RÉSULTATS D'ÉTUDE ➤ Robinetterie

Des soupapes plus tranquilles

Les soupapes de sûreté sont le siège d'écoulements instables, sources de bruit, de vibrations et de dysfonctionnements. Des géométries brevetées réduisent ces instabilités.

Une soupape de sûreté est un organe qui s'ouvre automatiquement sous l'effet d'une surpression du fluide qu'elle retient. Elle évacue alors un volume de fluide suffisant pour ramener la pression aux conditions de service. La soupape se referme ensuite d'elle-même en stoppant l'écoulement du fluide.
La forte différence de pression existant entre l'équipement à protéger et le réservoir aval, souvent l'atmosphère, engendre des vitesses d'écoulement considérables, dont les effets mécaniques sur les structures sont mal connus. La puissance motrice du jet, pour une soupape de sûreté industrielle de milieu de gamme, est de l'ordre de 10000 kW. Fort heureusement, cette puissance, en se dégradant, ne se manifeste qu'en partie en énergie sonore et vibratoire.

À SAVOIR

Les intervenants

■ **La profession de la robinetterie industrielle** regroupe 141 entreprises réalisant un chiffre d'affaires annuel de 7,6 milliards de francs. L'organisation syndicale qui la représente est l'Association française des industries de la robinetterie (Afir).

■ **Cette étude,** conduite à l'instigation de la commission Robinetterie industrielle, est le fruit d'une collaboration avec le Cnam et EDF. Au cours de la réunion du 20 novembre 1997 de la commission, M. Serin (GEC Alsthom Sapag), Président, en a remercié tous les acteurs, en qualifiant de remarquables les travaux réalisés.

Plutôt que de laisser cette énergie se dissiper par des jets instables dans des systèmes d'ondes de choc plus ou moins stationnaires, on propose de privilégier la dissipation d'énergie par un désordre contrôlé. Cette méthode a permis d'améliorer la stabilité des écoulements internes de manière significative. Ainsi, les formes géométriques brevetées que nous avons développées éliminent les décrochements et les instabilités et réduisent les fluctuations d'efforts et de pression.

Des écoulements capricieux

La soupape de sûreté protège donc les équipements situés en amont, de surpressions éventuelles. Le modèle d'origine à contrepoids, inventé par Denis Papin, n'a guère évolué jusqu'au début de notre siècle. Une modélisation conduite par EDF sur une soupape de ce type, en considérant des dissipations d'énergie concentrées dans le système aval d'ondes de choc, montre que les vitesses locales atteignent 700 m/s à l'échappement.
Au siècle dernier, deux transformations mineures, mais importantes par leurs effets sur les écoulements, vont perturber considérablement le fonctionnement de cet organe de sécurité. C'est, d'une part, le confinement immédiatement en aval du col réalisé pour faciliter l'ouverture du clapet, d'autre part, la mise en place d'un collecteur destiné à récupérer le fluide évacué.

Cetim, Chr. Barret

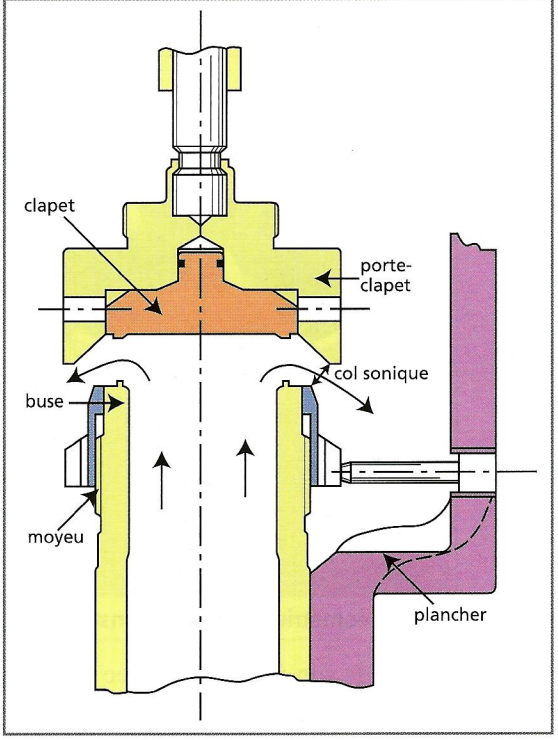
Une géométrie qui réduit les instabilités.

Lors de son interaction avec la paroi de la cavité aval, le jet supersonique forme un système d'ondes de choc obliques organisé, suivi par une queue de pseudo-chocs turbulents. Des instabilités d'écoulement apparaissent pour certains rapports de détente et pour certaines géométries d'évasement. Les visualisations par strioscopie et les mesures effectuées à l'aide de capteurs à court temps de réponse confirment la violence des ces instabilités qui suivent les lois du hasard.

Les enseignements des essais sur maquette

Une maquette de soupape a été testée dans les laboratoires de GEC Alsthom Sapag et du Cnam. Ces essais en « rafales », permettant de balayer tous les rapports de pression, confirment que la nappe supersonique prend une grande ampleur en se détendant dans l'espace aval. Cet espace, réduit par construction, gêne considérablement le jet, donc la dissipation d'énergie. Des ondes de choc obliques plus ou moins stables apparaissent lors de l'intersection du jet avec les parois qui lui sont offertes, principalement avec le plancher. La position de ce dernier est donc prépondérante. Il est clair qu'une onde de choc oblique stable sera obtenue lorsque le plancher sera proche de l'échappement du jet, interdisant des échanges entre l'espace mort créé près

SOUPAPE À L'ESSAI



du moyeu et le fluide extérieur au jet. Les effets de pompage de cette cavité, et donc les ondes acoustiques associées, seront réduits voire annulés. De toute façon, même si le choc oblique dissipe de l'énergie en son sein, il faut trouver des moyens de dégradation beaucoup plus efficaces.

Lors de la levée de la soupape, le col sonique se déplace depuis l'aval jusque dans la buse. Il existe une levée critique pour laquelle s'établissent des instabilités, caractéristiques de l'indécision du jet à s'ancrer dans une section bien définie. Les instabilités, trouvées dans tous les essais pour des levées comprises entre 4 et 5 mm, sont la marque manifeste de cet état de fait. Aucune amélioration ne pourra être achevée si l'on ne fixe pas le col sonique à l'aval en lui interdisant toute remontée vers la buse.

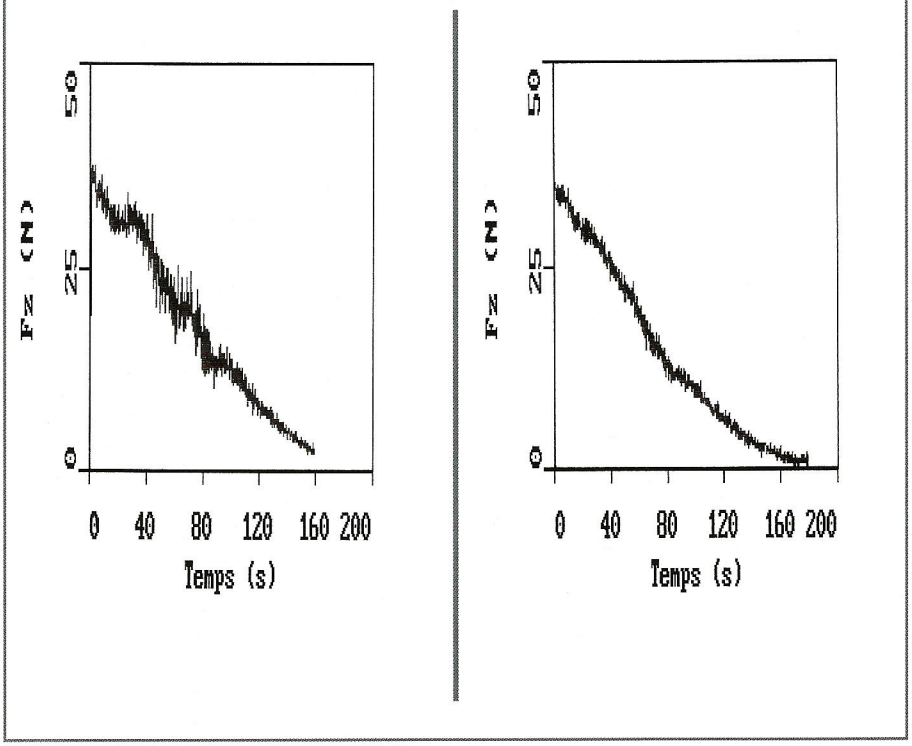
Jouer du désordre

Si l'écoulement dissipe à sa guise sa puissance motrice dans les évasements brusques, l'opération risque fort de se faire dans l'anarchie, avec, à la clé, de nombreux ennuis : excitations mécaniques des structures, bruit, rotations de veine, déformations permanentes, difficultés de refermeture du clapet. Notre objectif est donc de contrôler la dissipation d'énergie par un désordre organisé, fondé sur d'incessants échanges dans le système moléculaire (loi de Boltzmann).

L'un des procédés envisageables consiste à superposer des tuyères classiques et des tuyères en forme de coquetier, telles les tuyères propulsives de fusées. Dans chacune de ces tuyères prise séparément, la dissipation d'énergie est faible. Mais, en les superposant dans des structures sandwiches, on peut espérer qu'à l'interface les particules soient extrêmement perturbées par les conditions sévères de voisinage engendrées par des fluides se détendant de façon très différente. Les effets de cisaillement ainsi créés devraient favoriser les échanges de quantité de mouvement. Dans les soupapes axisymétriques, ces tuyères seront disposées de manière azimutale, c'est-à-dire à la périphérie du porte-clapet.

Sur ce principe, des tuyères munies de dents, en nombre et en taille variables, sont réalisées sur le porte-clapet de la soupape. Ces dents partent du col sonique et enveloppent la nappe supersonique qui se développe à l'aval, tout en maintenant l'effet autoclave nécessaire à l'ouverture rapide de la soupape. Ces modifications de géométrie s'avèrent efficaces : les décrochements et les instabilités sont supprimés sur les efforts moyens ; l'évolution des efforts durant la rafale, balayant ainsi tous les taux de détente, présente une allure régulière sur toute la plage d'utilisation. En moyenne, les fluctuations de pression sont deux fois moins importantes ; les fluctuations d'efforts, deux ou trois fois plus faibles. Ces formes sont brevetées. ■ **JNO**

ÉVOLUTION DES EFFORTS SUR LA SOUPAPE INITIALE (À GAUCHE) ET SUR LA SOUPAPE MODIFIÉE (À DROITE)



Pour en savoir plus :
Marcel Watremetz, Cetim, Senlis
Tél. : 03 44 67 34 53 ou 03 44 67 39 48

Références bibliographiques

[1] **M. Watremetz, M. Pluviose :** *« Synthèse des travaux sur les écoulements dans les soupapes de sûreté »*, rapport Cetim, n° 172 384, mars 1998.
[2] **M. Pluviose :** *« Stabilization of flow through steam turbine control valves »*, Transactions of the ASME, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 111, octobre 1989.