

Développement d'un outil permettant l'analyse et la vérification de récipients sous pression selon le code ASME, le code CODAP et la norme EN 13445

Ing. M. LOUIS
Ing. D. MARECHAL
Ir. J. MARRA
HELMo-Gramme – Liège

Dans le but d'élargir les compétences de GDTech Engineering dans le domaine des récipients sous pression, un outil d'analyse et de vérification a été développé sur Excel. Avant ce mémoire, aucune recherche n'avait encore été faite à ce sujet au sein même de l'entreprise. Suite à ces recherches, il a été décidé de travailler sur deux codes et une norme pour pouvoir en faire des comparaisons théoriques et pratiques. C'est grâce à l'utilisation de logiciels que l'idée de créer un outil est arrivée. Celui-ci devait être le plus facile d'utilisation et le plus complet possible.

Mots-clefs : ASME, CODAP, EN 13445, Récipients sous pression, Analyse, Vérification.

In an effort to expand GDTech Engineering's expertise in the pressure vessel field, an Excel-based analysis and verification tool was developed. Prior to this paper, no research had been done yet on this topic within the company itself. As a result of this research, it was decided to work on two codes and one standard in order to make theoretical and practical comparisons. It was through the use of a dedicated software that the idea of creating a tool was born. This tool had to be as easy to use and as complete as possible.

Keywords : ASME, CODAP, EN 13445, Pressure Vessels, Sizing, Analysis, Verification

1. Introduction

L'étude et la vérification du dimensionnement d'appareils sous pression en Belgique ne sont pas, ou très peu répandues. En effet, nous ne comptons que très peu de fabricants d'appareils sous pression en Flandre et en Wallonie. Il n'y a donc pas, par conséquent, énormément de bureaux d'études spécialisés dans le dimensionnement et la vérification des appareils sous pression en Belgique.

Chez nos voisins français c'est plutôt l'inverse. La France est bien desservie dans le domaine de la chaudronnerie puisqu'elle peut compter sur plus d'une centaine de fabricants d'ESP. Cependant, la plupart de ces fabricants sont des PME ce qui signifie qu'ils n'ont pas ou très peu de personnel qualifié pour faire les études et dimensionnements de leurs ESP. Il y a donc là un marché très intéressant à aller conquérir.

C'est pourquoi GDTech Engineering aimerait, dans un premier temps, s'exporter en France, pour justement combler ce marché. Néanmoins, l'entreprise n'a pas les compétences dans le code utilisé en France pour les appareils sous pression mais souhaiterait les acquérir assez rapidement.

Le sujet de ce mémoire est donc le dimensionnement d'appareils sous pression selon le code CODAP, code utilisé en France, afin de permettre à GDTech Engineering de s'insérer sur le marché français. La norme européenne et le code américain seront aussi étudiés afin de permettre une comparaison entre cette norme et ces deux codes et ainsi donner à GDTech Engineering la possibilité d'acquérir les compétences sur d'autres normes et codes utilisés dans ce cas-ci sur le continent américain et européen.

Le but de ce mémoire est de comprendre les différences entre les normes et codes utilisés dans le monde, de créer un outil qui sera capable de dimensionner des ESP selon ces normes et codes et d'analyser les différences entre les résultats obtenus.

2. Les différents codes et norme utilisés

Il est important, dans ce chapitre, de faire la différence entre norme et code.

Un code est un ensemble de règles servant de lignes directrices pour l'industrie. Le code existe pour la sécurité, la qualité et autres bienfaits. En d'autres termes, il indique ce que le fabricant doit faire. Le code sera plutôt à l'échelle d'un pays.

Une norme a tendance à être "une élaboration plus détaillée, ce sont les écrous et boulons pour se conformer à un code"¹. La norme nous indique donc comment faire pour exécuter les codes. La norme sera plutôt à l'échelle d'un continent.

2.1. Le code américain ASME

L'ASME est l'un des codes le plus ancien mais aussi le plus utilisé, y compris dans les pays asiatiques. Il n'est toutefois pas conforme avec la directive européenne sur les ESP, cela signifie donc qu'il ne constitue pas une alternative avérée pour l'Europe.

Les américains sont assez pragmatiques, c'est-à-dire que lorsqu'une méthode fonctionne, on ne la modifie pas et donc on ne l'optimise pas non plus. Les récipients sont ainsi plus épais et par conséquent plus chers et ils ne sont dès lors pas compétitifs.

Après la seconde guerre mondiale, l'industrie européenne a été détruite et l'Europe a fait faillite. Il a donc fallu reconstruire des navires rapidement, les moins chers et les plus légers possible. L'ASME ne permettait pas de faire cela et c'est à ce moment-là qu'elle a perdu de son enclin avec l'arrivée du code anglais.

La langue officielle de l'ASME est l'anglais. Le code a toutefois été traduit dans les langues étrangères, mais ces versions doivent être utilisées à titre indicatif étant donné qu'elles n'ont pas été reconnues officiellement par l'ASME. Il est donc préférable de toujours se référer au code original en anglais.

Le code ASME est subdivisé en 13 sections distinctes mais c'est l'ASME VIII Division 1 qui a été choisi car la partie VIII est celle dédiée aux récipients sous pression et la Division 1 est celle qui est majoritairement utilisée.

¹ Cité par la National Fire Protection Association (NFPA)

2.2. Le code français CODAP

Le CODAP a été choisi car c'est le code principalement utilisé en France, là où l'entreprise GDTech aimerait s'exporter. Il a été créé en 1940 et est fortement utilisé en France mais aussi en Afrique et plus particulièrement en Afrique du Nord où le CODAP monte en puissance. Il est grandement utilisé en France car le code est écrit en français, ce qui facilite énormément la tâche aux fabricants étant donné que beaucoup d'entre eux ne parlent pas assez bien l'anglais que pour utiliser le code ASME.

Le CODAP est divisé en deux parties et c'est le CODAP Division 2 qui a été étudié car c'est la division la plus complète.

Malgré ses 4500 pages, le CODAP est facile à lire et l'ensemble est cohérent. Grâce à ce code, il est possible de dimensionner des récipients de plus faibles épaisseurs, ce qui permet d'être moins cher par rapport aux autres normes et codes et donc de remporter les marchés plus facilement.

Ce qui est recherché dans le CODAP c'est une épaisseur idéale pour une durée de vie convenable. Par convenable, on entend que le récipient doit pouvoir être utilisé le plus longtemps possible, en moyenne une vingtaine d'années, mais qu'il doit subir des inspections et requalifications périodiques afin de vérifier son état général.

Tout comme la norme européenne (abordée au paragraphe 2.3.), le CODAP est soumis à la directive DESP², aussi appelée PED³, mais comme le code est plus complet que la norme, lorsque l'équipement est "CODAP conforme", il obtient sans problème la conformité à la directive.

Contrairement à la norme européenne, tout ce qui est introduit dans le CODAP a été justifié scientifiquement, ce qui se veut plus rassurant pour ses utilisateurs.

² DESP, Directive des Équipements Sous Pression, est une directive que tous les équipements sous pression doivent respecter pour garantir la sécurité, la santé et la protection de tous. Elle n'est applicable que dans l'espace économique européen et est universelle aux législations des États membres de l'Union Européenne.

³ PED, Pressure Equipment Directive

2.3. La norme européenne EN 13445

L'EN 13445 est la norme principalement utilisée sur le continent européen. Elle a été développée en 2002 afin de donner aux concepteurs la possibilité de fabriquer des récipients plus légers et plus efficaces. Elle offre donc des options de conception essentielles, tout comme le code anglais, qui font défaut au code AMSE.

La norme européenne est conforme à la directive DESP et est jointive avec celle-ci. Cela signifie que lorsqu'on est EN 13445 conforme, on obtient directement la conformité de la DESP. Nous dirons donc que lorsque une norme est conforme à une directive européenne, cela se traduit sous la forme d'un arrêté royal en Belgique.

La norme est subdivisée en 10 parties et il a été choisi d'étudier la partie 3 car c'est la partie contenant les informations nécessaires au dimensionnement des équipements sous pression.

La norme européenne a rencontré un obstacle majeur lors de sa mise en application : la nouveauté. À titre de comparaison, le code ASME a été développé en 1915, soit presque 100 ans avant la norme. Lorsqu'une nouvelle norme sort, il y a de fortes chances pour que celle-ci ne soit pas complète, qu'elle ait des erreurs mais surtout, qu'elle manque cruellement de retour d'expérience. Pour pallier à cela, la France a mis en place diverses actions pour la chaperonner et ainsi faciliter son acceptation auprès de l'industrie. L'inconvénient de cela est qu'il n'y a pas de vision globale et qu'il n'y a qu'une correction au cas par cas. La France a donc mis en place un deuxième type d'actions consistant à confronter, pour six appareils sous pression, les réponses obtenues par la norme européenne et par le code CODAP afin d'améliorer celle-ci.

Un des problèmes de la norme européenne est qu'elle pioche dans les codes allemands, anglais et italien des méthodes qui fonctionnent sans se soucier de la cohérence avec le reste. Étant donné que des parties de codes ont été utilisées, il est compréhensible que la norme ne soit pas complète.

Il existe aussi un autre problème. Les règles introduites dans la norme européenne ne sont pas approuvées par des études scientifiques, ce qui peut amener à un litige dans le cas où une malfaçon engendre un accident. Cependant dans un tel cas, il n'est pas possible de se retourner contre une norme étant donné que celle-ci est inattaquable. Le client se retournera donc contre le bureau d'études en charge du projet et cela peut engendrer des procès qui peuvent dépasser les millions d'euros.

3. Comparaison des codes et de la norme utilisés

3.1. Comparaison théorique

EN 13445 et CODAP

Comme dit plus haut, la norme européenne, l'EN 13445, reprend des méthodes de calcul approuvées par les différents codes tels que le CODAP. Il est donc certain que beaucoup de ces méthodes et règles soient identiques. En effet, si nous comparons le dimensionnement, nous remarquons que la norme européenne donne des résultats comparables avec ceux du CODAP.

Des différences sont tout de même à noter. La définition des contrôles suivant la norme européenne est assez complexe, ce qui prend plus de temps pour le dimensionnement d'un appareil sous pression. En revanche, l'ensemble des contrôles est plus faible dans la norme européenne que dans le CODAP puisqu'il n'y a pas d'études scientifiques pour la vérification des méthodes.

EN 13445 et ASME

Après la seconde guerre mondiale, l'Europe a dû reconstruire rapidement, et pour pas cher son industrie. La norme européenne a donc été développée dans le but de donner aux concepteurs le potentiel de construire des navires (récipients à l'heure actuelle) plus légers et plus efficaces.

Pour avoir des épaisseurs plus minces, les contraintes admissibles utilisées dans l'EN 13445 sont moins restrictives pour ce qui est de la résistance à la traction. On a donc une valeur autorisée plus élevée, qui reste tout de même limitée par le rendement, permettant ainsi d'avoir des parois plus minces dans de nombreux cas.

Dans le code ASME, si la mention "U-2(g)" apparaît, cela nous informe que la section VIII, Division 1 de l'ASME ne nous renseigne pas sur la manière de procéder. Il est donc conseillé d'aller voir dans la Division 2 et si celle-ci ne nous dit pas non plus quoi faire, il faudra aller voir dans une autre norme ou code reconnu et accepté tels que l'EN 13445.

CODAP et ASME

Entre ces deux codes, on retrouve deux différences majeures. La première est que l'ASME utilise une organisation de contrôle (le U STAMP) qui permet de certifier les récipients tous les trois ans et qui audite tout le process. Ce contrôle est très pointu et donc très cher. En revanche, cela permet d'avoir des process de qualité étant donné que chaque étape est vérifiée. À l'opposé, le CODAP ne vérifie qu'à la

fin du process, ce qui veut dire que s'il y a un problème, il faudra soit apporter les modifications nécessaires en direct si cela est possible, soit recontacter le contrôleur lorsque ces modifications seront faites.

La deuxième différence se trouve dans l'épaisseur des récipients. En effet, les américains ne veulent pas changer les méthodes qui fonctionnent et veulent encore moins les optimiser. Les récipients sont plus épais et donc plus chers. Ce qui est tout à fait différent du code CODAP puisque celui-ci cherche à avoir une épaisseur la plus faible possible tout en garantissant une durée de vie convenable.

3.2. Comparaison pratique

La comparaison pratique a été réalisée avec le logiciel de dimensionnement et de vérification d'équipement sous pression AUXeCAP. Ce logiciel a pour but de concevoir, dimensionner et vérifier des équipements sous pression selon le code CODAP, le code ASME et la norme EN 13445. Il permet aussi de calculer les équipements en pression, de vérifier ceux-ci en levage, en supportage, de vérifier leur résistance aux efforts extérieurs ainsi que la résistance à la neige, au vent et au séisme.

Afin de comparer les codes et les normes entre eux, deux exemples de récipient sous pression ont été repris dans la partie apprentissage du logiciel, le premier était réalisé sous l'ASME et le deuxième sous EN 13455. Ces deux exemples ont donc été réalisés sous le CODAP et ont été vérifiés par un des créateurs du logiciel. Les figures ci-dessous montrent les deux exemples de récipients utilisés.

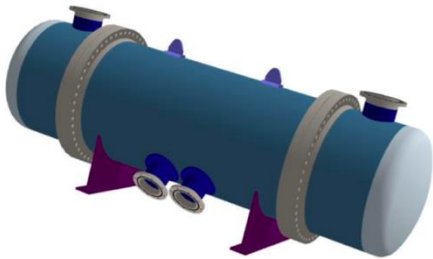


Figure 1 : Récipient sous pression simple horizontal sur berceaux

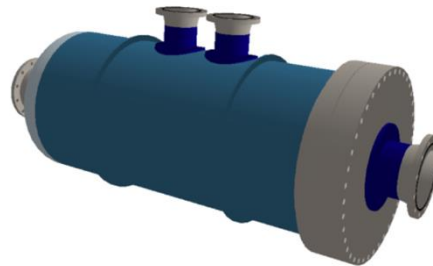


Figure 2 : Récipient sous pression simple horizontal

En comparant le code français et la norme européenne, on remarque trois différences flagrantes. La première concerne les contraintes admissibles pour chaque élément qui sont plus élevées pour le CODAP que pour l'EN 13445. Ceci s'explique par le fait que la norme européenne multiplie les contraintes obtenues par un facteur de sécurité égal à 0,9 afin de diminuer les contraintes admissibles et ainsi, augmenter

la sécurité. Le CODAP, quant à lui ne multiplie pas les contraintes obtenues par un quelconque facteur de sécurité. La deuxième différence se marque au niveau des épaisseurs. Celles déterminées par le CODAP sont plus faibles que pour l'EN 13445 étant donné que dans la formule (1), qui est la même pour les deux, on retrouve la contrainte admissible au dénominateur et comme celle-ci est plus grande pour le CODAP, il est donc normal qu'on ait des épaisseurs plus petites pour celui-ci. La dernière différence se trouve dans les pressions intérieures maximales admises. Si on regarde les formules (2) et (3), on verra que la contrainte est à nouveau présente, mais, que le dénominateur est différent. Pour la norme, on divisera par quelque chose de plus grand, donc ici encore, les pressions seront plus grandes pour le CODAP.

$$e = \frac{P * De}{2 * f * z + P} \quad (1)$$

$$Pi = \frac{2 * f * z * e}{De - e} \quad (2)$$

$$Pi = \frac{2 * f * z * e}{Dm} \quad (3)$$

Où P représente la pression, De le diamètre extérieur, f la contrainte admissible, z le coefficient de soudure et Dm le diamètre moyen.

En comparant le code américain au code français, on constate que les épaisseurs sont plus faibles tout en autorisant des contraintes plus élevées. Ici, l'ASME n'utilise pas de facteur de sécurité mais les contraintes sont prédéfinies dans une autre partie de l'ASME. Il est donc possible que l'ASME elle-même diminue les contraintes admissibles afin d'avoir une marge de sécurité en plus. Au niveau des épaisseurs, on retrouve les mêmes conclusions que pour la norme européenne, à savoir que l'on divise par la contrainte. On a donc, une épaisseur plus faible pour le CODAP vu que le dénominateur est plus grand pour celui-ci.

De manière générale, on dira que le CODAP permet de valider des récipients avec de plus faibles épaisseurs en permettant toutefois de conserver des pressions et contraintes admissibles plus élevées par rapport à la norme européenne et au code américain.

4. Outil de dimensionnement

L'idée de réaliser un outil de dimensionnement est venue à la suite de l'essai du logiciel AUXeCAP car en regardant de plus près la démarche utilisée par le logiciel, celui-ci n'est rien d'autre qu'une feuille de calcul Excel. Il a donc été décidé de réaliser un outil facile d'utilisation et le plus instinctif possible.

Cette partie ne sera pas aussi détaillée que dans le mémoire car elle reste confidentielle.

L'outil de dimensionnement est assez simple et instinctif. En effet, il suffit à l'utilisateur d'encoder les dimensions préalablement fournies par le client et l'outil fait le reste. Les cases à remplir sont colorées en vert, les cases qui concernent les calculs et les formules sont en blanc et celles avec les résultats sont en jaune. L'utilisateur ne pourra donc pas se tromper quant à l'encodage des données fournies par le client. L'utilisateur aura juste à aller voir à la fin du dimensionnement de l'élément pour savoir si oui ou non les dimensions demandées par le client sont bonnes. Il faut savoir que cet outil ne dimensionne pas à proprement parler les éléments d'un récipient sous pression mais vérifie que les dimensions choisies par le client respectent le code ou la norme choisi. Si le dimensionnement venait à être mauvais, l'utilisateur devrait alors modifier l'épaisseur, seul paramètre modifiable, ou encore changer de code ou de norme en prenant l'ASME par exemple, puisque comme on l'a vu plus haut, celui-ci permet des épaisseurs plus grandes que le CODAP.

L'outil permet de vérifier les fonds torisphériques, hémisphériques et elliptiques, les viroles, les tubulures, les assemblages boulonnés et des supports tels que les berceaux, consoles ou oreilles de levage selon les codes ASME et CODAP et la norme EN 13445.

Une comparaison du logiciel AUXeCAP et de l'outil de dimensionnement a été réalisée. Il en sort que les deux sont relativement semblables même si quelques différences flagrantes persistent. La première est que le logiciel ne vérifie pas les conditions à appliquer en amont ou en aval du dimensionnement. Ensuite, le logiciel n'utilise pas toujours les formules prescrites dans les codes ou la norme et préfère utiliser des itérations pour trouver certaines épaisseurs. Enfin, le logiciel n'utilise pas toujours les formules données dans les codes ou la norme et préfère utiliser la définition du terme en question. Ces différences représentent des erreurs comprises entre 10 et 30% qui sont prises du côté de la sécurité dans l'outil de dimensionnement puisque celui-ci surévaluera l'épaisseur avec l'erreur ci-dessus.

5. Conclusion

Ce mémoire avait pour ambition d'analyser et vérifier des récipients sous pression selon le code ASME, le code CODAP et la norme EN 13445 dans le but d'élargir les compétences de GDTech Engineering dans le domaine de la chaudronnerie.

Il convenait alors de s'intéresser aux différentes normes et codes existants dans le monde afin d'avoir une vue d'ensemble sur ce qui se faisait sur les autres continents. De cette étude est ressorti que le code le plus utilisé est le code américain,

l'ASME, étant donné que c'est l'un des plus anciens. Il a été décidé d'étudier, en plus de l'ASME, la norme européenne, l'EN 13445, l'entreprise se situant en Europe ainsi que le code français, le CODAP, comme elle veut s'imposer sur le marché français en tant que bureau d'étude spécialisé dans l'étude des récipients sous pression sous le CODAP.

Après une comparaison de ces deux codes et de cette norme, il en ressort que le code français est le plus complet et permet des épaisseurs de parois plus faible tout en conservant des pressions et contraintes admissibles élevées, ce qui permet d'être moins cher. Ensuite vient la norme européenne qui permet, elle aussi, d'avoir de faibles épaisseurs de parois mais qui n'est pas toujours très cohérente et très complète de par le fait qu'elle pioche dans différents codes des méthodes qui fonctionnent sans se soucier de la cohérence ou encore qu'elle ne subit pas d'études scientifiques permettant de valider les résultats obtenus. Enfin, le code américain sera toujours fiable mais ne permet pas des épaisseurs de parois faibles, ce qui augmente les coûts de fabrication.

Suite à l'essai du logiciel AUXeCAP, il a été constaté que le code français permettait de valider des récipients avec de plus faibles épaisseurs en permettant toutefois de conserver des pressions et contraintes admissibles plus élevées que la norme européenne et que le code américain.

À la suite de cet essai, il a été décidé de réaliser une feuille de calcul Excel permettant de dimensionner et de vérifier les récipients sous pression selon la norme européenne, le code français et le code américain. Cette feuille de calcul se devait d'être la plus complète et facile d'utilisation, ce qui a été accompli étant donné que l'on peut dimensionner les éléments de récipient les plus souvent rencontrés et qu'il suffit à l'utilisateur de rentrer les dimensions de ces éléments ainsi que les conditions de calcul pour que tout se fasse automatiquement. La feuille de calcul semble donner des résultats cohérents. En effet, ceux-ci ont été validés à l'aide d'exemples disponibles sur le logiciel AUXeCAP.

Une comparaison a donc été faite entre le logiciel AUXeCAP et la feuille de calcul Excel où il a été constaté que le logiciel et la feuille de calcul donnaient sensiblement les mêmes résultats. Les différences remarquées se situent dans le fait que le logiciel utilise des itérations ou des formules qui ne sont pas décrites dans les codes ou dans la norme alors que la feuille de calcul suit la méthode de résolution prescrite dans la norme ou dans les codes. Il en ressort donc que le CODAP reste le code le plus complet en permettant des épaisseurs plus faibles et des contraintes et pressions plus élevées, suivit de l'EN 13445 en enfin de l'ASME.

Pour conclure cet article, il paraît important de rappeler que ce projet est parti d'une feuille blanche étant donné que l'entreprise n'avait aucune compétence

dans les récipients sous pression. Il y a donc eu une phase assez importante de recherche et de documentation avant de réellement commencer un quelconque développement.

La feuille de calcul réalisée au cours de ce mémoire permet de dimensionner des récipients simples. Elle pourrait donc être améliorée en intégrant, par exemple des enveloppes sphériques, rectangulaires ou encore coniques. Il pourrait être intéressant d'étudier d'autres normes et codes afin de pouvoir conquérir plus de marchés en s'exportant dans le monde. Aussi, l'étude de la tuyauterie sous pression et des équipements SANS pression seraient intéressantes afin d'élargir encore plus les compétences de GDTech Engineering.

6. Sources

- [1] *AMSE Boiler & Pressure Vessel Code*, ASME, The American Society of Mechanical Engineers, Amérique, 2015
- [2] *CODAP Division 1*, CODAP, SNCT, Paris, 2020
- [3] *CODAP Division 2*, CODAP, SNCT, Paris, 2020
- [4] KOPLEWICZ, D. & AL, *Comparaison entre EN 13445 et le code CODAP 2000* 2004.
- [5] *Unfired pressure vessels – Part 3 : Design*, EN 13445-3 : 2014 E, CEN – Comité Européen de Normalisation, Bruxelles, 2014