

Modélisation et simulation d'écoulements diphasiques polydisperses modérément denses chargés de particules nanométriques à modérément inertielles avec coalescence: application aux moteurs à propergol solide

Soutenance de thèse de F. Doisneau

Jeudi 11 avril 2013 à 14h00
Amphi 1, École Centrale Paris

Jury :

M.	Lemou	M.	Univ. Rennes	Rapporteur
M.	Simonin	O.	IMF, Toulouse	Rapporteur
M.	Subramaniam	S.	Iowa State Univ.	Rapporteur
M.	Massot	M.C.	EM2C, Chatenay-Malabry	Directeur de thèse
Mme	Laurent	F.	EM2C, Chatenay-Malabry	Co-directrice de thèse
M.	Dupays	J.	ONERA, Palaiseau	Encadrant
M.	Kuentzmann	P.		Examineur
M.	Nicoud	F.	Univ. Montpellier	Examineur
M.	Fox	R.O.	Iowa State Univ.	Invité
M.	Godfroy	F.	Herakles	Invité
M.	Reeks	M.W.	Newcastle Univ.	Invité
Mme	Amiet	M.-S.	DGA	Invitée

Dans un moteur à propergol solide, l'écoulement dépend fortement des gouttes d'alumine en suspension, dont la fraction massique est élevée. La distribution en taille des gouttes, qui s'élargit avec la coalescence, joue un rôle clef. Or résoudre des écoulements diphasiques polydisperses instationnaires avec une bonne précision sur la taille est un défi à la fois sur le plan de la modélisation et du calcul scientifique: (1) de très petites gouttes, par exemple résultant de la combustion de nanoparticules d'aluminium, subissent mouvement brownien et coalescence, (2) de petites gouttes ont leur vitesse conditionnée par leur taille de sorte qu'elles coalescent lorsqu'elles ont des tailles différentes, (3) des gouttes plus grosses peuvent se croiser par effet d'inertie et (4) toutes les gouttes interagissent de manière fortement couplée avec la phase porteuse. En complément des approches lagrangiennes, des modèles eulériens ont été développés pour décrire la phase dispersée à un coût raisonnable, et ils permettent un couplage aisé avec la phase porteuse ainsi que la parallélisation massive des codes: les approches eulériennes sont bien adaptées aux calculs industriels. Le modèle Multi-Fluide permet la description détaillée de la polydispersion, des corelations taille/vitesse et de la coalescence, en résolvant séparément des "fluides" de gouttes triées par taille, appelés sections.

Un ensemble de modèles est évalué dans cette thèse et une stratégie numérique est développée pour effectuer des calculs industriels de moteurs à propergol solide. (1) La physique des nanoparticules est évalué et incluse dans un modèle de coalescence complet. Des méthodes de moments d'ordre élevé sont ensuite développées: (2) une méthode à deux moments en taille est étendue à la coalescence pour traiter la physique de la polydispersion et les développements numériques connexes permettent d'effectuer des calculs applicatifs dans le code industriel CEDRE; (3) une méthode basée sur les moments en vitesse du deuxième ordre, un schéma de transport à l'ordre deux sur maillages structurés ainsi qu'un modèle de coalescence sont développés. Des validations académiques de la stratégie pour gouttes d'inertie modérée sont effectuées sur des écoulements complexes puis avec de la coalescence; (4) une stratégie d'intégration en temps est développée et mise en oeuvre dans CEDRE pour traiter efficacement le couplage fort, dans des cas instationnaires et polydisperses incluant de très petites particules. L'ensemble des développements est soigneusement validé: soit par des formules analytiques *ad hoc* pour la coalescence et pour le couplage fort d'une onde acoustique; soit par des comparaisons numériques croisées avec une DPS pour la coalescence et avec des simulations lagrangiennes de cas applicatifs, coalescents et fortement couplés; soit par des résultats expérimentaux disponibles sur une configuration académique de coalescence et sur un tir de moteur à échelle réduite. La stratégie complète permet des calculs applicatifs à un coût raisonnable. En particulier, un calcul de moteur avec des nanoparticules permet d'évaluer la faisabilité de l'approche et d'orienter les efforts de recherche sur les propergols chargés de nanoparticules.

Mots-Cls: Moteur à Propergol Solide ; Spray modérément dense ; Coalescence ; Atomisation secondaire ; Croisements de trajectoires ; Gouttes nanométriques ; Modle Multi-Fluide Eulérien ; Méthodes de moments d'ordre élevé.

