

Séance 3 de Mécanique des fluides

E. Plaut

<http://emmanuelplaut.perso.univ-lorraine.fr/mf>

Bilans d'énergies cinétique et interne - dissipation

Applications :

- Énergie éolienne
- Circuit primaire de centrale nucléaire
- Rhéomètre de Couette cylindrique (TD - Pb. 1.1)

Bilans d'énergie cinétique

Bilan local :

$$\rho \frac{de_c}{dt} = \rho \bar{\mathbf{g}} \cdot \bar{\mathbf{v}} + (\overline{\mathbf{div} \bar{\boldsymbol{\sigma}}}) \cdot \bar{\mathbf{v}} \quad \text{avec} \quad e_c = \frac{1}{2} \bar{\mathbf{v}}^2 \text{ densité massique d'énergie cin.}$$

Bilan global :

$$\frac{dE_c}{dt} = P_{\text{volumiques}} + P_{\text{surfaiques}} + P_{\text{intérieurs}}$$

$$E_c = \iiint_{\Omega_t} \rho e_c d^3x, \quad \frac{dE_c}{dt} = \iiint_{\Omega_t} \frac{\partial(\rho e_c)}{\partial t} d^3x + \iint_{\partial\Omega_t} \rho e_c \bar{\mathbf{v}} \cdot \bar{\mathbf{n}} d^2S$$

$$P_{\text{volumiques}} = \iiint_{\Omega_t} \rho \bar{\mathbf{g}} \cdot \bar{\mathbf{v}} d^3x$$

$$P_{\text{surfaiques}} = \iint_{\partial\Omega_t} \bar{\mathbf{T}} \cdot \bar{\mathbf{v}} d^2S$$

$$P_{\text{intérieurs}} = - \iiint_{\Omega_t} \bar{\boldsymbol{\sigma}} : \bar{\mathbf{D}} d^3x$$

Bilans d'énergie cinétique

Bilan local :

$$\rho \frac{de_c}{dt} = \rho \bar{\mathbf{g}} \cdot \bar{\mathbf{v}} + (\overline{\mathbf{div} \bar{\boldsymbol{\sigma}}}) \cdot \bar{\mathbf{v}} \quad \text{avec} \quad e_c = \frac{1}{2} \bar{\mathbf{v}}^2 \quad \text{densité massique d'énergie cin.}$$

Bilan global :

$$\frac{dE_c}{dt} = P_{\text{volumiques}} + P_{\text{surfiques}} - P_{\text{dissipée}}$$

$$E_c = \iiint_{\Omega_t} \rho e_c d^3x, \quad \frac{dE_c}{dt} = \iiint_{\Omega_t} \frac{\partial(\rho e_c)}{\partial t} d^3x + \iint_{\partial\Omega_t} \rho e_c \bar{\mathbf{v}} \cdot \bar{\mathbf{n}} d^2S$$

$$P_{\text{volumiques}} = \iiint_{\Omega_t} \rho \bar{\mathbf{g}} \cdot \bar{\mathbf{v}} d^3x$$

$$P_{\text{surfiques}} = \iint_{\partial\Omega_t} \bar{\mathbf{T}} \cdot \bar{\mathbf{v}} d^2S$$

$$P_{\text{dissipée}} = 2\eta \iiint_{\Omega_t} \bar{\mathbf{D}} : \bar{\mathbf{D}} d^3x \geq 0$$

Bilan global d'énergie cinétique

$$\frac{dE_c}{dt} = P_{\text{volumiques}} + P_{\text{surfiques}} - P_{\text{dissipée}}$$

$$E_c = \iiint_{\Omega_t} \rho e_c d^3x, \quad \frac{dE_c}{dt} = \iiint_{\Omega_t} \frac{\partial(\rho e_c)}{\partial t} d^3x + \iint_{\partial\Omega_t} \rho e_c \bar{\mathbf{v}} \cdot \bar{\mathbf{n}} d^2S$$

Application : estimation de la puissance disponible en éolien



Parc « Du haut des ailes »

Diamètre rotor : $d = 82 \text{ m}$

Vent : $V \simeq 12 \text{ m/s} \simeq 43 \text{ km/h}$

$\Rightarrow P_{\text{disponible}} \simeq ?$

[Photo Burgmeier 2009]

Bilan global d'énergie cinétique : estimation de la puissance du vent disponible en éolien

Puissance du vent par unité de surface

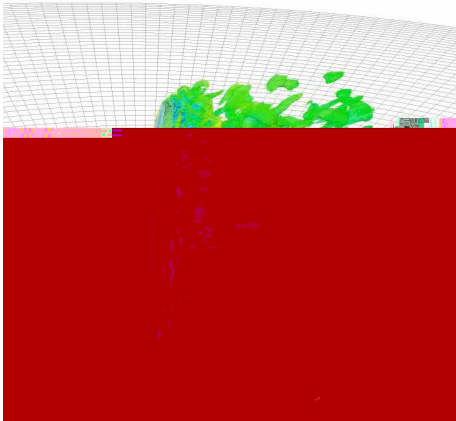
$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3, \quad V \simeq 12 \text{ m/s} \quad \Longrightarrow \quad \frac{P}{S} = \frac{1}{2} \rho V^3 \simeq 1 \text{ kW/m}^2$$

dont on capte au mieux environ 50%...

Bilan global d'énergie cinétique : estimation de la puissance du vent disponible en éolien

$$P = \frac{1}{2}\rho V^3 S = \frac{\pi}{2}\rho V^3 d^2 \implies \text{course aux grands diamètres}$$
$$\implies \text{problèmes de résistance des pales -matériaux}$$

Étude de ce problème par simulations avec couplage fluide - structure :



ForWind / IWES Oldenburg

Bilan global d'énergie cinétique

$$\frac{dE_c}{dt} = P_{\text{volumiques}} + P_{\text{surfaciques}} - P_{\text{dissipée}}$$

Mais où part l'énergie dissipée ?

Indice : penser à la maxime de Lavoisier



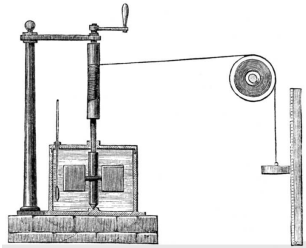
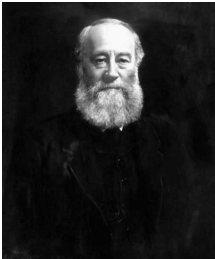
« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme »

Bilan global d'énergie cinétique

$$\frac{dE_c}{dt} = P_{\text{volumiques}} + P_{\text{surfaciques}} - P_{\text{dissipée}}$$

Mais où part l'énergie dissipée ?

Indice : penser aussi à l'expérience de Joule...



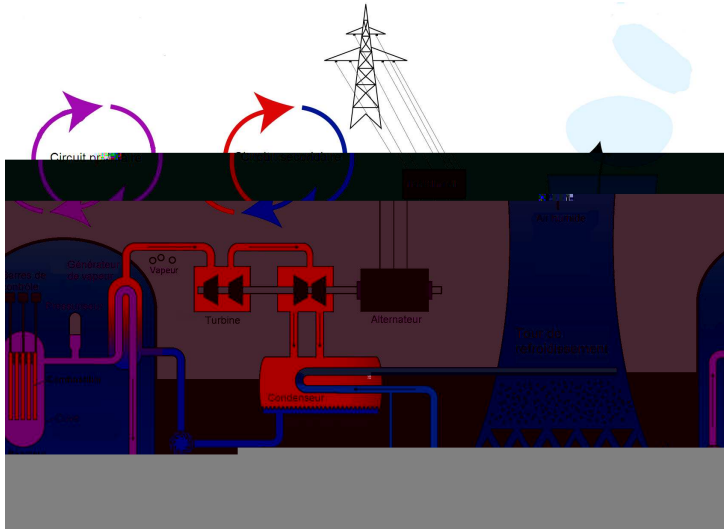
[Joule 1850 On the Mechanical Equivalent of Heat. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*]

Bilans d'énergie interne

1^{er} principe de la thermodynamique 010.55019969(n)5.9005.(p)22a

Bilan d'énergie interne : exemple avec production volumique de chaleur

Réacteur nucléaire à eau pressurisée :



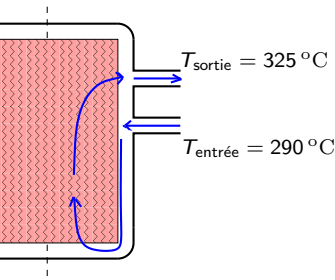
[Wikipedia]

Bilan d'énergie interne : exemple avec production volumique de chaleur

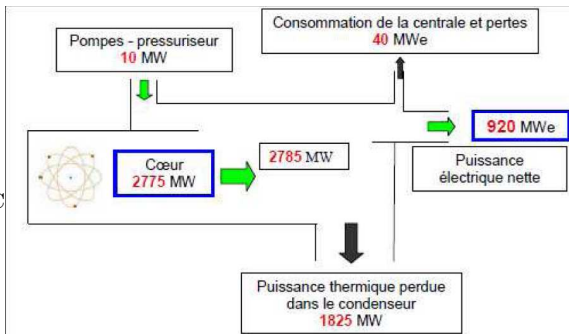
Partie « cuve » du circuit primaire d'un réacteur nucléaire 900 MWe.

Ce bilan doit permettre une estimation du **débit du fluide caloporteur**.

Schéma de la cuve :



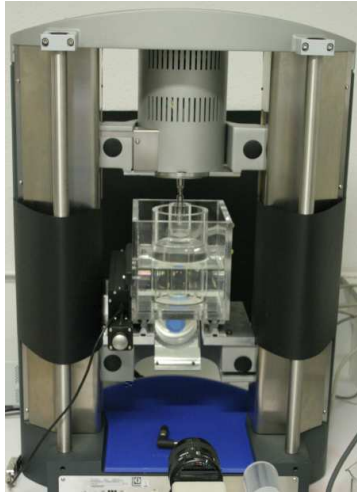
bilan thermique :



[Heim 2010 *Soutenance de stage AREVA*]

TD : début du pb. 1.1 : Écoulements de Couette cylindrique

Par ex. ceux de l'expérience de Couette cylindrique du Lemta :



[Benbelkacem & Skali-Lami 2008]

TD : début du pb. 1.1 : Écoulements de Couette cylindrique

Par ex. ceux des **paliers** de l'arbre du groupe turboalternateur d'une centrale nucléaire : ici partie du groupe avec la turbine basse pression et le générateur :



Attention :
instabilité de « Taylor - Couette » si rotation trop rapide !

Instabilité structurante mise en évidence dans l'étude expérimentale du projet recherche de Nicolas Perron, sous le tutorat de Chérif Nouar, en 2015 - 2016 :

<http://energie.mines-nancy.univ-lorraine.fr/2A/TaylorCouette.htm>

Attention :
transition vers la turbulence si rotation encore + rapide !

Cf. le film 'Playing with Taylor Couette ' sur YouTube:

https://www.youtube.com/watch?v=_tA1obl1Tbc