Contraintes énergétiques et thermodynamiques sur les fermetures turbulentes

- Conservation de l’énergie + production d'entropie par un jeu de fermetures "down-gradient" ?
- la positivité de cette production limite-t-elle (ou pas) ce qui est admissible en termes de fermeture ?
- quid des enthalpies et entropies de référence qu'on est obligé d'introduire dans les fonctions thermodynamiques (enthalpie p.ex.) ?

Quid des enthalpies et entropies de référence ?

$$g(p,T,q) = g_*(p,T,q) + (1-q)\left(h_0^d - Ts_0^d\right) + q\left(h_0^w - Ts_0^w\right).$$

$$s = -g_T \qquad \delta s = (1-q)\delta s_0^d + q\delta s_0^w$$

$$h = g - Tg_T \qquad \delta h = (1-q)\delta h_0^d + q\delta h_0^w$$

$$v = g_p, \quad c_p = -Tg_{TT} \qquad \delta v = 0, \quad \delta c_p = 0$$

Les fermetures sont des lois ***phénoménologiques*** *et devraient être (équivalentes à) des relations entre grandeurs* ***observables****. Or si on ne mesure que* $v(p,T,q)$ *et* $c_p(p,T,q)$*, les enthalpies et entropies de référence, et donc en général les* ***variables conservatives*** $\theta(s,q)$*, sont* ***inobservables****...*

Flux turbulents : observables ou inobservables ?

$$\rho D_t q + \nabla \cdot \rho\, \overline{q'\mathbf{u}'} = 0$$

$$\rho D_t s + \nabla \cdot \rho\, \overline{s'\mathbf{u}'} = \sigma_s$$

$$\rho D_t \theta + \nabla \cdot \rho\, \overline{\theta'\mathbf{u}'} = \sigma_\theta$$

$$\nabla_t\left(\rho U\right) + \nabla \cdot \rho \overline{h'\mathbf{u}'} = -\rho \overline{b'w'} + \varepsilon$$

$$\rho D_t s + \nabla \cdot \rho \left(\overline{s_q}\, \overline{q'\mathbf{u}'} + \widetilde{s'\mathbf{u}'} \right) = \sigma_s$$

Flux turbulent d'entropie ***réduit***

$$\nabla_t\left(\rho U\right) + \nabla \cdot \rho \left(\overline{h_q}\, \overline{q'\mathbf{u}'} + \widetilde{h'\mathbf{u}'} \right) = -\rho\, \overline{b'w'} + \varepsilon$$

Flux turbulent de chaleur sensible

Conservation de l'énergie + production d'entropie par un jeu de fermetures "down-gradient"

$$\nabla q, \; \nabla\theta(s,q) \longmapsto \widehat{q'w'}, \; \widehat{b'w'}, \; \widehat{\theta'w'}, \; \widehat{h'w'}$$

$$\nabla q, \; \tilde{\nabla} s \longmapsto \widehat{q'w'}, \; \widehat{b'w'}, \; \widetilde{s'w'}, \; \widetilde{h'w'}$$

Étant donnée une fermeture pour $\widehat{q'w'}$ et $\widetilde{s'w'}$, l'énergie est conservée si :

$$\widehat{b'w'} = b_s \widehat{s'w'} + b_q \widehat{q'w'} \qquad \widetilde{h'w'} = T\widetilde{s'w'}$$

$$T\widehat{\sigma}_s = \varepsilon - \rho \underbrace{\left(h_{ss} \widetilde{s'w'} \tilde{\nabla}_z s + g_{qq} \widehat{q'w'} \nabla_z q \right)}_{\textit{Mélange isobare}}$$

NB : on peut toujours choisir une autre variable conservative comme variable prognostique

$$\widehat{\theta'w'} = \theta_s \widehat{s'w'} + \theta_q \widehat{q'w'}$$

$$\sigma_\theta = \ldots$$

Pour aller plus loin

- Conséquences pour les fermetures utilisées opérationnellement ?
- TKE prognostique
- TPE prognostique (à la Zilitinkevitch)
- Fermetures convectives ??
  cf Thuburn, Weller : modèles à fluides multiples