

CF04

Mécanique des fluides numérique et couplages multiphysiques

Emmanuel LEFRANÇOIS

Equipe Numérique

Mots-clés :

Mécanique des fluides, méthodes numériques, couplages multiphysiques

Laboratoire Roberval, UMR 7337 UTC-CNRS

<http://roberval.utc.fr>



Première partie

Présentation générale

Section. 1

Motivations et introduction générale

1.1. Objectifs

Développer une **expertise** dans le domaine de la **CFD** et des **couplages multiphysiques**.

... en s'appuyant sur deux créneaux horaires hebdomadaires :

1. théorique : *Pourquoi je dois faire ceci ?* → COURS
2. pratique : *Comment je m'y prends ?* → TD en salle INFO

Computational Fluid Dynamics = CFD \neq **Colour** Fluid Dynamics !!

Semaines 1 à 8 : CFD pure

- ▶ Principes généraux, modalités et rappels
- ▶ Techniques CFD (volumes finis) : schémas de discrétisation en espace et en temps
- ▶ Qualité et précisions des calculs
- ▶ Modèles de turbulence
- ▶ Écoulements compressibles (ondes de choc)
- ▶ Approche *Volume Of Fluid* (VOF)

Semaines 9 à 15 : couplages multiphysiques

- ▶ Concept généraux sur une approche couplée
- ▶ Couplage aéraulique/thermique
- ▶ Écoulements multiphasiques et multi-espèces
- ▶ Mobilité de maillage et formalisme ALE
- ▶ Couplage fluide-structure (corps rigides et/ou élastiques)

1.3. Déroulement et modalités d'obtention

Ce cours s'appuie à la fois sur une approche (hebdomadaire) :

1. théorique avec 2 h de cours
2. pratique avec 3h de TD en salle info d'apprentissage de StarCCM+

Deux examens :

1. Médian sur machine (sujet personnalisé avec rendu rapport PDF) :
→ note individuelle 40%
2. Mini-projet à caractère industriel (thématiques des départements) :
→ note par binôme 60%

Modalités d'obtention :

moyenne générale ≥ 10 (pas de note éliminatoire)

Remarques :

1. Note du mini-projet :
15pts (correction du rapport) + 5 pts (ajustement individuel / attitude ingénieur),
2. Qualité et soin de la rédaction (orthographe...) pour les évaluations.

1.4. Ce que cette UV vous apportera

... une **expertise** la plus **générale** possible que ce soit sur les **thématiques abordées** (compressibles, surface libre, turbulent, couplés...) que pour **les outils**.

A l'issue de CF04...

avoir les capacités de manipuler en bonne intelligence n'importe quel outil de CFD (moyennant une période d'adaptation si nouvel outil) voire d'intégrer au sein d'une entreprise, les aspects CFD dans la chaîne de conception d'un produit.

Info importante : CF04 est une réponse à des demandes soutenues et répétées du monde industriel vis-à-vis de l'UTC !

1.5. Ce que vous apporterez au cours de cette UV

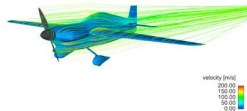
La réussite de l'UV repose aussi sur des capacités :

1. de savoir-vivre, savoir-être et de maturité (~~SMS, twitter, Facebook...~~)
2. d'autonomie car tout n'est pas fourni, rechercher données manquantes...
3. capacité à vous motiver (ne pas se limiter aux seuls cas relatifs à votre département)
4. degré d'ingéniosité et d'imagination (c'est vous le/la *pilote*)
5. une bonne dose de connaissances sur la Physique manipulée (ingrédient de base de toutes les méthodes numériques)
6. ...

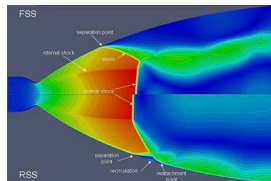
Section. 2

Intérêts de la CFD dans le monde industriel

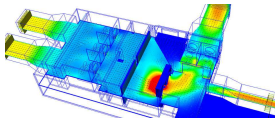
2.1. Aérodynamique interne/externe



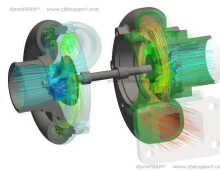
(a) Enight



(b) ATA Engineering@



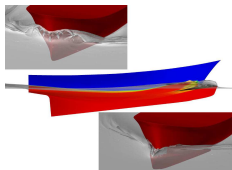
(c) predictiveengineering@



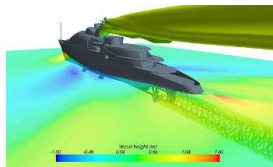
(d) OpenFoam@

1. Écoulements d'air interne/externe
2. Effets de compressibilité ou non selon le Mach
3. Techniques de captures de choc pour écoulements fortement compressibles
4. Couplage Aéraulique/thermique possible
5. Mobilité de maillage pour les parties mobiles

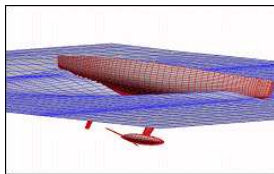
2.2. Hydrodynamique



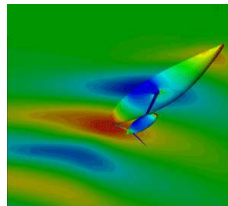
(a) Projet BULBE



(b) StarCCM+



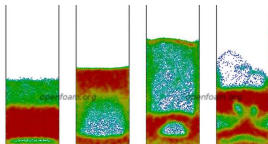
(c) CRAIN@



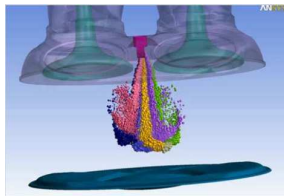
(d) CRAIN@

1. Approche multiphasique : air, liquide
2. Simulation VOF (Volume Of Fluid)
3. Prise en compte des effets de gravité
4. Interaction possible avec la dynamique du navire/bâtiment

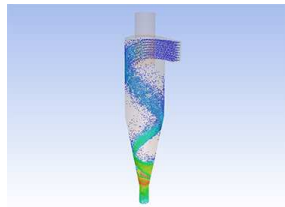
2.3. Approches particulières



(a) OpenFoam®



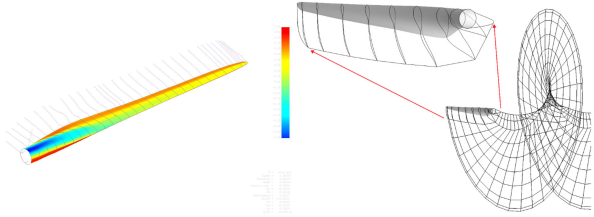
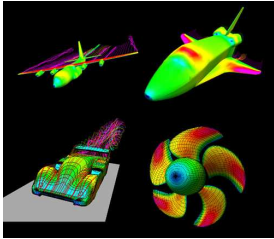
(b) computational fluid dynamics



(c) ANSYS®

1. approche particulière, résolution d'une équation PFD par particule,
2. interaction et lois de comportement inter-particules et particules/fluide,
3. pas de maillage (en l'absence de fluide).

2.4. Approche par écoulements potentiels (Panel Method)



Points forts :

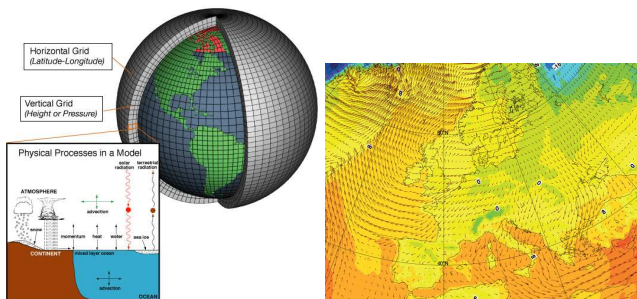
1. pas de maillage CFD, seulement maillage des surfaces pariétales
2. temps de calcul de l'ordre de la seconde
3. très utile pour une première étape de dégrossissement
4. Possibilité de calculer le sillage

Points faibles :

1. effets visqueux non pris en compte,
2. pas de couche limite, pas de turbulence...

2.5. Quelques mots sur la météo...

Mécanique des fluides est CHAOTIQUE = relations déterministes mais IMPREVISIBLES
mais tant qu'il y a de l'audimat, qu'il est question d'Assurances...



Modèle Météo-France basé sur une approche inter-modèles sur des échelles différentes :

- ▶ modèle global : ARPEGE → $\Delta x = 7$ à 16 km, prévisions à 4 jours max.
- ▶ modèle régional : ALADIN → $\Delta x = 8$ km, prévisions à 2 jours max.
- ▶ modèle régional à maille fine : AROME (France, alerte) → $\Delta x = 1.3$ km

Section. 3

Une brève histoire de la CFD

3.1. Début en 1922 avec 1er modèle météo de Lewis Fry Richardson

- ▶ Début en 1922 avec **1er modèle météo** de Lewis Fry Richardson ("usine à prévoir le temps")

- 1er maillage du globe :
 $\Delta(\text{lat.})=230 \text{ km}$, $\Delta(\text{long.})=200 \text{ km}$, $\Delta(\text{alt.})=4, 7, 12 \text{ km}$
- formulaires standardisés, pour accélérer le calcul,
- réunir 63 000 (!!) personnes avec gestion des communications par fanions de couleur levés/baissés,
- $\Delta t = 3 \text{ h}$.

*Un échec (instable), mais il démontra la faisabilité
→ père des modèles actuels.*

- ▶ Premier **modèle de turbulence k-epsilon** dans les 60'
- ▶ Technique du **flux splitting** dans les 70
- ▶ Premiers **codes commerciaux** dans les 80'



Lewis Fry Richardson
(1881-1953)

CF04 = cours d'Histoire de la CFD ?

Section. 4

Liste (non exhaustive) des principaux outils

4.1. Liste (non exhaustive) des principales solutions payantes



4.2. Liste (non exhaustive) des principales solutions gratuites (domaine public)



4.3. Solution retenue pour CF04 : STARCCM+ / CD-ADAPCO

- ▶ dans le top 2 des compétences recherchées par les industriels,
- ▶ programmation native : CAO, maillage, solveurs, post-traitement
- ▶ financièrement plus intéressante que FLUENT (tarif inférieur, version non bridée),
- ▶ cote ↗ chez les industriels (Poclain Hydraulics, Plastic Omnium...) et labo. de recherche (IMFT, ENSEEIHT, Von Karman Institute...),



Ce cours vise à enseigner les techniques de calcul CFD et non les techniques de StarCCM+, donc l'approche reste générale !
Il s'agit d'un code de calcul basé sur la méthode des **volumes finis**.