

Instabilités et chaos dans des écoulements tournants

Benoît PIER

benoit@lmfa.fr



Laboratoire de mécanique des fluides et d'acoustique
CNRS — Université de Lyon
École centrale de Lyon, France



Journé de lancement TIDRA
Traitement de données et informatique distribuée en Rhône-Alpes

14 décembre 2010

Le laboratoire de mécanique des fluides et d'acoustique

Unité mixte de recherche :

CNRS — École centrale de Lyon — Université Lyon 1 — INSA de Lyon

Personnel :

environ 100 permanents (20 CNRS, 40 enseignants-chercheurs, 35 ITA) et 50 doctorants

Quatre équipes de recherche :

- Instabilités et Turbulence
- Turbomachines
- Fluides complexes et transferts
- Acoustique

Domaines d'applications : Transport (aérien, terrestre), énergie, environnement (atmosphère, hydrologie, bruit), microfluidique, procédés. . .

1 Transition dans une couche limite 3D

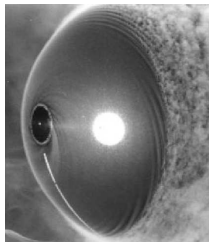
2 Retour d'expérience TIDRA

Plan

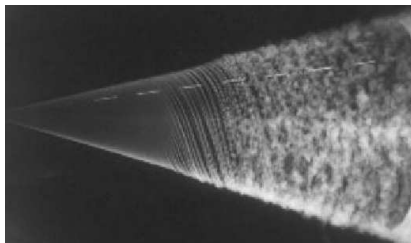
- 1 Transition dans une couche limite 3D
- 2 Retour d'expérience TIDRA

Quelques visualisations d'écoulements

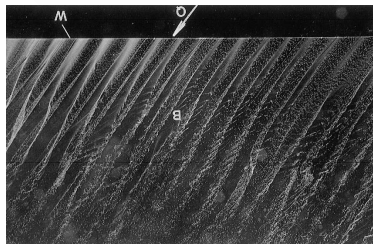
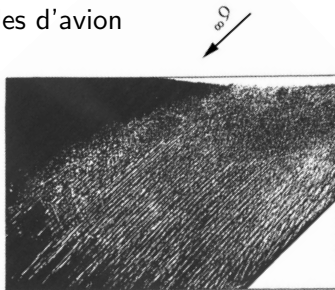
Solides en rotation



(Kohama 2000)



Ailes d'avion



(Bippes 1999)

Problématique générale

- Écoulements ouverts $\leadsto$ dynamique organisée de l'amont vers l'aval
- Écoulements se développant spatialement $\leadsto$ propriétés varient le long de l'écoulement
- Écoulements pleinement tridimensionnels
- Fortes instabilités
- Transition abrupte vers un régime chaotique et turbulent
- Écoulements structurés juste avant la transition
- Scénario complexe qui conduit à la turbulence

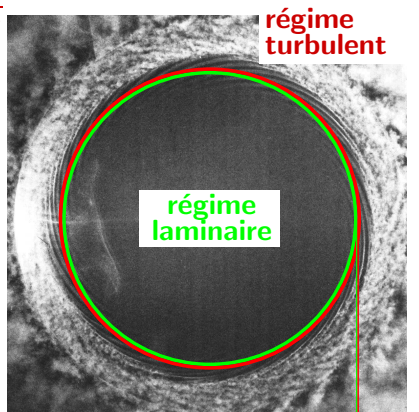
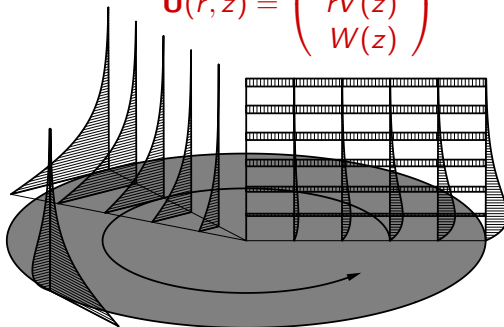
Peut-on contrôler de tels écoulements de manière efficace ?

Il faut agir de manière très ciblée.

Écoulement générique : disque tournant

- pas d'échelle de longueur intrinsèque
- écoulement de base auto-similaire
- épaisseur de couche limite $\delta = \sqrt{\frac{\nu}{\omega_{disk}}}$

$$\mathbf{U}(r, z) = \begin{pmatrix} rU(z) \\ rV(z) \\ W(z) \end{pmatrix}$$



(Kohama 1984)

transition
à $r \simeq 500\delta$

Très bref raccourci de la théorie

On écrit l'écoulement total comme $\mathbf{U}(z; R) + \mathbf{u}(r, \theta, z, t)$.

Petites perturbations :

$$\mathbf{u}(r, \theta, z, t) = \mathbf{u}^\ell(z) \exp i(\alpha r + \beta \theta - \omega t) \quad \text{avec}$$

$$\omega = \Omega^\ell(\alpha, \beta; R)$$

Perturbations importantes :

$$\mathbf{u}(r, \theta, z, t) = \sum_n \mathbf{u}_n(z) \exp ni(\alpha r + \beta \theta - \omega t) \quad \text{avec}$$

$$\omega = \Omega^{n\ell}(\alpha, \beta; R)$$

Perturbations secondaires :

$$\hat{\mathbf{u}}(r, \theta, z, t) = \left(\sum_n \hat{\mathbf{u}}_n(z) \exp ni(\alpha r + \beta \theta - \omega t) \right) \exp i(\hat{\alpha} r + \hat{\beta} \theta - \hat{\omega} t)$$

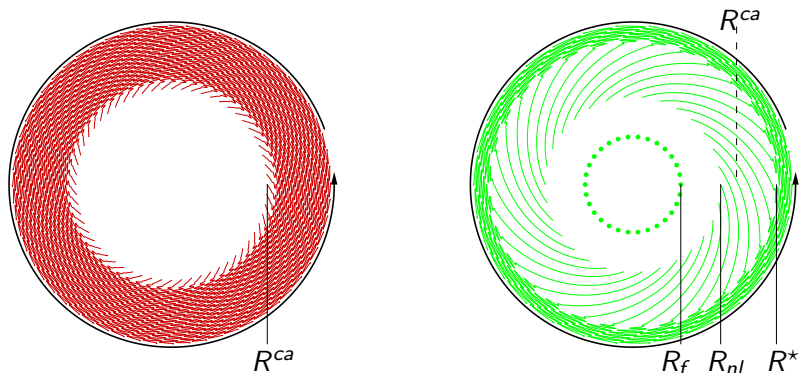
avec

$$\hat{\omega} = \hat{\Omega}^\ell(\hat{\alpha}, \hat{\beta}; \alpha, \beta; R)$$

Nouvelle stratégie de contrôle pour repousser la transition

Modifier le comportement naturel par un forçage harmonique localisé.

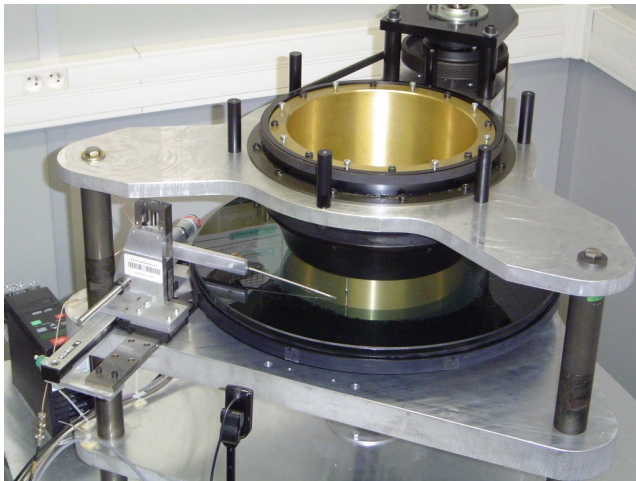
Optimisation du forçage basée sur l'ensemble des simulations précédentes.



**Vacciner l'écoulement en amont de la transition
pour empêcher les pathologies de se développer en aval**

Application : conception d'un prototype expérimental

- Disque de 50 cm diamètre
- Rotation jusqu'à 1500 tours/min



Conclusions

- Compréhension fine du mécanisme de la transition
- Mise au point d'une nouvelle stratégie de contrôle
- Obtention des paramètres optimaux de contrôle grâce au calcul intensif
- Méthode en boucle ouverte : “Gros” calcul préalable, pas de mesures ni calculs en temps réel
- Mis en œuvre expérimentale dans une configuration pratique

Plan

- 1 Transition dans une couche limite 3D
- 2 Retour d'expérience TIDRA

Retour d'expérience

Architectures informatiques utilisées dans le cadre de ce travail :

- Cluster LMFA (machine SMP 32 proc)
- Centre de calcul IN2P3 (bqs. . .)
- Grille TIDRA

Puissance de calcul croissante, complexité croissante de la mise en œuvre

TIDRA : quelques contraintes et beaucoup d'avantages

- **Investissement initial pour avoir des codes “portables”**

Soumission via une méthode générique : préparer les jobs de telle sorte à ce qu'ils emportent avec eux tout ce dont ils peuvent avoir besoin pour l'exécution sans faire d'hypothèses sur ce qui est disponible sur la machine destinataire.

→ **jobs autonomes, exécutables presque partout**

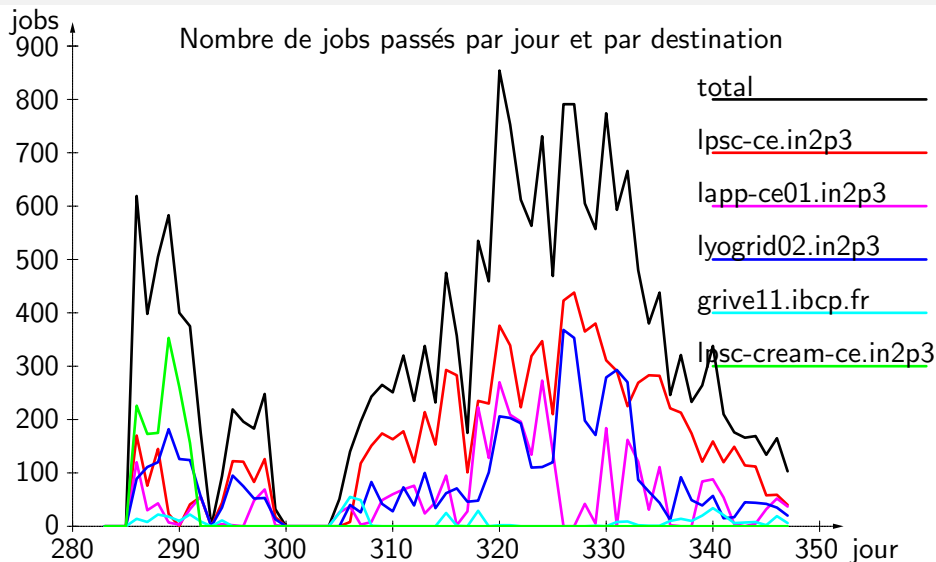
- **Il faut des codes robustes**

Nombreuses sources de micro-pannes (réseau intermittent, accès au stockage, machines indisponibles...)

Impossible à gérer si la vérification de la bonne exécution doit se faire manuellement

→ **scripts automatiques de vérification, réparation, relance**

TIDRA — Exemple de suivi de production



TIDRA — Conclusions

Après une période de mise au point

Jobs robustes et portables, qui peuvent s'enchaîner **automatiquement** pendant des semaines sans intervention de l'utilisateur

Puissance de calcul inégalée, surtout pour des problèmes qui se “découpent” facilement (p.ex. études paramétriques)