

*Quand la physique vole au secours des soupapes
afin d'améliorer la sécurité et le fonctionnement des centrales nucléaires*

Lettre ouverte à l'Académie des sciences

Monsieur le Président,

De l'énergie doit parfois être dégradée. Chacun d'entre nous dissipe de l'énergie en utilisant les freins pour ralentir son véhicule ; les soupapes sont les freins des centrales de production d'énergie électrique. Elles sont souvent responsables d'incidents sévères sur ces installations.

Lors du fonctionnement au régime nominal d'une centrale (solaire, classique ou nucléaire), le clapet des soupapes de régulation est grand ouvert et les dissipations d'énergie sont faibles.

Aux charges partielles de fonctionnement, le clapet doit au contraire laminer la vapeur pour en régler le débit. La puissance ainsi dissipée peut atteindre 130 MW à une levée intermédiaire pour un groupe de 1000 MW. Le fort rapport de détente dans le robinet provoque alors la formation d'écoulements supersoniques. Cette dégradation nécessaire d'énergie se fait par frottements visqueux et par augmentation d'entropie au travers de jets supersoniques et d'ondes de choc plus ou moins stables.

Les phénomènes observés sont très souvent violents quand le fluide a un comportement bistable. Ces problèmes d'instabilités d'écoulements dans les soupapes sont préoccupants car ils engendrent des vibrations dans toute l'installation pouvant conduire à des fissures, éventuellement à de la corrosion, puis parfois à des ruptures.

Dans les années 1970, le CETIM (Centre Technique des Industries Mécaniques) lança une étude d'intérêt général sur les soupapes à la demande des industriels français concernés et d'EDF et put breveter, en 1984, la solution décrite ci-après :

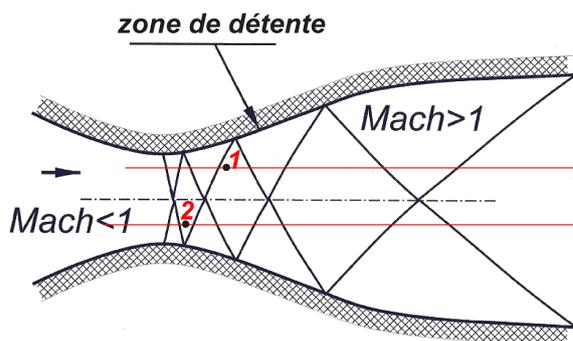


Fig. 1A - Tuyère supersonique classique

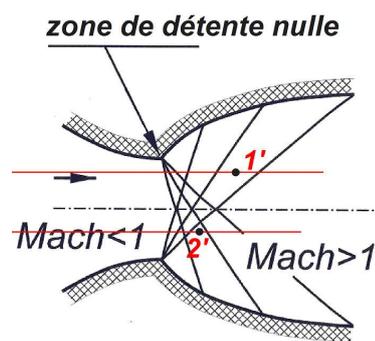


Fig. 1B - Tuyère en coquetier

Utilisons une tuyère classique adaptée, donc sans onde de choc pour simplifier l'exposé, fonctionnant en régime supersonique (Fig.1A) ; on sait définir l'état du fluide en chaque point

du réseau qui peut être beaucoup plus dense que celui présenté. Dans la zone de détente, les propriétés de l'écoulement (vitesse, direction de la vitesse, température statique, etc.) sont notablement différentes entre des points quelconques 1 et 2 de cet écoulement bidimensionnel.

Prenons une autre tuyère adaptée elle aussi (Fig. 1B), analogue aux tuyères propulsives des fusées spatiales, fonctionnant entre les mêmes nombres de Mach que la précédente.

Entre les points 1 et 1' (ou 2 et 2') correspondants des deux tuyères, les diverses propriétés du fluide sont très différentes.

Construisons maintenant une structure sandwich à partir de ces deux tuyères, en les dotant d'une certaine épaisseur. On peut imaginer des parois fictives séparant les diverses couches. Dans chacune de ces couches, on peut admettre que les écoulements sont parfaits, c'est-à-dire sans dissipation d'énergie, ce qui est une hypothèse raisonnable dans cet écoulement accéléré. On connaît donc toutes les caractéristiques de l'écoulement en chaque point.

Escamotons subitement les parois fictives qui isolaient les différentes couches.

Avec la stratification proposée, tout change brusquement. L'écoulement se morcelle en un nombre immense de configurations. Chacune des innombrables particules est entourée d'autres particules dont les vitesses, directions des vitesses, etc. sont différentes de la sienne.

Dans cette singulière utilisation des écoulements supersoniques, deux écoulements initialement réversibles conduisent quasi-instantanément à une augmentation énorme d'entropie, que l'on peut appeler ici plus simplement désordre. On a nommé principe de pire action cette démarche qui consiste à dégrader rapidement le plus d'énergie possible.

Soupapes de régulation apaisées¹

Appliquons à nouveau ce procédé à une maquette de soupape de régulation (Figure 2).

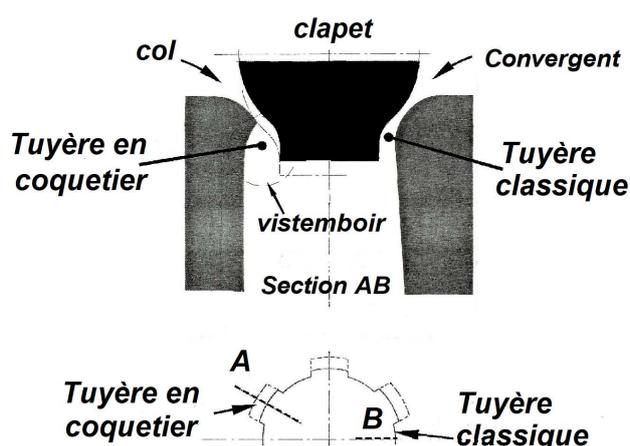


Fig. 2 - Soupape munie de vistemboirs.

L'écoulement dans le convergent d'entrée est homogène, on y suit le principe de moindre action ; l'entropie est constante dans cette partie.

Des vistemboirs, bras armés du principe de pire action, ont été implantés dans la tuyère de cette soupape. Des alvéoles dessinées comme des tuyères en forme de coquetier sont creusées dans la tuyère de la soupape. Elles sont réparties dans la tuyère et séparées les unes des autres par des tuyères classiques. Des écoulements différents sont donc engendrés selon la pénétration azimutale dans la soupape.

Tandis que le fluide est homogène en amont, il est forcé de se détendre soudainement depuis le col dans une tuyère en forme de coquetier ou dans une tuyère classique. Dès le passage du col, la géométrie proposée crée brutalement de l'entropie dans l'écoulement. Aucune particule fluide n'est identique à sa voisine, ni en amont ni en aval, ni à sa gauche ni à sa droite.

La structure stratifiée imposée à l'écoulement l'oblige à abandonner immédiatement dès le col franchi, le principe de moindre action et à activer le principe de pire action, provoquant ainsi un mélange profond dans l'ensemble de la masse fluide.

¹Brevet FRANCE n° 84 03 206 du 1er mars 1984, Europe, USA (US Patent 4,688,755, Aug.25,1987), URSS, Canada, etc. Brevets cédés par le CETIM à Framatome, Alstom et EDF en 1985

Des phénomènes de transport non-linéaires majeurs et probablement inconnus de nos jours activent brusquement les processus de dégradation. Le point d'équilibre final, ou de désordre généralisé est atteint quasi-instantanément.

Une occasion offerte par la nature a été saisie, car il a été possible de diversifier les écoulements supersoniques avant de les mettre brutalement côte à côte, créant un chahut indescriptible dans le monde des très petites particules. On retrouve ainsi expérimentalement la formule de Boltzmann : $S = k \cdot \ln W$ qui montre que l'entropie S , c'est-à-dire le désordre, augmente avec le nombre de configurations W dans le monde microscopique.

Les forces non-stationnaires enregistrées sur la tige de cette soupape permettent une comparaison entre la nouvelle géométrie équipée de vistemboirs et la géométrie conventionnelle de référence. Les résultats d'essais bruts sont obtenus pendant une rafale. Toute la gamme de rapport de pression est alors explorée pour une levée donnée.

La confrontation entre la version de référence A et la version B munie de vistemboirs donne des résultats spectaculaires (Figure 3) : Le signal délivré par le capteur de la soupape avec vistemboirs (B) est extrêmement faible, quasiment nul, comparé au signal obtenu avec la géométrie initiale (A). Quand les vistemboirs sont utilisés, ils causent une réduction immédiate de toutes les caractéristiques fluctuantes du système fluide. Cette amélioration décisive a été obtenue dès la première tentative, ce qui est la meilleure preuve de l'efficacité de cette solution.

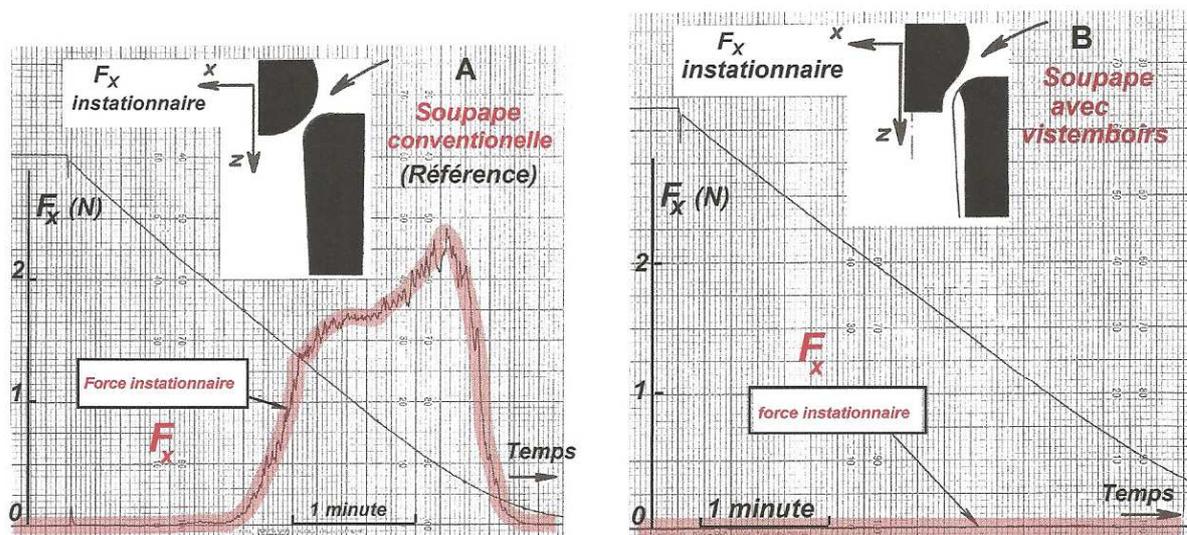


Fig. 3 - Les vistemboirs calment les écoulements dans les soupapes de régulation des centrales thermiques classiques et nucléaires entre autres.

Cette expérience, associée à des visualisations, révèle un bouleversement profond en physique, qui interpelle.

- Dans le premier cas A, le fluide a toute la liberté pour dissiper lui-même son énergie cinétique. Alors le système fluide pénètre dans le chaos, puis apparaissent des structures auto-organisées qui, par manque de stabilité, peuvent devenir dangereuses dans ces organes de détente et dans d'autres applications dans les centrales nucléaires (soupapes de sécurité, dispositifs de contournement des turbines, etc.).
- Dans le second cas B, on impose, depuis notre monde macroscopique, une dislocation profonde du système fluide, empêchant ainsi l'émergence de structures nouvelles. Le nombre faramineux de configurations gomme les hétérogénéités de toutes sortes contenues dans le fluide. Les caractéristiques instationnaires de l'écoulement dans la soupape sont réduites à néant et la turbine de la centrale nucléaire est alors alimentée beaucoup plus correctement.

À la présentation de ces résultats, Robert Legendre, Membre de l'Académie des sciences et Haut-conseiller scientifique à l'Onera déclarait que ces difficultés anciennes dues aux soupapes étaient considérées comme des maux inévitables. Il était même enseigné que la dissipation de quelques dizaines de mégawatts dans un robinet à soupape était impossible sans vibrations et bruit. Il soulignait que les remèdes trouvés au CETIM constituaient une première mondiale.

Ce qu'il fallait comprendre, c'est que le second principe de thermodynamique, libre de toute contrainte, est attiré dans les mailles du chaos. Alors de l'ordre peut apparaître. C'est ainsi par exemple, qu'une tempête tropicale, dégradant de l'énergie, peut s'auto-organiser et devenir un ouragan en se dotant d'une partie ordonnée (dont l'œil) dans laquelle l'entropie baisse. Cet ouragan est un moteur puissant composé subtilement d'ordre et de désordre. Ilya Prigogine a appelé structures dissipatives ces constructions émergentes qui naissent loin de l'équilibre dans les systèmes dissipatifs : ce sont les planètes, les oiseaux,...., la vie. Elles font notre admiration. Mais dans les soupapes des sites nucléaires ces structures dissipatives ne sont pas les bienvenues car elles empêchent la dégradation d'énergie de s'opérer massivement et rapidement. On doit les éliminer car leur partie ordonnée les rend insuffisamment dégradatrices.

Le principe de pire action en organisant un désordre intense dans le monde microscopique y supprime toute possibilité d'ordre ; alors le chaos est évité dans notre monde macroscopique.

Pour tenter de rendre ces travaux plus intelligibles afin qu'ils puissent enfin être largement appliqués (puisque les brevets France et US sont maintenant dans le domaine public), j'utilise dorénavant le terme principe de double action (pire action et meilleure action) :

- pire action, pour la part dégradation dans le système des molécules,
- meilleure action, car on supprime en même temps le chaos dans notre monde.

En vantant le calme décisif apporté par cette invention, peut-être sera-t-on mieux entendu. D'autant plus que cette bonne nouvelle, qui va permettre de supprimer des vibrations dans les centrales nucléaires en particulier, en appelle évidemment d'autres : le calme profond apporté dans ces installations devrait réduire les possibilités de fissures, donc d'accidents. Les métallurgistes nous diront si les phénomènes de corrosion sont atténués.

Le Président Jimmy Carter, qui eut à gérer la catastrophe de Three Mile Island, a souhaité que ces informations soient partagées avec le plus grand nombre. Je le fais d'autant plus volontiers que cette découverte du CETIM bien accueillie aux USA, en particulier, où elle a été expérimentée, a vocation pour le bien commun à être accessible à tous.

C'est pourquoi, j'ai l'honneur de porter ces informations à votre connaissance. Je vous prie d'agréer Monsieur le Président, l'expression de mes respectueuses salutations.

Michel Pluviose

Références :

- A positive lesson from the accident at Three Mile Island, lettre ouverte au Pdt Jimmy Carter
- Stabilization of Flow Through Steam-Turbine Control Valves, Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol.111, October 1989
- L'organisation du désordre pour sortir du chaos. Éditions Cepaduès (2015)
- Du plus grand désordre à l'ordre parfait. BOD (2022)
- Sites Web : <https://physics3worlds.com> et <https://pluviosemichel.com/a-propos>