

# Réunion ANR Projet ECINADS du programme COSINUS 2009

Bruno Koobus

28 octobre 2010

Institut de Mathématiques et de Modélisation de Montpellier (I3M).



# Plan

- 1 I3M, domaines de compétence, rôle et contribution dans le cadre du projet ECINADS.
- 2 Quelques mots sur le logiciel AERO utilisé dans ECINADS.
- 3 Les 3 ingrédients de base du logiciel AERO.
  - L'approche parallèle
  - Le modèle numérique
  - Les modèles de turbulence
- 4 Travaux réalisés et en cours dans le cadre du projet ECINADS

# Plan

- 1 I3M, domaines de compétence, rôle et contribution dans le cadre du projet ECINADS.
- 2 Quelques mots sur le logiciel AERO utilisé dans ECINADS.
- 3 Les 3 ingrédients de base du logiciel AERO.
  - L'approche parallèle
  - Le modèle numérique
  - Les modèles de turbulence
- 4 Travaux réalisés et en cours dans le cadre du projet ECINADS

# I3M, domaines de compétence, rôle et contribution.

- **I3M** (Institut de Mathématiques et de Modélisation de Montpellier) :
  - UMR 5149 CNRS
  - 90 enseignants chercheurs
  - 30 doctorants
  - Spécialités : *“Géométrie, Topologie, Algèbre”* + *“Analyse, Calcul scientifique”* + *“Probabilités, Statistique”*
  - Fait parti de l'**UM2** (Université Montpellier 2) :
    - 800 enseignants chercheurs
    - 16000 étudiants
    - 5 pôles de recherche

# I3M, domaines de compétence, rôle et contribution.

- **Domaines de compétence** d'I3M relatifs à ce projet ANR :
  - Algorithmes de résolution efficaces en non structuré et adaptés à un contexte parallèle (méthode implicite, multigrille multiplicatif et additif, préconditionnement multiniveaux, algorithme de Schwarz additif)
  - Modèles de turbulence avec un but d'applications industrielles (RANS, LES, VMS-LES, hybrides RANS/LES)
  - Programmation et simulation parallèle
- **Rôle et contribution** d'I3M sur les 4 années de ce projet ANR :
  - Algorithmes de résolution parallèle en non structuré (co-leader)
  - Modèle de turbulence hybride RANS/VMS-LES
  - Intégration de ces techniques de résolution et du modèle de turbulence dans le logiciel AERO (maître d'œuvre)
  - Application sur les cas-test du projet ECINADS

# Plan

- 1 I3M, domaines de compétence, rôle et contribution dans le cadre du projet ECINADS.
- 2 Quelques mots sur le logiciel AERO utilisé dans ECINADS.
- 3 Les 3 ingrédients de base du logiciel AERO.
  - L'approche parallèle
  - Le modèle numérique
  - Les modèles de turbulence
- 4 Travaux réalisés et en cours dans le cadre du projet ECINADS

## Quelques mots sur le logiciel AERO utilisé dans le cadre de ce projet ANR.

- **AERO :**

- **Logiciel de calcul parallèle** d'écoulements de fluide développé en partenariat par l'**INRIA** et l'**I3M** (et en collaboration avec l'**univ. de Pise**).
- **Plateforme de mise en oeuvre informatique et d'expérimentation** d'outils de simulation efficaces dans un but d'**applications industrielles**.
- **Plateforme de production** avec l'utilisation des ressources de calcul parallèle mises à disposition par les **grands centres nationaux de calcul intensif** (CINES, IDRIS).
- **Vitrine du savoir-faire technologique** des partenaires **INRIA** et **I3M** dans le domaine de la simulation intensive d'écoulements de fluide.
- **Transferts méthodologiques** dans le code ANANAS du partenaire industriel **LEMMA** de ce projet ANR.

# Plan

- 1 I3M, domaines de compétence, rôle et contribution dans le cadre du projet ECINADS.
- 2 Quelques mots sur le logiciel AERO utilisé dans ECINADS.
- 3 Les 3 ingrédients de base du logiciel AERO.**
  - L'approche parallèle
  - Le modèle numérique
  - Les modèles de turbulence
- 4 Travaux réalisés et en cours dans le cadre du projet ECINADS



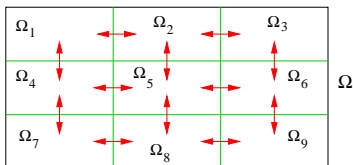
# Les 3 ingrédients de base du logiciel AERO

- Un modèle numérique,
- Des modèles de turbulence,
- Une approche parallèle.

Propriétés visées : efficacité, robustesse, précision, et généralité d'applications.

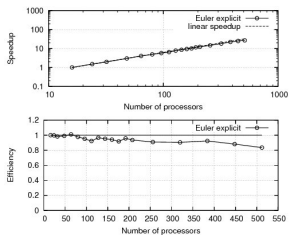
# L'approche parallèle

- Combine des techniques de partitionnement de maillage et de programmation de type transfert de messages,

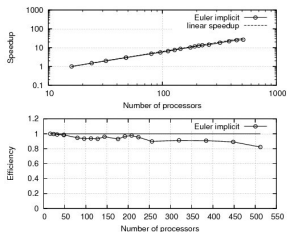


- Résolution des systèmes linéaires issus du problème discrétisé par une méthode de décomposition de domaine : **Schwarz additif restreint / GMRES / ILU(0)**,
- Dans une phase de pré-traitement, partitionnement automatique du maillage en sous-domaines sans recouvrement en optimisant l'équirépartition de charge (*load balancing*),
- Portabilité : bibliothèque de communication MPI + Fortran 95 (allocation dynamique).

# Speedup et efficacité parallèle (Riser, 15M d'éléments)



Speedup et efficacité parallèle : algorithme explicite (SGI Altix ICE du CINES, 267 Tflop/s, 23040 coeurs).

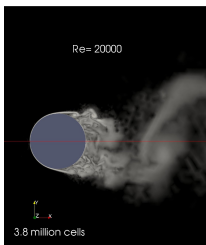


Speedup et efficacité parallèle : algorithme implicite (SGI Altix ICE du CINES, 267 Tflop/s, 23040 coeurs).

## Un exemple de temps CPU

Simulation d'un écoulement autour d'un cylindre circulaire à Reynolds 20000 en VMS-LES (10M d'éléments) :

- machine utilisée : SGI Altix ICE du CINES
- nombre de coeurs utilisés : 64
- nombre de cycles de détachements tourbillonnaires simulés : 60
- nombre d'itérations en temps de l'algorithme implicite : 98700
- temps CPU simulation : 200h (12800h équivalent monoproceseur)



## Le modèle numérique

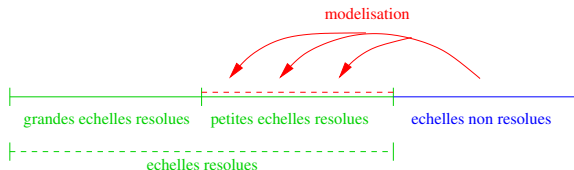
- Maillages non structurés (tétraèdrisations),
- Discrétisation spatiale : formulation mixte volumes finis/éléments finis (VF/EF),
- Evaluation EF des flux diffusifs, et VF des flux convectifs,
- Schéma VF avec dissipation numérique d'ordre élevé,
- Discrétisation en temps privilégiée : implicite  $\Rightarrow$  **résolution d'importants systèmes linéaires** (de taille le nombre de degrés de liberté du problème discrétisé).

# Les modèles de turbulence

- Large panoplie d'approches de turbulence disponible dans AERO : (avec ou sans loi de paroi),
  - Modèle de Navier-Stokes en moyenne de Reynolds (RANS)
  - Simulation des grandes échelles (LES)
  - **Méthode multi-échelle variationnelle (VMS) pour la LES**
  - **Modèle hybride RANS/VMS-LES**
  - Pour les 3 dernières modélisations, différents modèles de sous-maille disponibles (Smagorinsky, WALE, Vreman)

# Principales caractéristiques de l'approche VMS-LES

- **Construction** du modèle qui **dépend étroitement de la méthode de discrétisation spatiale** utilisée,
- Approche basée sur des **projections variationnelles** des équations de Navier-Stokes  $\Rightarrow$  obtention d'**équations régissant des échelles différentes de la solution** (grandes échelles résolues, petites échelles résolues, et échelles non résolues),
- **Effets des échelles non résolues modélisés** dans les équations régissant les **petites échelles résolues, mais pas** dans les équations associées aux **grandes échelles résolues** :



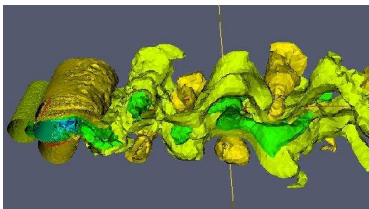
# Spécificités de l'approche VMS-LES utilisée dans AERO

L'option VMS-LES choisie permet de prendre en compte :

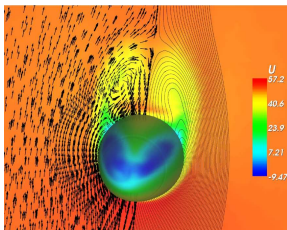
- les équations de **Navier-Stokes compressibles 3D**,
- des maillages **non structurés**,
- un modèle de discrétisation mixte **EF/VF**,
- un modèle de séparation des échelles simple et efficace obtenu à partir de **moyennages sur des macro-cellules**  $\Rightarrow$  bien adapté à un contexte de **programmation parallèle**,
- des écoulements avec **détachements tourbillonnaires** autour de géométries complexes.



## Applications VMS-LES : *Cylindre circulaire, Ellipsoïde*

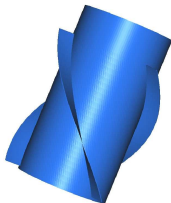


Cylindre circulaire : Vitesse longitudinale instantanée (Rey 3900).

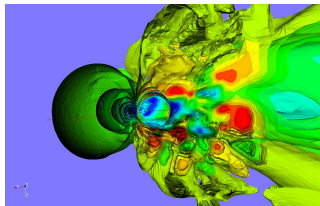


Ellipsoïde : Vecteur vitesse et lignes de courant (Rey 40000).

## Application VMS-LES : *Spar*

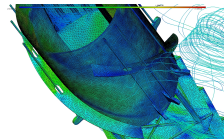
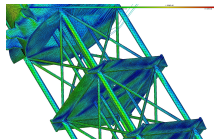
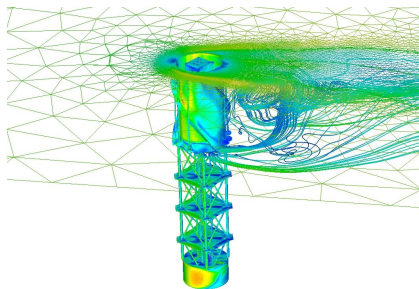


Géométrie du spar simplifié.



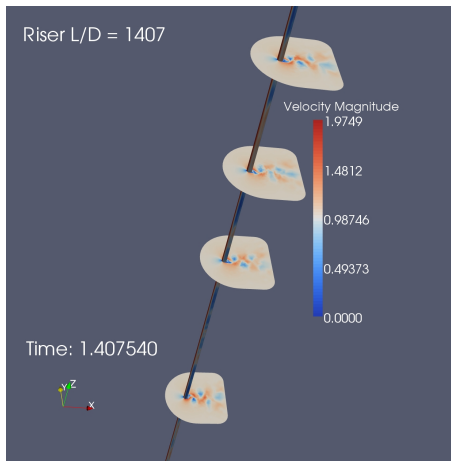
Ecoulement autour du Spar  
( $Re \approx 300000$ ).

# Application VMS-LES : *Spar*



Simulation du spar avec treillis métallique inférieur.

## Application VMS-LES : *Riser*



Simulation de l'écoulement autour d'un riser.

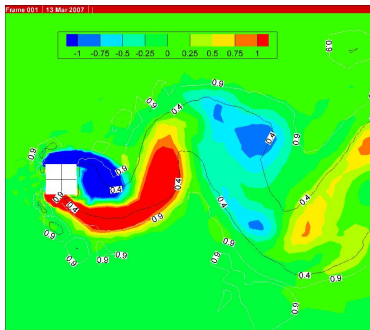
## Approche hybride : nos motivations

- Calculer en maillages non structurés des écoulements à **grand nombre de Reynolds** caractérisés par des **détachements tourbillonnaires importants**.
- RANS : problèmes de précision pour ces écoulements.
- LES : plus coûteux que RANS, et requiert une résolution très fine des couches limites à grand nombre de Reynolds  $\Rightarrow$  coût souvent prohibitif.
- Développer un **modèle hybride** qui combine **RANS** et **LES** pour exploiter au mieux les avantages des deux approches :
  - moins exigeant en ressource de calcul comparé à LES,
  - meilleure précision que RANS,et qui puisse **passer automatiquement et progressivement** de l'une à l'autre des approches.
- Développer un **modèle hybride** qui puisse **intégrer** la **VMS-LES**.

## Approche hybride : l'option choisie

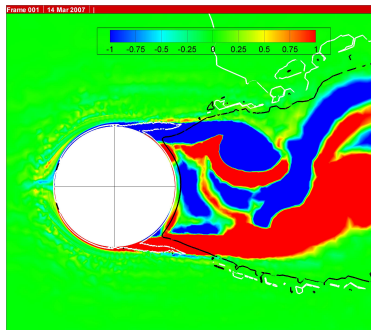
- **Idée centrale** de cette approche hybride de turbulence :
  - **Résoudre** les équations **RANS** dans tout le domaine,
  - **Corriger** le champ d'écoulement moyen obtenu en **ajoutant des fluctuations données par un modèle LES (VMS-LES)** dans les régions de résolution de grille adéquates pour LES (VMS-LES).
  
- **Ingrédients de base** de cette approche hybride :
  - un modèle **RANS**,
  - un modèle **LES (VMS-LES)**,
  - une fonction d' **hybridation**.

# Application hybride : *Cylindre carré*



Champ de vorticité transversale instantanée (Rey 22000). Isolignes fonction d'hybridation  $\theta$  pour  $\theta = 0.4$  (ligne noire) et  $\theta = 0.9$  (ligne blanche).

# Application hybride : *Cylindre circulaire*



Champ de vorticité transversale instantanée (Rey 140000). Isolignes fonction d'hybridation  $\theta$  pour  $\theta = 0.1$  (ligne blanche) et  $\theta = 0.9$  (ligne noire).



# Plan

- 1 I3M, domaines de compétence, rôle et contribution dans le cadre du projet ECINADS.
- 2 Quelques mots sur le logiciel AERO utilisé dans ECINADS.
- 3 Les 3 ingrédients de base du logiciel AERO.
  - L'approche parallèle
  - Le modèle numérique
  - Les modèles de turbulence
- 4 Travaux réalisés et en cours dans le cadre du projet ECINADS

## Travaux réalisés et/ou en cours

- **Turbulence** : développement de modèles de sous-maille dynamiques (Smagorinsky, WALE) pour les approches VMS-LES et hybride, et intégration dans AERO.
- **Algorithme de résolution parallèle** : amélioration du préconditionnement de notre méthode de résolution linéaire (bibliographie méthodes de déflation et balancing, renumérotation des noeuds, puis ILU(1)).
- **Application en cours** : cylindre circulaire pour un nombre de Reynolds de 20000 (puis calculs à des nombres de Reynolds plus élevés, jusqu'à 1M).