**Titre de la thèse** : Evaluation de l’effet de l’aspersion sur les pressions et températures dans l’enceinte de confinement des réacteurs à eau pressurisée français en conditions accidentelles

**Mots-clés :** sûreté nucléaire, bâtiment réacteur, enceinte de confinement, thermohydraulique, pressions et températures, rupture tuyauterie vapeur, RTV, surchauffe, aspersion enceinte, EAS, conditions accidentelles, code de calcul, PAREO, GOTHIC

**Proposition résumé (maximum 4000 caractères espaces compris, actuellement à 3992) :**

Les études de pression et température dans l’enceinte de confinement des réacteurs à eau pressurisée français en conditions accidentelles sont réalisées avec le code de calcul PAREO, de propriété EDF.

Ce code repose, d’une part, sur une représentation mono-volume 0D du bâtiment du réacteur et s’appuie, d’autre part, sur des hypothèses et des modèles physiques pénalisés dans le but de calculer des évolutions conservatives des pressions et températures. En l’absence de certaines données expérimentales lors de son développement, les choix de pénalisation appliqués conduisent à favoriser l’apparition d’une forte surchauffe de la phase gazeuse. De plus, suite à la mise en service du système d’aspersion qui pulvérise de l’eau froide dans le bâtiment du réacteur afin de limiter et réduire les pressions et températures, le modèle physique d’aspersion de PAREO montre un faible impact sur la réduction de la température.

Les travaux de cette thèse sont consacrés à l’évaluation de l’effet de l’aspersion sur les pressions et températures dans l’enceinte de confinement des réacteurs à eau pressurisée français en conditions accidentelles.

L’effet de l’aspersion est étudié à différentes échelles : au niveau d’une goutte (échelle Micro), au niveau d’un spray (échelle Méso) et au niveau du bâtiment du réacteur (échelle Macro). Pour cette analyse, le code de calcul GOTHIC a été choisi car il permet de réaliser des simulations mono-volume 0D et 3D, tout en conservant les mêmes modèles physiques.

Pour l’échelle Micro, une étude bibliographique des modèles physiques mécanistes des transferts de masse et d’énergie entre une goutte d’eau et la phase gazeuse a été réalisée, puis un modèle mécaniste similaire à celui de GOTHIC a été construit et validé sur la base des essais CARAIDAS. La comparaison des flux de chaleur entre ce modèle mécaniste et la modélisation de PAREO montre que cette dernière présente un fort conservatisme lié à l’absence de prise en compte du phénomène de vaporisation des gouttes.

Pour l’échelle Méso, l’effet d’un spray sur les pressions et températures a été analysé à travers les essais de la série M5-MASP effectués avec l’installation MISTRA. Le modèle d’aspersion de GOTHIC permet de reproduire la cinétique de dépressurisation et de refroidissement pilotée par le spray. Cette analyse est ensuite étendue à plusieurs sprays dans un grand volume ouvert afin de simuler l’effet du système d’aspersion dans la partie supérieure d’un bâtiment du réacteur. Les calculs 3D montrent que l’effet de l’aspersion sur les pressions et températures peut être assimilé à un effet 0D et indiquent un fort conservatisme de la modélisation PAREO.

Pour l’échelle Macro, l’analyse est étendue à l’étude d’une rupture de tuyauterie vapeur dans une géométrie représentative d’un bâtiment du réacteur, avec une partie supérieure directement balayée par l’aspersion et une partie inférieure casematée. Cette analyse confirme le fort conservatisme du modèle de PAREO par rapport aux résultats obtenus avec le modèle d’aspersion de GOTHIC. Les calculs GOTHIC 3D montrent que le démarrage de l’aspersion produit une homogénéisation de la température de la phase gazeuse et une réduction importante de la surchauffe, à l’image des résultats d’une modélisation 0D. Les calculs GOTHIC 3D montrent également que le fort relâchement de vapeur à la brèche peut créer une boucle de convection importante dans la partie supérieure du bâtiment du réacteur qui persiste même après le démarrage de l’aspersion et qui entraîne une partie des gouttes d’aspersion, impactant le temps de séjour des gouttes dans la phase gazeuse.

Ces travaux représentent une première étape exploratoire concernant l’effet de l’aspersion sur les pressions et températures accidentelles dans un bâtiment du réacteur, qu’il conviendra de compléter avec une modélisation plus fine de la géométrie et l’étude d’autres scénarios d’accidents.

**Thesis title**: Assessment of the effect of the containment spray system on the pressure and temperature in the reactor building during a design basis accident

**Keywords**: nuclear safety, containment analysis, reactor building, thermal hydraulics, pressures and temperatures, main steam line break, MSLB, containment spray system, CSS, design basis accident, DBA, containment code, PAREO, GOTHIC

**Abstract**:

Containment analysis for the French fleet of pressurized water reactors is performed with the PAREO computer code, owned and developed by EDF.

This containment computer code is based on a lumped-parameter (LP) single-volume representation of the containment building, but also on penalized hypothesis and physical models in order to calculate the conservative evolution of the pressure and temperature of the atmosphere inside the containment building. During the code development, the partial lack of validation data led to penalizing choices that, in turn, favorized the apparition of a superheated atmosphere in the containment building. Moreover, the physical models used in PAREO show low impact of the activation of the containment spray system (CSS) that sprays cold water into the containment atmosphere on lowering its temperature.

The work performed in this thesis is focused on the assessment of the effect of the CSS on the containment atmosphere’s pressure and temperature evolutions.

CSS impact on the atmosphere is studied at three different scales: single-drop scale (Micro), spray scale (Meso) and containment scale (Macro). In order to perform this analysis, the GOTHIC computer code has been chosen mainly because of its capacity to perform both LP and 3D calculations using the same underlying physical models.

For the Micro scale, a bibliographical study of mechanistic heat and mass transfers (HMT) models allowed the construction of a mechanistic model, similar to the one used in the GOTHIC code. This model was validated against the CARAIDAS tests in order to be next compared against the PAREO HMT model between CSS water and the atmosphere. This comparison illustrates that the PAREO model is highly conservative due to its neglecting the vaporization of the CSS drops.

For the Meso scale, the effect of a spray (collection of individual drops) on the pressure and temperature evolutions has been investigated through the comparison with the M5-MASP experimental series performed in the MISTRA facility. The GOTHIC spray HMT model is able to reproduce the pressure and temperature drop driven by the spray activation. The analysis is then extended to several sprays and the effect of the CSS on the upper part of a reactor building is investigated through the use of a large cubical volume. The 3D calculations show that the effect of the CSS in this configuration can be assimilated to a single-volume LP effect. These calculations confirm once again the conservatism of the PAREO CSS model.

The Macro scale focuses on the analysis of the CSS effect using a reactor-like geometry in which the upper part is directly covered by the CSS sprays and the lower part can be considered as a rather cluttered volume in which the CSS has only an indirect effect. This analysis confirms once again the conservatism of the PAREO’s CSS HMT model when compared to GOTHIC results. GOTHIC 3D calculations show that the CSS activation leads to an immediate pressure and temperature drop, as in a single-volume LP calculation. In the studied configuration, the large water vapor release at the break creates a strong convection loop which persists even after the CSS activation and entrains some of the CSS drops, impacting their residence time in the atmosphere.

This work represents a first step in studying the effect of the CSS on the pressure and temperature drop in the containment building, that will have to be completed with a refined geometry and the study of other accidental scenarios.