

1

Introduction

*L'homme est la première créature - et peut-être
la seule - à mettre le bordel dans la création.*

*Jean d'Ormesson
de l'Académie française*

Juin 2010 : le président des États-Unis d'Amérique laisse éclater un sentiment de rage suite à une marée noire catastrophique dans le Golfe du Mexique, provoquée semble-t-il par la défaillance d'une soupape de sécurité laissant, au fond de l'océan Atlantique, un trou béant rebouché avec difficultés.

Y aurait-t'il seulement une défaillance ? Ou un phénomène plus profond caché dans les écoulements ?

On vient à peine de commencer ce livre qu'il y a déjà deux hommes en colère : un président et un académicien. Étant moi-même sur la liste depuis un petit moment déjà, on est donc au moins quatre, car j'y ajoute d'office le lecteur qui ne pourra qu'être persuadé par mon propos, donc irrité.

Un élément universel : l'évasement brusque

Un fluide s'écoule avec un débit donné et avec une certaine vitesse par un orifice, il détient donc de l'énergie cinétique. On parlera aussi de la puissance motrice contenue dans l'écoulement, puissance qui peut être soit utilisée en partie¹, soit totalement dissipée. Prenons l'exemple d'un jet à l'échappement d'un robinet. Son énergie est dissipée dans l'atmosphère. Si ce jet est maintenant confiné par des ouvrages disposés en aval, des difficultés peuvent apparaître ; on les connaît encore mal.

La science, de nos jours, contient encore de grandes zones d'ombre.

¹On exclut de ce livre le cas où cette puissance est transférée sur l'arbre d'une turbine pour produire de l'énergie mécanique. Ce sujet est abondamment traité dans les ouvrages de turbomachines, dont certains sont cités dans la bibliographie.

Quand la puissance motrice qui se dissipe est de quelques watts, sifflons! Mais dans les installations où cette puissance atteint des centaines de kilowatts ou beaucoup plus, on devrait pour le moins se poser quelques questions. Car cette puissance motrice non récupérée va se dissiper à l'aval de l'orifice par frottements et par phénomènes aérodynamiques divers et variés, mais aussi en excitant les structures, en les fragilisant et parfois en les détruisant.

Des solutions sédatives existent depuis peu, sont-elles appliquées est une autre histoire. Le leitmotiv du livre, vu et revu sous diverses formes sera de traquer cette puissance motrice pour la détruire avant qu'elle n'endommage les structures. On ne peut pas être plus clair.

Voici le problème posé succinctement. Immédiatement il peut être généralisé à tous les orifices ou robinets qui permettent de favoriser, de limiter ou d'arrêter l'écoulement d'un fluide. On parlera aussi d'évasement brusque.

L'homme a construit des machines performantes, en utilisant les principes de base pour les améliorer. Toute machine est associée à un orifice. C'est la tuyère d'un turboréacteur ou la soupape de régulation d'une centrale thermique classique, solaire ou nucléaire par exemple. Dans ces derniers dispositifs, l'écoulement apparaît relativement capricieux, c'est pourquoi on va ici inventer une nouvelle forme de trou pour protéger les hommes et leurs installations qui peuvent s'avérer douteuses. Les applications sont assez générales pour qu'il n'y ait pas à les particulariser à tel ou tel autre équipement. Au contraire, on va traiter ici de l'universalité de l'évasement brusque.

Il y a lieu de prévenir le lecteur, dès ces premières lignes, qu'il y a de la chienlit dans les trous, et même du bordel comme on dit à juste titre à l'Académie. Si elle abandonnait ce mot, on ne pourrait plus travailler. Pour rester en deçà, on parlera de désordre dorénavant, de désordre à l'échappement d'orifices traversés par un écoulement de gaz. Dans ce livre, j'inviterai le lecteur à fabriquer peu à peu avec moi un désordre qui paraîtra d'abord épouvantable, mais qui finira par s'avérer nécessaire pour éviter des catastrophes. La partie de physique que l'on va s'efforcer de décrire est à bien des égards nouvelle et à ce titre a fait l'objet de nombreux brevets industriels, déposés par mes soins, il y a de cela vingt-cinq ans, propriétés de très grandes entreprises françaises. Ils sont désormais tombés dans le domaine public et je peux donc en parler maintenant tout à loisir.

Organisation du désordre

Au-delà de tous mes doutes, j'ai acquis une certitude confortée par l'expérience : il faut absolument organiser le désordre. Créer du désordre, on sait faire, l'apprivoiser est une autre histoire, nouvelle. Ce faisant, on ne fait qu'accompagner la nature dans sa lente marche complexe de retour à l'équilibre après le Big Bang, en accroissant légèrement, mais de si peu, le rythme de son irrémédiable progression vers le Big Crunch. Dans quelques milliards d'années.

L'homme a la vertueuse, mais parfois fâcheuse manie de s'obstiner à vouloir mettre de l'ordre partout. Le hic, c'est que c'est le désordre qui règne en maître et c'est même vers le désordre généralisé vers quoi on tend, semble-t-il.

Pourquoi ce livre ?

Il m'a fallu beaucoup de temps, beaucoup d'interrogations, pour écrire ce document qui n'est pas un roman. C'est une idée couchée sur le papier, mais aussi un cri. Pas le hurlement d'un affolé, même s'il y aurait de quoi l'être, mais une clameur d'espoir d'un brailleur dans le désert. Un des principaux buts de ce livre est d'éclairer un morceau de physique, resté dans la pénombre, a priori par inadvertance. Il pourrait être surtout de nature à apaiser les ingénieurs et techniciens confrontés au fonctionnement hagard de certains de leurs matériels. On va donc faire un point de situation sur un sujet qui m'a occupé longtemps, qui n'a pas trop attiré l'attention de mes contemporains. Bref, on n'a pas compris ma démarche et il faut donc que je m'explique à nouveau et le plus clairement possible.

On restera ébahi de constater qu'un pan entier de la science, sous nos yeux, tous les jours, est resté inexploré. On crée des mouvements désordonnés puis on les laisse se débrouiller lors de leur retour au repos, en les admirant, sans rien tenter pour en atténuer les effets néfastes. Le chaos s'installe, on l'observe, on s'extasie, on disserte dessus, et rien, personne ne s'en émeut. Stupéfiant ! Au fou !

Ce livre va faire état d'éléments nouveaux, lesquels regroupés avec les principes universellement connus en physique, forment un tout. Il est susceptible d'intéresser les bureaux d'études par certains aspects, mais aussi beaucoup d'autres pans des activités humaines.

Ce texte n'est donc pas un livre de plus, mais un complément à ceux existants. Il manquait cette pierre à l'édifice des connaissances construit patiemment, très souvent dans la douleur. Ici, pour consolider l'ouvrage collectif, on rajoute modestement ce petit caillou. Du passé, faisons table rase nous apprend l'éternel Descartes. Chaque génération doit tout repenser, c'est la vie ! Même si le socle des savoirs est consistant, il faut bousculer, remettre en cause, sans cesse, ici, ailleurs et tout le temps et finalement reconstruire sur ce socle un édifice encore plus harmonieux. Rien n'est permanent. Il serait ridicule de faire aujourd'hui les mêmes enseignements qu'il y a trois siècles. Des messages que nous ont laissés les anciens, il faut essayer d'en tirer la quintessence ; on tentera de le faire avec toute la modestie qu'il convient lorsqu'on reprend les travaux des esprits les plus brillants de l'humanité.

Deux mondes intimement entrelacés s'affrontent

Ce livre a failli aussi s'intituler : Contribution à la compréhension du MicMac. Selon sa définition, le micmac concerne des agissements compliqués, suspects. Cela tombe bien, on va évoquer ici deux mondes intimement entremêlés, interagissants. Ils sont sources d'interrogations, de perturbations et de doutes.

- L'un microscopique composé d'éléments infiniment petits en nombre gigantesque, appelons-le Mic.
- L'autre macroscopique, qui englobe le précédent en prétendant souvent lui imposer ses lois, c'est le Mac.

Il s'ensuit un désordre qui peut prendre une grande ampleur ou un calme apparent ou encore d'autres formes s'épanouissant sous nos yeux. Le MicMac, dont il est question ici vise à apporter un élément de réflexion supplémentaire dans la compréhension collective des choses qui nous entourent.

Les causes et leurs effets

Tout phénomène a une cause, et, dans les mêmes conditions, les mêmes causes produisent les mêmes effets. Ce principe scientifique et philosophique, dû à Platon débouche sur une vision déterministe de l'Univers. Les effets sont proportionnels aux causes disent les déterministes. Quand les phénomènes deviennent enchevêtrés, trop

compliqués, il n'est pas toujours évident de retrouver les causes provocatrices, et les lois reliant les causes et les effets sont alors délicates à établir. Lorsqu'il existe une multitude de causes et d'effets, en cascades, on quitte le déterminisme pour pénétrer dans le chaos.

Le chaos derrière lequel s'embusque le hasard est présent dans de nombreuses autres activités humaines : son observation et les progrès accomplis dans chacun des domaines enrichissent les autres.

L'émergence du chaos

On était dans les années 1970. Durant cette période de surchauffe, émergea la théorie du chaos (et tous ses corollaires) mise en évidence dans beaucoup de domaines différents par des anti-conformistes qui firent vaciller les certitudes d'un très grand nombre de savants.

Un météorologue devenu célèbre, dont on reparlera, présenta en 1972 un article incontournable intitulé : *Le battement d'ailes d'un papillon au Brésil provoque-t-il une tornade au Texas ?* Les effets n'étaient plus proportionnels aux causes. Nous assistions, médusés, à l'une des premières manifestations connues du chaos.

Un tsunami de chevaux

Après les papillons, parlons chevaux. On parlera même de cheval-vapeur, unité de mesure interdite mais dont quiconque peut se faire approximativement une idée. Imaginons un nombre colossal de chevaux, de l'ordre d'un million, dont la puissance totale serait donc d'environ 750 mégawatts, c'est-à-dire grosso modo la puissance d'un groupe turbo-alternateur classique produisant de l'électricité². Cette horde gigantesque de chevaux qui côte à côte font sensiblement 1000 kilomètres, c'est-à-dire la dimension de la France, lancés à plusieurs centaines de mètres par seconde et traversant ainsi notre pays en 1/2 heure, dévastant tout, ne respectant rien. Rien ne leur est ni trop chaud ni trop lourd. Quel tsunami ! Et derrière cette première ligne, une autre de chevaux toujours aussi puissants et décidés à tout saccager. Et une autre, .. et toujours. Par quel moyen peut-on détruire la puissance de ces cohortes d'Attila qui nous submergent ? Qui les arrêtera ? Et comment faire ?

²Dans certains cas, lorsque les machines fonctionnent en dehors de leur point nominal, des puissances énormes sont à dissiper (chap. 30-34).

C'est à cette question que l'on se propose de répondre, à laquelle j'ai d'ailleurs répondu il y a 25 ans, dans l'indifférence quasi-générale. Et pour cela, sont à notre disposition les principes de physique, lentement, difficilement, mais sûrement mis au point depuis l'antiquité jusqu'à nos jours par d'innombrables observateurs de la nature.

Encore faut-il appliquer ces principes avec discernement, et parfois un peu de chance. C'est pour justifier les méthodes développées pour calmer ce chaos que je publie ce livre.

La technique peut se montrer défailante parce qu'elle est encore incomprise. On entend parfois : il vaut mieux ne pas savoir pourquoi ça marche que de savoir pourquoi ça ne marche pas. Désolé : savoir pourquoi ça ne marche pas est un des moteurs de l'innovation.

Le mouvement : c'est la vie!

Toute différence de pression, toute différence de température, crée le mouvement : c'est le vent. Dès qu'il y a mouvement, il y a vitesse, frottement, dissipation d'énergie et pollution peut-on ajouter. On va essayer de dissiper énormément d'énergie : le plus possible. Celui qui sait dissiper de l'énergie dans des cas certes particuliers a une corde supplémentaire à son arc pour mieux limiter les dissipations d'énergie du cas général.

Celui qui sait comment polluer davantage est mieux à même de comprendre les mécanismes pour polluer moins. Un peintre qui ajouterait du blanc au blanc pour éclairer sa toile passerait un long moment pour n'obtenir qu'une croûte claire très encombrée. S'il ajoute les ombres, la lumière et l'ensoleillement surgiront dans son tableau. Bref, on ne connaît bien un sujet que lorsqu'on en cherche les limites en tous sens, y compris vers son contraire.

C'est cette démarche qui semble contre nature, et contre la mode, que l'on va pourtant suivre.

Organisation du livre

La trame de ce texte est constituée par :

- La physique classique commentée, en vue d'applications. Pour beaucoup de lecteurs, ce ne sera qu'une piqûre de rappel en mécanique des fluides, pas trop douloureuse car il ne s'agit que d'un survol,

- Les manifestations du chaos, l'apparition des systèmes auto-organisés et des structures dissipatives,
- Les procédés pour dégrader la puissance motrice et calmer les écoulements dangereux afin de protéger les populations et les installations.

Les documents qui sont à la base de ce livre ont été publiés : ils sont rappelés dans la bibliographie.

Ce livre n'est qu'une ébauche. Il aura à être réécrit, complété, amélioré en beaucoup de domaines et corrigé dans d'autres. J'espère que le lecteur trouvera néanmoins du plaisir et des informations diverses et variées, dans ce texte inachevé. J'ai emprunté des écrits qui pourront paraître peu scientifiques, mais ces extraits littéraires lucides et lumineux appuyaient mon propos en relevant le style.

La science et la philosophie

Un écrivain, proclamé philosophe, déambule sur une seule jambe lorsqu'il ignore la nature qui l'entoure, c'est-à-dire la science. C'est durant la période comprise entre l'apparition des forces vives, c'est-à-dire de l'énergie cinétique de Leibniz et la publication de l'Encyclopédie, c'est-à-dire en gros entre 1680 et 1750 que l'on peut dater la rupture entre la science et la philosophie. Beaucoup se sont attachés à réparer les dégâts causés par cette brouille. Hommage leur soit rendu d'avoir réhabilité la science dans la philosophie. Il faut tout tenter pour inviter les philosophes à s'intéresser de nouveau aux sciences. Leur parole nous manque !

Science avec les scientifiques

La science reste un espace de liberté et d'aventures dans le monde moderne. L'exploration spatiale et la plongée dans l'infiniment petit en sont des exemples parmi d'autres.

On confond très souvent à tort la science avec les scientifiques. La science est attirante alors que beaucoup de scientifiques, par un trop grand souci de rigueur, la rendent indigeste. La science est de la physique à portée de tous les esprits curieux. Elle est la forme évoluée de l'observation de la nature, laquelle nous dissimule encore beaucoup de ses secrets. Ceux-ci se dévoilent lentement par des recherches et des cogitations méticuleuses frappées au coin du bon sens.

Les scientifiques, en quête de vérité, utilisent des outils, surtout l'outil mathématique qui a du charme, mais qui détourne l'esprit de l'observation de la nature par un intermédiaire qui paraît abscons à beaucoup. L'informatique est aussi un prodigieux outil mais qui, en s'introduisant entre la nature à observer et l'observateur, déforme, écarte, et finalement apporte certaines nuisances.

Je viens de décocher une flèche bien injuste à l'informatique, parce que la théorie du chaos lui est grandement redevable. On est souvent confronté à de telles contradictions. Sans le développement spectaculaire de l'outil informatique avec la puissance et la rapidité des calculs qui en découlèrent, le chaos n'aurait pas surgi aussi manifestement dans la dernière partie du XXème siècle. Le chapitre consacré au chaos déterministe en apportera des preuves évidentes.

Entrons maintenant dans ce travail d'ingénieur. Toute personne sensée à qui le problème aurait été posé serait arrivée à la même conclusion que celle développée ici. En me suivant, le lecteur pourra le vérifier aisément s'il veut bien faire l'effort sur lui-même d'envisager de prendre le chemin menant au désordre plutôt que celui plus noble, en apparence, qui monte vers la perfection.

*Savez-vous quelle est la première hypothèse de toute science, l'idée nécessaire de tout savant ?
C'est que le monde est mal connu.*

Monsieur Teste, de Paul Valéry

Du même auteur :

- **Turbomachines hydrauliques et thermiques**
Exercices commentés, Éditions Eyrolles (1988)
- **Machines à fluides**
Principes de fonctionnement,
(en collaboration avec Christelle Périlhon et Michel Toussaint)
Technosup Ellipses (2002), (2010 - 2ème édition)
- **Ingénierie des turbomachines**
Circuits, aubages, vibrations, effets instationnaires ...
et des exercices résolus, Technosup Ellipses (2003), (2012 - 2ème édition)
- **Conversion d'énergie par turbomachines**
Éoliennes, turbines à gaz, cogénération, cycles combinés gaz-vapeur...
(avec exercices résolus)
(en collaboration avec Christelle Périlhon)
Technosup Ellipses (2005), (2010 - 2ème édition)

Chaire de turbomachines du CNAM
292, rue Saint-Martin
75141 Paris Cédex 03
michel_pluviose@numericable.fr