

## Analyse sur l'avis de l'IRSN /2018-00011 du 18 janvier par celle de l'avis de l'IRSN /2018-00006 du 9 janvier

Pr Thierry de LAROCHELAMBERT  
Professeur associé à l'Institut FEMTO-ST  
CNRS-UMR6174

14 mars 2018

Je commencerai par deux remarques préliminaires sur les anomalies des pièces d'installations nucléaires forgées en France et au Japon (couvercles et cuves EPR, générateurs de vapeur).

Première remarque: la comparaison entre les anomalies lors du forgeage de la cuve et du couvercle de l'EPR fabriqués en 2006 et celles constatées sur les GV fabriqués au Japon et au Creusot est peu pertinente car les conditions de fabrication et surtout l'inhomogénéité de température lors du forgeage de pièces de diamètres aussi différents ne sont pas du tout similaires. Le type de ségrégations carbone (étendue, forme, orientation) n'est donc probablement pas le même, et le problème de chutage de pièce après fabrication des GV n'est pas du tout de même nature que celle de l'origine de l'inhomogénéité du carbone dans la cuve.

Deuxième remarque: les viroles sacrificielles n'ont pas été forgées en même temps, dans les mêmes conditions que la virole basse 335 du GV n°3 de Fes2 et présentent des dispersions de caractéristiques et de ségrégation telles qu'il est impossible de prétendre qu'elles puissent être représentatives. La lecture des deux rapports de l'IRSN me conforte dans cette affirmation, surtout celui du 18 janvier qui porte précisément sur les analyses des examens Areva et EDF.

Je note par exemple:

- « *la teneur en carbone varie significativement le long de la circonférence des viroles sacrificielles, ainsi que d'une virole à l'autre* »
- « *les données recueillies ne permettent donc pas d'apprécier la variabilité de propriétés entre les pièces forgées. La connaissance des propriétés mécaniques de la zone macroségrégée en tête des lingots creux [est] par ailleurs très faible* ».
- « *l'IRSN relève l'observation de plusieurs cas de rupture intergranulaire à 0°C sur des éprouvettes de Charpy V (mesure de résilience) prélevées en zone ségrégée* » ce qui est pour le moins inquiétant quand on sait que ce genre de défaut peut conduire à des ruptures de choc thermique sous pression dans des aciers pour lesquels la température de la transition ductile-fragile s'est élevée de 45°C du fait même des ségrégations carbone anormales (supérieures à 0,39% par endroit!), d'autant plus que « *AREVA NP n'[a pas] déterminé la RTNDT en zone d'anomalie d'aucune des deux viroles sacrificielles* »!
- il est surprenant de lire que « *l'IRSN estime que la démarche de caractérisation des propriétés du matériau dans la zone en anomalie est insuffisante* » et pourtant que « *ceci ne remet pas en cause le caractère représentatif des deux viroles* »...

Comment l'ASN peut-elle autoriser le réacteur Fes2 à redémarrer alors que le 18 janvier « *L'IRSN recommande qu'AREVA NP mesure, sous six mois, les propriétés de ténacité dans la zone ségréguée de la VB 335-B, au moyen d'éprouvettes CT prélevées dans cette zone, afin de vérifier l'absence d'impact du comportement singulier observé sur les résultats d'éprouvettes de résilience. L'IRSN recommande en outre que des investigations expérimentales complémentaires soient réalisées, sous six mois, en zone ségréguée de la VB 335-B, afin d'expliquer l'apparition de faciès de rupture intergranulaire sur des éprouvettes Charpy V à 0°C.* »?

Les réponses fournies par Areva sont-elles tellement positives qu'en un mois Areva ait eu le temps de vérifier l'absence d'impact du comportement anormal des éprouvettes de résilience sur le comportement des viroles en cas de choc thermique, et d'expliquer un problème aussi difficile que l'apparition de profils de rupture intergranulaires à 0°C sur les éprouvettes Charpy qui relèverait en temps normal d'un véritable travail de recherche multifactoriel?

Le fait-même qu'Areva n'ait pas établi de facteur de transposition (c'est à dire un coefficient de sécurité de marge d'erreur et d'extrapolation) des résultats obtenus sur les viroles sacrificielles à la virole 335 du GV3 est proprement scandaleux et irresponsable, tout comme le passage sous silence des anomalies qu'elle connaissait et que l'ASN avait appris très tôt également sur la cuve et le couvercle de l'EPR.

L'ASN est-elle réellement une Autorité, et est-elle réellement indépendante du complexe industriel nucléaire? Pourquoi préfère-t-elle laisser EDF redémarrer un réacteur pendant quelques mois, avec les risques induits par les anomalies du GV3, alors qu'il doit être définitivement arrêté cette année? Est-ce un appui à la demande d'indemnisation d'EDF déguisé? Mais quel est l'intérêt de l'ASN de se discréditer ainsi et de demander l'avis du GP ESPN en urgence?

Dans l'avis de l'IRSN /2018-00006 du 9 janvier, l'IRSN étudie l'analyse du risque de rupture brutale de la virole basse n°335 du GV3 de Fes2 fournie par l'exploitant.

Comme il a été montré par les examens non destructifs mené par EDF que la zone ségréguée en carbone est proche de la paroi interne et dans la partie supérieure de la virole basse (donc proche de la soudure de la virole supérieure), le risque de rupture brutale par choc thermique froid sous pression est plus grand (« *combinaison pénalisante* »). EDF a donc effectué des simulations numériques par logiciel pour « *l'identification puis la caractérisation des transitoires thermo-hydrauliques de chocs froids pénalisants* ».

Voici mon analyse et mes conclusions:

1) Dans les données de départ de simulation, l'IRSN reproche à EDF de ne pas avoir étudié deux cas limites très pénalisants (brusque et longue injection d'eau froide dans le tore noyé ; idem mais sous haute pression dans le tore dénoyé). En conséquence, « *l'IRSN considère que l'exhaustivité de la liste des situations prises en compte dans le dossier d'EDF n'est pas acquise* », ce qui me paraît totalement justifié : il faut toujours considérer les pires situations potentiellement accidentelles pour déterminer la résistance du matériel considéré à une rupture brutale. Ce n'est apparemment pas le cas de l'évaluation faite par EDF.

2) Les simulations numériques ont été effectuées par EDF à l'aide d'un logiciel ANETH qui semble présenter des lacunes et ne semble pas validé par l'expérience (pas de recalage suffisant des paramètres sur les résultats expérimentaux suffisamment représentatifs indépendants). L'IRSN en conclut très justement que « *Le caractère enveloppe des gradients de température calculés par ce logiciel n'est donc pour l'IRSN pas établi* ».

3) il me paraît très surprenant et inconséquent qu'EDF ait adopté une modélisation monodimensionnelle, c'est-à-dire uniquement dans le sens de l'épaisseur du matériau mais pas transversalement, comme s'il n'y avait aucun effet latéral dans l'apparition des contraintes et la propagation des fissures, que le matériau était homogène (ce qui n'est évidemment pas le cas du fait de l'existence des ségrégations carbone). Un étudiant de Master serait recalé avec ce genre de simplification abusive ! Ce qui m'inquiète encore plus, c'est que l'IRSN n'émet aucun commentaire à ce sujet !

4) Autre entorse à la rigueur : EDF suppose que l'eau froide est injectée à 15°C, alors que les spécifications techniques d'exploitation prévoient 7°C minimum. Cela atténue évidemment la portée des résultats des simulations. EDF est-elle sûre de ne jamais avoir à injecter de l'eau à 7°C provenant du condenseur en plein hiver ???

Certes, on lit plus loin que « *compte tenu des réserves de l'IRSN quant à la caractérisation de certaines situations de catégorie 2, EDF a complété son dossier en fin d'instruction par la réalisation de calculs mécaniques prenant en compte des chargements thermo-hydrauliques découplés et pénalisants. Il s'agit de chocs froids instantanés à une pression de 1 bar et à une température initiale de 100 °C, la température finale variant de 50 °C à 7 °C. Il est également fait l'hypothèse d'un échange parfait entre le fluide et la paroi* », mais à mon avis, le choix de la basse pression d'une part, d'une température finale et non initiale à 7°C en injection, et d'échanges thermiques parfaits (nombre de Biot infini, ce qui permet certes d'éliminer toute couche limite thermique et d'imposer la température en paroi, mais élimine de ce fait tout déphasage, constantes de temps pendant le transitoire et raccourcit leur durée) ne me paraît pas adapté à une enveloppe de situations extrêmes.

5) Les corrélations (c'est à dire les relations mathématiques statistiques entre le nombre adimensionnel de Nusselt qui caractérise la puissance thermique échangée et les nombres adimensionnels de Reynolds ou de Rayleigh qui caractérisent les écoulements et/ou les écarts de température, ainsi que le nombre adimensionnel de Prandtl qui caractérise les propriétés de transfert dynamique et thermique du fluide) utilisées dans le logiciel ANETH pour le calcul du réchauffement du jet froid dans la vapeur (en cas de dénoyage) ne semblent pas fiables à l'IRSN : « *l'IRSN n'a pas l'assurance du caractère conservatif des corrélations utilisées pour le calcul du réchauffement du jet d'eau froide issue de l'ASG dans la vapeur environnante (qui conditionne la température du fluide en contact avec la virole)* ».

Pour ma part, je considère, en tant que spécialiste des phénomènes transitoires dans les installations fortement anisothermes, que l'utilisation de corrélations stationnaires n'est pas scientifiquement valide, pas plus que l'utilisation de « *coefficients d'échange entre le fluide et la virole* » : la notion-même de coefficient d'échange pose problème en régime instationnaire et est remise en cause par les chercheurs (dont moi-même) car elle n'est plus pertinente, pas plus que le nombre adimensionnel de Nusselt qui caractérise les échanges convectifs. De nombreux articles récents ont été publiés à ce sujet dans les revues internationales (par exemple, le papier de mon collègue du CNRS, Alain DEGIOVANI, du laboratoire LEMTA de Vandoeuvre « *An alternative to heat transfer coefficient : A relevant model of heat transfer bet-*

ween a developed fluid flow and a non-isothermal wall in the transient regime », IJTS 102, 2016), et je vais en publier également prochainement.

Etonnement, l'IRSN n'a pas l'air de le prendre en compte et considère que « *les coefficients d'échange entre le fluide et la virole considérés dans les études mécaniques prennent en compte des conservatismes importants* » ! Je considère au contraire que ce type de calcul moyen n'est pas pertinent en régime transitoire et que de pseudo-coefficients d'échange ne peuvent pas être calés sur quelque expérience puisque leur définition même ne tient pas, surtout en cas de recirculations de liquide. Ils ne peuvent donc en aucun cas être « *conservatifs* ».

6) Je trouve que l'IRSN se rassure à bon compte quand elle conclut « *Ces études supplémentaires, démontrant la robustesse de la zone affectée par la ségrégation vis-à-vis du risque de rupture brutale suite à un choc froid, permettent de couvrir les réserves susmentionnées quant à l'exhaustivité des situations et la caractérisation de certaines situations de catégorie 2* ». Je considère que c'est une attitude très indulgente et passablement permissive pour un organisme scientifique censé garantir la sûreté nucléaire...