

Fontenay-aux-Roses, le 31 mars 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN N° 2016-00095

Objet : REP - Centrale nucléaire de Gravelines - INB 96,97 et 122
Agression externe d'origine industrielle induit par le terminal méthanier du site du
Clipon
Tenue mécanique des bâches PTR à une onde de surpression de 70 mbar

Réf. :

1. Lettre ASN CODEP-LIL-2013-065171 du 14 janvier 2014
2. Lettre ASN CODEP-LIL-2015-042735 JMD/NL du 21 octobre 2015

À la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) citée en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a évalué les réponses d'Électricité de France (EDF) aux demandes de l'ASN relatives à l'évaluation des risques d'agression externe d'origine industrielle induits, sur les installations de la centrale nucléaire de Gravelines, par un terminal méthanier dédié au stockage et à la regazéification du Gaz naturel liquéfié (GNL) à quatre kilomètres de cette centrale. Sur les sept recommandations émises dans son avis, l'IRSN estimait que les recommandations n°1 à n°3 pourraient faire l'objet de prescriptions de la part de l'ASN. La recommandation n°2 relative à la tenue des réservoirs du système de refroidissement et traitement des piscines (PTR) à une onde de surpression d'intensité au moins égale à 70 mbar a été intégrée dans une prescription de l'ASN. L'échéance de réalisation de cette prescription a été définie : « *avant la mise en service du terminal méthanier et, au plus tard, le 31 décembre 2015* ». A la suite de cette prescription, EDF a transmis une analyse mécanique de la tenue de la bâche PTR à une onde de surpression d'intensité égale à 70 mbar.

Par lettre citée en référence [2], l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur l'analyse d'EDF concernant la tenue des bâches PTR à une onde de surpression externe de 70 mbar.

L'analyse de risques associés au trafic des méthaniers et induits sur la centrale électronucléaire de Gravelines (INB n° 96, 97 et 122) a fait l'objet de différents avis de l'IRSN. Le scénario accidentel enveloppe retenu par l'IRSN est un accident maritime initié par une collision de méthaniers à une distance de 3 km de la centrale de Gravelines conduisant à une brèche de diamètre 1500 mm sur une cuve de GNL.

Adresse courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre B 440 546 018

Les études de dispersion du nuage menées en parallèle par EDF et par l'IRSN montrent que la concentration en méthane au niveau de la centrale est légèrement supérieure à la Limite inférieure d'explosivité (LIE) du méthane dans l'air. La surpression maximale induite en zone semi-confinée est estimée, par EDF, à 50 mbar et à 70 mbar par l'IRSN. L'IRSN note que la surpression générée au niveau de la centrale reste faible par rapport à la capacité des bâtiments conçus pour résister à une surpression de 200 mbar. Toutefois, l'IRSN estime que certains matériels situés à l'extérieur des bâtiments pourraient être endommagés par les effets thermiques d'une explosion de méthane. En particulier, le risque de perte totale des alimentations électriques externes d'un ou plusieurs réacteurs ne peut être exclu. Dans ce cas, l'eau borée des bâches PTR sera nécessaire à la maîtrise de cet accident. Or, les bâches PTR de la centrale de Gravelines, situées à l'extérieur des bâtiments, n'ont pas été dimensionnées pour résister à une onde de surpression externe. Il ressort de cette analyse que la tenue des bâches PTR de Gravelines soumises à une onde de surpression de 70 mbar doit donc être assurée.

CONCEPTION DES BÂCHES PTR

Les bâches PTR de Gravelines sont de grands réservoirs verticaux à fond plat, de l'ordre de 12 m de diamètre et de 18 m de hauteur, constitués d'un fond, d'une couronne d'ancrage, de viroles et d'un toit hémisphérique assemblés par soudage. La bache est ancrée au génie civil par des tirants. Les bâches PTR sont entourées d'un cuvelage de rétention capable de contenir le volume du réservoir. N'étant pas protégées des intempéries, les bâches PTR sont calorifugées. La température de l'eau borée à l'intérieur des bâches est maintenue supérieure à 7°C grâce aux résistances chauffantes montées dans des doigts de gant.

MODES DE DEGRADATION DES BÂCHES PTR

Les principaux modes de dégradation des bâches PTR, constituées d'acier inoxydable austénitique, sont la corrosion par piqûre et la corrosion sous contrainte en présence de polluants provenant de l'atmosphère marine, de lixiviation de calorifuges, de la manipulation des produits chimiques... Les bâches PTR font l'objet d'un programme de base de maintenance préventive consistant en des « *rondes journalières* », des examens visuels internes et externes quinquennaux et des examens non destructifs en cas de détection de dégradation. Dans le cas de Gravelines, EDF indique qu'à ce jour les contrôles dans le cadre de ce programme préventif n'ont mis en évidence aucun désordre remettant en cause la tenue structurelle de l'ensemble des bâches PTR du site. L'exploitant note néanmoins qu'une dégradation a été identifiée sur trois doigts de gant sans toutefois que ceci remette en cause la tenue structurelle des bâches PTR. Pour l'exploitant, en termes de tenue mécanique structurelle, les bâches PTR de Gravelines restent donc conformes à l'heure actuelle à la conception.

TENUE DES RESERVOIRS PTR DE GRAVELINES SOUMIS A UNE ONDE DE SURPRESSION DE 70 MBAR

EDF considère qu'une explosion de gaz génère une surpression statique due au souffle et une surpression dynamique due au vent d'explosion. Toutefois, pour les structures massives de grandes dimensions comme les réservoirs PTR, l'effet de la surpression dynamique est négligeable, seule une surpression statique de 70 mbar est alors considérée dans l'analyse. Une hypothèse supplémentaire est que l'explosion de gaz survient lorsque le réacteur est en fonctionnement avec des bâches PTR remplies à leur cote maximale. La hauteur du nuage de gaz naturel (GN) est prise égale à 12,5 m qui

correspond à la valeur estimée par l'IRSN en 2014 avec un scénario de déversement de GNL par une brèche de 1500 mm suite à une collision entre méthaniers.

La méthodologie de justification de la tenue des bâches PTR prise par l'exploitant consiste en la comparaison entre la « *demande* » (surpression de 70 mbar) et la « *capacité* » des bâches PTR, considérées conformes à la conception. Cette capacité est estimée à partir des résultats de calculs de comportement au Séisme de dimensionnement (SDD) des réservoirs PTR du palier CPY.

Concernant le risque de flambement par surpression externe, le profil de surpression considéré est une pression homogène de 70 mbar distribuée sur toute la circonférence du réservoir et sur la hauteur du nuage de GN (entre 0 m et 12,5 m). L'exploitant note que sur cette hauteur, la pression hydrostatique interne est toujours supérieure à 300 mbar, valeur très supérieure à la surpression externe de 70 mbar. Le risque de flambement par surpression externe est alors exclu.

Concernant le risque de renversement du réservoir, le profil de surpression retenu est une pression de 70 mbar répartie sur la demi-circonférence du réservoir et sur la hauteur du nuage de GN. Ce profil est alors comparé aux profils de pression induits par ballotement sous le Séisme de dimensionnement retenu pour le palier CPY. Les profils de pression engendrés par le séisme sont toujours supérieurs à la surpression de 70 mbar dans toute la hauteur du nuage de GN. Selon l'exploitant, le risque de renversement des bâches PTR reste donc exclu à la suite d'une surpression externe de 70 mbar.

ANALYSE DE L'IRSN

Concernant l'état actuel des bâches PTR de Gravelines, un seul écart, en cours de traitement, est actuellement identifié par l'exploitant suite à l'observation de trace de bore cristallisé et des zones de corrosion dans certains doigts de gant. Dans le cas particulier où la pression externe due à l'explosion reste toujours inférieure à la pression hydrostatique interne, cette pression externe ne constitue pas un accroissement de la sollicitation de ces zones dégradées.

Par le passé, de nombreux écarts ont été découverts concernant les tiges d'ancrage des bâches PTR du parc électronucléaire, en particulier par perte de la précontrainte. Sans présumer de l'existence de tels écarts sur le site de Gravelines, l'IRSN constate que l'effort transverse résultant de l'onde de surpression externe reste faible et peut être repris par frottement au niveau du fond du réservoir. De même, le moment dû à la surpression susceptible d'induire un soulèvement ou un basculement du réservoir est faible. Dans ces conditions, les ancrages seraient donc peu sollicités.

L'IRSN considère ainsi que les bâches PTR peuvent être considérées pour cette étude comme conformes à leur conception.

Par ailleurs, la méthodologie de justification de tenue des bâches PTR, de type « *demande-capacité* » en s'appuyant sur les résultats des calculs de tenue au séisme des bâches PTR, n'appelle pas de commentaire de l'IRSN.

L'argumentaire de l'exploitant pour ne retenir que la surpression statique due au souffle d'explosion dans l'analyse de tenue mécanique des bâches PTR n'appelle pas de commentaire de l'IRSN. Toutefois, la surpression de 70 mbar correspond à une onde de surpression incidente se propageant en champ libre qui, à la rencontre d'un grand obstacle comme la bâche PTR, est arrêté, générant une pression plus importante que la pression en champ libre dite pression d'arrêt. Le taux d'amplification

de la surpression (ou coefficient de réflexion) est fonction de l'amplitude et de l'angle d'inclinaison de l'onde incidente. Dans le cas d'une onde incidente de surpression de 70 mbar se projetant perpendiculairement à l'obstacle, l'IRSN estime, en s'appuyant sur des travaux menés par l'INERIS, qu'un coefficient de réflexion de 2 peut être retenu. **La surpression effective vue par les bâches PTR est donc d'environ 140 mbar selon l'IRSN.**

Dans les analyses de tenue des structures soumises à une onde d'explosion, l'effet d'amplification de la réponse dynamique des structures à une application instantanée de la surpression doit également être considéré. Le facteur d'amplification dynamique dépend du rapport entre la durée d'application du chargement et la constante caractéristique de réponse de la structure. Dans le cas d'une explosion gazeuse, la durée effective de la surpression est de l'ordre de quelques millisecondes alors que le temps caractéristique de réponse flexible de la paroi d'un grand réservoir rempli d'eau est, quant à lui, estimé à quelques dixièmes de seconde par l'IRSN. La durée d'application du chargement est donc très courte par rapport au temps caractéristique de la structure, ce qui conduit à un facteur d'amplification dynamique inférieur à 1. Dans ces conditions, l'IRSN estime que la non-prise en compte de l'effet d'amplification dynamique est acceptable.

Une autre hypothèse importante d'EDF est que les bâches PTR sont remplies à leur cote maximale de 15,6 m lors de l'explosion. Toutefois, le niveau des bâches PTR prescrit par les Spécifications techniques d'exploitation (STE) est inférieur à cette valeur dans tous les domaines d'exploitation. En effet, celui-ci est de 15,07 m pour les domaines d'exploitation Réacteur en production (RP) et Arrêt normal sur les générateurs de vapeur (AN/GV). Pour les domaines d'exploitation Arrêt normal sur le système de refroidissement à l'arrêt (AN/RRA), Arrêt pour intervention (API), Arrêt pour rechargement (APR) et Réacteur complètement déchargé (RCD), le niveau requis est toujours inférieur à 14 m.

L'IRSN évalue pour sa part, sur la base de la méthode de démonstration présentée par EDF, que le niveau des bâches PTR doit être au moins égal à 14,0 m pour que la pression interne reste supérieure à une pression externe de 140 mbar due à l'explosion. En conséquence, un ou plusieurs réservoirs PTR pouvant se trouver lors de l'explosion dans certains domaines d'exploitation où leur niveau est inférieur à 14,0 m, l'IRSN a estimé au cours de l'instruction que la démonstration initiale présentée par l'exploitant vis-à-vis du risque de flambage ne permettait pas de couvrir l'ensemble des situations. A cet égard, l'exploitant a présenté une nouvelle analyse détaillée de la tenue en flambage des bâches PTR de Gravelines soumises à une onde de surpression statique de 140 mbar.

Cette nouvelle analyse de l'exploitant consiste à évaluer de manière analytique la (sur)pression externe pouvant conduire au flambement des viroles de bâches PTR de la centrale de Gravelines. Dans cette analyse, et de façon conservative, la bêche est considérée vide.

La surpression maximale externe admissible, ainsi évalué par EDF, est supérieur à 140 mbar et ce indépendamment du volume d'eau à l'intérieur des bâches PTR.

La nouvelle analyse détaillée de la tenue au flambement des bâches PTR est satisfaisante et n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN.

En ce qui concerne le risque de renversement du réservoir, selon l'évaluation de l'IRSN, l'effort résultant horizontal associé à la surpression de 140 mbar reste inférieur à l'effort de frottement entre le fond du réservoir et la dalle béton dû au serrage des tirants, en cas de réservoir vide, auquel

s'ajoute la masse d'eau en cas de réservoir rempli. De même, le moment de renversement résultant de la surpression externe est faible devant le moment dû au serrage des tirants et au poids propre du réservoir. Dans ces conditions, la tenue des tôles, des joints soudés ainsi que des éléments d'ancrage (couronne, tirants) n'est pas remise en cause conformément au dimensionnement des bâches PTR, et ceci pour les configurations des tirants d'ancrage des tranches paires ou impaires. Par conséquent, selon l'IRSN, le risque de soulèvement et de renversement du réservoir à la suite d'une surpression externe de 140 mbar peut être écarté.

En conclusion, après l'analyse des différents éléments de démonstration fournis par l'exploitant, l'IRSN considère que la résistance mécanique des bâches PTR Gravelines soumises à une surpression (incidente) de 70 mbar n'est pas remise en cause quel que soit le niveau d'eau contenu à l'intérieur de ces dernières.

Par ailleurs, au cours de l'instruction, l'IRSN a examiné la note relative à la tenue mécanique des réservoirs de stockage PTR du palier CPY lors d'un séisme de dimensionnement avec la prise en compte de la plasticité et du décollement. Dans sa démonstration, l'exploitant vérifie des critères du code RCC-M avec les valeurs de contraintes issues des calculs en élastoplasticité de la bâche PTR. Les critères du RCC-M, tels qu'ils sont considérés par l'exploitant, sont définis pour une analyse de type élastique alors que les résultats obtenus par EDF mettent en évidence une plastification significative au niveau des viroles ainsi que de la couronne d'ancrage. **Selon l'IRSN, la démarche de l'exploitant n'est pas conforme au code RCC-M et nécessite d'être revue. Ce point fait l'objet de l'observation en annexe.**

Observation :

L'IRSN constate que la justification de la tenue mécanique des réservoirs de stockage PTR du palier CPY lors d'un séisme de dimensionnement avec la prise en compte de la plasticité et du décollement n'est pas conforme au code RCC-M car l'exploitant applique des critères du RCC-M définis pour une analyse de type élastique alors que les calculs de l'exploitant mettent en évidence une plastification significative dans différents éléments de la bête. L'IRSN estime que l'exploitant devra réviser cette démonstration afin de mettre en cohérence la modélisation et les critères mécaniques retenus.