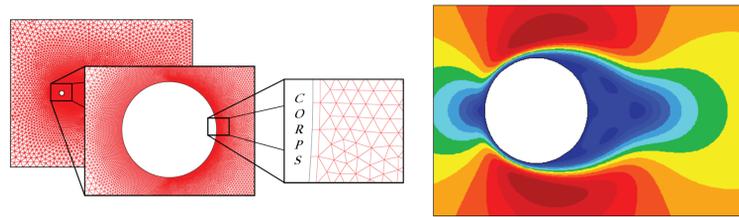


Qu'est-ce que la CFD ?

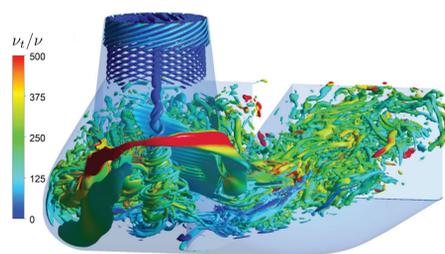
La CFD (Computational Fluid Dynamics) est l'étude des écoulements de fluide par des méthodes numériques. La résolution s'effectue généralement en discrétisant un volume de calcul en un maillage d'une multitude de petits éléments (plusieurs millions dans certains cas).



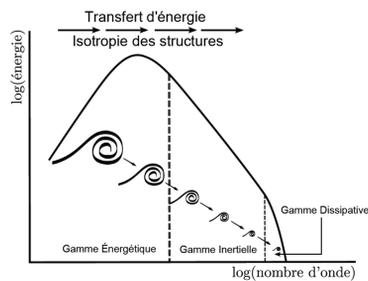
Maillage et contour de pression autour d'un cylindre
 [Image de Bochud, P. et Lefrançois, J., Université Laval (2006)]

La turbulence en CFD

La turbulence est un régime d'écoulement présentant des fluctuations de vitesse chaotiques. Celle-ci est présente dans la majorité des applications d'ingénierie et demeure encore de nos jours un défi important de la CFD.

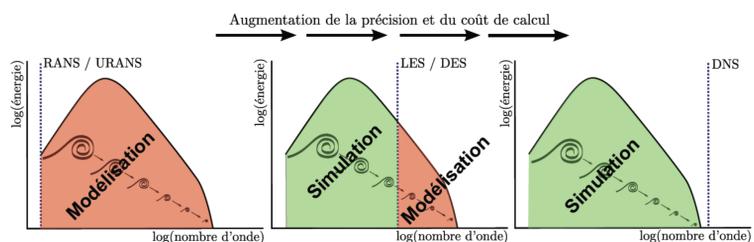


Turbulence dans un aspirateur de turbine hydraulique
 [Image de Beaubien, C.-A., Université Laval (2013)]



Spectre typique de turbulence
 [Adapté de Lemay, J., Université Laval (2010)]

La grande disparité des échelles spatiales et temporelles de la turbulence en fait un problème complexe qui dépasse souvent la capacité des ordinateurs modernes. Pour maintenir les coûts de calcul à un niveau raisonnable, l'utilisation d'approximations et de modèles s'impose donc.

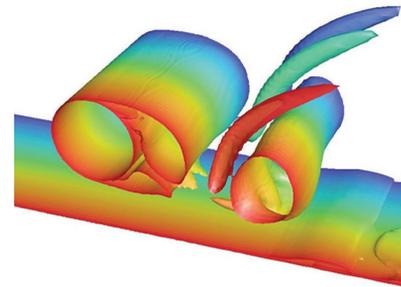


Simulation et modélisation du spectre de turbulence
 [Image de Beaubien, C.-A., Université Laval (2013)]

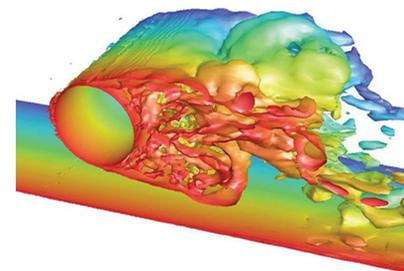
Les méthodes de modélisation

RANS et URANS

La méthode RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes*) consiste à résoudre un écoulement moyen et à modéliser les fluctuations de la turbulence par une viscosité turbulente. La méthode URANS est une extension instationnaire du RANS qui permet de résoudre les très grandes (lentes) fluctuations temporelles de l'écoulement.



Simulation URANS d'un cylindre au dessus d'une surface
 [Adapté de Nishiro, T. et al., *J. Fluids Struct.* **24**, 18-33 (2008)]



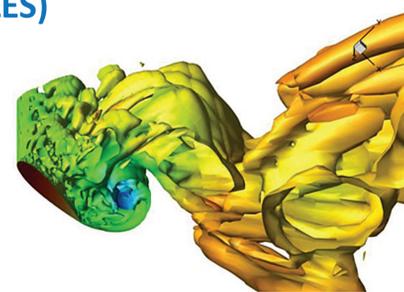
Simulation DES d'un cylindre au dessus d'une surface
 [Adapté de Nishiro, T. et al., *J. Fluids Struct.* **24**, 18-33 (2008)]

Hybride RANS/LES (DES)

Les méthodes hybrides, comme le DES (*Detached Eddy Simulation*), permettent de combiner une résolution de type LES loin des parois et une modélisation RANS dans la couche limite. Cette méthode permet donc une bonne résolution de la turbulence et de ses effets avec des géométries complexes sans la nécessité d'une discrétisation excessivement fine à la paroi.

Simulation des grandes échelles (LES)

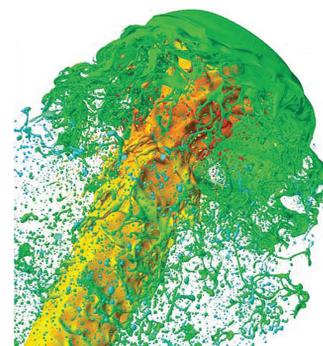
En LES (*Large Eddy Simulation*), les échelles de turbulence plus petites que la taille du maillage sont filtrées et modélisées alors que les grandes échelles contenant la majeure partie de l'énergie de l'écoulement, sont entièrement simulées. Cette méthode nécessite par contre une discrétisation très fine près d'un corps en raison des très petites échelles de turbulence présentes dans la mince couche limite le long des parois.



Simulation LES d'une aile à grand angle d'attaque
 [Adapté de Li, C. et al., *Renewable Energy* **51**, 317-330 (2013)]

Simulation directe (DNS)

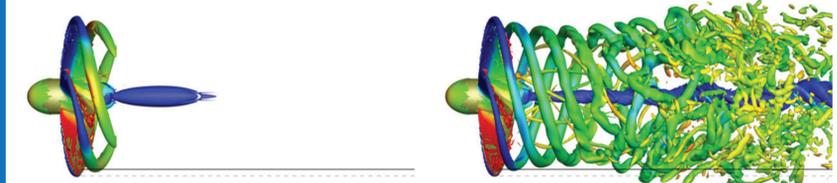
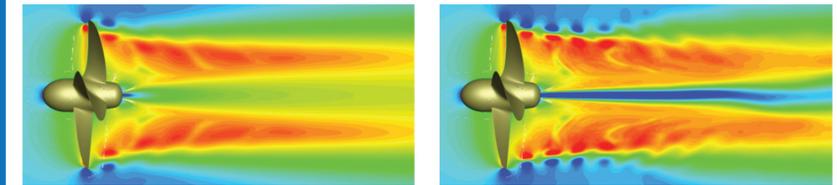
La méthode DNS (*Direct Numerical Simulation*) est utilisée pour résoudre entièrement le spectre de la turbulence et ce, sans aucune modélisation. Ceci nécessite un maillage suffisamment fin pour capturer jusqu'à la plus petite échelle de turbulence. Le coût de calcul exorbitant de cette méthode la rend inappropriée pour la majorité des problèmes d'ingénierie, mais elle demeure essentielle pour notre compréhension fondamentale de la physique de la turbulence.



Simulation DNS d'un jet de liquide
 [Proviens du site: www.deskeng.com]

Quelle méthode choisir ?

Chaque approche de modélisation de la turbulence peut être utile selon l'application et les quantités physiques d'intérêt. Il y a un compromis à faire entre la simplicité du calcul et la richesse de l'information obtenue. Il incombe à l'aérodynamicien de bien choisir la méthodologie appropriée à ses besoins.



Vitesse axiale moyenne (haut) et vorticité (bas) pour une simulation RANS (gauche) et DES (droite)
 [Adapté de Muscari, R. et al., *Comput. Fluids* **73**, 65-79 (2013)]

RANS

- + Bonne prédiction des forces moyennes sur le corps
- Les fluctuations temporelles sont perdues
- + Coût de calcul faible (20 hrs sur 128 processeurs)

Utilisé pour:

- Conception de la forme des ailes et des pales
- Estimation initiale pour des calculs plus poussés

DES

- + Bonne prédiction des forces moyennes et instantanées sur le corps
- + Les fluctuations temporelles sont conservées
- Coût de calcul élevé (350 hrs sur 128 processeurs)

Utilisé pour:

- Problème de vibration
- Problème d'acoustique (bruit)
- Signature et dissipation des sillages

Conclusion

Le développement des superordinateurs et des méthodes de modélisation permettent maintenant d'étudier des problèmes qui étaient jusqu'à récemment trop complexes pour les ressources disponibles. La modélisation de la turbulence demeure néanmoins un défi de taille.

Heureusement, les avantages indéniables de la CFD pour des domaines d'ingénierie tels que l'aviation, l'automobile et les énergies renouvelables continuent de motiver le développement de nouvelles méthodes plus efficaces.

Augmentation de la précision et des coûts de calcul