

Le cendrier de l'EPR

Positionnement thématique

Physique de la matière, Chimie théorique et générale

Mots-clés

Mots-clés (en français)	Mots-clés (en anglais)
<i>Accident nucléaire</i>	<i>Nuclear accident</i>
<i>Écoulements</i>	<i>Fluid flows</i>
<i>Conduction thermique</i>	<i>Thermal conduction</i>
<i>Oxydo-réduction</i>	<i>Oxydoreduction</i>
<i>Décomposition thermique</i>	<i>Thermal decomposition</i>

Bibliographie commentée

La production d'électricité en France est assurée à plus de 75% par des réacteurs nucléaires. Leur fonctionnement [1] est basé sur l'exploitation de l'énergie libérée par la réaction de fission en chaîne contrôlée de l'uranium 235. L'exploitation de ces réacteurs est extrêmement surveillée, et tout doit être mis en oeuvre pour éviter les accidents. Le combustible nucléaire, de l'UO₂ disposé en pastilles dans des « crayons » combustibles, est disposé dans une structure métallique globalement cylindrique, appelée « coeur ». Cet ensemble est placé dans une cuve en acier très épaisse, dans laquelle circule de l'eau sous pression. Ce circuit caloporteur évacue la chaleur vers des générateurs de vapeur. La vapeur générée dans un circuit secondaire est dirigée vers des turbines et des alternateurs [1, 2]. L'autorité de sûreté nucléaire (ASN) exige des concepteurs, des constructeurs comme des exploitants, que toutes les dispositions soient prises pour que les accidents nucléaires soient les plus rares possibles, et leurs conséquences sur l'environnement minimales. Les études nécessaires pour garantir la sûreté en exploitation, regroupées dans un rapport préliminaire de sûreté [3], doivent satisfaire trois critères : contrôle de la réaction en chaîne, évacuation de la puissance, et confinement des matières radioactives [1]. Outre la puissance thermique dégagée pendant le fonctionnement du réacteur, il faut aussi considérer la « puissance résiduelle » due aux réactions de désintégration radioactive des produits de fission qui continue à être émise après arrêt, pendant longtemps, sans pouvoir être stoppée [2]. Cette puissance résiduelle est dépendante de l'usure du combustible, mais aussi de la puissance avant arrêt de l'unité en fonctionnement [1]. Les moyens de refroidissement doivent donc être dimensionnés par rapport aux conditions extrêmes.

Les récents accidents nucléaires de grande ampleur, comme Tchernobyl (1986) ou Fukushima (2011) [4], ont conduit à la fusion des matériaux qui se trouvaient dans la cuve du réacteur parce que les moyens d'évacuation de puissance n'ont pas été suffisants. Les températures très élevées dans la cuve ont alors conduit à la fusion partielle ou totale du combustible. Le « corium », mélange complexe de matériaux combustibles fondus et des structures en acier du coeur, s'est retrouvé, soit au fond de la cuve, confiné, mais difficile à refroidir et inaccessible pour un démantèlement ultérieur,

soit en dehors de la cuve qui avait fondu, avec des conséquences graves sur l'environnement et un démantèlement bien plus complexe [5]. Dans tous les cas, la fusion du coeur a été accompagnée des réactions des métaux avec la vapeur d'eau, très exothermiques, compliquant les processus et provoquant des explosions.

Dans le cadre des études de sûreté des réacteurs du futur, les risques d'accidents de fusion sont systématiquement pris en compte. Lors d'un tel accident, on cherche à garantir que la fusion de la cuve est quasiment impossible. Le corium serait bien localisé en fond de cuve. On parle alors de fusion « in-core ». Pour l'EPR, on a construit un dispositif tel que, si la fusion du coeur se produisait, les matériaux fondus, après rupture du fond de la cuve, seraient étalés en-dessous, dans un réceptacle en béton et acier, appelé « cendrier ». Ces dispositifs sont destinés à guider les matériaux fondus, leur laisser le temps de descendre dans un réceptacle bien dimensionné, pour recueillir ni trop vite, ni trop lentement, ces matières. Les matériaux (bétons et aciers) et la géométrie ont été rigoureusement sélectionnés pour garantir que la réaction ne redémarrera pas, que les matières pourront être refroidies aussi longtemps que nécessaire, sans dispersion des matières radioactives et perte de confinement [6, 7]. On parle alors de fusion « ex-core ».

Problématique

Dans tous les cas, trois études s'imposent dans la conception du réacteur : un dimensionnement très précis du dispositif (dimensions, matériaux, séquençements), dont l'efficacité s'appuie sur des études poussées des interactions corium-béton [8] (validations des codes de calcul par des expériences grandeur nature). Le fonctionnement post accidentel d'échangeurs de chaleur spécifiques doit être optimisé pour évacuer la puissance résiduelle du combustible récupéré à long terme. Enfin, le dispositif doit prendre en compte les volumes des gaz produits par les réactions des métaux avec la vapeur d'eau et l'ablation du béton, donc aussi l'énergie libérée [9].

Objectifs du TIPE

1. Analyse fine du dispositif ;
2. Approche chimique et thermodynamique ;
3. Modélisation 1D.

Je me propose : (1) d'étudier le fonctionnement du cendrier de l'EPR en cas de fusion ex-core [3], (2) discuter dimensions optimales et choix des matériaux, à partir des études sur les interactions corium-béton, et (3) développer un modèle 1D des échanges thermiques entre le corium fondu et du béton.

Références bibliographiques

- [1] N. KERKAR et P. PAULIN : Exploitation des coeurs REP. *EDP Sciences*, 2008. Description du fonctionnement général d'une centrale électronucléaire.
- [2] S. MARGUET : *La physique des Réacteurs Nucléaires*, chapitre 15, La physique du cycle du combustible. Lavoisier, Paris, 2011. Ouvrage très complet sur le fonctionnement du coeur d'un réacteur nucléaire.
- [3] EDF : Rapport préliminaire de sûreté du réacteur EPR. Rapport technique, EDF, 2016. Description du réacteur EPR.
- [4] SFEN : <http://www.sfen.org/fr/lenergie-nucleaire/les-accidents-nucleaires>.
- [5] R&D relative aux accidents graves dans les réacteurs à eau pressurisée : Bilan et perspectives, 2005. Description phénoménologique des fusions de coeur et description du cendrier de l'EPR.

- [6] C. INTROÏNI : *Interaction entre un fluide à haute température et un béton : contribution à la modélisation des échanges de masse et de chaleur*. Thèse de doctorat, INP Toulouse, 2010. <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001391/>.
- [7] Christophe JOURNEAU : Contribution des essais en matériaux prototypiques sur la plate-forme plinius à l'étude des accidents graves de réacteurs nucléaires. Rapport technique, CEA, 2008. Validation des études théoriques par des expériences analogues.
- [8] M. KONOVALIKHIN : *Investigations on melt spreading and coolability in a LWR severe accident*. Thèse de doctorat, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2011. Evacuation de la puissance lors d'accidents nucléaires graves.
- [9] M. FISCHER : The severe accident mitigation concept and the design measures for core melt retention of the European Pressurized Reactor (EPR). *Nuclear Engineering and Design*, (230):169 à 180, 2004. Prise en compte des réactions chimiques dans la fusion.