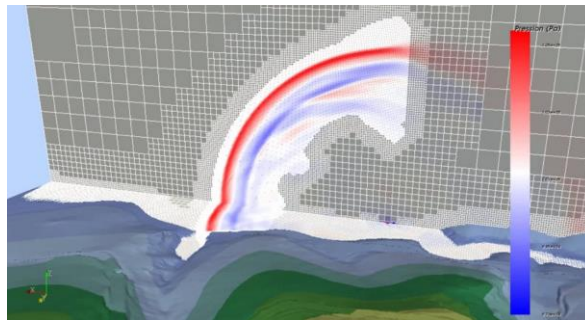


Modélisation et simulation rapide des ondes de souffle

Contexte général :

Lors d'une explosion, la libération soudaine d'une quantité finie d'énergie génère une onde de souffle au pouvoir potentiellement dévastateur, comme tragiquement illustré par les accidents de Beyrouth ou d'AZF. Cette onde mobile est constituée d'un choc suivi d'une zone de détente (phase positive) avant retour progressif à l'équilibre. En interagissant avec les obstacles, le choc est réfléchi, diffracté, voire recombéné, ce qui conduit à un front d'onde de forme complexe, rendant difficile toute estimation *a priori* des effets des explosions hors cas triviaux. Afin de lever ce verrou, le CEA DAM développe depuis plusieurs années deux voies d'expertise. La première est basée sur la simulation numérique instationnaire et tridimensionnelle des équations d'Euler¹. Compte tenu des différentes échelles en jeu, ces simulations nécessitent plusieurs milliards de mailles et sont rendues possibles uniquement grâce aux logiciels et aux supercalculateurs massivement parallèles du CEA-DAM².



Simulation 3D Euler avec raffinement automatique de maillage (AMR) de la propagation d'une onde de souffle sur topographie complexe (<http://www.agence-nationale-recherche.fr/Projet-ANR-12-ASTR-0026>)

La seconde voie, qui est l'objet du présent travail, est basée sur une adaptation d'un modèle simplifié décrivant avec une bonne approximation l'évolution du front de choc incident^{3,4}. Il s'agit d'une variante du modèle Geometrical Shock Dynamics (GSD) de Whitham. Mathématiquement, ce modèle (hyperbolique) est gouverné par deux équations donnant la position et la vitesse locale du choc. La dimension du problème est ainsi réduite (passage du cas Euler 3D/5 équations au 2D/2 équations) et des méthodes numériques rapides de type Fast-Marching^{5,6} ou Lagrangiennes^{7,8} ont pu être mises au

¹ M. Nguyen-Dinh, N. Lardjane, C. Duchenne, O. Gainville, Direct simulations of outdoor blast wave propagation from source to receiver, *Shock Waves*, 2017, 27:593-614. <https://doi.org/10.1007/s00193-017-0711-2>

² <http://www-hpc.cea.fr/fr/complexes/tgcc.htm>

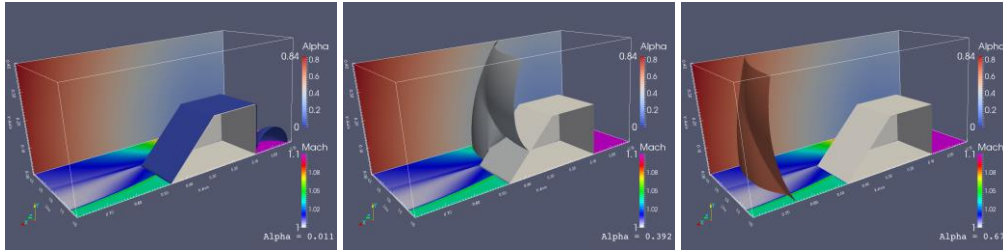
³ J. Ridoux, N. Lardjane, L. Monasse, F. Coulouvrat, Comparison of geometrical shock dynamics and kinematic models for shock-wave propagation, *Shock Waves*, 2018, 28:401-416. <https://doi.org/10.1007/s00193-017-0748-2>

⁴ Ridoux, J., Lardjane, N., Monasse, L. et al. Extension of geometrical shock dynamics for blast wave propagation. *Shock Waves* (2020). <https://doi.org/10.1007/s00193-020-00954-z>

⁵ Y. Noumir, A. Le Guilcher, N. Lardjane, R. Monneau, A. Sarrazin, A fast-marching like algorithm for geometrical shock dynamics, *Journal of Computational Physics*, 2015, 284:206-229, <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2014.12.019>

⁶ N. Peton, N. Lardjane, An immersed boundary method for geometrical shock dynamics, *Journal of Computational Physics*, 2020, vol. 417, <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2020.109573>

point par notre équipe. Cette approche, très prometteuse, est originale par la place centrale qu'elle occuperait dans une chaîne d'aide à la prise de décisions en cas de risque d'explosion notamment.



Exemple de front de choc 3D simulé par la méthode rapide de type Fast-Marching, lors de l'interaction avec une structure géométrique élémentaire

Objectifs du stage :

La finalisation du modèle nécessite des évolutions sur des aspects de modélisation, d'analyse numérique et d'informatique. L'accent sera mis sur ces différents points en fonction du profil du candidat.

D'un point de vue modélisation, le modèle actuel permet de calculer le saut de pression du choc incident mais pas le choc réfléchi. La première étape du travail consistera ainsi à étendre le modèle à la prise en compte de ces ondes réfléchies. La difficulté réside dans le caractère anisotrope de l'équation eikonale, qui met en défaut les méthodes classiques de Fast-Marching. Un algorithme spécifique sera testé, sur la base de travaux initiés au laboratoire. D'un point de vue informatique, le traitement de cas 3D d'envergure nécessite une parallélisation du code, rendue non trivial du fait du principe de causalité utilisé par la méthode de Fast-Marching. Une publication récente sur le sujet⁹ sera étudiée. Le code résultant sera validé par comparaison aux expériences et simulations Euler connues, puis appliqué à des cas de complexité croissante.

Compétences requises :

Ce projet nécessite de bonnes bases en modélisation et mathématiques appliquées. Une connaissance de la mécanique des fluides serait un plus mais n'est pas indispensable. La connaissance d'un langage de programmation scientifique (Fortran, C, ..) est par contre requise. Le candidat devra faire preuve de rigueur et de créativité. Profil M2 ou école d'ingénieur.

Lieu de travail :

CEA, Département Analyse Surveillance Environnement, Bruyères-le-Châtel (91). Prévoir un délai d'un mois pour les procédures d'habilitation du CEA.

Contact : nicolas.lardjane@cea.fr

Poursuite en thèse : non

⁷ J. Ridoux, Contribution au développement d'une méthode de calcul rapide de propagation des ondes de souffle en présence d'obstacles, thèse de doctorat, 2017, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01760049>

⁸ J. Ridoux, N. Lardjane, L. Monasse, F. Coulouvrat, Beyond the limitation of geometrical shock dynamics for diffraction over wedges, Shock Waves, 2019, 29:833–855, <https://doi.org/10.1007/s00193-018-00885-w>

⁹ J. Yang, F. Stern, A highly scalable massively parallel fast marching method for the Eikonal equation, Journal of Computational Physics, 2017, 332:333-362, <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2016.12.012>