



Rédigé le 04 septembre 2026



3 minutes de lecture



Actualités

Recherche fondamentale

Mobilité durable

Mobilité électrifiée

Batteries

L'essor des véhicules électriques s'accompagne de progrès technologiques qui conduisent à des moteurs plus compacts et plus rapides (trs/min.), lesquels mettent en jeu des flux thermiques élevés dans des volumes réduits. Ceci engendre l'apparition de zones critiques en termes de tenue des matériaux, problème pour lequel le refroidissement direct par jets d'huile sur des zones localisées, apparaît comme une solution prometteuse mais difficile à simuler numériquement. En effet, les écoulements générés sont caractérisés par des nombres de Prandtl (Pr)¹ élevés et donc une couche limite thermique² très fine, en particulier dans la zone

d'impact du jet où le refroidissement est maximal. Il en résulte qu'en Dynamique des Fluides Numérique (CFD³), simuler explicitement cette couche limite dans des géométries étendues impose des maillages très fins et des temps de calcul souvent prohibitifs.

C'est pourquoi, afin d'éviter la résolution explicite de la couche limite thermique, **un modèle thermique proche paroi**, adapté aux fluides à nombre de Prandtl élevé et aux écoulements laminaires, a été développé dans le cadre de la thèse d'Adrien Ingles [1,2]. Le modèle, qui a été implémenté dans le code CFD [Converge](#), s'appuie sur **la solution analytique de Lévêque** [3] et permet d'estimer le flux thermique de paroi à partir de la température locale, sans requérir la résolution d'équations supplémentaires. Cette approche est illustrée par la Figure 1 sur une configuration de jet liquide impactant une surface plane, où le nombre de Prandtl peut atteindre 1000.

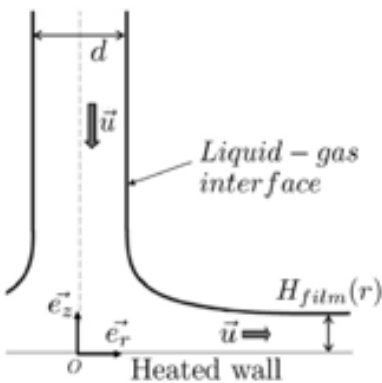


Figure 1 : Coupe transversale d'un jet liquide froid de diamètre d impactant une surface plane chauffée avec une vitesse u et formant un film de hauteur $H_{film}(r)$

La Figure 2 présente **la distribution radiale du nombre de Nusselt**, qui caractérise le transfert thermique local entre la paroi et le liquide. Elle compare un cas où la couche limite thermique est complètement résolue grâce à un maillage très fin (solution de référence notée A_r) à des simulations réalisées sur un maillage grossier, avec et sans le modèle développé (A_c^m et A_c respectivement). Sur le maillage sous résolu (moins d'une cellule dans la couche limite thermique), l'absence de modèle entraîne une forte sous estimation de ??, avec une erreur qui atteint 40 % dans la zone d'impact, là où la couche thermique est la plus mince (cas A_c). L'application du modèle (cas A_c^m) corrige significativement cette sous-estimation ; le profil radial de ?? issu du maillage grossier avec notre modèle se rapproche nettement de la solution de référence (cas A_r).

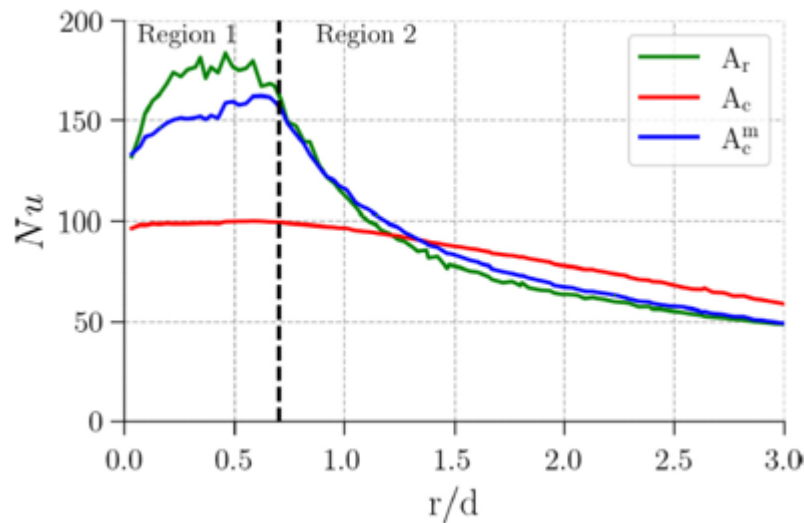


Figure 2 : Profils de Nusselt obtenus pour le maillage résolu (A_r), le maillage grossier sans modèle (A_c) et le maillage grossier avec modèle (A_c^m) pour $Pr = 158$: $r/d=0$ correspond au centre du jet

De plus, le recours au modèle permet de réduire fortement le coût de calcul par rapport à un cas entièrement résolu : pour la configuration testée à $Pr=158$, la réduction de temps de calcul est de l'ordre de 68 %, et peut atteindre 93 % pour $Pr \geq 1000$. Ainsi, la méthode proposée offre **un compromis performant entre précision et coût**, particulièrement adapté aux études paramétriques et à la conception préliminaire de systèmes de refroidissement par jets d'huile pour moteurs électriques.

En conclusion, le nouveau modèle développé fournit **une solution efficace pour estimer les transferts thermiques de paroi dans des jets liquides laminares à Pr élevé**, tout en évitant le raffinement extrême du maillage requis par une résolution complète de la couche limite thermique. Des travaux sont en cours pour étendre sa validité sur des configurations d'écoulements plus complexes, ne respectant plus les hypothèses de Lévêque.

¹ Nombre adimensionnel (ratio de la diffusivité thermique et de la viscosité cinématique) qui compare la rapidité des phénomènes **thermiques** et des phénomènes **hydrodynamiques** dans un fluide

² Zone de fluide au contact d'une surface solide où la température varie fortement en raison d'un transfert de chaleur.

³ Computational Fluid Dynamics

Références :

[1] Ingles A. Un modèle proche-paroi pour la prédiction des transferts thermiques dans les écoulements laminares à haut nombre de Prandtl : application aux jets liquides impactants pour le refroidissement des moteurs électriques. Thèse de doctorat de l'université de Montpellier, 2026.

[2] Ingles A., Poubeau A., Vinay G., Nicoud F. A near-wall model for heat transfer prediction in laminar flows at high Prandtl number. Computers and Fluids 315 (2026),
>> DOI : <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2026.107137>

[3] Lévêque A. Les lois de la transmission de chaleur par convection. Ann des Mines 13 (1928)

VOUS SEREZ AUSSI INTÉRESSÉ PAR

[Moteur électrique : le refroidissement à l'huile c'est plus difficile...](#)

Modèle proche-paroi pour le refroidissement par jet d'huile d'un moteur électrique

04 septembre 2026

Lien vers la page web :