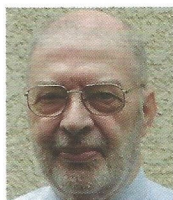


Le CNAM et l'énergétique

Une longue histoire toujours d'actualité



Par Michel PLUVIOSE
Ingénieur du CNAM
Professeur honoraire
du CNAM
(Énergétique)

À la base de la thermodynamique, l'auditeur du CNAM : Sadi Carnot

Nicolas Sadi Carnot cherchait à percer le mécanisme de la conversion de chaleur en travail, afin de mieux comprendre le fonctionnement des machines à vapeur, qui apportaient leur aide aux hommes sans qu'ils connaissent vraiment les lois qui les régissaient.

En 1824, il publie ses immortelles *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*. Sadi Carnot suivait régulièrement les cours du CNAM depuis 1821, surtout ceux de Clément Desormes sur *La chaleur et ses applications technologiques*.

En 1865, Clausius introduit la notion d'entropie et complète l'oeuvre de Carnot. Cette théorie de la chaleur s'intégra bientôt dans une nouvelle branche de la physique associant chaleur et mouvement, qui pour cette raison fut appelée thermodynamique.

Recherchant les fondements de la thermodynamique dans le monde microscopique, Boltzmann montra que la dégradation de l'énergie, mesurée par l'entropie, est liée au désordre régnant dans le monde moléculaire.

Envahissant tous les domaines de la vie, la thermodynamique occupe une place enviable et redoutable. Les principes de la thermodynamique s'expriment par : **L'énergie se conserve, mais elle se dégrade.**

La soupape de Denis Papin

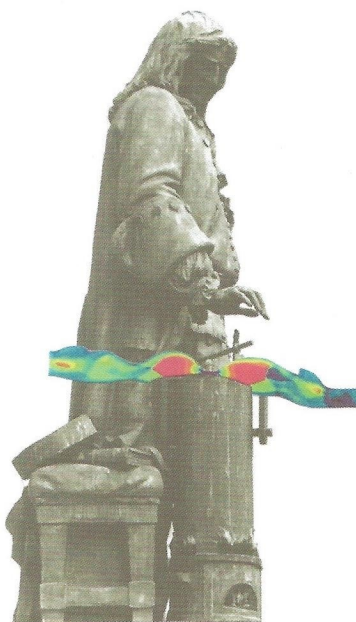
En 1681, Papin invente le digesteur muni d'une soupape de sécurité.

Les écoulements dans les soupapes de sûreté sont un exemple d'application remarquable des lois de la thermodynamique. L'énergie cinétique de la vapeur s'échappant de la soupape de Papin se dissipe par frottement dans l'atmosphère ambiante. La puissance motrice disponible est mécaniquement perdue.

Sur la figure jointe, on constate l'épanouissement du jet libre à l'échappement. Des nombres de Mach de 5 apparaissent localement à l'échappement de la soupape de sûreté de Papin, soit des vitesses d'écoulement de l'ordre de 700 m/s.

Dans les années 1990, on savait que certains problèmes sérieux posés par le fonctionnement des soupapes de sûreté pour protéger les chaudières n'étaient toujours pas résolus. Une recherche d'intérêt général conduite dans les laboratoires du CNAM a alors été entreprise.

Un changement crucial par rapport à la soupape de Papin, a été, au cours du temps, la mise en place d'un collecteur permettant la récupération du fluide expulsé. Toute la puissance motrice contenue dans le fluide, qui se libérait auparavant à l'atmosphère, est maintenant obligée de se dissiper dans l'espace réduit d'une canalisation. Au vu de l'amplitude du jet qui s'échappe de la soupape de sécurité de Papin (voir figure), il est clair que l'écoulement est fortement gêné par le confinement réduit qui lui est proposé pour se détendre en aval. Les phénomènes sont si compliqués qu'on ne peut avoir la prétention de les décrire en détail. L'écoulement va se débrouiller pour dégrader sa puissance motrice au mieux de ses intérêts, de ses caprices, sans se préoccuper le moins du monde de garantir notre sécurité, d'où la survenue de nombreux accidents¹.



Stèle de Denis Papin

Cour d'Honneur du Cnam

Sur ce montage photographique, le jet supersonique qui s'échappait de la soupape de Denis Papin a été ajouté.²

Plutôt que d'utiliser les lois de la thermodynamique sous la forme traditionnelle ; il devient nécessaire de les exprimer sous la forme : **l'énergie se conserve, mais dans certains cas l'énergie doit être dégradée**. Entre l'énergie se dégrade et l'énergie doit être dégradée, la différence est énorme. L'énergie se dégrade consiste à laisser le monde microscopique agir comme bon lui semble. L'énergie doit être dégradée signifie que nous allons tenter d'agir sur le monde moléculaire.

La thermodynamique de nos jours

Personne n'ignore que notre monde est un mélange subtil d'ordre et de désordre. Les phénomènes irréversibles induisent un accroissement du désordre annoncé par la thermodynamique. Prigogine, par ailleurs montra que les systèmes dissipatifs soumis à un déséquilibre peuvent s'autoorganiser de manière spectaculaire. De l'ordre peut apparaître alors localement mais le désordre augmente ailleurs dans le système afin que les principes de la thermodynamique ne soient pas violés.

Les phénomènes irréversibles ne se réduisent donc pas uniquement à une augmentation du désordre, bien au contraire ils participent activement à la formation de structures ordonnées. L'irréversibilité mène à la fois au désordre et à l'ordre.

Dans l'exemple d'une soupape de sécurité, un déséquilibre important en pression existe lors de l'ouverture. Le fluide est laminé par l'étranglement au niveau du clapet. De l'énergie cinétique est dégradée essentiellement par viscosité. Alors, le désordre croît.

Ce déséquilibre des pressions engendre d'autre part des structures aérodynamiques bien connues : ce sont les jets supersoniques auto-organisés qui introduisent une part d'ordre dans l'écoulement.

Ordre et désordre cohabitent donc dans ces organes dits de sécurité. Le conflit entre ordre et désordre est la cause de phénomènes complexes et spectaculaires, mais dangereux.

Dans le livre *L'organisation du désordre pour sortir du chaos*³, on montre comment il est possible de mettre un grand désordre dans le monde moléculaire afin d'échapper au chaos dans notre monde macroscopique, en ouvrant ainsi des voies nouvelles pour calmer ces écoulements chaotiques et violents.

Personne n'a oublié la pire catastrophe technologique survenue sur le sol des USA : L'accident à Three Mile Island. Mais on ne se souvient peut-être pas que ce sinistre se produisit durant la mandature du président Jimmy Carter, et que celui-ci fut, avant son élection, un expert en physique nucléaire. Il a donc été informé des récents développements dans cette partie de la physique restée dans l'ombre.

Ci-après, on trouvera la lettre ouverte adressée en Avril 2013 au président Carter, ainsi que sa réponse.

1 - Site web : physics3worlds.com

2 - Calculs effectués en collaboration avec la DER (Direction des Études et Recherches) d'EDF

3 - L'organisation du désordre pour sortir du chaos, Michel Pluviose, Éditeur Cepadués (2015)

A Positive Lesson from the Accident at Three Mile Island

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

Mr. President,

A recent string of incidents at some power plants suggests that the failures of Three Mile Island (TMI) still haunt us. The report, which was submitted to you in October 1979, blamed mainly the .../...

Lettre ouverte à M. Jimmy Carter, ancien Président des États-Unis d'Amérique⁴

Une leçon positive de l'accident à Three Mile Island

M. le Président,

Une série récente d'incidents laisse à penser que toute la lumière n'a pas été faite sur l'accident de Three Mile Island (TMI). Le rapport établi en Octobre 1979, à votre demande, pointait du doigt la maintenance du matériel et le manque de compétence des opérateurs.

Un fait essentiel, insuffisamment relevé, est que neuf fois avant que l'accident ne survienne, la pilot-operated relief valve (PORV) a été retrouvée coincée en position ouverte. Or, selon les normes internationales, une soupape de sécurité doit s'ouvrir lorsque les conditions l'exigent, et se refermer lorsque la pression dans le réservoir est revenue à sa valeur normale. La PORV ne suivait donc pas les normes, elle ne fonctionnait pas correctement. La cause de ces défaillances est à rechercher dans une partie inexplorée de la physique : celle où l'on doit dégrader massivement et rapidement de l'énergie.

Parce qu'au moment de l'accident, la physique du chaos était encore dans l'enfance, il n'était pas possible de déceler la cause initiale de cette catastrophe : le fonctionnement en régime chaotique de la PORV. Étant personnellement impliqué depuis longtemps dans le fonctionnement des soupapes, il m'appartient de souligner l'implication de cette soupape de sécurité dans le désastre et de proposer une solution salutaire.

Il serait inutile de revenir sur cet accident tragique, si mon propos n'était pas élargi à toutes les soupapes, et surtout à celles qui vibrent actuellement partout dans le monde.

Dans les incidents en centrale, on remarque que les soupapes de réglage ou de sûreté sont assez souvent mises en cause. Depuis des siècles, on cherche à en comprendre le fonctionnement.

Revenons donc un instant sur les

phénomènes observés dans un simple robinet. Lors de l'ouverture, le fluide est mis en vitesse et possède donc une énergie cinétique qui se dégrade en aval. La puissance motrice contenue dans ce jet se dissipe dans l'atmosphère où elle est définitivement perdue. Les fluctuations observées, lorsque l'écoulement saute du régime laminaire au régime turbulent, suivent les lois du hasard et nous invitent à envisager l'écoulement turbulent comme une manifestation du chaos. De ces deux observations à la portée de tous, on note que la dissipation d'énergie et les instabilités sont des phénomènes qui accompagnent tous les écoulements.

Dans la plupart des installations, le fluide est confiné en aval dans une tuyauterie, il devient encore plus difficile de saisir la nature physique profonde des processus car d'autres phénomènes chaotiques apparaissent.

Les grandes différences de pression, existant entre les réservoirs en amont et en aval lors de l'ouverture d'une soupape de sécurité, mettent violemment le fluide en mouvement. Celui-ci possède une énergie cinétique considérable et donc une puissance motrice qui s'exprime en dizaines de mégawatts. Les écoulements traversent des zones chaotiques très dangereuses puis des structures supersoniques plus ou moins stables se forment. Le fluide dégrade l'énergie cinétique à sa guise en énergie thermique, mais aussi sous d'autres formes néfastes : énergie vibratoire, sonore, etc. L'installation peut en être sérieusement troublée.

Les structures supersoniques formées par des milliards de milliards de molécules auto-organisées sont appelées structures dissipatives, pour associer les deux idées d'ordre et de désordre. Ces structures ordonnées se nourrissent d'échanges d'énergie et de matière avec leur environnement, ce qui leur permet d'exister un certain temps avant de disparaître. Dans les

soupapes, ces structures dissipatives ne sont pas les bienvenues ; on doit absolument éviter qu'elles se forment.

À TMI, les perturbations causées par le fluide se débarrassant de sa puissance motrice ont dû tellement secouer le clapet lors de son ouverture qu'il lui devenait mécaniquement impossible de se fermer. Dans d'autres situations où le clapet se referme, la soupape n'est souvent plus étanche à la fermeture.

Sans y prêter garde, on a laissé le chaos s'installer dans des dispositifs de sécurité dont le but est de protéger les populations, les installations et l'environnement. La dangerosité des écoulements incontrôlés dans les soupapes reste un sujet de préoccupation. Par exemple, l'agence de presse AFP signalait le fonctionnement aléatoire d'une vanne de vapeur sur une centrale nucléaire en France, en décembre 2012.

Une solution proactive consiste à déstructurer volontairement les écoulements supersoniques, dès leur apparition, afin que les molécules ne puissent pas s'agréger en structures dissipatives. Un désordre intense dans le monde microscopique peut ainsi être créé, on évite alors le chaos dans notre monde macroscopique. Le principe de pire action utilisé s'applique lorsque des puissances énormes sont à dégrader. Son instrument est le dégradateur d'énergie cinétique ou plus brièvement un Vistemboir.

À Three Mile Island, la physique a été cruelle envers le genre humain. Elle avait tenté de nous alerter mais nous n'écoutions pas. Aujourd'hui, la leçon a été entendue.

Sincères salutations.

Michel PLUVIOSE,
Professeur honoraire du Conservatoire
national des Arts et Métiers

4 - La réponse de l'ancien président : "Ceci est intéressant et de grande valeur. J'espère que vous partagerez cette information avec les techniciens toujours en activité. Jimmy CARTER"