

Société de Calcul Mathématique SA

Outils d'aide à la décision

depuis 1995



La prise en compte des incertitudes en Mécanique

mai 2015

Rédaction Bernard Beauzamy

Résumé Opérationnel

Les experts connaissent leur métier, qui est de dimensionner un équipement. Cependant, ils sont clairement désarmés lorsqu'il s'agit d'un débat sur la prise en compte des incertitudes, comme demande aujourd'hui l'ASN.

La raison nous paraît être que ce débat est nouveau pour eux. Jusqu'à présent, les diverses "incertitudes" (peu importe quel sens précis on donne à ce mot) étaient couvertes par de larges coefficients de sécurité : c'est ce qui fait que les ponts romains tiennent encore de nos jours.

Mais aujourd'hui, on se dirige vers une approche beaucoup plus scientifique, ou pseudo-scientifique, consistant à vouloir tout modéliser, à vouloir montrer que tous les phénomènes sont compris, sont sous contrôle. Or ce n'est pas le cas, et ce ne sera jamais le cas. L'approche consistant à vouloir comprendre finement les phénomènes est certainement utile techniquement et physiquement, mais en ce qui concerne les incertitudes, elle est suicidaire.

Dans le présent document, nous analysons le cas particulier des incertitudes en mécanique. Le problème du vocabulaire y apparaît de manière évidente. Le second problème, tout aussi évident, est que les situations de référence ne sont pas convenablement décrites : dans l'exemple traité ci-dessous, on ne sait pas en définitive quelle doit être la résistance de la cuve.

Sommaire

Résumé Opérationnel.....	2
I. Introduction.....	4
II. Historique / Culture.....	4
III. Peut-on "éliminer les incertitudes" ?.....	5
IV. Elaborer un facteur de sécurité sur des incertitudes inconnues	6
V. Des difficultés de compréhension avec les termes "marge" et "coefficient de sécurité"	6

I. Introduction

Les trois points suivants ont été abordés par la SCM lors de la rencontre avec un expert "Mécanique" :

1) Il faut définir correctement les rôles :

- Quel est le rôle du fabricant ?
- Quel est le rôle de l'exploitant ?

Ces rôles ne sont toujours pas clairs. Pour l'expert en mécanique, l'exploitant doit définir comment il souhaite utiliser son équipement ; il fournira au fabricant les données d'utilisation liées à cet équipement (pression, température,...). Toujours pour l'expert, c'est au fabricant de concevoir l'équipement pour résister aux contraintes qui lui ont été communiquées : le fabricant analyse les risques et définit les facteurs de sécurité associés.

2) Il faut définir correctement le vocabulaire : ce sont en particulier les termes "marge", "incertitude", "facteur de sécurité", "coefficient de sécurité", "tolérance".

Nous constatons en particulier un problème de définition dans le terme "coefficient de sécurité" qui est actuellement inclus dans la "marge", alors qu'il devrait en être exclu, comme nous le verrons plus loin.

3) Nous avons passé en revue, sur l'exemple concret d'une virole, le processus de décision :

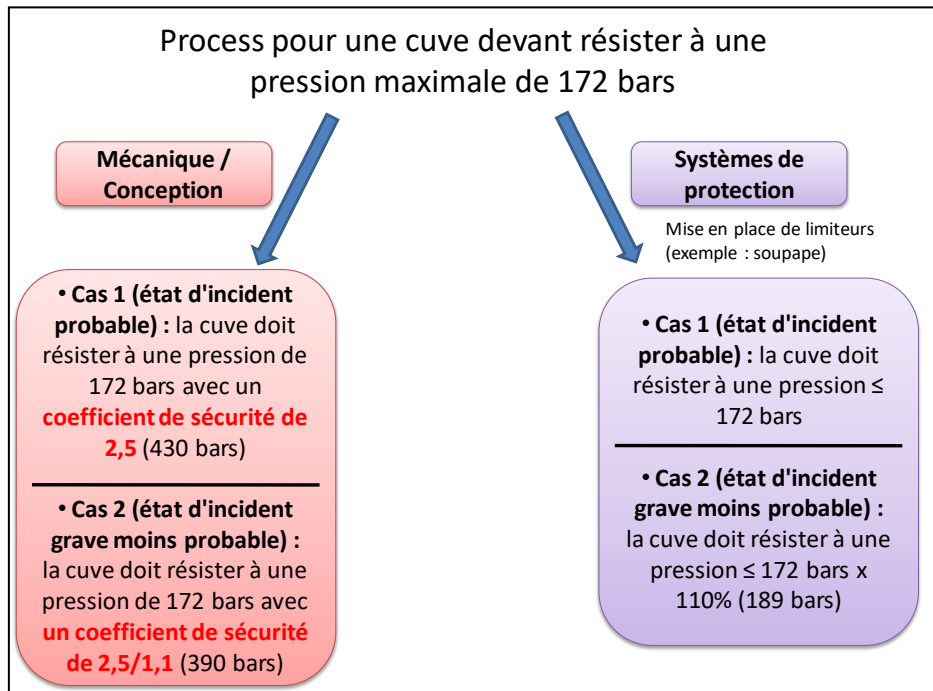
- Avant : la virole était dimensionnée suivant des contraintes grossières ;
- Maintenant : l'ASN ajoute de nouvelles contraintes et réglementations, suite à l'évolution des codes et des normes ;
- La question qui se pose est : sait-on encore dimensionner une virole, avec les nouvelles contraintes et réglementations actuelles ?

Pour l'expert, l'exemple de la virole n'est apparemment pas le plus significatif : il n'a été que très rapidement abordé.

II. Historique / Culture

L'expert insiste sur l'aspect historique de la réglementation, qui est ancien. Les chaudières tuaient ; de ce fait, leur conception a été très réglementée, avec notamment des épreuves hydrauliques très fortes.

Exemple :



On constate sur ce schéma simplifié qu'une cuve devant initialement résister à 172 bars, va en réalité devoir résister à :

- 430 bars pour le cas 1 (état d'incident probable) ;
- 390 bars pour le cas 2 (état d'incident grave, mais moins probable).

Ici, on voit déjà une difficulté conceptuelle : comment est défini l'incident "probable" ? Il n'y a pas de définition précise, si bien que la porte est ouverte à toute sorte de difficultés réglementaires : faut-il, en définitive, que la cuve résiste à 390 ou 430 bars ?

Nous observons en outre que, pour le cas 2, partie mécanique / conception, il semble plus correct de multiplier le coefficient de sécurité 2,5 par 1,1, et non de le diviser par 1,1 comme l'a écrit l'expert. En multipliant par 1,1 on obtiendra pour le cas 2 une pression de 473 bars, ce qui serait plus logique, puisque le cas 2 est censé résister à un incident de pression plus grave.

Les contraintes maximales, utilisées pour le dimensionnement, ne concernent pas uniquement le chargement, mais doivent également tenir compte des variations de température.

III. Peut-on "éliminer les incertitudes" ?

Pour les équipements nucléaires, le choix français a été d'appliquer entièrement la réglementation classique (la réglementation européenne) en rajoutant des exigences spécifiques. La déclinaison française, effectuée par l'ASN, d'une directive européenne, contient les mots "éliminer toutes les incertitudes".

Il est scientifiquement impossible d'éliminer toutes les incertitudes. La question posée est donc de savoir comment interpréter la directive européenne 97/23/CE ESS 2.2.3.a) pour répondre au problème du traitement des incertitudes en mécanique.

Les demandes de l'ASN "identifier les sources d'incertitudes", "identifier la liste et la nature des facteurs de sécurité" et "éliminer toutes les incertitudes" font suite aux non-conformités du code RCC-M sur certains points de la norme européenne. En effet, le code RCC-M adopte des dispositions plus contraignantes que celles des normes harmonisées européennes EN 13445-3 et EN-13480-3 sauf pour certains cas (exemple : incertitudes liées aux propriétés physiques des matériaux).

IV. Elaborer un facteur de sécurité sur des incertitudes inconnues

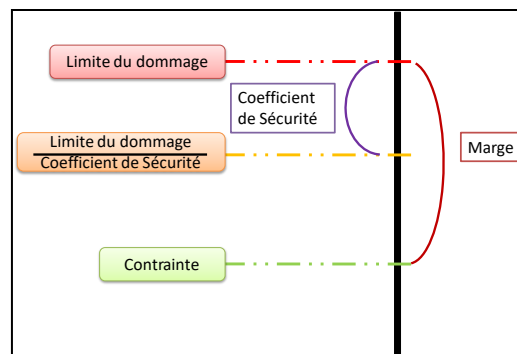
Pour l'expert, dans le groupe d'incertitudes sur les propriétés et comportement des matériaux, la différence de classification des familles de matériaux entre le RCC-M et la norme européenne normalisée n'est pas un réel problème en soi. Il est difficile pour les experts de déterminer les incertitudes sur les propriétés du matériau : ils utilisent des valeurs moyennes et ne savent pas déterminer un facteur de sécurité, car les incertitudes sont inconnues.

Selon l'expert, le facteur de sécurité est utilisé uniquement lorsque l'information sur le paramètre est suffisamment connue (i.e. lorsqu'il y a suffisamment de retour d'expérience). La difficulté en mécanique, c'est qu'on ne prend pas de facteur de sécurité sur ce qui est inconnu.

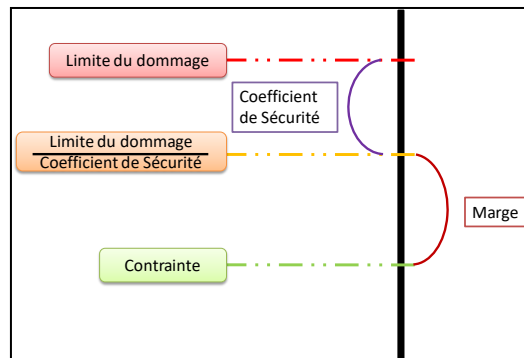
Nous observons qu'une analogie avec le génie civil a été faite : quand il n'existe pas de facteur de sécurité sur ce qui est connu, le génie civil élabore un facteur de sécurité sur ce qui est inconnu. On pourrait transposer les méthodes et envisager de faire de même pour la mécanique.

V. Des difficultés de compréhension avec les termes "marge" et "coefficient de sécurité"

Les définitions de "coefficient de sécurité" et de "marge" sont incohérentes. Pour l'expert, le coefficient de sécurité est inclus dans la marge, comme dans le schéma qu'il a présenté ci-dessous :



Or, la marge ne devrait pas absorber le coefficient de sécurité. La marge et le coefficient de sécurité doivent être distincts comme dans l'exemple suivant :



Prenons comme exemple un exploitant, qui commande un tuyau pouvant résister à une contrainte de 17,5 MPa.

Pour réaliser cette demande, le fabricant prend une marge de 2,5 MPa pour s'assurer que son tuyau ne rompra pas même si l'exploitant dépasse la contrainte de 17,5 MPa.

Par principe, le fabricant doit prendre un matériau avec une résistance à la rupture de 20 MPa minimum. Cependant, la résistance à la rupture est déterminée pour chaque matériau par des mesures sur des éprouvettes en laboratoire. Or, il existe des possibilités de variation entre les mesures effectuées à l'échelle laboratoire et celles à l'échelle industrielle (changement de géométrie du matériau, vieillissement de la structure...). Il est nécessaire de prendre en compte les incertitudes sur les valeurs mesurées en laboratoire.

Après analyse des risques, le fabricant détermine un coefficient de sécurité (par exemple 1,5), multiplicatif dans cet exemple, et va finalement concevoir un tuyau résistant à une contrainte de 30 MPa.