



Industrie 4. 0 et les spécificités des équipements sous pression dans les domaines de la formation, la conception-dimensionnement et la recherche de méthodes innovantes.

Saïd HARIRI ⁽¹⁾ Mohammed CHERFAOUI ⁽²⁾

said.hariri@imt-lille-douai.fr Mohammed.Cherfaoui@cetim.fr

⁽¹⁾ IMT Lille-Douai –Centre de recherche – 764, boulevard Lahure – 59500 Douai

⁽²⁾ Cetim – 52 Avenue Felix Louat – 60304 Senlis Cedex

Les équipements sous pression représentent une famille de structures relativement vaste. En effet, derrière cette dénomination se cache l'ensemble des appareils destinés à l'emmagasinage, la fabrication, la mise en œuvre ou encore la production, sous une pression supérieure à la pression atmosphérique, de fluides ou gaz comprimés. Leur présence s'étend ainsi de l'environnement domestique (bouteilles de gaz, autocuiseur, compresseur d'air, équipement de plongée, ...) au milieu industriel (réacteurs de l'industrie pétrolière, récipients de stockage, centrales nucléaires, ...).

Le secteur des équipements sous pression est conséquent : il correspond à un marché estimé aujourd'hui à près de 90 milliards d'euros en Europe. Il constitue également un thème de recherche et de développement important, sur des sujets tels que la modélisation numérique, l'interaction fluides-structures, les méthodes de contrôles innovantes ou encore le comportement aux séismes. Des conférences d'envergure internationale (PVP ASME, ESOP, ...) sont en outre dédiées exclusivement à ces équipements, de même que certains journaux à comité de lecture (Journal of Pressure Vessels Technology, International Journal of Pressure Vessels and Piping, ...).

Si les enjeux associés à ces structures semblent aussi importants, l'une de leurs caractéristiques intrinsèques, à savoir le danger potentiel qu'ils représentent, joue sans doute un rôle majeur. En effet, au delà du risque associé à la nature du fluide contenu (inflammabilité, toxicité, corrosivité, radioactivité, ...), l'énergie stockée dans de telles installations peut être considérable, en raison des volumes, pressions et températures de fonctionnement. En conséquence, en cas de défaillance de l'enceinte pour des raisons diverses, l'appareil peut être détruit, entraînant la projection de fragments et d'éclats, la libération de gaz ou de vapeurs, ainsi que le démarrage d'incendies. Des dégâts considérables aux niveaux matériel, environnemental et humain peuvent alors être provoqués. Des catastrophes notables se sont d'ailleurs produites à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème}, avec de lourds bilans.

C'est à cette époque que la prise de conscience du caractère dangereux associé à ces appareils s'est développée. Des législations nationales – puis internationales – ont graduellement été mises en place, imposant un cadre strict qui garantit une utilisation et une exploitation des équipements sous pression avec une sécurité maximale. Dans ces circonstances, il devient nécessaire de déterminer précisément les contraintes engendrées dans les appareils, en fonction des sollicitations et des conditions de fonctionnement. En conséquence, les opérations de conception, de dimensionnement et de calcul de structure revêtent un caractère primordial, ainsi que les contrôles et inspections en exploitation.

Aujourd'hui, le maintien en condition de service des équipements respectant les règles de sécurité et les réglementations en vigueur constitue une problématique industrielle majeure. D'un côté, pour des raisons d'amélioration des processus industriels et de prise en compte des préoccupations énergétiques et environnementales, la complexité des structures s'accroît, par leur géométrie, leurs sollicitations, ou encore l'emploi de nouveaux matériaux. De l'autre, dans un contexte de rentabilité et de hausse des coûts des matières premières, le surconservatisme est prohibé, et les épaisseurs retenues se doivent d'être optimisées. Dans ces conditions, le calcul d'un équipement neuf devient de plus en plus complexe à effectuer, et sa validation de plus en plus difficile à établir : les règles classiques se révèlent souvent inadaptées – voire inapplicables ou inutilisables. Parallèlement, des avancées significatives récentes dans le domaine de la mécanique (modélisation, endommagement, ...), de l'informatique (évolutions matérielles, développements logiciels, parallélisation, ...) et des méthodes numériques dans le milieu scientifique présentent des voies de progrès pour le dimensionnement optimisé et sécurisé des équipements sous pression.

En résumé, les équipements sous pression sont constitués d'enceintes fermées contenant des fluides sous pression. La nature du fluide qu'ils contiennent peut être plus ou

moins dangereuse (inflammable, corrosive, polluant...). En cas de rupture ou d'explosion de tels équipements, les risques humains, matériels ou écologiques peuvent être très importants.

La garantie de la sécurité maximale doit être assurée depuis la phase de la conception jusqu'au démontage de l'installation en fin de vie. Ceci est garanti en partie par le respect des normes, codes et réglementations en vigueur.

D'un point de vue technique on doit optimiser le prix de revient de ces structures et se prémunir contre :

- Les risques de rupture fragile
- Les déformations excessives
- Les instabilités plastiques (qui sont à l'origine des phénomènes d'éclatement).
- Les instabilités élastoplastiques (qui sont à l'origine du flambage)
- Les risques de rupture par fluage
- Les déformations progressives
- Les risques de fissuration par fatigue.

D'un point de vue scientifique ceci demande des développements de modèles pertinents de dimensionnement, de contrôle non destructif ainsi que l'élaboration de nouveaux matériaux et ceci dans un but d'allègement et de réduction de consommation d'énergie.

Sur le plan de la formation dans le domaine des sciences de l'ingénieur, plusieurs disciplines mécanique, science des matériaux, conception-dimensionnement, contrôle... s'appliquent aux équipements sous pression avec la particularité importante pour les apprenants, c'est d'être sensibilisé aux problèmes de la réglementation-normalisation ainsi qu'à la gestion de la sécurité.

Le concept **d'Industrie 4.0 ou industrie du futur** trouve sa place dans le domaine des équipements sous pression à travers la conception numérique, l'organisation de la fabrication, la gestion des contrôles de fabrication et en service, d'où l'importance que prends par exemple la maintenance à distance, la réalité virtuelle ou augmentée, la fabrication additive, l'utilisation des robots, l'approche par les jumeaux , ...

La finalité de cette conférence est de discuter les aspects scientifiques, techniques et de formation dans le domaine des équipements sous pression. On illustrera ce propos à travers d'exemples concrets sur la recherche de méthodes innovantes de dimensionnement et de contrôles de structures sous pression. Un point particulier concernera le concept d'industrie 4.0 et son apport dans le domaine des équipements sous pression.