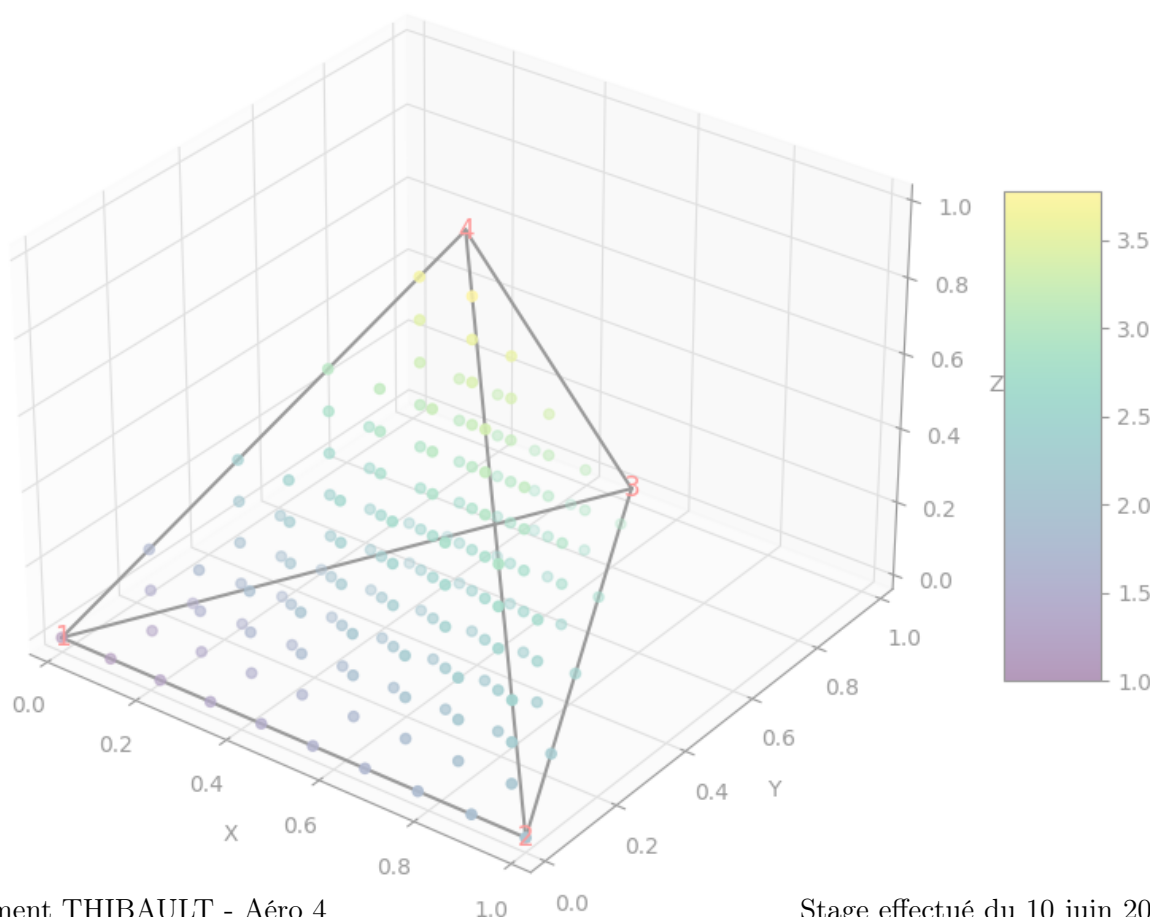


## Rapport de stage Aéro 4

# Développement d'une méthode d'interpolation trilinéaire et évaluation de ses performances dans l'application de l'aéroacoustique

Stagiaire au sein de l'équipe CFD

Interpolation quadratique en 3D dans un tétraèdre



# Remerciements

Je tiens à remercier mon maître de stage Carlos pour m'avoir guidé pendant ce stage, et toujours aidé avec le sourire.

Je tiens également à remercier Madame la présidente du CERFACS Catherine LAMBERT pour sa sympathie et pour m'avoir permis de faire ce stage.

Merci pour l'aide précieuse en maths de Benjamin CANOVAS-ANDRIEUX, Dimitri LANIER et Guillaume COUFFIGAL.

Merci à mon tuteur pédagogique Nadir MESSAI pour son aide au sein du CERFACS.

Merci à Kélian RENOUX, Alexis BOUDIN, Arthur COLOMBIÉ et Luc POTIER, mon co-bureau, pour l'aide qu'ils m'ont apporté au CERFACS.

# Table des matières

<b>Bilan Technique</b>	<b>4</b>
<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>1 Présentation de l'entreprise</b>	<b>6</b>
<b>2 Présentation du stage</b>	<b>8</b>
2.1 Les différentes méthodes d'interpolation . . . . .	8
2.1.1 L'interpolation trilinéaire A METTRE EN DERNIER POUR AVOIR UNE BELLE TRANSITION ? . . . . .	8
2.2 L'implémentation de la méthode trilinéaire . . . . .	9
2.2.1 La prise en main de la librairie Antares . . . . .	9
2.2.2 L'algorithme . . . . .	9
2.2.3 Les difficultés . . . . .	9
2.2.4 Le résultat . . . . .	9
2.3 Les tests sur des cas d'aéroacoustique . . . . .	9
2.3.1 Tests sur les paramètres de la méthode IDW . . . . .	9
2.3.2 Discrétisation spatiale et résolution du problème . . . . .	9
<b>Conclusion</b>	<b>10</b>
<b>Annexes</b>	<b>11</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>12</b>

## Bilan Technique

Tâche	Description	Résultat attendu	État
Tâche 1	Description de la tâche 1	Résultat attendu de la tâche 1	Complétée
Tâche 2	Description de la tâche 2	Résultat attendu de la tâche 2	En cours
Tâche 3	Description de la tâche 3	Résultat attendu de la tâche 3	Non commencée
Tâche 4	Description de la tâche 4	Résultat attendu de la tâche 4	Complétée

TABLE 1 – Bilan des tâches effectuées durant le stage

## Introduction

Antares est une librairie python privée qui a été développé au CERFACS en .... et a pour objectif de faire du pré et post processing sur des simulations numériques utilisés par les actionnaires du CERFACS.

Mon maître de stage, Carlos, est 'responsable' d'Antares depuis X temps.

Mes missions principales lors de ce stage on été :

- De faire un état des lieux sur les autres méthode d'interpolation qui seraient implémentable dans Antares (avec ses contraintes associés).

- De trouver s'il existais des meilleurs paramètres N et p à l'équation déjà existant IDW (Inverse Distance Weighting).

- D'implémenter la méthode trilinéaire que j'appellerais aussi barycentrique.

Pour bien comprendre, ce que nous voulons interpoler, ce sont les valeurs aux points d'un maillage dit 'target' grace aux valeurs aux point d'un maillage 'source'. Par exemple dans le cadre d'un raffinement de maillage entre 2 itérations de calcul ou dans le cas de la création d'une sphère dans un maillage 3D pour l'application des équation de FWH (Ffowcs Williams – Hawkings) dans le cadre de la propagation aéroacoustique.

# Chapitre 1

## Présentation de l'entreprise

# Le CERFACS : Le fondement des logiciels de simulation numérique

Le Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique est un laboratoire de recherche privé avec pour actionnaires Airbus, le CNES (Centre d'Études Spatiales), Météo France, l'ONERA (Office National d'Études et de Recherche Aéronautiques), Safran et TotalEnergie.

Il est constitué de quatre équipes :

- Algo-Coop (Algorithmes Parallèles & sCientific sOftware Operational Performances)
- CSG (Equipe Informatique et Support Utilisateur)
- CFD (Mécanique des fluides numérique)
- GLOBC (Modélisation du climat et de son changement global)

## Chapitre 2

# Présentation du stage

### 2.1 Les différentes méthodes d'interpolation

Ma première mission a été de recenser les méthodes d'interpolation qui seraient implémentables dans Antares, à savoir, qui permettent de l'interpolation 3D, sur des maillages dits non structuré, c'est à dire pas de simples maillages, rectangulaires en 2D et hexaédrique en 3D, représentés par des matrices mais des maillages créés avec différentes formes géométriques. Le temps de calcul, appelé 'coût' est aussi un paramètre à prendre en compte. Finalement, les caractéristiques des équations à interpoler est probablement le paramètre le plus important à prendre en compte mais aussi assurément le plus difficile. Effectivement différentes équations très difficiles à caractériser tel que l'équation de Naviers-Stokes sont utilisées et mon niveau en maths est trop limité pour pouvoir me plonger en profondeur dans ce problème.

#### 2.1.1 L'interpolation trilineaire A METTRE EN DERNIER POUR AVOIR UNE BELLE TRANSITION ?

L'interpolation trilineaire, est la plus simple, et la plus utilisée par Airbus, Safran et d'autres industriels. C'est pour cela qu'ils ont demandé au CERFACS de l'implémenter des antares, car ils l'utilisent actuellement via d'autres moyen. En 1D, l'interpolation linéaire est simple : c'est la moyenne pondérée linéairement par la distance, des valeurs des points. Supposons que nous voulons interpoler une valeur d'un point  $p$  entre deux points  $a$  et  $b$  dans un espace 1D et que nous représentons leurs valeurs dans une deuxième dimension  $y$ . Nous aurons alors pour formule :

$$y_p = \frac{x_b - x_p}{x_b - x_a} \cdot y_a + \frac{x_p - x_a}{x_b - x_a} \cdot y_b$$

où  $y_p$  représente la valeur interpolée à la position  $x_p$ , et  $(x_a, y_a)$  et  $(x_b, y_b)$  sont les points de référence. J'ai écrit cette formule afin qu'elle soit symétrique par rapport aux points  $a$  et  $b$ , pour qu'il jouent la même rôle. Ainsi elle s'entendra plus intuitivement dans des dimensions supérieures.

$\frac{x_b - x_p}{x_b - x_a}$  est le poids pour  $y_a$  basé sur la distance relative de  $x_p$  à  $x_b$ .

$\frac{x_p - x_a}{x_b - x_a}$  est le poids pour  $y_b$  basé sur la distance relative de  $x_p$  à  $x_a$ .

Ces deux termes sont pondérés de manière à ce que leur somme soit toujours égale à 1, ce qui garantit que l'interpolation est correcte et symétrique par rapport à  $a$  et  $b$ .

En 2D, nous devons nous baser sur des surfaces, extraites de formes pour pouvoir effectuer cette pondération. En CFD (Computation Fluid Dynamics en anglais), ces formes sont appelés cellules et leurs sommets noeuds. Dans notre cas, nous considérons que les variables du maillages sont contenus au niveau des noeuds. Aussi, Antares ne traite que des maillages ayant des valeurs uniquement au niveau des noeuds des cellules (pas entre). Il existe 2 principales types de cellules (formes) en 2D : les triangles et les quadrilatères (non croisés). L'interpolation barycentrique pour un triangle est bien documentée. Visuellement, il faut faire la somme des valeurs au points pondéré par la surface opposé et pondéré le tout par la surface du triangle.



## 2.2 L'implémentation de la méthode trilinéaire

### 2.2.1 La prise en main de la librairie Antares

### 2.2.2 L'algorithme

### 2.2.3 Les difficultés

### 2.2.4 Le résultat

## 2.3 Les tests sur des cas d'aéroacoustique

Carlos a développé l'outil permettant de déterminer le résultat acoustique, à grande distance, à partir d'une surface, en utilisant les équations de Ffowcs Williams – Hawkins. Le résultat acoustique sont les petites variations de pression, impliquant du son (à différentes fréquences et amplitudes). En pratique, pour les utilisateurs d'Antares, cette surface est définie dans un maillage 'solution' où nous avons le résultat de la pression en différents points et différents instants.

### 2.3.1 Tests sur les paramètres de la méthode IDW

... (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021999185712053>) :  
— TreeMesh

Maillage	MPI	Sortie de la solution	Équation parabolique (ie. flux visqueux)	Taille du domaine limité en $2^n$
<b>TreeMesh</b> oui	oui (limité à 10 rang)	oui	oui (sauf en MPI)	oui
<b>TreeMesh</b> oui	non	oui	oui (sauf en MPI)	oui
<b>Structured</b> oui	non	oui	non	non

TABLE 2.1 – Tableau des caractéristiques des maillages

### 2.3.2 Discrétisation spatiale et résolution du problème

# Conclusion

# Bibliographie

- [1] Chandrajit L BAJAJ. *Multi-dimensional Hermite Interpolation and Approximation for Modelling and Visualization*.
- [2] J A BENEK et al. *Chimera : A Grid-Embedding Technique* ARNOLD ENGINEERING DEVELOPMENT CENTER ARNOLD AIR FORCE STATION, TENNESSEE AIR FORCE SYSTEMS COMMAND UNITED STATES AIR FORCE.
- [3] C BENOIT, G JEANFAIVRE et E CANONNE. *Synthesis of Onera Chimera Method Developed in the Frame of Chance Program*. 2023.
- [4] C BENOIT et al. *Cassiopee : a CFD pre-and post-processing tool*. 2023. URL : <https://hal.science/hal-01141585>.
- [5] Ricardo CAMARERO. *MEC6212 : Génération de maillages MAILLAGES TRANSFINIS*. 2023.
- [6] William M CHAN. *Development of Numerical Methods for Overset Grids with Applications for the Integrated Space Shuttle Vehicle*. 1995.
- [7] G. CUNHA et S. REDONNET. « Development of optimized interpolation schemes with spurious modes minimization ». In : *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 80 (2 jan. 2016), p. 140-158. ISSN : 10970363. DOI : 10.1002/flid.4079.
- [8] Guilherme CUNHA et Stephane REDONNET. *An Innovative Interpolation Technique for Aeroacoustic Hybrid Methods*. 2011.
- [9] FL FLUIDSSENGINEER, FL MARCELLILIE et FL PAULLSCHALLHORN. *Interpolation Method Needed for Numerical Uncertainty Analysis of Computational Fluid Dynamics*.
- [10] William J GORDON et Charles A HALL. « CONSTRUCTION OF CURVILINEAR COORDINATE SYSTEMS AND APPLICATIONS TO MESH GENERATION ». In : *INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING* 7 (1973), p. 461-477.
- [11] William J GORDON. *BLENDING-FUNCTION METHODS OF BIVARIATE AND MULTIVARIATE INTERPOLATION AND APPROXIMATION\**. 1971. URL : <http://www.siam.org/journals/ojsa.php>.
- [12] *Internal Documentation*. 2023.
- [13] Soohyeon KIM, Sooahm RHEE et Taejung KIM. « Digital surface model interpolation based on 3D mesh models ». In : *Remote Sensing* 11 (jan. 2019). ISSN : 2072-4292. DOI : 10.3390/rs11010024.
- [14] J. de LABORDERIE et al. « Numerical analysis of a high-order unstructured overset grid method for compressible LES of turbomachinery ». In : *Journal of Computational Physics* 363 (juin 2018), p. 371-398. ISSN : 10902716. DOI : 10.1016/j.jcp.2018.02.045.
- [15] David LEVIN. *Mesh-Independent Surface Interpolation*.
- [16] Jens-Dominik MÜLLER. *A user's guide to h i p*. 2020.
- [17] Taku OZAWA et Takahiko TANAHASHI. *CIVA (Cubic Interpolation with Volume/Area Coordinates) and AMR (Adaptive Mesh Refinement) Method for Discrete Boltzmann Equation\**.

- [18] Grant E PALMER. *Construction of CFD Solutions Using Interpolation Rather than Computation with the ADSI Code*. 2009.
- [19] Wiebke K PEITSCH et al. *Drebrin, an Actin-Binding, Cell-Type Characteristic Protein : Induction and Localization in Epithelial Skin Tumors and Cultured Keratinocytes*. 2005.
- [20] Stéphanie PÉRON et Christophe BENOIT. « Automatic off-body overset adaptive Cartesian mesh method based on an octree approach ». In : *Journal of Computational Physics* 232 (jan. 2013), p. 153-173. ISSN : 10902716. DOI : 10.1016/j.jcp.2012.07.029.
- [21] Alain PERRONNET. *Interpolation transfinie SW le triangle, le tétraèdre et le pentakdre. Application h la crhation de maillages et h la condition de Dirichlet*. 1998. URL : %5Curl%7Bhttp://www.ann.jUssirrl.fr/~rro~n~%7D.
- [22] S REDONNET. « Issue 7-June 2014-Aircraft Noise Prediction via Aeroacoustic Hybrid Methods : Development and Application of Onera Tools over the Last Decade : Some Examples ». In : (). DOI : 10.12762/2014.AL07-07.
- [23] Stefan J. SCHODER et al. « Conservative source term interpolation for hybrid aeroacoustic computations ». In : *25th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2019*. American Institute of Aeronautics et Astronautics Inc, AIAA, 2019. ISBN : 9781624105883. DOI : 10.2514/6.2019-2538.
- [24] Norman E SUHS, Stuart E ROGERS et William E DIETZ. *PEGASUS 5 : An Automated Pre-Processor for Overset-Grid CFD*. 2023.
- [25] Nobuatsu TANAKA, Toshiteru YAMASAKI et Takaya TAGUCHI. *Accurate and Robust Fluid Analysis Using Cubic Interpolation with Volume/Area Coordinates (CIVA) Method on Unstructured Grids \**.
- [26] Manel TAYACHI. *Couplage de modèles de dimensions hétérogènes et application en hydrodynamique*. 2013. URL : <https://theses.hal.science/tel-00930084>.
- [27] Paul WALKER, Ulrich KROHN et David CARTY. *ARBTools : A tricubic spline interpolator for three-dimensional scalar or vector fields*. 2019. DOI : 10.5334/jors.258.