

OFFRE D'EMPLOI – STAGE
Évaluation d'une méthode d'adaptation de maillage pour des simulations de
trainées de condensation

INFORMATIONS DE L'OFFRE

Référence : AAM-2026-MAR-01
Équipe : AAM

Lieu : 42 Avenue Gaspard Coriolis – 31057 Toulouse

Encadrants :

- Thomas Marchal, tmarchal@cerfacs.fr
- Jean-François Boussuge, boussuge@cerfacs.fr

Gratification : 800€ net par mois - niveau M2 ou dernière année école d'ingénieur

Période : 6 mois – à partir de Février 2026 (modulable)

Mots-clés : Adaptation de maillage, trainées de condensation, volumes finis, modélisation RANS

LE CERFACS

Le Cerfacs est un centre privé de recherche, de développement, de transfert et de formation en modélisation, simulation et calcul haute performance. Le Cerfacs conçoit, développe et propose des méthodes et solutions logicielles innovantes répondant aux besoins de ses associés dans les domaines de l'aéronautique, du spatial, du climat, de l'environnement et de l'énergie. Le Cerfacs forme des étudiants, des chercheurs et des ingénieurs dans le domaine de la simulation et du calcul haute performance. Le Cerfacs travaille en forte interaction avec ses sept associés : [Airbus](#), [Cnes](#), [EDF](#), [Météo France](#), [Onera](#), [Safran](#) et [TotalEnergies](#).



L'ÉQUIPE D'ACCUEIL - AAM

L'équipe Aérodynamique Avancée et Multiphysique (AAM) se consacre au développement de méthodes numériques innovantes, à la modélisation physique et aux techniques de calcul haute performance (HPC) pour les nouveaux solveurs CFD. En étroite collaboration avec les partenaires de Cerfacs, le travail se focalise sur les simulations de dynamique des fluides pour les avions, les fusées et les turbomachines.

CONTEXTE

Les traînées de condensation, ou "contrails" en anglais, sont les traînées blanches souvent observées derrière les avions volant à haute altitude (voir Figure 1). Elles sont reconnues pour avoir un impact climatique significatif [1].



Figure 1- Image d'une traînée de condensation dans le ciel issue de [1].

Comprendre la formation et l'évolution des traînées de condensation est donc essentiel afin de développer des stratégies pour les atténuer. Ces dernières ciblent les effets climatiques non-reliés au CO₂, qui pourraient être encore plus significatifs que les émissions de CO₂ en elles-mêmes (voir Figure 2).

**Global Aviation Effective Radiative Forcing (ERF) Terms
(1940 to 2018)**

	ERF (mW m ⁻²)	RF (mW m ⁻²)	ERF RF	Conf. levels
Contrail cirrus in high-humidity regions	57.4 (17, 98)	111.4 (33, 189)	0.42	Low
Carbon dioxide (CO ₂) emissions	34.3 (28, 40)	34.3 (31, 38)	1.0	High

Figure 2. Comparaison des termes du forçage radiatif effectif de l'aviation mondiale, d'après [1].

Le développement des traînées de condensation s'effectue selon des régimes successifs, commençant par l'éjection initiale des gaz d'échappement (**régime jet**) jusqu'à la dissipation finale des tourbillons de sillage (**régime de diffusion**). Les différents régimes et leurs échelles de temps caractéristiques sont illustrés dans la Figure 3, tirée de Paoli et al. [2].

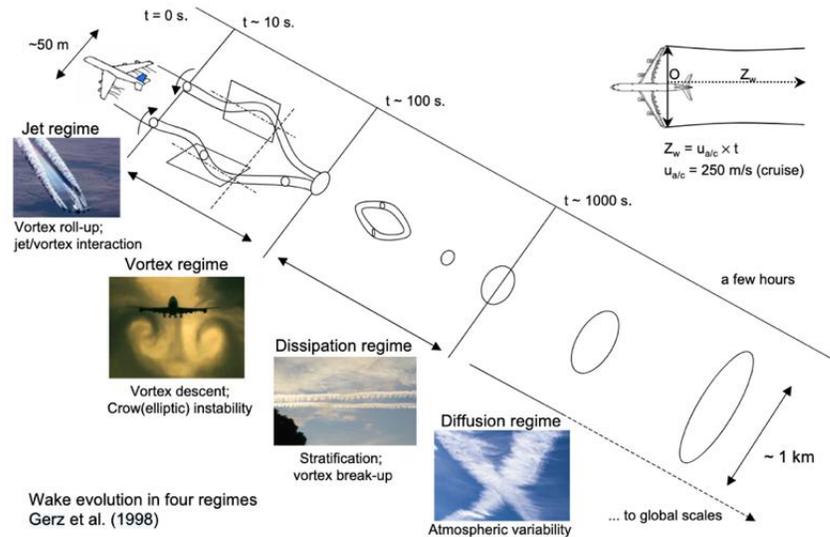


Figure 3. Classification des sillages d'avions en quatre régimes [2].

La simulation numérique des traînées de condensation est complexe. Les principales difficultés se situent dans le régime jet où les interactions entre le jet moteur, le tourbillon de sillage et les tourbillons de bout d'aile doivent être capturées. Ces phénomènes présentent des caractéristiques fortement anisotropes, rendant nécessaire l'utilisation d'une méthode d'adaptation de maillage anisotrope afin de réduire à la fois le temps de génération du maillage et le coût de calcul [1].

A l'heure actuelle, les simulations du régime jet résolvent les équations RANS en utilisant une discrétisation de type volumes finis (FV) combinée à de l'adaptation de maillage anisotrope [1]. Dans le cadre de ce stage, il est proposé d'effectuer de telles simulations avec CODA (CFD for ONERA, DLR, and Airbus), le nouveau solveur CFD développé pour la conception de la nouvelle génération d'avions chez Airbus. Étant donné que ces avions seront soumis à des contraintes environnementales plus strictes, la réduction de la formation des traînées de condensation sera un objectif majeur. Par conséquent, il est crucial que CODA puisse simuler les traînées de condensation avec une haute précision, en utilisant les algorithmes les plus avancés disponibles, afin de guider la conception des futurs avions.

[1] Younes Bouhafid PhD Thesis, Développement d'une méthode numérique originale pour la simulation du cycle de vie d'une trainée de condensation. Mécanique des fluides. Université Paris-Saclay, 2025.

[2] Paoli et al., Review of effective emission modeling and computation. Geoscientific Model Development, 2011, <https://doi.org/10.5194/gmd-4-643-2011>

MISSION

Au sein de l'équipe AAM du CERFACS, le stage sera axé sur l'évaluation de la technique d'adaptation de maillage anisotrope disponible dans CODA pour la simulation du régime de jet des traînées de condensation. Le travail se déroulera selon les étapes suivantes :

1. **Familiarisation avec CODA** : Acquérir la connaissance de l'environnement CODA et apprendre à exécuter des configurations simples sans adaptation de maillage.
2. **Revue bibliographique** : Étudier la littérature pertinente sur la modélisation RANS et les techniques d'adaptation de maillage.
3. **Cas-tests académiques** : Effectuer des simulations avec adaptation de maillage anisotrope sur des configurations académiques de plus en plus complexes, telles que l'aile ONERA M6 [3] et le corps-d'aile à forte portance (High-Lift en anglais) du Common Research Model (CRM) [4]. Ce dernier est une version simplifiée de la configuration HL-CRM [5], largement utilisée pour la comparaison de solveurs CFD. Les principaux résultats à analyser seront les coefficients de portance et de traînée.
4. **Cas-test de référence pour les traînées de condensation** : Simuler la configuration CRM modifiée par Montreuil et al. [6], également étudiée dans la thèse de doctorat de Younes Bouhafid à l'ONERA [1]. Il s'agit de l'un des cas de référence pour l'étude de la physique du régime de jet des traînées de condensation. Les résultats à analyser comprendront les coefficients de traînée et de portance, la circulation de sillage et l'interaction jet/tourbillon. L'influence des éléments de maillage utilisés près des parois (tétraèdres ou prismes) et du critère d'adaptation de maillage sera également étudiée. En particulier, la thèse de Bouhafid a démontré que l'énergie cinétique totale est un bon indicateur pour guider l'adaptation de maillage, tandis que CODA n'utilise actuellement que le nombre de Mach. Une phase d'implémentation dans CODA est donc proposée afin de comparer différents indicateurs d'adaptation.

Pour tous les cas-tests, la modélisation RANS s'appuiera soit sur le modèle à une équation de Spalart–Allmaras dans sa formulation négative [7], soit sur le modèle à deux équations $k-\omega$ [8].

Enfin, ce stage pourrait déboucher sur une opportunité de thèse de doctorat sur le même sujet, en collaboration avec Airbus et le CERFACS, dans le cadre d'un contrat CIFRE.

[3] Michal et al., Comparing Anisotropic Error Estimates for ONERA M6 Wing RANS Simulations, AIAA SciTech, 2018, <http://arc.aiaa.org> | DOI: 10.2514/6.2018-0920

[4] Diskin et al., High-Fidelity CFD Verification Workshop 2024: Spalart-Allmaras QCR2000-R Turbulence Model, AIAA Sci Tech, 2023, <http://arc.aiaa.org> | DOI: 10.2514/6.2023-1244

[5] Lacy and Clark, Definition of Initial Landing and Takeoff Reference Configurations for the High Lift Common Research Model (CRM-HL), AIAA Aviation, 2020, <http://arc.aiaa.org> | DOI: 10.2514/6.2020-2771

[6] Montreuil et al., Numerical Simulation of contrail formation on the Common Research Model wing/body/engine configuration, AIAA Aviation 2018, <https://doi.org/10.2514/6.2018-3189>

[7] S. Allmaras, F. Johnson, P. Spalart, Modifications and clarifications for the implementation of the Spalart-Allmaras turbulence model, Seventh International Conference on Computational Fluid Dynamics (ICCFD7) (2012) 1–11.

[8] Wilcox, D. C.: Reassessment of the Scale-Determining Equations for Advanced Turbulence Models, AIAA J., 26, 11 (1988), pp. 1299–1310.

PROFIL SOUHAITÉ

Nous recherchons un(e) étudiant(e) en dernière année d'école d'ingénieur ou un(e) étudiant(e) de Master 2 (M2), spécialisé en mécanique des fluides ou en calcul scientifique, avec un fort intérêt pour la recherche. Les candidats ayant un profil Master Recherche sont particulièrement bienvenus, compte tenu de la possibilité de poursuivre en thèse.

Compétences et qualités requises :

- **Connaissances fondamentales** : Une connaissance solide de la dynamique des fluides numérique (CFD) est essentielle. Une bonne compréhension des approches de modélisation de la turbulence (RANS, LES) est un avantage significatif.
- **Compétences en programmation** : Les candidats doivent avoir une expérience de projet en programmation de CFD instationnaire.
- **Qualités personnelles** : Rigueur scientifique, curiosité et proactivité sont essentielles pour contribuer efficacement et assurer le succès de ce stage.
- **Compétences en communication** : Ce stage se déroulant dans un contexte de recherche international, un bon niveau d'anglais (lecture, écriture et expression orale) est nécessaire pour la revue bibliographique, la rédaction du rapport et la présentation des travaux.

CE QUE NOUS PROPOSONS AU CERFACS

- Un large accès aux technologies, un environnement relationnel riche, des compétences internes reconnues au niveau national et international.
- Un environnement de travail inclusif et équitable.
- Une structure accessible aux personnes en situation de handicap.
- Possibilité de bénéficier de 1,83 jours de réduction du temps de travail par mois liée à votre choix d'une semaine de travail de 39 heures au lieu de 35 heures.
- Remboursement à hauteur de 50% des frais de transport en commun.

COMMENT POSTULER ?

Pour postuler, veuillez envoyer votre CV et lettre de motivation à tmarchal@cerfacs.fr, les candidatures sont ouvertes jusqu'au 31/12/2025.

À bientôt au CERFACS !