

De la soupape de Denis Papin à la soupape Ventôse

To Dr. Pluviose: This is interesting
and valuable. I hope you will
share it with technicians who
are still active. Jimmy Carter

Denis Papin connaissait les dangers dus à des pressions trop fortes exercées à l'intérieur d'un récipient clos plein d'eau et fortement chauffé. Le feu sous la marmite de Papin entraîne une augmentation de la pression intérieure. Lorsque cette pression atteint une certaine valeur, imposée au départ par un contrepoids, la soupape de sûreté s'ouvre. Le jet de vapeur sortant de la marmite se dissipe dans l'atmosphère ambiante.

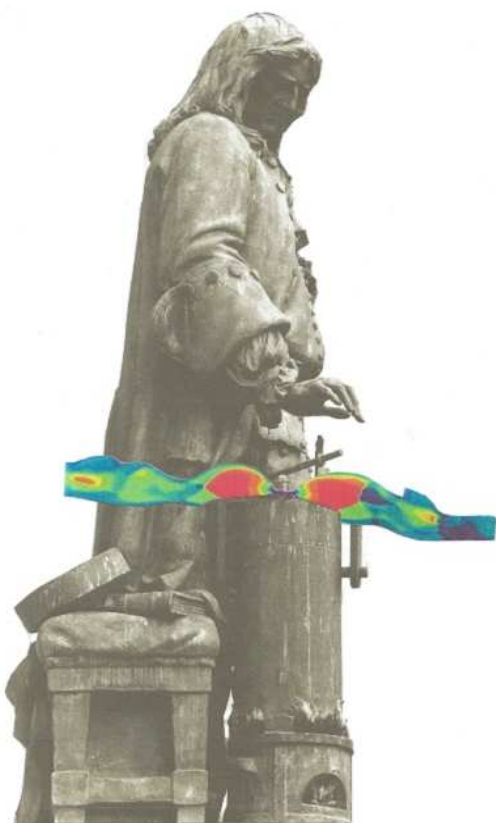


**Fig.1 - Stèle de Denis Papin
Cour d'Honneur du CNAM**

Visualisation numérique du jet libre
supersonique à l'échappement de sa soupape.
Calculs effectués par la DER d'EDF
(Direction des Études et Recherches)

E.M.Bataille écrit en 1847 : *Les nombreuses explosions de chaudières, que l'on signale dans tous les pays ...n'arrivent que trop souvent par suite des défauts et des irrégularités dans l'action de la soupape de sûreté, et cette observation démontre d'une manière sérieuse toute l'importance qu'il faut attribuer à cette soupape, et tout le soin que l'on doit mettre à l'établir d'après les meilleures données de l'expérience et de la théorie.*

Aujourd'hui, 180 ans plus tard, on peut contresigner ce texte, sans en changer un seul mot.

¹Le Président Carter eut à gérer la catastrophe de Three Mile Island (1979), le pire accident sur le sol des USA

Les soupapes, depuis Papin jusqu'à nos jours, ont subi de nombreuses modifications notables par leurs effets induits sur les écoulements. La plus préoccupante est la mise en place d'un collecteur permettant la récupération du fluide expulsé (Fig. 2). Toute la puissance motrice contenue dans le fluide, qui se libérait auparavant en régime supersonique dans l'atmosphère, est maintenant tenue de se dissiper dans l'espace réduit d'une canalisation.

Dans les années 1990, on savait que certains problèmes sérieux posés par le fonctionnement des soupapes de sécurité pour protéger les installations n'étaient toujours pas résolus. Une recherche d'intérêt général conduite au CETIM (Centre Technique des Industries Mécaniques) a alors été entreprise à la demande d'ALSTOM et des constructeurs français avec le soutien du principal utilisateur EDF.

Au vu de l'amplitude du jet supersonique (nombre de Mach de 5 à 7) qui s'échappe de la soupape de sûreté (voir Fig. 1), il est clair que l'écoulement est très fortement perturbé par le confinement réduit qui lui est proposé pour se détendre en aval. Les phénomènes sont trop compliqués pour qu'on ait ici la prétention de les décrire en détail.

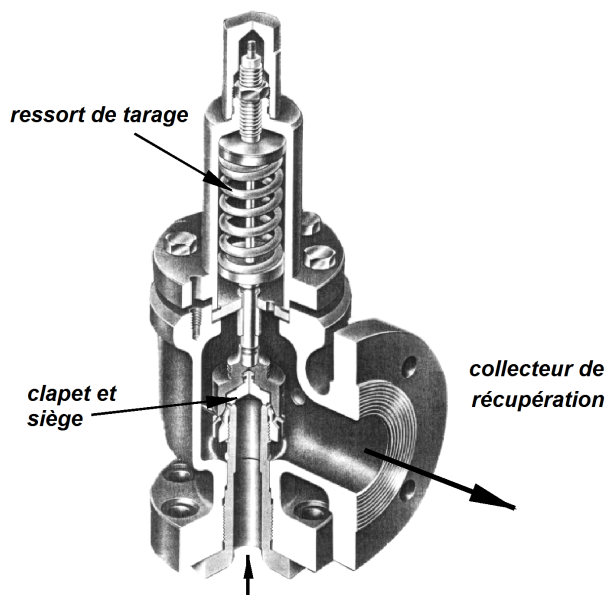


Fig. 2- *Soupape de sécurité actuelle*

Les incidents, dans ces équipements, proviennent de jets supersoniques instables qui interfèrent entre eux. Il s'ensuit souvent des instabilités brutales ainsi que des oscillations acoustiques qui mettent en danger le matériel, même si ces zones délicates sont franchies rapidement.

Tout le chahut interne dû à la puissance motrice qui s'épuise en transformant l'énergie cinétique du fluide en d'autres formes (calorifique, vibratoire et sonore en particulier) secoue la structure mécanique en la fragilisant. Les méthodes pour limiter les perturbations à des valeurs acceptables, consistent à installer des dispositifs internes qui affaiblissent les phénomènes chaotiques sans les supprimer.

Un enseignement profond de la thermodynamique est la création d'ordre loin de l'équilibre initial dans un système dissipant de l'énergie. Ilya Prigogine (Prix Nobel de chimie 1977), en particulier, vers les années 1970, a attiré l'attention sur les structures auto-organisées qui naissent loin de l'équilibre. Il les appela structures dissipatives pour associer les deux notions d'ordre et de gaspillage. Les jets supersoniques très structurés qui naissent dans les soupapes en sont un exemple. La présence simultanée d'ordre et de désordre conduit au chaos.

Puisqu'il reste une part d'ordre dans une structure dissipative, les fluides la dégradent eux-mêmes à leur guise, c'est-à-dire de manière qui peut perturber sévèrement les installations. Est-il raisonnable de permettre aux écoulements de se comporter d'une manière incontrôlée, menant au chaos ?

Un autre exemple très convaincant est celui des ouragans dont la formation est due à l'augmentation excessive de la température de surface des mers tropicales pendant la saison chaude. Un trop grand déséquilibre de température entre la surface des océans et celles en altitude peut transformer une dépression tropicale en tempête tropicale d'abord, puis en ouragan. En devenant un ouragan, le système s'auto-organise et devient une centrale thermique géante et redoutable, se déplaçant à la surface de l'océan. La situation est à bien des égards analogue à celle des soupapes dans lesquelles l'ordre apparaît sous la forme de flux supersoniques auto-organisés qui interfèrent violemment avec les structures. Dans les ouragans comme dans les soupapes, l'ordre qui émerge est préjudiciable car il entrave la nécessaire dissipation de l'énergie. Il doit être éliminé.

Les problèmes d'instabilités d'écoulement dans les soupapes sont inquiétants car ils génèrent des vibrations dans l'ensemble de l'installation, ce qui peut entraîner des fissures, éventuellement de la corrosion, puis parfois des ruptures. Ils sont d'autant plus préoccupants que les difficultés s'accroissent avec la mise en service de centrales nucléaires alimentant des machines aux puissances unitaires plus élevées. D'énormes vannes doivent donc s'adapter à des débits volumiques de vapeur vive considérables.

Les flux supersoniques qui apparaissent ne sont pas adaptés aux parois qu'on leur propose ; ils interfèrent de manière complexe avec ces parois ; Le système moléculaire s'organise pour dégrader l'énergie cinétique par lui-même, à son rythme, sans se soucier de notre sécurité et de notre environnement. Nous perdons le contrôle de la situation.

Une solution proactive consiste à détruire ces structures dissipatives dangereuses.

Mais comment y parvenir ?

La méthode Ventôse

La soupape Ventôse utilise le désordre, et non pas le chaos, pour dissiper l'énergie cinétique du fluide en évitant ainsi des accidents et incidents souvent de portée mondiale.

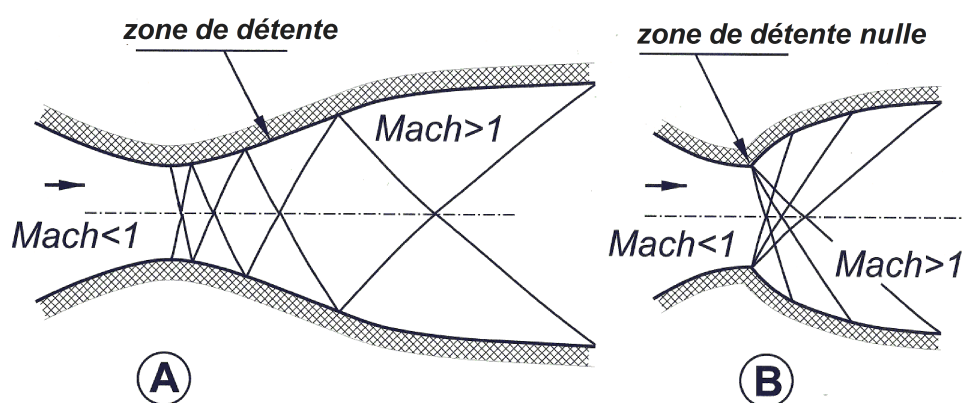


Figure 3. Tuyère conventionnelle (A) et en coquetier (B).

Les écoulements dans chacune des tuyères proposées (Fig. 3) suivent le principe de moindre action. En absence d'ondes de choc, les pertes par frottement sont nulles. En rapprochant ces tuyères l'une de l'autre, tout va changer. En effet, prenons ces deux tuyères et empilons-les dans un dispositif multi-structuré dans lequel chaque tuyère a une épaisseur donnée. Dans une telle structure en sandwich, toutes les pressions, vitesses, etc, sont très différentes entre chaque couche. Les alvéoles dessinées comme des tuyères en forme de coquetier sont creusées dans la tuyère de la soupape de régulation (Fig. 4). Ces alvéoles sont réparties dans la tuyère et séparées les unes des autres par des tuyères classiques. Des écoulements différents sont ainsi engendrés selon la pénétration azimuthale 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 normale, comme montré en Figure 4. La structure stratifiée imposée à l'écoulement l'oblige à abandonner immédiatement 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. Aucune particule n'est identique à sa voisine, ni en amont ni en aval, ni à sa gauche, ni à sa droite. Des phénomènes de transport spontanés entament leur activité irréversible de dégradation et causent une réduction immédiate de toutes les caractéristiques fluctuantes du système fluide.

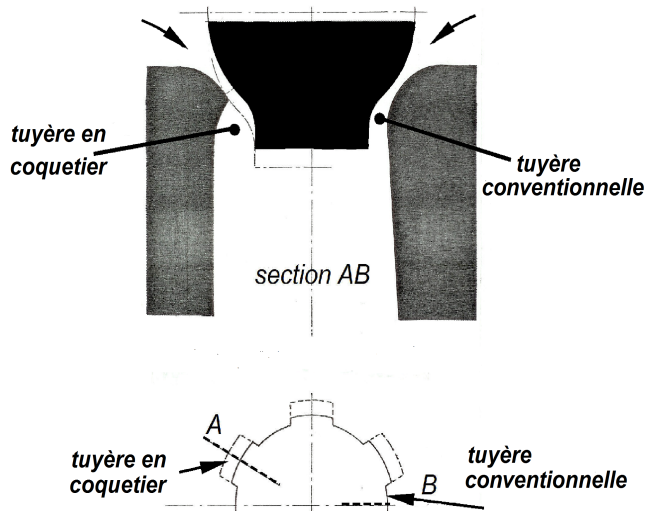


Fig. 4 - Soupape ventôse

US patent: 4,688,755 Aug 25, 1987

Brevets CETIM :

Procédé pour stabiliser l'écoulement des fluides lors d'une détente accompagnée de dégrasation d'énergie cinétique.

Dépôt (1984) : France,
Europe, USA, Canada, URSS, Japon

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. Le système moléculaire est perturbé et des phénomènes complexes de transport, inconnus de nos jours, doivent agir soudainement pour transformer rapidement l'énergie cinétique en énergie désordonnée d'agitation thermique. En évitant ainsi le chaos !

Cette physique qui apporte le calme dans notre monde macroscopique permet d'échapper aux structures dissipatives de Prigogine afin de rejoindre très rapidement le désordre maximum de Boltzmann. La production d'entropie est considérable ; l'ordre a disparu dans ce système.

Dans le procédé ventôse, du désordre a été organisé dans le monde microscopique afin d'éviter le chaos dans notre monde macroscopique.

Les écoulements dans les soupapes de sûreté et de régulation peuvent ainsi être maîtrisés.

À la présentation des résultats, l'ingénieur général Robert Legendre, Membre de l'Académie des sciences et Haut-conseiller scientifique à l'Onera (The French Lab) déclarait que les difficultés liées 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 en France constituaient une première mondiale.

Octobre 2026
Michel Pluviose
Professeur honoraire du CNAM