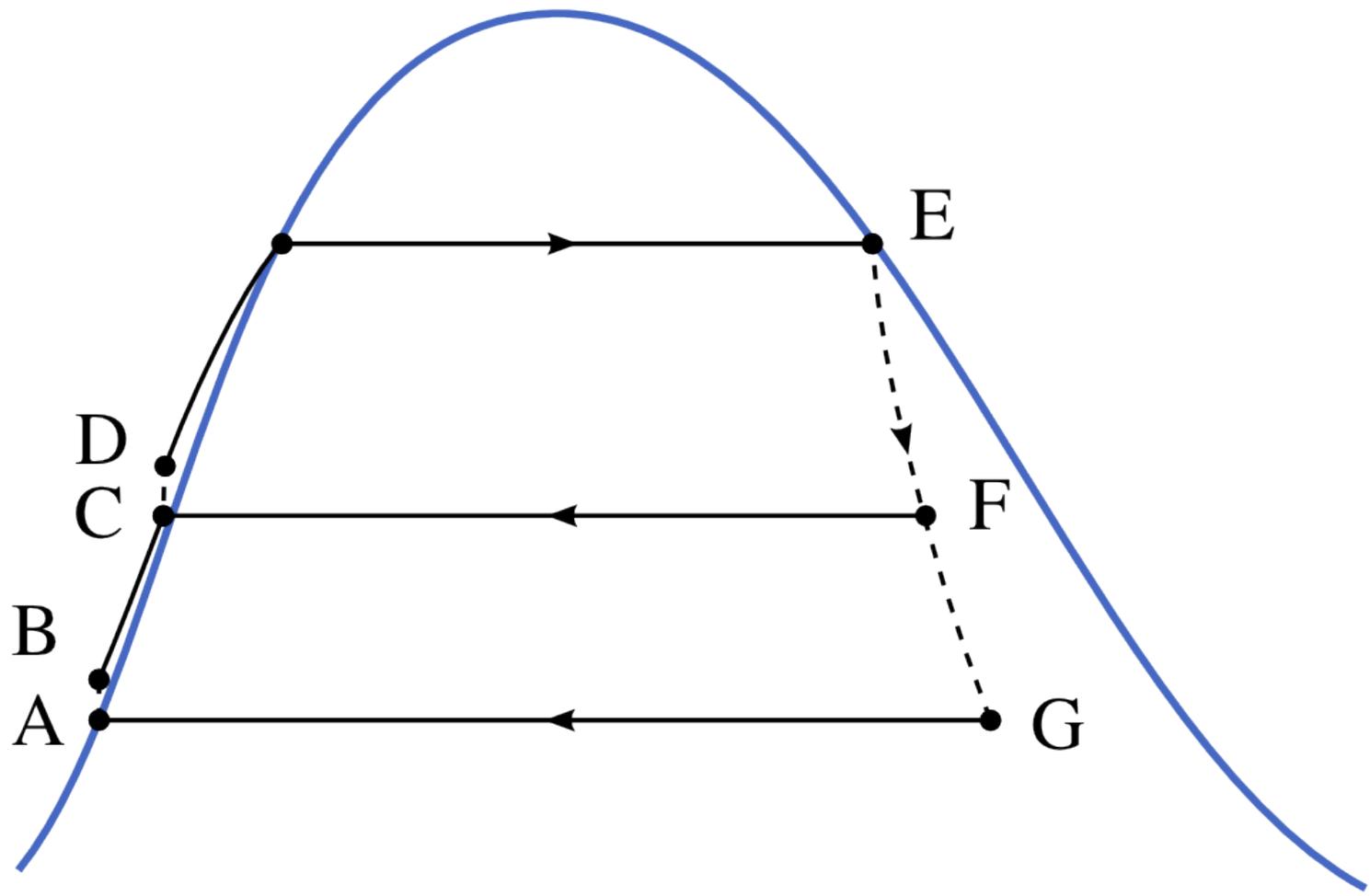
9.4.5 La régénération

~ Carnot le retour ~

T  S





T  S

Balakovo Control Room



9.4.6 Le cycle de Carnot
modifié par Rankine,
avec surchauffe,
avec resurchauffe,
avec régénération,
et avec circuits de décharge

