

# Conclusion

On aura compris au long de ce cours l'importance de bien analyser les équations et de comprendre l'importance de chaque terme. Cette compréhension des équations et de leurs effets prépondérants est fondamentale pour bien analyser les résultats numériques qui vont sortir des amas de clusters d'ordinateurs (le cours présente quelques exemples utilisant des logiciels libres comme `FreeFem++` et `Gerris`).

C'est pour cela que nous avons d'abord présenté "toutes les équations" en insistant sur leur construction qui doit vérifier les principes de la Thermodynamique (des processus irréversibles, la T.P.I.) dans le (premier chapitre).

Puis, nous avons abordé rapidement la conduction stationnaire simple dans un milieu au repos dans le deuxième chapitre. Nous avons ainsi écrit l'équation de la chaleur la plus simple lorsque seule la conduction est présente :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c_p} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right).$$

Mais nous avons vu que la résolution de cette équation est fortement dominée par les conditions aux limites à la paroi où la température est notée  $T_w$ . Ces conditions peuvent être de trois sortes : soit la température est imposée, soit le flux est imposé, soit une combinaison des deux. C'est en fait cette dernière condition qui est la plus générale :

$$k \left( \frac{\partial T}{\partial n} \right)_w \underline{n} + h(T_w - T_f) \underline{n} = 0.$$

Elle fait apparaître le coefficient d'échange  $h$  qui traduit une modélisation simplifiée de tout l'extérieur du domaine considéré.

Les deux chapitres suivants sont consacrés à l'estimation de ce facteur  $h$  dans le cas de la convection forcée (l'objet est placé dans un écoulement qui le refroidit ou le réchauffe), en interne ou en externe et dans le cas de la convection libre ou naturelle (l'objet en changeant de température va mettre en mouvement le fluide légèrement dilatable). Il est plusieurs fois rappelé que l'équation de la chaleur s'écrit avec la dérivée totale et qu'elle contient éventuellement des termes sources supplémentaires.

Le chapitre suivant porte sur les modifications apportées lorsque l'écoulement est turbulent. La structure de la couche limite est particulière avec sa couche logarithmique, mais les idées utilisées sont issues de celles présentées jusque là.

Le chapitre méthodes intégrales porte sur une méthode approchée mais utile et liée aux équations de Saint Venant. Enfin, le dernier chapitre porte sur le transfert de masse en introduisant la loi de Fick

(dans le cadre toujours de la TPI). Les similitudes entre l'équation de la diffusion de la concentration et de la chaleur sont rappelées.

Les Petites Classes permettent de manipuler les équations (mise sans dimension, simplification) et de terminer des calculs à la main (les solutions sont souvent autosemblables), toutes les hypothèses semblent tirées dans ce sens. Mais, cette démarche n'est pas du tout réductrice, car localement, dans n'importe quel problème pratique, on peut toujours se ramener à des configurations classiques. Par ailleurs, les solutions semblables apparaissent souvent (ce que l'on désigne par *intermediate asymptotics*). C'est d'ailleurs tout l'intérêt de cette démarche.

Les "Pales" sont des exemples souvent issus de la littérature scientifique et mettent en oeuvre l'adimensionnement et les simplifications asymptotiques. Elles sont inspirées à la fois de problèmes industriels (Epitaxie pour les semi conducteurs, fabrication du verre fondu, tour solaire, pot d'échappement d'un véhicule...) ou de problèmes environnementaux (magma, vent catabatique...).

Pour aller plus loin, il faut aussi considérer les cas où l'écoulement est fortement compressible (dynamique des gaz). En effet l'incompressibilité permet de découpler les équations de la dynamique et de la thermique dans le cas de la convection forcée : ce n'est qu'une première approximation. Mais, surtout, il faut considérer le rayonnement ce qui n'est pas fait dans ce cours mais peut être très important dans certaines configurations.

Il est bon d'insister une dernière fois sur cette compréhension des équations et sur l'esprit critique qu'il faudra développer, sur les simplifications de type "système mince" qu'il faudra toujours effectuer pour vérifier les ordres de grandeur. Par ailleurs il est bon de continuer à faire des essais sur des maquettes simplifiées pour voir si tout est cohérent. Cette approche simplificatrice est à toujours garder à l'esprit. Elle a permis toutes les grandes réalisations thermiques humaines (navigation, conquête automobile, du ciel, de l'espace, centrales nucléaires *etc*), et servira pour les prochains défis d'économies d'énergie, de production d'énergie avec de nouvelles sources et d'optimisation de consommation de tous les dispositifs de conversion d'énergie. C'est à vous maintenant, avec tous ces outils d'analyse, ces outils numériques et votre intelligence et votre sens critique de relever ces défis.