ED SMAER

Sujet de thèses 2013

Laboratoire : Institut Jean Le Rond d'Alembert – CNRS 7190

Etablissement de rattachement : Université Pierre et Marie Curie – Paris 6

Directeur de thèse et section CNU ou CNRS : Pr. P. Guibert (60ème section)

Codirection et section CNU et CNRS : Dr. J.-F. Krawczynski (MCF, 60ème section)

Collaborations dans le cadre de la thèse : Dr. M. Mojtabi

Co direction : Pr M. Gorokhovski Ecole centrale de Lyon (en cours de validation) (60eme section)

Titre de la thèse : Processus hydrodynamiques et de pulvérisation d'un atomiseur de petite dimension.

Rattachement à un programme :

Le sujet peut être publié sur le site web de l'ED SMAER : OUI ~~NON~~ rayer la mention inutile.

Résumé du sujet :

L'objectif de cette thèse est de pouvoir évaluer la pertinence de differentes stratégies de préparation du mélange (axées plus particulièrement sur la pulvérisation) dans un contexte de développement de nouvelles architectures d'injecteur de petite dimension. Le cadre d'application de ces recherches peut être rapproché de l'injection instationnaire directe d'essence à haute pression dans les moteurs automobiles et d'injection continue de carburant pour les chambres de combustion de réacteurs d'avion. Le challenge scientifique majeur est de réunir l'ensemble du processus hydrodynamique (écoulement du fluide à l'intérieur de l'injecteur) et d'atomisation et d'introduire une description amont aval via de très nombreux outils expérimentaux. A cette fin, une famille d'injecteurs transparents bidimensionnels et axisymétriques sera spécialement conçue pour ces travaux. Lors de l'élaboration de ces atomiseurs, l'accent sera tout particulièrement mis sur les temps caractéristiques et les longueurs caractéristiques de l'écoulement afin de les rendre comparables à ceux rencontrés dans les injecteurs d'essence à haute pression. Le travail de thèse se concentrera principalement sur la topologie de l'écoulement interne à l'atomiseur et son impact sur les mécanismes de déstabilisation du jet liquide à la sortie immédiate de l'injecteur. La flexibilité du dispositif expérimental permettra d'étudier une large variation (contrôlée) des paramètres impactant l'atomisation (pression d'injection, pression de chambre, propriétés thermo-physiques du liquide injecté, distances caractéristiques internes à l'atomiseur, etc.). De plus, notre attention sera plus spécialement attirée par les régimes de fonctionnement les plus hostiles (turbulence propre au liquide et cavitation intenses). Les mesures effectuées s'appuieront sur le savoir-faire de l'équipe : ombroscopie rapide pour la structure de l'écoulement interne et pour la description de l'interface du spray formé, fluorescence induite par plan laser pour les mesures de fractions volumiques de liquide, imagerie rapide par diffusion Mie pour capter les zones de cisaillement et d'instabilité et analyse des gouttes par

phase Doppler pour les mesures de distributions de diamètre de gouttes dans la phase dispersée du spray. L'ensemble de ces méthodes expérimentales permettront de construire une base de données en respectant une approche de type plan d'expérience. Elle intègrera la mesure de toutes les grandeurs utiles (conditions aux limites) ouvrant ainsi une démarche d'analyse utilisant de nombreux outils de traitement du signal. Cette base de données pourra aussi servir de validation de code de calcul dédié.

Sujet développé (à présenter en 2 ou 3 pages maximum,
en précisant notamment le contexte, les objectifs, les résultats attendus)

La transformation d'un écoulement liquide dense en un brouillard de fines gouttelettes représente un enjeu fondamental dont l'importance peut être illustrée par le grand nombre d'applications industrielles qui y ont recours (la propulsion terrestre, aéronautique et aérospatiale, mais aussi les turbines à gaz, les imprimantes à jet d'encre, le traitement et l'arrosage des terres agricoles, pour n'en citer que quelques-unes). Quel que soit le domaine considéré, l'efficacité de ce processus est intimement liée aux caractéristiques du spray formé et requiert un contrôle optimal de l'écoulement généré.
La fragmentation des jets liquides issus des injecteurs d'automobile (différentiels de pression important, géométries de petites dimensions) dépend de paramètres clairement identifiés : des paramètres liés au régime de fonctionnement (pression d'injection, débit massique et température du liquide injecté, pression de chambre), les propriétés thermo-physiques du liquide, et des paramètres liés à la géométrie interne de l'atomiseur (volume de sac, levée de l'aiguille, qualité de surface, ainsi que l'orientation, le rapport longueur-sur-diamètre des trous de sortie et le nombre et la répartition angulaire de ces trous, etc.). Malgré les distances réduites dont dispose l'écoulement pour se développer, les sauts de pression imposés au fluide au travers de l'atomiseur imposent des vitesses importantes (de l'ordre de 10 – 100 m/s) qui favorisent l'établissement d'une turbulence intense. Les variations de vitesses locales très importantes provoquées par la géométrie interne de l'atomiseur, le caractère fortement non permanent de l'écoulement, les rugosités de parois et les mouvements vibratoires des parois ont pour conséquence la création de zones de cisaillement très important. La chute de pression créée par ces contraintes locales provoque une rupture du continuum liquide par étirement.
En conséquence, la compréhension des phénomènes à l'origine de la déstabilisation des écoulements issus des atomiseurs de faibles dimensions et pilotés par un différentiel de pression important reste à ce jour très parcellaire. Alors qu'il semble faire consensus que la turbulence propre au jet liquide et la cavitation aient un impact favorable sur l'atomisation (pour les applications concernant l'injection à haute pression), leur contribution exacte constitue toujours un verrou théorique. Une modélisation globale de la formation du spray demeure de ce fait hors de portée.

Les très nombreuses études expérimentales visant à améliorer la compréhension des mécanismes de déstabilisation et de rupture des jets liquides issus d'atomiseurs à hautes pressions ont pour la plupart été articulées autour de la caractérisation d'injecteurs d'automobiles. Il en résulte une dispersion évidente des résultats et une relative incapacité à évaluer l'impact relatif des différents paramètres évoqués plus haut influençant l'atomisation, rendant ainsi inenvisageable l'émergence d'une théorie universelle. D'autres études, minoritaires, ont été menées sur des répliques simplifiées d'injecteurs avec des rapports d'échelle généralement supérieurs à 2:1 et opérant en régime stationnaire avec des différentiels de pression fortement réduits par rapport aux applications industrielles. L'apport de ces études sur notre compréhension des mécanismes à l'origine de l'apparition de la cavitation est indéniable.

L'étude que nous proposons repose sur une approche expérimentale et théorique et vise à améliorer notre connaissance de l'ensemble des processus conduisant à la formation des sprays de jets liquides à haute pression issus d'atomiseurs de petites dimensions. Une famille d'atomiseurs transparents sera spécialement conçue pour ce projet. Les géométries retenues permettront d'étudier l'influence du nombre de trous, de leur orientation mais surtout, des longueurs caractéristiques attachées à l'atomiseur (rapport longueur / diamètre des trous,

volume du sac ou hauteur de l'aiguille). En rendant possible la variation de ces longueurs caractéristiques et des sauts de pression imposés, l'impact des contraintes subies par l'écoulement à l'intérieur de l'atomiseur pourra être évalué. De même, la formation et le développement des structures quasi-organisées à grande échelle (principalement dans le sac) seront étudiés. Un soin particulier sera apporté à la conception des injecteurs afin d'obtenir des états de surface et des niveaux de tolérance contrôlés.

Les mesures envisagées couvriront l'ensemble du domaine spatial à travers lequel le spray se développe. Elles reposeront sur des méthodes expérimentales largement éprouvées et maîtrisées par notre équipe. La visualisation de la cavitation à l'intérieur des atomiseurs (extrêmement délicate du fait des temps caractéristiques des phénomènes à capturer et des dimensions caractéristiques) sera réalisée à l'aide d'une caméra rapide à haute résolution. Une étude préalable sur la composition du liquide à injecter sera conduite afin d'obtenir des indices de réfraction du liquide et du matériau constituant l'atomiseur aussi proches que possible, limitant ainsi la déviation de la lumière émise au passage du liquide.

La structure de l'écoulement interne à l'atomiseur ainsi identifiée permettra d'obtenir une meilleure compréhension des mécanismes influençant la déstabilisation du jet liquide immédiatement en sortie de l'injecteur (atomisation primaire). La caractérisation du jet liquide dans cette région sera réalisée à la fois par des visualisations rapides (ombroscopie) et par fluorescence induite par plan laser. L'acquisition des images se fera par une caméra haute résolution équipée d'un zoom. L'ombroscopie offre l'assurance de parfaitement capturer l'interface du spray. La fluorescence induite par plan laser quant à elle permet d'identifier les zones de liquide les plus denses qui sont présentes dans le plan de la nappe laser. Dans les conditions où le jet liquide n'existe plus sous une forme dense et compacte (y compris en proche sortie de l'injecteur, i.e. pour des conditions favorables à la cavitation qui génèrent un déchirement anticipé du cœur liquide à l'intérieur de l'injecteur), cette technique offre la garantie de ne pas identifier les trous (i.e. les absences de liquide) au spray liquide. Elle est donc particulièrement adaptée à la détermination des distributions de fraction volumique de liquide, grandeurs essentielles aux modèles de fragmentation.
Des mesures d'analyses de particules par phase Doppler (PDPA) complèteront cette étude par la détermination des distributions de diamètre de gouttes dans la phase dispersée du spray. Des corrélations seront obtenues entre les évolutions de ces distributions et les instabilités identifiées (pour des régimes faiblement cavitant).

L'ensemble des mesures proposées seront réalisées en disposant les atomiseurs dans une enceinte pressurisée de grande dimension récemment acquise par l'équipe. Cette enceinte permet en particulier de balayer une large gamme de pressions de chambre et ainsi, de faire varier la contribution due aux interactions aérodynamiques.
Le travail de thèse consistera tout d'abord à la mise au point du support expérimental, faisant suite à une étude bibliographique importante qui mettra en exergue les principaux paramètres influents des phénomènes étudiés. Il consistera pour une grande partie du temps en une appropriation des méthodologies avancées et son exploitation. Des échanges scientifiques constants entre modélisateurs et expérimentateurs seront attendus tout au long des 3 années de thèse grâce à la co-direction souhaitée avec l'Ecole Centrale de Lyon.