

# LA TURBULENCE

Marcel LESIEUR

## Notes de lecture

par Philippe PASQUET, SAMTECH France

Quel est le point commun entre un voyage agité en avion, les volutes nocives de la fumée d'une cigarette, le mouvement des plaques continentales, l'écoulement des eaux tumultueuses d'un torrent, l'apparition soudaine d'un cyclone, la circulation sanguine, ... et bien d'autres phénomènes naturels ou artificiels ? Avant d'en dévoiler le nom, on peut ajouter qu'il est à l'origine de somptueuses images issues de la nature, d'expériences ou de simulations numériques.

Dans ce domaine, d'ailleurs, le phénomène dont il est question semble l'un des plus difficiles à reproduire (opinion qui évoluera au fil de la lecture) et pourtant, son étude contribue largement à la compréhension du monde qui nous entoure. **La turbulence** – puisque c'est d'elle qu'il s'agit – est le titre de l'ouvrage de Marcel Lesieur, professeur à l'INPG, paru en 1994 aux Presses Universitaires de Grenoble.

L'auteur a choisi de nous faire découvrir (ou de nous expliquer) la turbulence à partir de nombreux exemples dont nous avons extrait quelques spécimens pour notre devinette liminaire. En ce sens, son ouvrage pourrait d'emblée être considéré comme un (excellent) livre de vulgarisation. Mais le sujet traité nécessite un pré-requis conséquent car, avant de comprendre la turbulence, il faut assimiler et maîtriser des sujets aussi ardues et fondamentaux que la mécanique des fluides et les instabilités.

Ces deux composantes font, en conséquence, l'objet de deux chapitres importants. Nous choisirons de nous attarder sur eux, quitte à laisser certains thèmes sur le bord du chemin. Les fluides sont définis dans la perspective de la turbulence, ce qui met aussitôt en avant l'importance de la viscosité. Plus le fluide est visqueux, plus difficile sera l'écoulement turbulent. Le mouvement d'un fluide est, on le sait, régi par : une équation de continuité (on dit conservation de la masse) reliant la masse volumique et la vitesse ; une équation de la conservation de la quantité de mouvement (ou équation de Navier-Stokes : l'auteur rappelle qu'il aurait été plus juste de la nommer Euler-d'Alembert) où l'on introduit la pression ; enfin, une troisième équation reliant l'entropie et la température, qui achève la fermeture du système.

Ce rapide parcours en mécanique des fluides est aussi une agréable promenade dans l'histoire des sciences qui nous conduit naturellement aux travaux et au nombre de Reynolds. C'est en étudiant un écoulement de Poiseuille que Reynolds met en évidence une valeur critique du nombre qui porte maintenant son nom. Au-dessus de 2000, il constate l'apparition de tourbillons et d'effets non linéaires. Notons au passage que la valeur 2000 n'est pas une constante universelle mais ce seuil dépend du type d'écoulement et de nombreux autres facteurs.

Le chapitre suivant décrit les instabilités qui sont parmi les facteurs déclenchants de la turbulence au même titre que la vorticité – dont la définition en France est un peu différente (  un facteur près) de celle usitée dans les pays anglo-saxons – en est le "germe". Les instabilités les plus célèbres, même aux yeux des b otiens, sont certainement les spirales de Kelvin-Helmholtz qui peuvent se produire quel que soit le nombre de Reynolds. L'auteur en explique

parfaitement le mécanisme qui transforme une nappe tourbillonnaire en tourbillons spiraux. Il fournit même de nombreux exemples naturels qui nous transportent de l'estuaire d'un fleuve à un célèbre tableau de Van Gogh. Un autre type d'instabilités, non moins renommé mais souvent plus difficile à expliquer, sont les allées de Von Karman : elles apparaissent dans un écoulement en aval d'un obstacle. On pense tout de suite aux piles d'un pont ou aux gratte-ciel et tout le monde a en mémoire (ou a vu des images de) l'effondrement du pont de Tacoma où "les oscillations induites par le sillage des piliers entrent en résonance avec les oscillations propres de la structure".

Avec ces deux types d'instabilités, on reste en présence d'instabilités planes (faciles à étudier ?). L'auteur nous dévoile aussi les tourbillons longitudinaux dits "en épingle à cheveux", parallèles à la direction de l'écoulement. Et la promenade en histoire des sciences continue : nombre (relié à la convection) et critère de Rayleigh ; nombre de Strouhal ; nombre de Richardson (relié aux ondes de relief).

Le chapitre suivant développe différentes théories de la turbulence. On est dans le cœur du sujet que Marcel Lesieur a abordé dès sa thèse d'état consacrée à ce thème. Pourtant, nous allons – non sans conseiller au lecteur de s'attarder sur ces quarante pages essentielles – nous intéresser au chapitre intitulé *Modélisation et simulation numériques*. Nous laissons au passage le lecteur s'interroger sur la subtile nuance de l'enchaînement de deux singuliers et d'un pluriel, tant il est particulièrement enrichissant, pour un mécanicien des structures, de lire les questions que se pose à ces sujets un mécanicien des fluides.

La première d'entre elles est bien en amont de ces spécialités : l'équation que je vais résoudre représente-t-elle le phénomène que je veux mettre en évidence ? Par exemple, quel est le domaine de validité de l'équation de Navier-Stokes (réponse : pour les nombres de Mach  $M$  inférieurs à 15). Le fait qu'on ne sache pas la résoudre si  $M$  est supérieur à 8 n'entame pas sa validité. Une partie du chapitre est consacrée à l'époque BC (*Before Computer*) où il était quasi impossible de résoudre Navier-Stokes et où l'on ne disposait que des travaux de Reynolds et Boussinesq. Puis sont abordés les modèles de turbulence : longueur de mélange,  $K-\epsilon$ , spectraux. Le premier, plus simple, permet de résoudre l'équation de Reynolds sans violer la physique ; le deuxième, très économique, est fiable si l'on sait bien évaluer les constantes du modèle ; les troisièmes facilitent la compréhension de certains comportements mais n'ont pas encore de réelles applications industrielles. Il en est de même pour les modèles au second ordre (cette situation décrite en 1994 a largement évolué).

Dans la partie titrée *Les grands enjeux du calcul scientifique*, l'auteur nous présente une vue idyllique de la simulation numérique où les outils modernes permettent de dissiper le brouillard et de faire enfin (sic) de la mécanique des fluides. Mais songeons aux nombreux problèmes que rencontrent les calculateurs en milieu industriel : formation, utilisation de l'outil, validation des modèles, recherche des données, ... S'il est heureux que, grâce aux découvertes du milieu académique, l'on puisse avoir une meilleure compréhension des phénomènes, ainsi qu'une plus grande confiance dans les modèles et donc dans les résultats, le chemin est encore long ... L'auteur soulève en particulier, et à juste titre, le passage du macro au micro, qui est l'un des plus difficiles et pourtant parmi les plus courants. De même, les lignes consacrées aux matériels peuvent paraître désuètes si l'on visite certaines "souffleries numériques", mais elles sont peut-être à peine d'actualité dans le milieu industriel, par nature plus perméable aux arguments purement commerciaux.

Un chapitre important est consacré aux turbulences aérodynamiques. Souvenons-nous que 1994 signe l'abandon du projet Hermès qui avait stimulé de nombreuses équipes de chercheurs. Dans le domaine de ce qui vole, flotte, roule, ou glisse, la turbulence est l'ennemi numéro un de l'aérodynamicien. Elle augmente les forces de traînée et donc, diminue le rendement. Il s'agit d'un problème de contrôle (suppression, modification, diminution, voire augmentation) de la turbulence : les solutions doivent être validées et procurer une économie prenant en compte les

coûts d'entretien et d'installation. Ces considérations nous conduisent vers une explication des phénomènes qui nous entourent et à une réflexion sur les rapports entre la turbulence et d'autres sciences exactes ou humaines, thèmes dont traitent les deux derniers chapitres.

Pour décrire la turbulence, Marcel Lesieur s'est appuyé sur de nombreux exemples familiers, fruit d'une expérience de plus de vingt ans. Les équations ou les parties très techniques sont reportées en note, ce qui permet d'alléger le récit (mais déroute parfois car cela ne laisse pas beaucoup de place pour les démonstrations). Les lecteurs professionnellement intéressés par ce phénomène désordonné, aléatoire et chaotique, pourront se diriger vers d'autres ouvrages plus spécialisés<sup>1</sup>.

Ce parti pris en fait aussi un ouvrage très agréable à lire : Marcel Lesieur est un véritable écrivain sachant développer une idée et l'enrichir d'anecdotes. Nous disposons ainsi d'une introduction tout à fait recommandable, qui pourrait également être considérée comme une base nécessaire pour tout ingénieur, même non spécialiste : l'effet Magnus, les ondes de chocs, la formation des tornades ne sont-ils pas des sujets de culture générale ?

Mais, au terme de notre lecture, nous n'irons pas jusqu'à dire avec l'auteur que "la turbulence est beaucoup plus simple qu'on ne l'imaginait".

---

<sup>1</sup> Dont : Turbulence in fluids, Marcel Lesieur, Kluwer, 3<sup>ème</sup> édition, 1997