

Turbulence et contrôle (JP Bonnet, LEA, 14 mai 2008).

Dans une première étape, on rappelle l'importance variable de la prise en compte de la turbulence dans les approches de contrôle. En effet de nombreux exemples de stratégies de contrôle montrent que des approches linéarisées, typiquement par études de stabilité, méthodes de contrôle optimal, etc. sont suffisantes pour l'analyse et la prévision de certains écoulements contrôlés, même dans une extrapolation à des nombres de Reynolds correspondant à des états turbulents développés. Dans de nombreuses applications la dynamique tourbillonnaire est prépondérante et la turbulence peut être considérée comme intervenant « au second ordre ». Si cette situation est avérée dans certains cas (le plus souvent des écoulements libres de type sillage ou couches de mélange), le caractère turbulent reste essentiel dans d'autres cas. En particulier la réduction de traînée turbulente nécessite la prise en compte explicite de la turbulence. On rappelle les résultats de *Fronhpfel – Jovanovic – Durst JFM 2006* qui mettent en évidence l'influence des polymères, surfactants, gradients de pression et régime supersonique sur le comportement à la limite en paroi de l'équilibre entre les invariants II et III introduits par Lumley. Il semble que la réduction de frottement turbulent soit associée à l'évolution vers une turbulence « 1 composante », ce qui avait aussi été montré dans le cas des « ribbles ».

La turbulence reste essentielle pour « ajuster » la dynamique à travers les interactions non-linéaires et les effets de la dissipation turbulente en particulier. Ceci est illustré par les analyses spectrales et les bilans d'énergie de plusieurs écoulements contrôlés (on rappelle le cas des « LEBU » *Lemay, Delville, Bonnet 1990*). Dans ce cas l'énergie des hautes fréquences ou petites échelles correspondant au domaine dissipatif est artificiellement augmentée par l'émission des structures en aval de la lame formant le « LEBU ». C'est aussi le cas du contrôle *actif* d'un jet turbulent par actionneur piezzo dans l'expérience de *Wiltse et Glezer PoF 1998*. Des phénomènes équivalents sont observés dans le cas du contrôle de jets par micro-jets (*Laurendeau-Bonnet-Jordan-Delville, TSFP 2005, Bénard-Bonnet-Touchard-Moreau, AIAA J. 2008*). Enfin, dans le cas du contrôle de la zone de mélange se développant au dessus d'une cavité, le contrôle par introduction d'un barreau (*Staneck 2002-5*) introduit aussi de façon passive des structures à petite échelle correspondant au domaine dissipatif de l'écoulement de base.

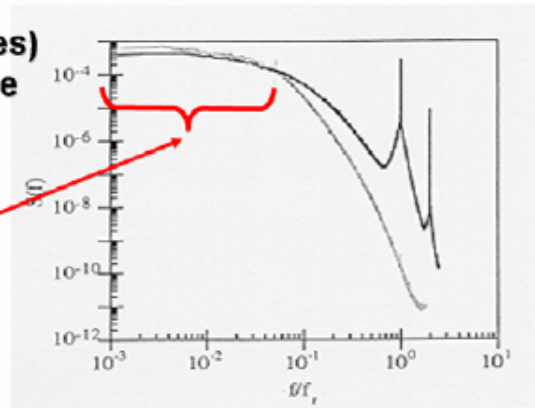
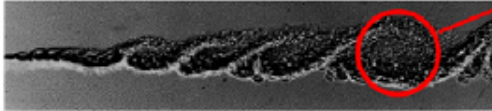
La question alors soulevée est de savoir si l'apport d'énergie dans le domaine dissipatif est une voie de contrôle des écoulements turbulents et quelle dynamique turbulente est sous jacente, en particulier en fonction de structures à grande échelles qui sont le plus souvent l'objet du contrôle (pour les applications au contrôle de mélange et de bruit).

Ceci a conduit à envisager que la dissipation turbulente pouvait *piloter la cascade énergétique*. Cette interprétation donnée initialement par Wiltse et Gezer est remise en cause par les analyses de Staneck (2002 et thèse 2005) dans le cas du contrôle de la cavité par création de fines structures dans le sillage d'un barreau..

Le débat vient du fait que la cascade impose *de façon conservative* de dissiper l'énergie (u^2) sur des échelles de temps en L/u , soit à des taux en u^3/L . Ce taux ne fait pas intervenir la viscosité ce qui conduit à poser, de façon conventionnelle, que la dissipation doit s'adapter à l'énergie qui alimente la cascade. Dans cette perspective, l'introduction d'énergie supplémentaire dans le domaine dissipatif *ne devrait pas piloter* l'énergie des grandes échelles.

How Does High Frequency Flow Control Work ?

The Largest Scales (lowest frequencies) Lose energy after HF forcing, while the Smallest Scales gain energy. Why?



Wiltse / Glezer

Description or Model of HF Forcing Effect
(Wiltse & Glezer, AIAA-96-0309)

Drop In Turbulent Kinetic Energy At Low Frequencies Is Caused By An Accelerated Transfer Of Energy From Low Frequencies To High Frequencies (Accelerated TKE Cascade)

Stanek Description or Model of HF Forcing Effect

(Stanek et. al., AIAA-2002-2272, AIAA-2002-2404)

Drop In Turbulent Kinetic Energy At Low Frequencies Is Caused By Decreased TKE Production Due To Turbulent Shear Layer Stabilization (Decelerated TKE Cascade)

Une des difficultés vient du fait que dans plusieurs configurations, l'augmentation de l'énergie du domaine dissipatif est concomitante avec une modification des champs moyens qui conduisent à modifier les termes de production. Ainsi il est difficile de séparer les deux effets et les interprétations des effets sur la cascade qui en découlent. Il faut noter que dans le cas de Wiltse et Glezer toutefois, la méthode de contrôle ne doit pas modifier les champs moyens, ce qui n'est à l'évidence pas le cas de la configuration du barreau en amont de la cavité (voir les résultats de *Daude, thèse Dafe 2007 rapportés par P. Comte*).

Des études en turbulence homogène isotrope, THI, sont une excellente voie d'analyse fondamentale. Une tentative faite à Lyon (*Michard- Mathieu- Morel- Alcaraz-Bertoglio ETC 1987*) était une tentative remarquable (THI avec des ailettes) mais trop peu développée. Les études de grille vibrante (*Oberlack 2008*) peuvent aussi apporter des informations précieuses, ainsi que, dans le domaine passif, les grilles fractales de C. Vassilicos (voir plus loin dans le workshop).

La question du pilotage de la dissipation par la production, ou de l'accélération de la cascade par la création d'échelles dans le domaine dissipatif reste donc une question ouverte.

Les travaux du groupe de Lyon (Bos, Shao et Bertoglio (LMFA)) viennent compléter ces réflexions. Ils étudient le déséquilibre spectral par voie numérique et analytique (Phys. Fluids 2007). L'effet de ce déséquilibre peut être caractérisé par la variation du paramètre C_ε , introduit dans la relation classique liant la dissipation à l'échelle intégrale (relation implicitement admise dans tous les modèles en 1 point):

$$\varepsilon = C_\varepsilon U^3/L$$

avec U et L les échelles intégrales de vitesse et de longueur de l'écoulement. Une étude récente de l'équipe d'Antonia (Phys. Fluids 2005) affirme que dans les DNS de haute résolution, C_ε tend vers une valeur constante qui est approximativement identique pour une turbulence maintenue stationnaire par forçage et pour la turbulence en déclin. Les résultats obtenus au LMFA en LES, ou par fermetures spectrales (EDQNM), montrent que ce n'est pas le cas: le rapport de la valeur de C_ε pour la turbulence en déclin et celle de C_ε pour la turbulence forcée peut varier d'un facteur 2 (voir figure 2, D=turbulence en déclin, F=turbulence forcée, R_L = nombre de Reynolds). Ce résultat remet en question l'initialisation et le forçage des simulations directes et des expériences de la turbulence.

