

CHAPITRE 1

1.1 INTRODUCTION

La simulation numérique des écoulements et du transfert de chaleur et de masse est devenue un outil indispensable et privilégié dans plusieurs disciplines telles que l'aéronautique, les turbomachines et l'industrie automobile. La simulation numérique est surtout utilisée pour tester et départager les avants projet. Les projets retenus seront impérativement vérifiés expérimentalement en soufflerie.

1.2 Les avantages de la simulation numérique

1. La simulation numérique permet la réduction du temps de la conception (design) et du développement d'un projet donné. La conduite d'une étude expérimentale en soufflerie passe par la conception d'un modèle qui consomme énormément de temps et d'argent, alors qu'en simulation numérique on peut rapidement, facilement et pour un moindre coût tester plusieurs configurations géométriques, un large éventail de nombre de Reynolds, de nombre de Mach,..etc. La seule limite étant la capacité du chercheur à analyser le flux énorme de données issues du calcul.
2. On peut aussi tester un large éventail de conditions très difficiles, voir impossible à réaliser expérimentalement tel que certains problèmes de combustion, le cas des très hautes températures et certaines catégories d'écoulements non stationnaires.
3. Alors que lors d'une étude expérimentale il est très difficile de mesurer un champ global de pression ou de température, en simulation numérique l'obtention de toutes les variables dans la totalité du domaine de calcul est réalisé avec un minimum d'efforts.
4. L'avancement spectaculaire de l'informatique a fait que les calculateurs deviennent de plus en plus performants en vitesse de calcul et capacité de stockage des données sans oublier que les prix de telles machines sont en baisse constante. Par contre du côté expérimental les équipements nécessaires deviennent de plus en plus compliquées et coûteux. En conclusion la conduite d'une étude numérique devient de plus en plus économique est abordable contrairement aux études expérimentales.
5. L'investigation numérique est de moine en moins consommatrice d'énergie puisque les calculateurs deviennent de plus en plus rapide et les méthodes de calcul plus élaborées et efficaces. La disponibilité des machines multi processeurs et de type vectoriel ne fait que

réduire les temps nécessaires à la simulation des processus de plus en plus complexe. Le développement de telles machines a permis d'utiliser des méthodes plus précises et gourmandes en capacité mémoire telle que la simulation directe (DNS, Direct Numerical Simulation) pour le traitement de la turbulence.

1.3 Quelques domaines d'application

- Aviation : Aérodynamique des profils d'ailes utilisés dans l'aviation (portance et traîné).
- Industrie naval : Hydrodynamique de coques et engin submersible.
- Production de l'énergie : Combustion, moteurs à C.I et turbines à gaz (perte de charges...).
- Turbomachines :
- Refroidissement des équipements électriques : machines tournantes et circuits électroniques.
- Génie - chimique : mélange, séparation, polymères ...etc.
- Environnement : Dispersion des polluants (air et mer)
- Architecture et sécurité : Climatisation, ventilation, vent...etc.
- Génie - civil : Grand ouvrage, pont, tunnel, ...etc.
- Océanographie : fleuve, océans,...etc.
- Bio - médical : prothèses, écoulement du sang dans le veines et artères...etc.
- Industrie automobile : optimisation du design, climatisation...etc.
- Balistique : Aérodynamique des projectiles (missile)
- Les jets industriels : Injecteurs, refroidissement par film, chambre de combustion, cheminées

1.4 Définition :

C'est l'obtention d'informations qualitatives et quantitatives sur des processus tels que l'écoulement d'un fluide ou le transfert de chaleur et les réactions chimiques. Pour cela on utilise d'un coté :

- Des calculateurs électroniques (PC's, stations de calcul ou super computer vectoriel) et d'un autre coté des disciplines tels que :
- les mathématiques

- l'informatique
- la physique du problème étudié La qualité des résultats obtenus dépend essentiellement du :
- Niveau de complexité du problème étudié.
- Des logiciels utilisés (pre-processing, simulation et post-processing)
- De la machine de calcul disponible (capacité de stockage, mémoire vif et fréquence de l'horloge du processeur)
- Du savoir faire de l'utilisateur (maîtrise et spécialisation dans le domaine étudié et expérience dans le domaine de la simulation numérique).

1.5 Vue générale sur la méthodologie d'une simulation numérique

L'étude scientifique d'un phénomène physique passe par la formulation d'une ou plusieurs lois sous forme d'équation mathématique reliant les différentes variables intervenant dans le déroulement du phénomène en question comme par exemple les composantes de la vitesse, la pression et leurs dérivées. A titre d'exemple nous pouvons citer l'équation de continuité qui traduit le principe de conservation de masse, les équations de Naviers Stokes qui traduisent le principe de conservation de la quantité de mouvement et l'équation de l'énergie qui représente le principe de conservation de l'énergie. Ces équations sont généralement aux différences partielles, couplées et non linéaires. La description d'un problème donné passe aussi par la définition d'un certain nombre de conditions aux frontières et si le processus est non stationnaire par des conditions initiales. Mathématiquement parlant, un problème bien posé comporte autant d'équations que de variables indépendantes. Ce système d'équations ne peut pas être résolu directement par un ordinateur pour la simple raison que ce dernier ne peut pas manipuler directement des dérivées partielles. Un ordinateur ne peut manipuler que des 0 et des 1 suivant un système dit binaire. L'ordinateur peut stoker additionner soustraire et pratiquer des opérations assez simples sur des nombres. Il faut donc transformer ces équations aux dérivées partielles en un certain nombre d'équations algébriques. C'est le rôle que doit jouer les méthodes numériques pour permettre la résolution d'un problème donné. On compte après sur les grandes capacités de stockage et de calcul de l'ordinateur pour nous retourner une solution exploitable.

La première étape consiste à générer une grille de calcul enveloppant tout le domaine à étudier en espace et en temps. La nature de la grille de calcul dépend de la nature de la méthode numérique utilisée. Actuellement on a le choix entre trois méthodes numériques différentes : la méthode aux différences finis, la méthode aux volumes finis et la méthode aux éléments finis. L'étape suivante consiste à transformer le système des équations aux dérivées partielles en un système d'équations algébriques via une discretisation ou une intégration suivant la méthode utilisée.

Le système des équations algébriques est ensuite résolu par une des méthodes tel que la méthode de Gauss pour les méthodes directes ou la méthode de Gauss Seidel pour les méthodes indirectes. Les équations non linéaires sont généralement résolues par un algorithme itératif, où les différents coefficients de non linéarité sont calculés à partir des informations de l'itération précédente. Les calculs seront répétés jusqu'à convergence du processus. Toutes les méthodes numériques introduisent un certain nombre d'erreurs de troncature et d'arrondis qu'il faut savoir estimer et maîtriser. Les équations du modèle physique et les simplifications apportées sont eux aussi générateurs d'erreurs et responsables des limites des méthodes numériques à prédire fidèlement un processus physique donné. La prise en considération des remarques précédentes est indispensable dans la phase finale qui est la présentation des résultats sous forme de courbes, vecteurs de vitesse et contours et leurs interprétations.

1.6 Conduction d'une simulation numérique

Pré processing

Préparation des données du problème (géométrie du domaine de calcul, génération du maillage de discrétisation, définition des phénomènes physiques et chimique du processus, détermination des propriétés du fluide, spécification des conditions aux limites)

Simulation proprement dite

Différences finis, Eléments finis, volumes finis, méthodes spectrales

Post processing

Visualisation du domaine de calcul et du maillage, tracé des vecteurs de vitesse et des lignes de courant, contours, extractions de surfaces bien définies, manipulation des graphes (translation, rotation, et re-dimensionnement), exportation des figures sous format Windows Meta Files (wmf) et pst script (ps).