

PROJET ANR ECINADS

REVUE A MI-PARCOURS (18/48)

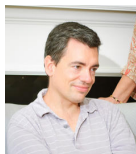
M. Braza,



B. Koobus,



O. Allain,



A. Dervieux



H. Alcin, A. Belme, A. Carabias, L. Hascöet, F. Grossi, C. Moussaed, S. Wornom

Montpellier 5 mai 2011, Paris 10 mai 2011

À long terme :

Intégrer les **modèles hybrides RANS-LES** de l'Aérodynamique et de l'Hydrodynamique dans les chaînes de design industrielles :

Simulation, Optimisation/Contrôle,

notamment à l'aide d'un **état adjoint**.

Dans le projet :

Simuler et de contrôler l'erreur numérique par adaptation de maillage guidée par un état adjoint :

- résolution // efficace, et notamment **scalable** de l'écoulement,
- résolution // efficace, et notamment **scalable** de l'état adjoint,
- démonstration d'une boucle de **contrôle d'erreur** basée sur l'adjoint.

Partie 1 : Tâches 2-3-4 : préconditionnement

Task 2 : Global preconditioning by coarse grid

Task 3 : Subdomain preconditioning

Subtask 3.1 : Unstructured preconditioning by *renumbered* ILU(1)

Subtask 3.2 : Preconditioning for higher order closures

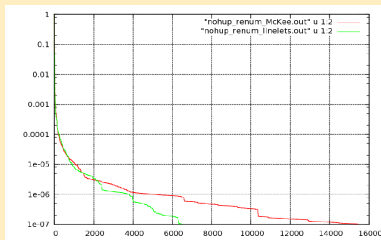
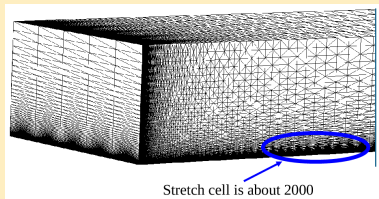
Task 4 : Assembly of both preconditioners (in accordance to AD strategy)

Renumerotation (Allain-Carabias)

Étude de renumérotations existantes

	Convection solver	Projection solver	Total cost
Without renumbering	60	67	127
Cuthill-McKee	52	49	101
Hilbert Method	48	63	111
Front method	53	44	97

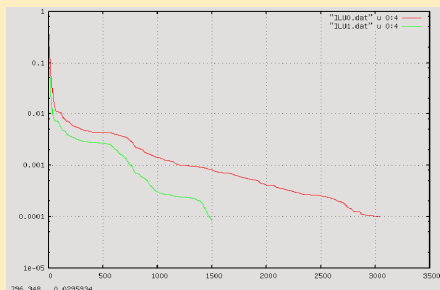
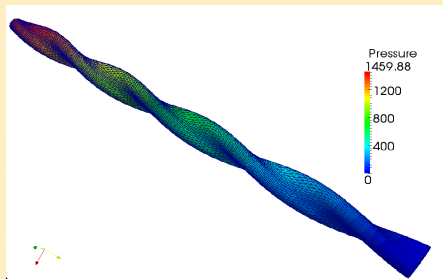
Application aux couches limites



Couche limite plane : maillage, convergence solveur linéaire.

Solveurs locaux ILU(k) (Allain-Alcin)

Comparaisons de ILU(0) avec ILU(1) pour des couches limites très raides



Calcul de fuite dans une pompe alvéolaire, géométrie et convergence.

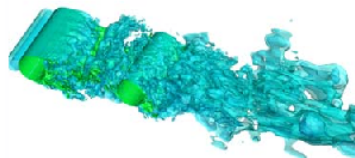
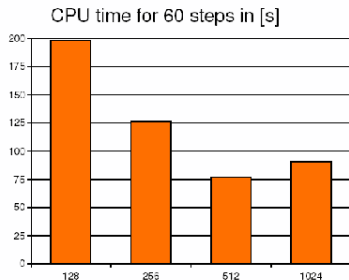
Préconditionnement pour des fermetures d'ordre élevé

Préconditionnement Bas Mach (Braza/Gual-Skopek)

Étude sur la plateforme NSMB d'un schéma de compressibilité artificielle.

Étude réalisée pour un schéma décentré de troisième ordre en espace et précis au troisième ordre en temps (Runge-Kutta).

Cas test : double cylindre, $Re_{\gamma}=160K$, 16Mnœuds.



Grilles grossières pour des problèmes modèles (Alcin-Allain-Dervieux)

Etat des lieux

$$Au = f \text{ sur } \Omega = \cup \Omega_i \quad (\text{Poisson, Diffusion-convection})$$

Méthodes de Schwarz additives

$M^{-1} = \sum_{i=1}^n R_i^T A_{|\Omega_i}^{-1} R_i$ où $A_{|\Omega_i}^{-1}$ désigne la résolution du problème de Dirichlet sur le sous-domaine Ω_i .

Elles ne sont pas *scalables* (convergence indépendante du nombre de domaines) pour plusieurs raisons possibles :

- (1) les modes plus grands que les sous-domaines ne sont pas bien traités,
- (2) dépendance de la convergence par rapport à l'épaisseur de recouvrement,
- (3) dans les sous-domaines la résolution est rarement exacte.

Grilles grossières pour des problèmes modèles(2)

Grille grossière

Base grossière $(\Phi_i)_i$; $V_N = [\Phi_1 \cdots \Phi_N]$.

Prolongement Z dont les colonnes sont les Φ_i et restriction Z^T .

$$E = Z^T A Z \quad ; \quad E U = Z^T b.$$

Deux approches *algébriques* : Déflation(*) et Balancing(**)

(*) Nicolaidès ; (**) Mandel ; Vuik et Nabben :

Déflation : $P_D = I - AZ(Z^T AZ)^{-1}Z^T$.

(1) Résoudre $Z^T A_h Z u_H = Z^T f_h$,

(2) utiliser le préconditionneur P_D dans GMRES pour obtenir \check{u} .

(3) $u = (I_n - P_D^T)u + P_D^T u = Z(Z^T A_h Z)^{-1}Z^T f_h + P_D^T \check{u}$.

Balancing : $P_B = P_D^T M^{-1} P_D + Z(Z^T A_h Z)^{-1}Z^T$.

- La déflation est a priori deux fois moins coûteuse en CPU.
- La déflation converge aussi vite, mais pas plus vite, et moins bas.

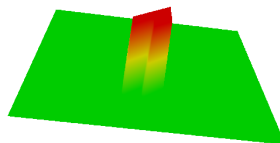
Grilles grossières pour des problèmes modèles(3)

Consistance et non consistance de la base grossière

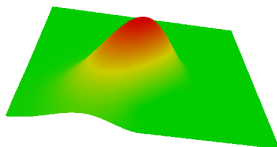
Entre les grilles grossières formées des mouvements rigides introduites en Structures et les véritables grilles d'éléments finis *consistantes* proposées par S. Brenner, quelles sont les bonnes stratégies ?

Agglomération discontinue et agglomération hiérarchique H^1 -lisse

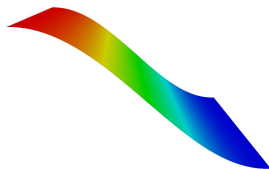
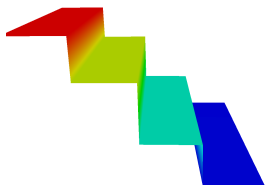
$$\Psi_k = (L_1 P_1^2 L_2 \cdots P_{p-2}^{p-1} L_{p-1} P_{p-1}^p) \Phi_k.$$



Fonction de base caractéristique de Ω_j .



Fonction de base lisse.



Convergence de la solution grossière pour un problème de Poisson à solution *sinus* d'amplitude 2.

À gauche, avec une base caractéristique, amplitude 0.06, à droite avec la base H^1 -lisse, amplitude 1.8.

Scalabilité des algorithmes 2-niveaux Additif-Schwarz-ILU (1K nœuds par proc., résidu= 10^{-10})

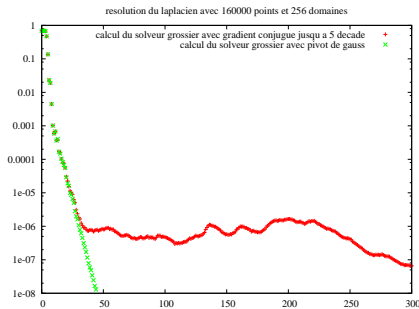
# Cells	10K	20K	47K	94K
Domains	12	28	66	142
# Cells/domain	833	714	712	661
Base caract. (# it.)	480	546	750	810
Base H^1 -lisse (# it.)	400	391	444	491

Les bases H^1 -lisses : un chemin vers la scalabilité ?

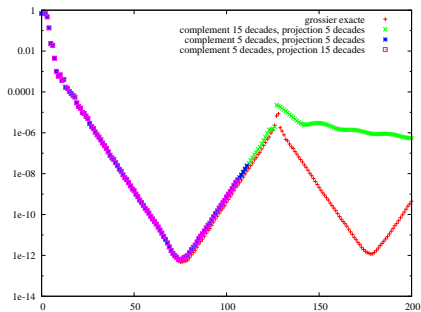
Mais la résolution grossière exacte, en N^3 , n'est pas scalable...

Grille grossière calculée par méthode itérative

Balancing



Déflation



À gauche, Balancing avec résolution grossière à 5 décades. À droite, Déflation avec résolution grossière à 5 et 15 décades.

Tolérance supérieure de la déflation vis-à-vis des résolutions grilles grossières approchées

Vers un troisième niveau

Après préconditionnement grossier, le maillon faible sur le chemin de la scalabilité est la résolution ILU dans chaque sous-domaine.

Le but des grilles moyennes est d'aider à la résolution des problèmes de Dirichlet locaux : base lisse, vérifiant la condition de Dirichlet aux interfaces.

Scalabilité des algorithmes de Schwarz, 2-niveaux Schwarz et 3-niveaux ILU-Schwarz (10K nœuds/proc., résidu à 10^{-10})

Méthode	# cells	# sous-domaines	# medium fonct.bases	Itérations
Exact-Schwarz	40,000	4		91
Exact-Schwarz	160,000	16		265
Schwarz-ILU	40,000	4		354
Schwarz-ILU	160,000	16		650
Schwarz-ILU(1)	40,000	4		252
Schwarz-ILU(1)	160,000	16		530
3-niv. ILU-Schwarz	40,000	4	4×16	164
3-niv. ILU-Schwarz	160,000	16	16×16	176

Le 3-niveaux : un bon candidat pour scalabilité et linéarité

Grilles grossières pour un RANS-LES (Koobus-Dervieux-Alcin-Moussaed)

Phase **préliminaire** de validation du concept précédent

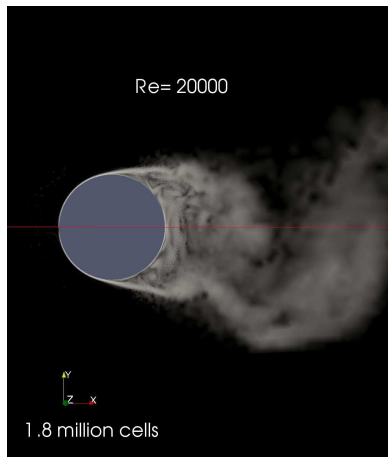
Comparaison des algorithmes de

- Schwarz additif initial,
- avec Déflation,
- avec Balancing.

Cas test CT1 : calcul VMS 3D autour d'un cylindre.

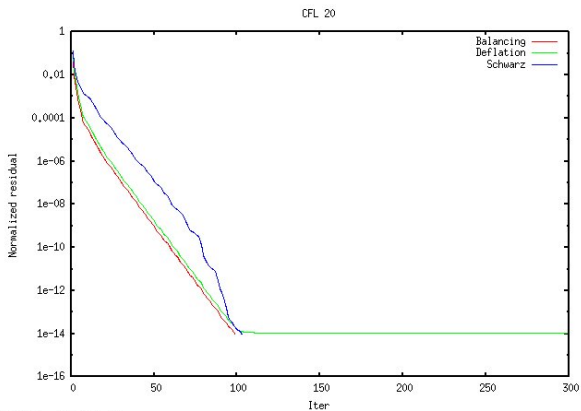
Présentations en séminaires (3), à ParCFD-Barcelone en mai, à FVCA06-Prague en juin

Cas test : Calcul LES autour d'un cylindre, Reynolds=20K

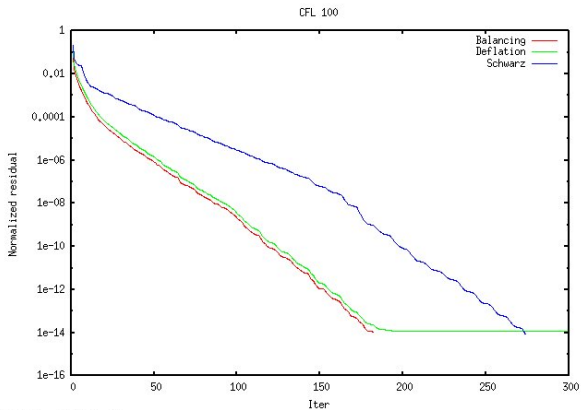


1.8Mnœuds, 64 processeurs

Résolution de l'étape implicite, CFL=20

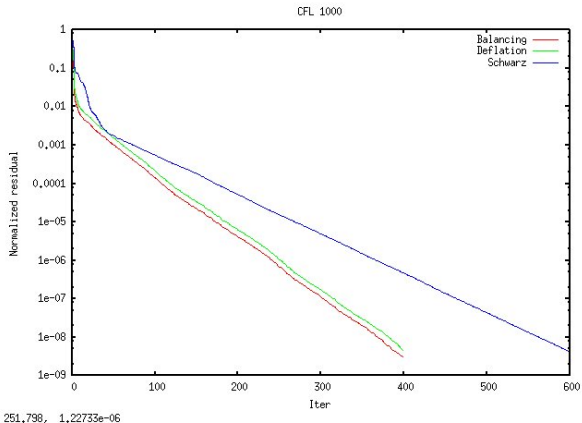


Résolution de l'étape implicite, CFL=100



202.726, 1.61824e-12

Résolution de l'étape implicite, CFL=1000



Les calculs en Déflation convergent 1,5 fois plus vite, cet avantage étant actuellement mangé par le coût de l'itération et l'inversion initiale de la matrice pleine.

Partie 1, algorithmes : conclusions et perspectives

Études et comparaison de **divers préconditionneurs** :
Petit Mach, renumérotations, factorisations ILU(k).

La méthode de **Déflation** est moins coûteuse que Balancing, et finalement plus souple (calcul grossier approché).

Pas de gain en temps calcul sur les premiers tests à 64 processeurs avec la plateforme AIRONUM.

Les phases de résolution exacte de matrices pleines (5×64 inconnues) sont trop coûteuses : vers des stratégies de **résolutions approchées**.

Réflexions sur la mise en œuvre d'une **grille moyenne**.

On continue d'explorer des **raccordements différents** aux interfaces (conditions de Robin) et des **approches multiplicatives**.

Partie 2 : Tâche 5 : Adjoint

Task 5 : Parallel reverse differentiation and checkpointing by AD

Subtask 5.1 : AD strategy

Subtask 5.2 : Adjoint iteration with parallel-mpi checkpointing

Subtask 5.3 : application to correctors and mesh adaptation

Construction d'un adjoint instationnaire (1 : scalaire)

Boucle d'adaptation instationnaire non parallèle

Contexte continu

- W représente l'écoulement.

- $W = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho w \\ E \end{pmatrix}$

- l'équation de Navier Stokes : $\Psi(W) = 0$
- $\Psi(W) = W_t + \text{div}\mathcal{F}(W)$ sur $\Omega \times]0, T[+ \text{cond. bords et initiales}$
- La fonctionnelle de performance $j = (g, W)$, $g = g(x, t)$

Le problème discret

- W_h représente la solution discrète.
- l'équation de Navier Stokes discrétisée s'écrit : $\Psi_h(W_h) = 0$

Problème d'adaptation de maillage

Trouver un maillage fixe "optimal" \mathcal{M}_{opt}

- Minimisant l'erreur $\delta j(\mathcal{M}) = |j(W) - j(W_{\mathcal{M}})|$.

Définition du maillage M continu sur un domaine $\Omega \subset R^3$

$$M = (\mathcal{M}(x))_{x \in \Omega}$$

Avec $\mathcal{M}(x)$ une matrice symétrique dont les fonctions propres et valeurs propres définissent les directions et forces d'étirement locales du maillage représenté.

Trouver le maillage optimal consiste à trouver la métrique optimale.

Lemme :(Loseille-Alauzet-Dervieux)

La métrieque optimale s'exprime en fonction des états direct et adjoint :

$$\mathcal{M}_{opt} = \text{Fonct}(W, W^*)$$

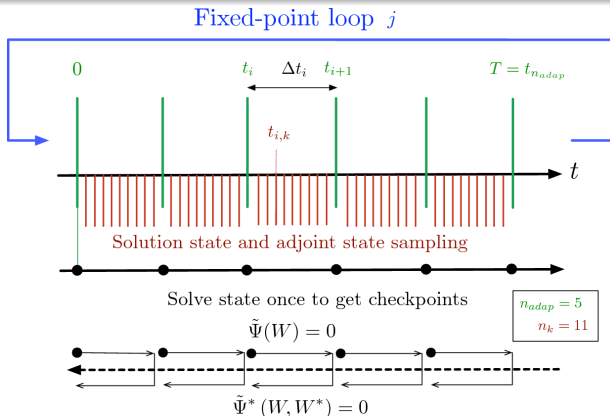
W^* est l'état adjoint, solution de :

$$\left(\frac{\partial \Psi}{\partial W} \Big|_W\right)^* W^* = \left(\frac{\partial J}{\partial W} \Big|_W\right)^*.$$

Construction d'un adjoint instationnaire (1,cont.)

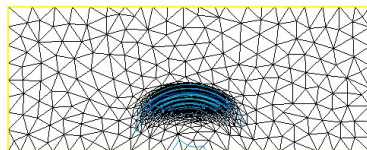
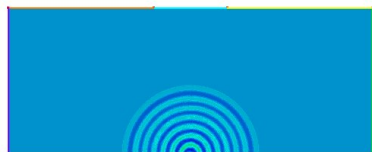
Réalisation d'une boucle adaptative dynamique
(Belme-Alauzet-Dervieux)

comprenant état, adjoint, adaptation. Stratégie de stockage-recalcul.



Construction d'un adjoint instationnaire (1,concl.)

Expérimentation d'une boucle adaptative dynamique



(Conférences ECCOMAS-2010, CEA 2010, ADMOS-2011)

Construction d'un adjoint instationnaire (2 : *parallèle*)

Adjoint *parallèle* par Différentiation Automatique

(Alcin-Hascöet-Wornom-Dervieux).

Le projet Tropics de l'INRIA est leader dans le développement de logiciels de Différentiation Automatique de programmes tel que TAPENADE.

<http://www-sop.inria.fr/tropics/>

On utilise TAPENADE pour tirer de AIRONUM le programme de calcul d'adjoint nécessaire à la boucle d'adaptation.

La partie implicite du code est préalablement modifiée pour éviter la différentiation des boucles de points-fixes (GMRES, Newton) et des préconditionneurs.

Calcul de l'état adjoint

On utilise un artifice reposant sur un nouveau paramètre κ :

$$j_h(\kappa) = (g, W_h(\kappa)) \quad \bar{\Psi}_h(\kappa, \bar{W}_h(\kappa)) = \Psi_h(\bar{W}_h(\kappa)) + \kappa$$

Lemme :

avec :

$$j_h(\kappa) = (g, \bar{W}_h(\kappa)) \quad \bar{\Psi}_h(\kappa, \bar{W}_h(\kappa)) = 0$$

On a :

$$W_h^* = - \left. \frac{dj_h}{d\kappa} \right|_{\kappa=0}.$$

**Ce lemme permet d'obtenir le noyau logiciel calculant l'adjoint.
On en déduit le critère d'adaptation puis le(s) nouveau(x)
maillage(s).**

- Prototype scalaire avec stockage-recalcul.
- Calcul de l'adjoint du code parallèle dans le cas d'un avancement en temps explicite (en cours), puis implicite.
- Optimisation de l'algorithme calculant l'adjoint :
 - . expérimentation en parallèle des stratégie de stockage-recalcul,
 - . parallélisme et grille grossière.
- Utilisation de l'adjoint pour optimiser le maillage d'un calcul LES.

Partie 3 : Tâches 6 et 7 : Amélioration des modèles

Task 6 : Turbulence models

Task 7 : Assessments and Applications

Modélisation Numérique

(Carabias-Dervieux-Koobus)

Mise au point d'une approximation 2D et 3D précise au troisième ordre pouvant se substituer à l'approximation utilisée dans ANANAS et AIRONUM :

- adaptation de WENO2 à des formulations centrées sommets,
- mise au point d'une version plus précise que WENO2.

(Présentation à HONOM, Trento, avril 2011 et à SMAI2011)

Modélisation de la turbulence : un glossaire

Les **modèles statistiques** comme RANS, *Reynolds-Averaged Navier-Stokes*, décrivent des écoulements statistiquement moyens.

Les **modèles semi-déterministes** comme OES, *Organised Eddy Simulation*, cherchent à éviter d'appliquer la moyenne statistique aux grandes structures organisées.

Les **modèles LES**, *Large Eddy Simulation*, modélisent les structures de petites tailles.

Les LES de deuxième génération comme WALE, *Wall-Adapting Local Eddy-Viscosity model*, sont valables jusqu'à la paroi.

Les **modèles LES dynamiques** adaptent la taille du filtre grand-petit en fonction du temps et de l'espace en "essayant" deux tailles de filtres.

Les **modèles VMS(*variational-multiscale*)-LES** choisissent via deux grilles de discrétisation les deux modèles appliqués respectivement aux grandes et petites structures.

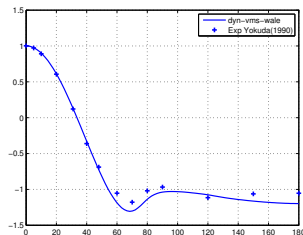
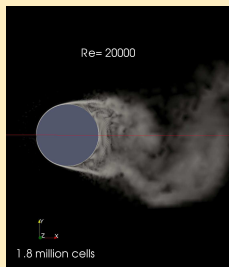
Les **modèles hybrides RANS-LES** associent (1) un modèle statistique ou semi-déterministe à (2) un modèle LES ou VMS-LES.

Amélioration des modèles (2)

Modèle dynamique VMS-WALE-D et VMS-WALE-D-RANS

Développement d'un modèle dynamique (variante Lilly) efficace en compressible et non-structuré basé sur VMS-WALE.

Validation sur CT1 : cylindre, Reynolds=20K.

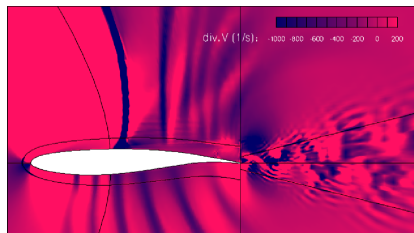


(Koobus-Moussaed-Belme-Wornom, AIMETA, Bologne, sept. 2011)

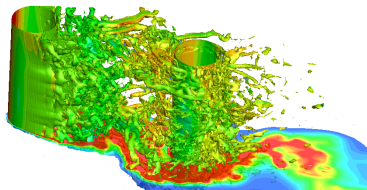
Amélioration des modèles (3) (cf. coup de projecteur)

Modèles OES, modèles hybrides DDES-OES

Implémentation de modèles de turbulence de nouvelle génération $k - \omega$ à viscosité tensorielle au sein du code NSMB, Navier-Stokes Multi-Block, capables de capter l'anisotropie du tenseur des contraintes turbulentes normales dans la région proche paroi. Extension hybride.



Analyse d'un tremblement



Tourbillons en régime supercritique

Deux cas tests spécifiés, calculés

CT1 : Écoulement autour d'un cylindre, Reynolds 20 000

Définition du cas test, maillage et solution, mesurés par Norberg, Yosuda-Ramaprian, Lim-Lee. Appliqué aux mesures des temps calculs et au nouveau modèle dynamique.

CT1ter : Écoulement autour d'un cylindre, Reynolds 1 M

Définition du cas test. Mesures publiées par Shih-Wang-Coles-Roshko et Zdravkovich. Premier calcul (INRIA-LEMMA).

Spécification et réalisation de cas tests (2)

En démarrage...

CT1bis Cylindre confiné à Reynolds 140 K

Cas test soufflé et calculé par l'IMFT. Données transférées à l'INRIA.

CT2 : Pitching flow around a wing, subsonic, transonic

(IMFT) Cas test mesuré par Seegmiller et calculé par l'IMFT.

CT3 : Flow around a riser with coupling with elastic structure

Lemma. Mesures par le MARIN.

CT4 : Flow around a spar platform with elastic moorings

Lemma. Mesures Technip publiées dans l'OMAE. Calcul Lemma.

Ce qui est fait, synthèse

Une **filière d'algorithmes** (problèmes modèles/plateformes CFD) avec comparaison avec d'autres options.

Une réflexion sur les **stratégies de Différentiation et de Contrôle**. Prototype scalaire. Chantier parallèle en démarrage.

Des **nouveaux modèles** (VMS-dynamique, OES-tensoriel, hybrides) dont la précision et l'efficacité est évaluée sur des cas tests.

Suite des travaux, synthèse

MONTP2 et INRIA vont assembler la **méthode 3-niveau approchée** dans la plateforme CFD commune AIRONUM.

Lemma a introduit une méthode de **déflation** dans sa plateforme ANANAS et complètera les informations recueillies avec AIRONUM.

Dès confirmation de l'intérêt de la déflation, IMFT introduira une méthode de déflation dans sa plateforme NSMB.

INRIA et MONTP2 vont assembler un nouvel hybride basé sur le nouveau dynamique et l'appliquer aux cas tests définis et soufflés (pour une part) par IMFT.

Les quatre équipes testeront les nouvelles méthodes (algorithmes et modèles) sur les cas tests ECINADS.

Impact de ECINADS :

- **Formation** : Quatre thèses : Carine Moussaed, Hubert Alcin, Fernando Grossi, Alexandre Carabias.
- **Valorisation** : l'INRIA et Lemma préparent une collaboration "ILAB" sur trois ans pour réaliser une plateforme industrielle de calcul adaptatif massivement parallèle (démarrage fin 2011).
- **R& D** : Trois propositions "FP7-call 5" en préparation sur les thèmes :
 - *Morphing* : design des dispositifs à matériaux intelligents en Aérodynamique (IMFT, INRIA),
 - *Optimisation et adjoints de Navier-Stokes* (Dassault, INRIA)
 - *Uncertainty quantification* (NUMECA, INRIA)

Merci de votre attention.

Task 1 : Coordination and dissemination 37,5%

Task 2 : Global preconditioning by coarse grid 50%

Task 3 : Subdomain preconditioning 60%

Subtask 3.1 : Unstructured preconditioning by renumbered ILU(1)

Subtask 3.2 : Preconditioning for higher order closures

Grille moyenne

Task 4 : Assembly of both preconditioners (in accordance to AD strategy) 40%

Task 5 : Parallel reverse differentiation and checkpointing by AD 30%

Subtask 5.1 : AD strategy 30%

Subtask 5.2 : Adjoint iteration with parallel-mpi checkpointing 20%

Subtask 5.3 : Application to correctors and mesh adaptation 20%

Task 6 : Turbulence models 40%

Task 7 : Assessments and Applications 10%