

Monsieur le Directeur de la Direction des équipements sous pression

Fontenay aux Roses, le 16 décembre 2025

AVIS D'EXPERTISE N° 2025-00128 DU 16 DÉCEMBRE 2025

Objet : ITER - Analyse du dimensionnement de la chambre à vide au regard du critère d'exclusion j de l'article R. 557-9-2 du code de l'environnement

Références : [1] Saisine ASNR CODEP-DEP-2025-042035 du 24 septembre 2025 : « Analyse du dimensionnement de la chambre à vide afin de vérifier le rapport entre les chargements issus de la pression et les autres chargements retenus, dans le cadre de la justification du respect du critère d'exclusion « R. 557-9-2 j » de la chambre à vide ».
[2] Code de l'environnement, articles R. 557-9-2 et R. 557-12-1.

Par la saisine citée en référence [1], la Direction des équipements sous pression a sollicité l'avis de la Direction de l'expertise en sûreté sur le dossier transmis par Iter Organization (IO) en support à sa demande de recourir au critère d'exclusion stipulé au point j de l'article R. 557-9-2 du code de l'environnement [2]. Plus précisément, la Direction des équipements sous pression interroge la Direction de l'expertise en sûreté sur la détermination du rapport entre les chargements dus à la pression dans la double enveloppe de la chambre à vide et ceux retenus pour le dimensionnement de celle-ci.

1. DOSSIER D'ITER ORGANIZATION

Dans son dossier, IO considère la chambre à vide d'ITER comme un carter conçu pour garantir les conditions de vide nécessaires, afin d'accueillir un plasma et de résister aux charges électromagnétiques générées lors des instabilités de plasma.

La chambre à vide (vacuum vessel, VV) a la forme d'un tore, constitué d'une double paroi, appelée « double enveloppe » dans la suite de cet avis, en acier inoxydable d'épaisseur comprise entre 40 mm et 60 mm, l'espace entre les deux parois étant de 400 mm. Elle comporte des traversées qui permettent notamment de procéder au chauffage du plasma, à l'alimentation en combustible et aux diagnostics. La double enveloppe contient des plaques d'acier ayant une fonction de blindage ainsi que de l'eau sous pression (11 bar en fonctionnement normal).

IO indique que la situation qui conditionne le dimensionnement des parois de la double enveloppe résulte du déplacement vertical du plasma dans la chambre à vide. Cette situation engendre des forces électromagnétiques qui s'appliquent aux parois de la double enveloppe. Au sens du code RCC-MR¹, cette situation est de catégorie III² et est désignée VDEIII dans la suite de cet avis.

¹ Règles de conception et de construction des matériels mécaniques des installations nucléaires expérimentales.

² Les situations de fonctionnement de catégorie III correspondent, selon le code RCC-MR, à des situations exceptionnelles, associées à des événements de très faible probabilité, mais dont l'éventualité est envisagée, nécessitant l'arrêt et des vérifications adéquates de l'équipement ou de l'installation.

Pour évaluer les chargements dus à la pression dans la double enveloppe et ceux retenus pour le dimensionnement, l'exploitant a comparé les résultats des calculs de déformation, obtenus par une analyse limite³, entre les chargements résultant de la pression du fluide circulant dans la double enveloppe et ceux résultant de la situation VDEIII.

2. ANALYSE DE LA DIRECTION DE L'EXPERTISE EN SÛRETÉ

En premier lieu, la Direction de l'expertise en sûreté note que le chargement correspondant à la situation VDEIII est un chargement de nature primaire⁴, qui est pris en compte par IO par des pressions équivalentes sur les deux parois de la double enveloppe de la chambre à vide. À cet égard, il convient de noter que les valeurs des pressions équivalentes maximales associées à la situation VDEIII sont d'environ 13 bar, donc du même ordre de grandeur que celles associées à la pression de refroidissement du fluide dans la double enveloppe, de 11 bar, ou à la pression de calcul, de 18 bar.

La Direction de l'expertise en sûreté souligne que la section R. 557-12 du code de l'environnement ne spécifie pas la nature de la pression : cette section pourrait être applicable à la chambre à vide si on considère que la situation qu'il convient de prévenir est celle correspondant à un éclatement sous l'effet de chargements de nature primaire, en prenant en compte l'intégralité des efforts primaires et donc, en particulier, les forces électromagnétiques associées à la situation VDEIII.

Pour IO, le cas dimensionnant de la double enveloppe de la VV est la situation VDEIII. Il a évalué, pour cette situation, à partir de calculs non linéaires, l'effet relatif des chargements en calculant le rapport de la déformation maximale due à la situation VDEIII sur celle associée à la pression du fluide dans la double enveloppe. En considérant la pression de calcul de 18 bar, ce rapport vaut 4,43 pour les zones dimensionnantes.

La Direction de l'expertise en sûreté note que IO a déterminé le rapport des chargements en situation de catégorie III. Toutefois, dans son guide relatif à l'exemption d'un équipement du règlement français des équipements sous pression, IO indique : « *In the technical justification, the contribution of pressure to the overall stresses in normal operations conditions of the equipment shall be demonstrated on a case by case basis* ». Sur cette base, la Direction de l'expertise en sûreté considère qu'IO aurait dû comparer le chargement dû à la pression à celui d'une situation de catégorie I ou II⁵. IO a alors comparé la déformation totale due à la situation de déplacement vertical du plasma de catégorie II (VDEII) à celle résultant de la pression dans la double enveloppe. Toujours en considérant la pression de calcul de 18 bar, IO a évalué à 2,7 le rapport entre ces déformations.

Les résultats de calcul effectués par IO montrent que les déformations maximales présentent un caractère limité en étendue. Ces calculs ne permettent pas d'avoir une vision des chargements sur l'ensemble de la VV. Aussi, en complément de l'analyse précédente, la Direction de l'expertise en sûreté a demandé à l'exploitant de comparer les résultats en contraintes issus de calculs en élasticité linéaire pour les différents chargements. IO a présenté ces résultats pour les chargements correspondant à la pression de fluide en situation normale, à la pression de calcul et aux situations VDEII et VDEIII.

Les contraintes les plus élevées sont obtenues localement :

- pour les zones singulières, jusqu'à 100 MPa pour les chargements VDEII, jusqu'à 150 MPa en VDEIII et environ 50 MPa pour le chargement de pression de calcul., soit un rapport minimal de 2 ;
- dans les parties courantes, jusqu'à 50 MPa pour les chargements VDEII, jusqu'à 80 MPa en VDEIII et environ 20 MPa pour le chargement de pression de calcul, soit un rapport minimal de 2,5.

³ L'analyse limite est une technique qui permet d'estimer les charges ultimes de structures élastoplastiques sans nécessité de connaître précisément la loi de comportement du matériau.

⁴ Un chargement est dit de nature primaire lorsqu'il résulte de forces imposées.

⁵ Les situations de fonctionnement de catégorie I ou de catégorie II correspondent, selon le code RCC-MR, à des situations auxquelles est soumis l'équipement en fonctionnement normal, incluant les incidents courants de fonctionnement et les démarrages et arrêts.

3. CONCLUSION

En conclusion, à l'issue de son expertise, la Direction de l'expertise en sûreté estime que les éléments présentés par IO montrent que le rapport minimal entre les chargements considérés dans le dimensionnement de la chambre à vide et les chargements de pression est de l'ordre de 2 dans les zones singulières et de 2,5 dans les zones courantes.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté