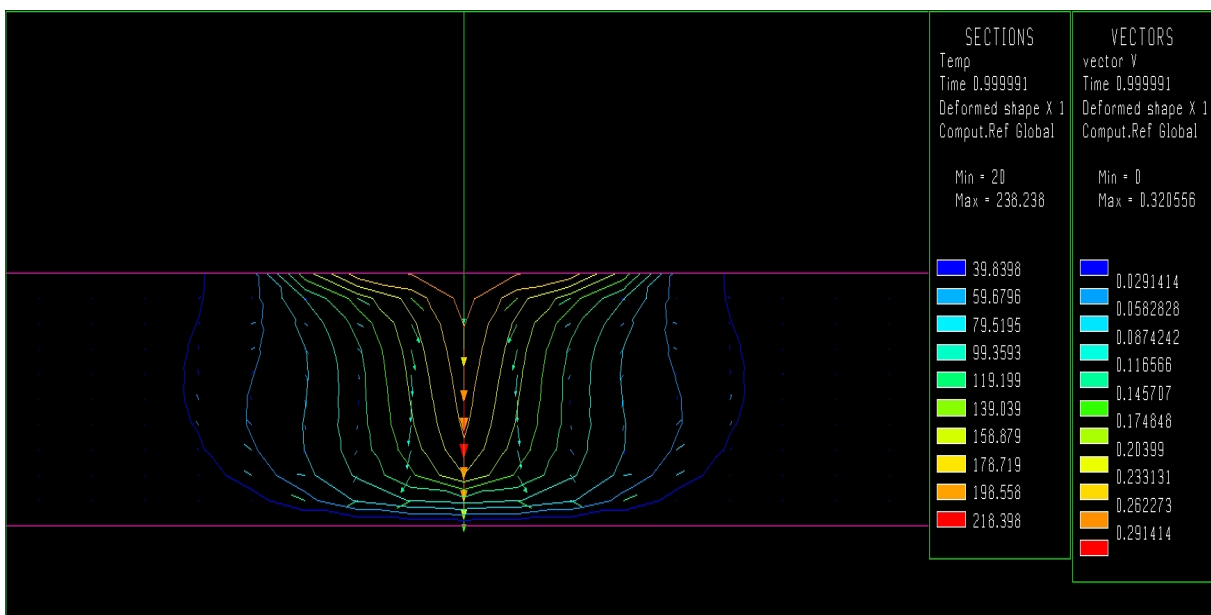
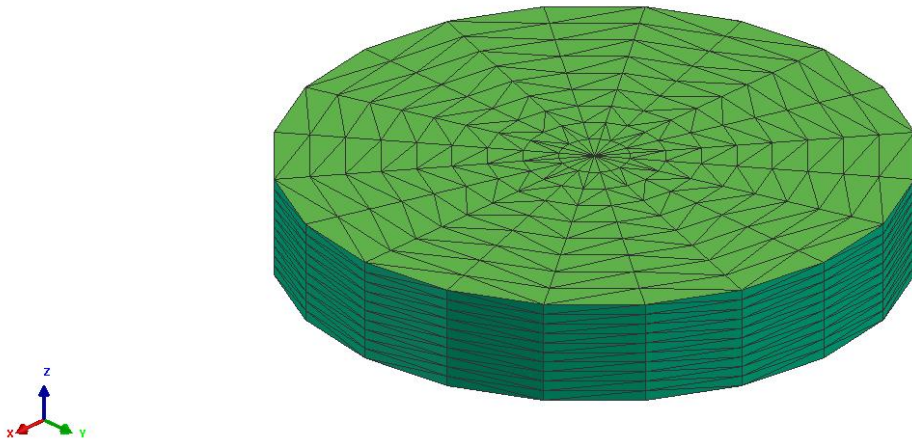




approche dite ALE (Arbitrary Lagrangian-Eulerian approach) dans laquelle les nœuds du maillage « suivent » le mouvement de la partie solide mais pas celui de la partie fluide. Ainsi la formulation mise en œuvre numériquement est de type lagrangien dans le solide, mais eulérien (avec vitesse arbitraire des nœuds) dans le fluide. Ceci permet de bien représenter les mouvements du bord (solide) de la structure, tout en évitant une représentation lagrangienne des mouvements du fluide qui, étant donné l'importance de ces mouvements, nécessiterait des remaillages incessants et en pratique irréalisables.

Les premiers travaux, effectués dans le cadre des thèses successives de Thomas Heuzé et Hussein Amin El Sayed, ont permis de dégrossir le problème, de mettre en place de premiers outils et d'effectuer quelques calculs simples. Les figures ci-dessous illustrent ainsi une simulation d'écoulement fluide dans un disque dont la partie centrale supérieure est chauffée jusqu'à fusion. La première figure représente le maillage 3D et la seconde le champ de vitesse dans la partie fluide à un certain instant, superposé aux isothermes. Le mouvement du fluide est créé par le gradient de tension superficielle qui règne sur la surface supérieure, dû au gradient de température (effet dit « Marangoni »).



Il reste cependant un travail considérable à effectuer, tant sur les outils numériques que sur les applications, actuellement limitées à de simples calculs de validation. On peut dégager trois axes principaux de développement.

Le premier concernera les problèmes de maillage. Les premières simulations effectuées, ainsi que les travaux précédents d'autres auteurs, ont montré que le maillage requis, relativement grossier dans la partie solide, la plus étendue, devient très fin dans la partie fluide du fait de la petitesse des échelles mises en jeu. Mais il est très difficile de « passer » très rapidement d'un maillage très fin dans une partie de la structure à un maillage beaucoup à plus grossier dans la partie complémentaire, et ceci d'autant plus que la frontière entre ces deux parties (l'interface fluide-solide) se déplace au cours du temps. Il en résulte, dans une approche classique où un seul maillage est utilisé pour l'ensemble de la structure, des maillages déraisonnablement importants ne permettant pas de réaliser les simulations.

On propose de développer une approche innovatrice dans laquelle les maillages des parties fluide et solide seront distincts, le premier étant beaucoup plus fin. Les maillages présenteront une intersection volumique, mais sans coïncidence des nœuds de l'un et de l'autre. On effectuera un calcul unique sur les deux maillages à la fois, en imposant aux nœuds du maillage fin de la partie commune d'être liés, par des relations cinématiques convenables, aux nœuds du maillage grossier de cette même partie. On espère ainsi obtenir des maillages adaptés à chacune des parties tout en évitant un raccord progressif de ces maillages, très gourmand en nombre de nœuds.

Un deuxième axe de développement concernera la modélisation de la surface libre de la partie fluide. La modélisation de cette surface libre exige la prise en compte de la tension de surface, qui engendre d'une part une force normale via le tenseur de courbure de la surface, d'autre part une force tangentielle par effet Marangoni. Une approche innovante a été développée pour la prise en compte simultanée de ces deux effets. Cependant, malgré de premiers résultats prometteurs, il est probable que cette approche ne résoudra pas tous les problèmes et en particulier les difficultés de convergence de l'algorithme itératif. Pour l'instant, en présence de l'effet Marangoni, la convergence n'a été obtenue que dans des problèmes où la surface théoriquement libre ne l'est pas en réalité, son déplacement normal étant bloqué. Des développements seront nécessaires pour régler ces difficultés. Ces développements pourront comprendre, par exemple, un « découplage numérique » des mouvements normal et tangentiel de la surface libre, consistant à calculer le mouvement du fluide en imposant le champ de vitesse normale de la surface, ce champ étant lui-même déterminé par des itérations de niveau supérieur visant à annuler les forces de réaction nodales engendrées par les liaisons ainsi abusivement introduites.

Un troisième axe de développement concernera les méthodes de résolution en vue de la bonne convergence de l'algorithme. La présence simultanée de zones fluide et solide, avec des caractéristiques mécaniques très différentes, entraîne des efforts intérieurs d'ordres de grandeur très différents dans ces deux zones, compliquant la définition du « bon test » de respect des équations de la dynamique, qu'il conviendra donc de mieux cerner. De plus la méthode de Newton permettant de résoudre les équations non-linéaires du problème requiert, pour une bonne convergence, une matrice tangente consistante dans la partie fluide, mais plutôt une méthode BFGS dans la partie solide. Pour l'instant le problème posé par l'incompatibilité de ces méthodes ne s'est pas posé, les problèmes simples résolus jusqu'à présent s'accommodant du choix exclusif de l'une au détriment de l'autre. Pour les problèmes

plus complexes qu'on envisage de traiter, ce choix exclusif ne sera plus possible et il deviendra probablement nécessaire de combiner les méthodes. L'utilisation d'algorithmes différents pour les parties fluide et solide devrait être facilitée par leurs discrétisations spatiales distinctes, évoquées dans le premier axe de développement ci-dessus.