

# Amélioration de la précision et de l'efficacité d'une méthode d'adaptation de maillage cartésien

**Olivier SAUNIER, Christophe BENOIT et Gaëlle JEANFAIVRE**

- ONERA
- Département de Simulation Numérique et Aéroacoustique

# Contexte général

- **Enjeux** : → Améliorer les performances de l'hélicoptère, réduire les nuisances acoustiques engendrées par le rotor principal
  - Connaître la position du sillage tourbillonnaire issu du rotor et les interactions avec les autres parties de l'hélicoptère
- **Simulation numérique** : → Comprendre et prévoir des écoulements autour de l'hélicoptère
  - Compléter à moindre coût les mesures expérimentales réalisées en soufflerie

## Cadre d'étude

- Étude d'écoulements complexes : Écoulement autour d'un rotor d'hélicoptère en vol stationnaire
- Génération et adaptation du maillage :
  - Influence majeure sur la précision de la solution
  - Influence sur le temps de calcul
- Difficultés de prévoir *a priori* l'emplacement des zones d'interaction (chocs, tourbillons)
  - Adaptation **automatique** du maillage à la solution
  - ONERA, C.Benoit et al. (2000), méthode d'adaptation automatique cartésienne
- Schéma numérique de haute précision

Objectif : Méthode numérique d'ordre élevé couplée à la méthode d'adaptation actuelle

# Génération du maillage (1) : Méthode Chimère

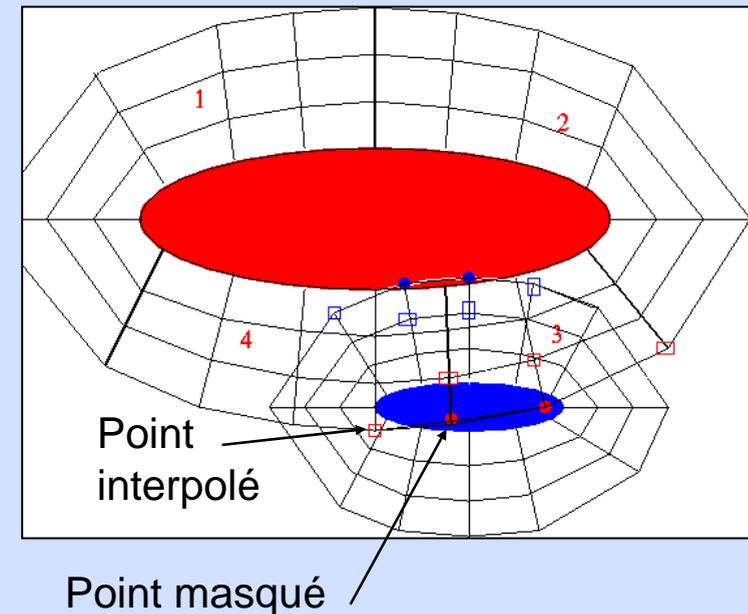
## ● Méthode Chimère :

- Simplification du maillage : décomposition du domaine de calcul en sous-domaines structurés se recouvrant
- Organisation et communication entre grilles se recouvrant



### 3 catégories de points :

- Points masqués
- Points interpolés
- Points calculés par le schéma numérique

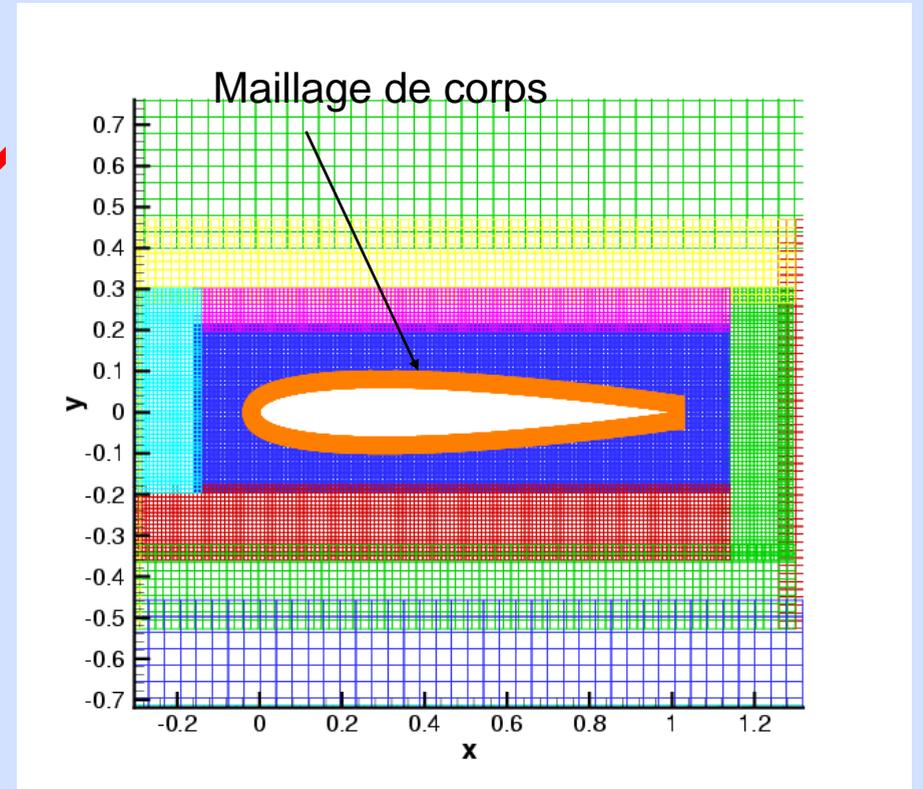


## Génération du maillage (2)

### Couplage Chimère / Générateur automatique de grilles cartésiennes

- Maillage initial composé ainsi :
  - autour des corps : grilles curvilignes structurées
  - reste du domaine : grilles cartésiennes de pas constant engendrées automatiquement

Intérêts : - Solveur cartésien précis et peu coûteux en occupation mémoire  
- Simplicité d'écriture des schémas de haute précision



# Algorithme d'adaptation

● **Processus de remaillage** : Nouveau maillage engendré  $\Rightarrow$  Meilleure solution

- Indicateur de raffinement E :

- Indicateurs fondés sur les grandeurs physiques ou indicateurs d'erreur
- Détermine la partie d'un bloc devant être raffinée ou dérafinée

- Contrôle du nombre de points du maillage :

- Évite un trop grand nombre de points
- Permet de fixer les valeurs min et max de l'indicateur en dessous et au-dessus desquelles une partie du bloc sera raffinée ou dérafinée

- Facteur de raffinement ou de déraffinement :

- Établir le rapport de maille entre 2 blocs lors du raffinement ou du déraffinement



raffinement



## Contraintes de la méthode chimère

- 
- Interpolations entre grilles stables mais pas conservatives
  - Taille de cellules du même ordre dans les zones de recouvrement → Prise en compte automatique dans la méthode d'adaptation
  - Nécessité d'avoir un nombre minimum de points dans les zones de recouvrement → Prise en compte automatique dans la méthode d'adaptation
  - Méthode seulement précise à l'ordre 1 en temps avec RK4

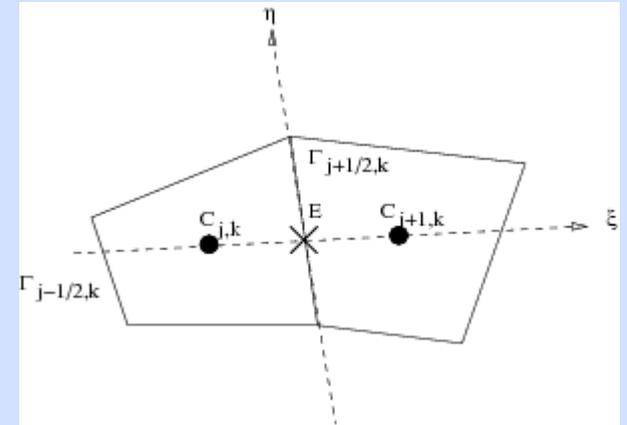
# Méthode numérique de haute précision

## Équations d'Euler bidimensionnelles

- Cartésien : - Différences finies centrées d'ordre 4 par correction d'erreur d'ordre 2 du schéma de Jameson  
- Terme dissipatif d'ordre 3 identique à celui de Jameson
- Raccords chimères : - Interpolations d'ordre 3 (polynômes de Lagrange) entre grilles cartésiennes

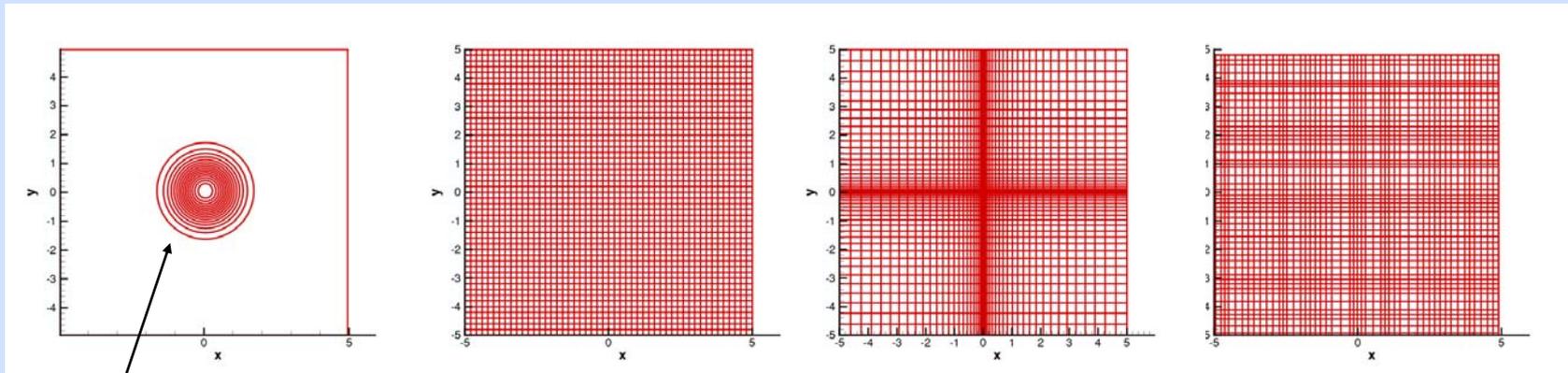
## Schéma VF d'ordre élevé

- Formulation volume finis de type cell-centered
- Approximation d'ordre 3 de l'intégrale de surface et du terme instationnaire :
  - Introduction d'opérateurs de discrétisation pondérés
  - Prise en compte de la géométrie locale du maillage
- Construction d'un terme dissipatif pondéré d'ordre 3
  - Schéma d'ordre 3 au sens des VF sur des maillages moyennement déformés et d'ordre 2 sur des maillages quelconques
  - Développements réalisés dans le code elsA



# Tourbillon de Yee : maillages cartésiens

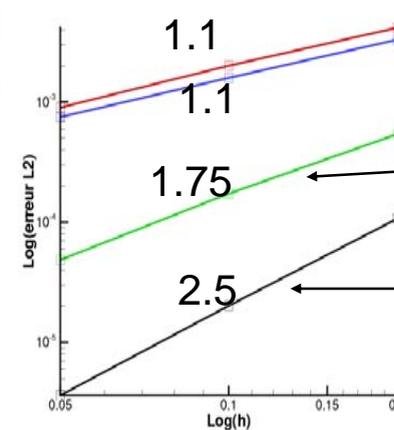
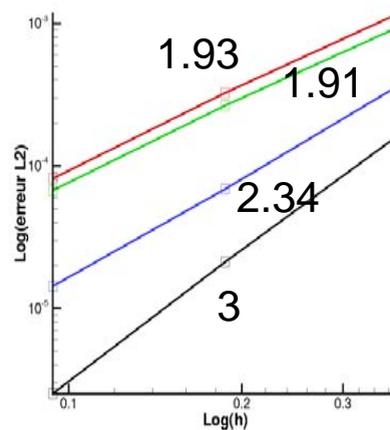
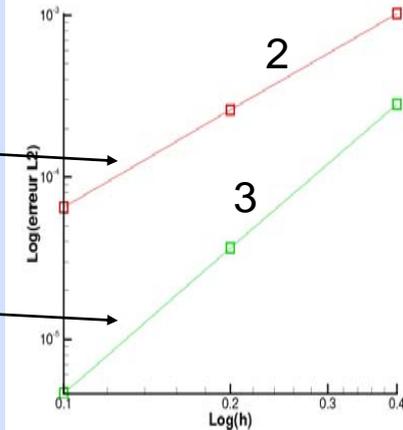
- Stationnaire, CL périodiques,  $T = 0.1$ ,  $CFL = 0.25$ ,  $k_2 = 0$ ,  $k_4 = 1/12$ ,  $D = [-5,5] \times [-5,5]$
- Discrétisation en temps : - RK4/Jameson et Jameson pondéré
  - RK3 non linéaire/DNC et DNC pondéré



solution exacte

Jameson

DNC

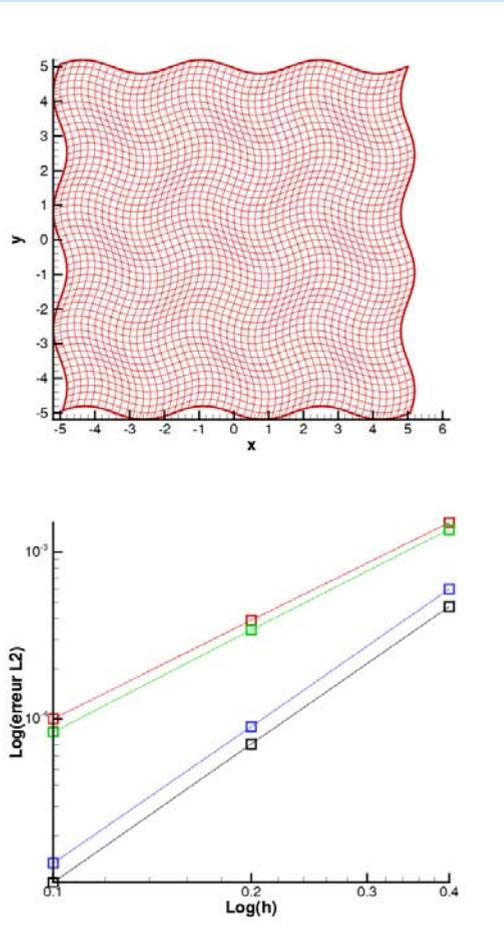


Jameson pondéré

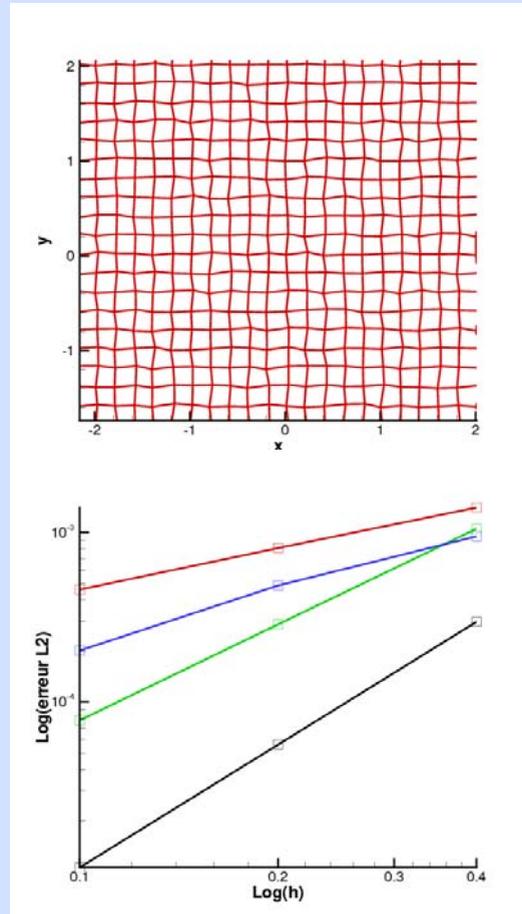
DNC pondéré

# Tourbillon de Yee (2) : maillages curvilignes

Curviligne régulier



Curviligne aléatoire



Maillages cartésiens

schéma	regulier	stretching	irrégulier
Jameson	2	1.93	1.1
Jam.w	2	1.91	1.75
DNC	3	2.34	1.1
DNC.w	3	3	2.5

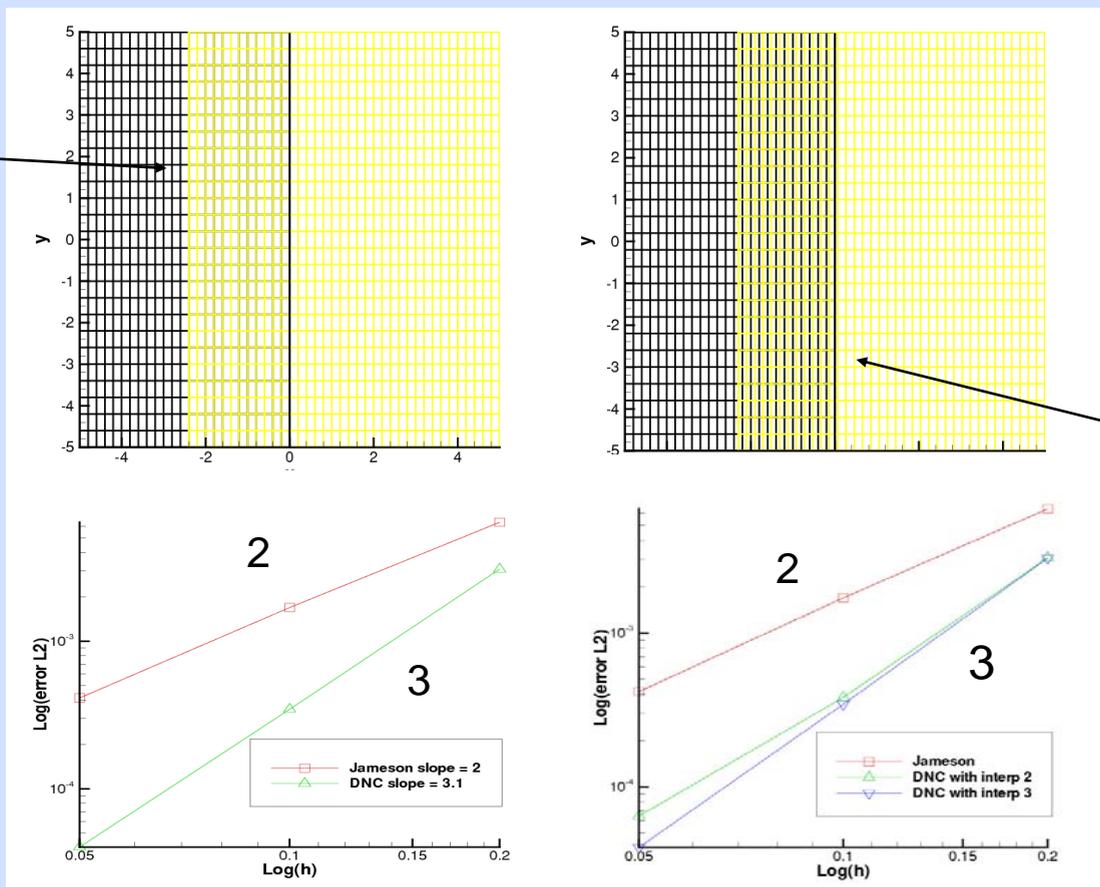
Maillages curvilignes

schéma	regulier	irrégulier
Jameson	1.96	0.83
Jam.w	2.03	1.87
DNC	2.72	1.03
DNC.w	2.74	2.40

# Tourbillon de Yee (3) : recouvrement

- Maillages cartésiens avec recouvrement : - raccords coïncidents  
- raccords chimeres

coïncidents



$K4 = 1/12$   
 $T = 0.1$   
 $CFL = 0.25$

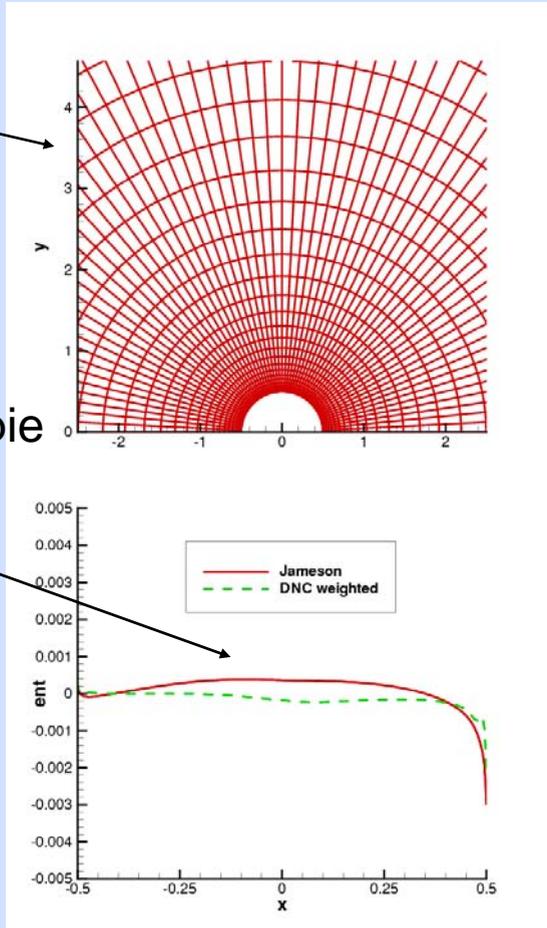
Non coïncidents

# Demi cylindre

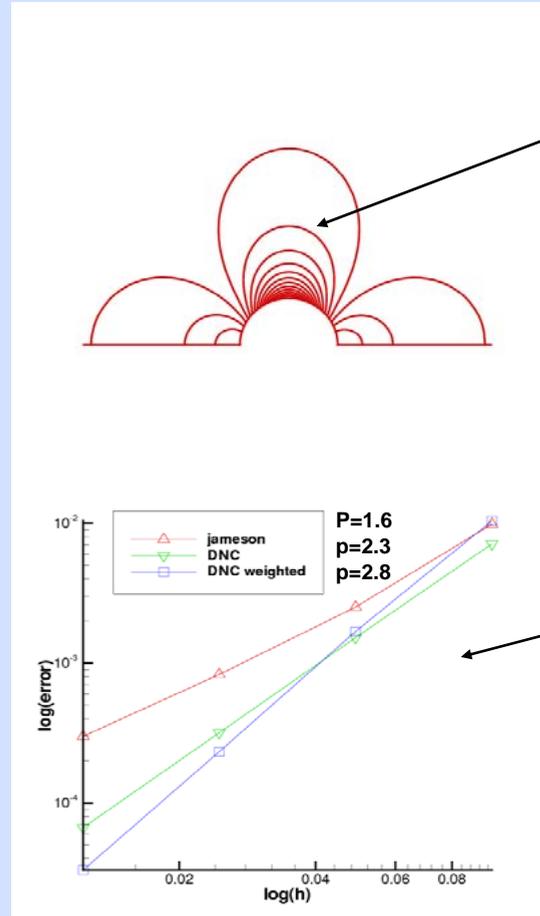
- Écoulement subsonique non visqueux, incidence nulle:  $\text{Minf} = 0.38$

→ Évaluation de la norme L2 de la variation d'entropie à la paroi en fonction du pas d'espace

64x32



Erreur d'entropie à la paroi



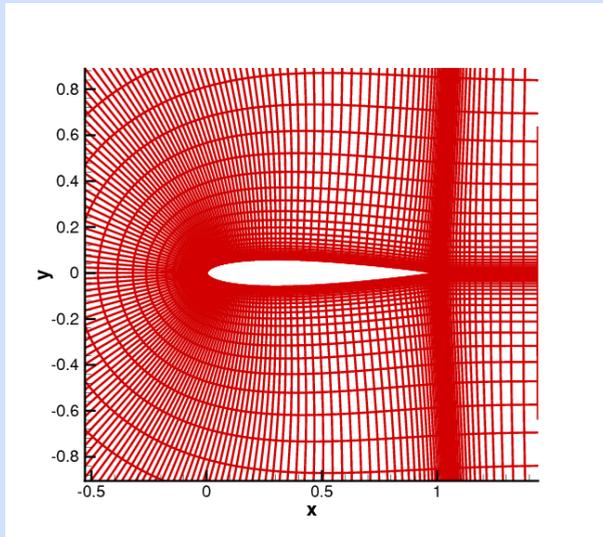
Isochores, DNC pondéré

Ordre de précision

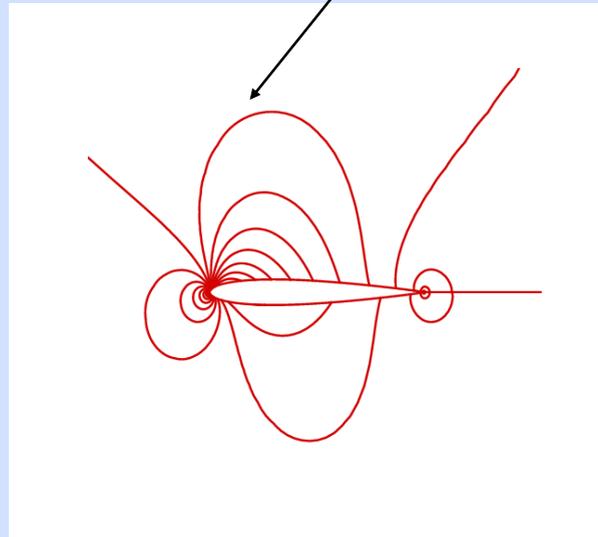
# Applications : Profil NACA0012

- Écoulement subsonique non visqueux autour du profil NACA0012 :  $M = 0,63$ ;  $\alpha = 2$  deg
- Étude de précision en maillage monobloc : maillages 139x23, 277x45, 553x89
- Précision = Erreur d'entropie à la paroi

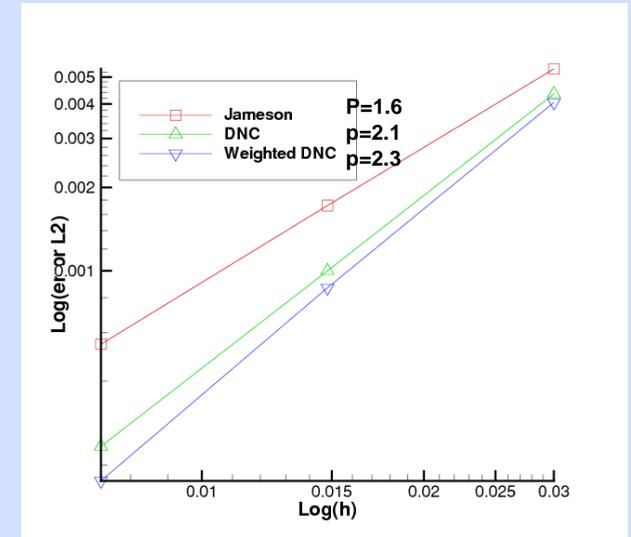
Maillage en C : 277x45



Lignes isochores  
DNC pondéré

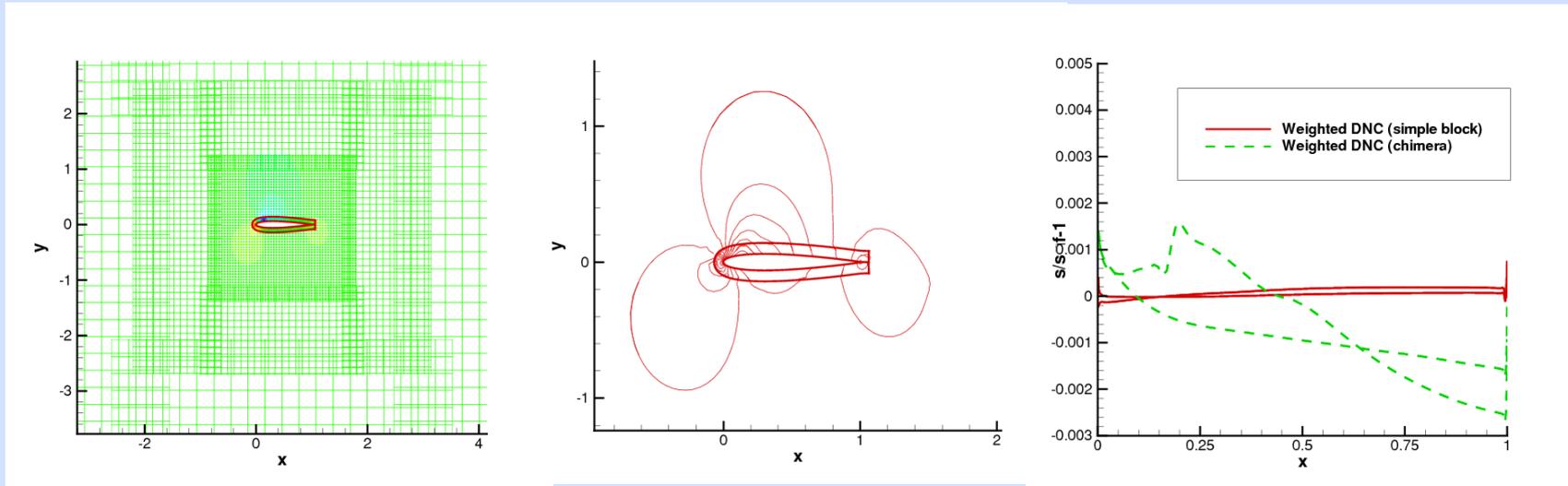


Ordre de précision



# Applications : NACA0012 chimère

- 25 blocs cartésiens, maillage de corps 201x14 (issu du maillage monobloc)
- Rapport de maille = 3
- Au total : 30000 points environ



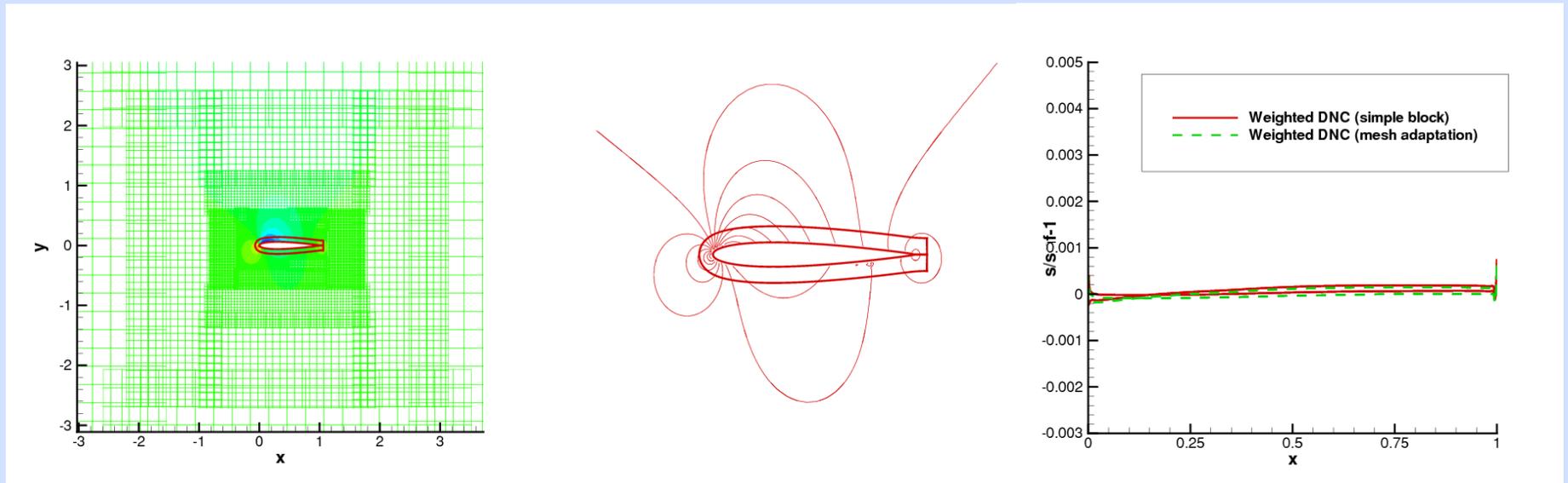
Maillage chimère  
génééré automatiquement

Lignes isochores,  
DNC pondéré

Erreur d'entropie  
à la paroi

# Applications : NACA0012 calcul adapté

- Maillage de corps : 201x14
- 75 blocs cartésiens, 5 remaillages, fréquence de remaillage = 500 → 71500 points
- indicateur de raffinement : gradient fondé sur le nombre de Mach



Vue partielle après  
5 remaillages

Lignes isochores, DNC  
pondéré

Erreur d'entropie à la  
paroi

# Premières conclusions

## Problèmes stationnaires 2D :

→ Schéma numérique de haute précision permet :

### Maillage monobloc :

- Réduction significative des erreurs numériques près du bord d'attaque des profils.
- Pas de perte en vitesse de convergence par rapport au schéma classique
- Temps de calcul par itération supérieur mais surcoût plutôt modéré

### Maillage chimère/Adaptation :

- Pas de perte en précision par rapport au cas monobloc (ordres 2 et 3)
- Surcoût en temps de calcul réduit par rapport à l'ordre 2

# Perspectives

- Étendre le schéma numérique au cas tridimensionnel pour les équations d'Euler en stationnaire
- Élever l'ordre des raccords chimères au niveau de la grille de corps
- Couplage Euler/Navier-Stokes pour les écoulements visqueux
- Cas instationnaire: Établir au moins l'ordre 2 en temps pour les calculs chimère
- Application au rotor d'hélicoptère en vol stationnaire puis en vol d'avancement