

Fontenay-aux-Roses, le 18 mars 2014

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis/IRSN N° 2014 - 00112

**Objet :** REP - Centrale nucléaire de Gravelines - INB 96, 97 et 122  
Évaluation des risques d'agression externe d'origine industrielle induits par le terminal méthanier en cours de construction sur le site du Clipon

**Réf. :** [1] Lettre ASN CODEP-LIL-2013-065171 JMD/NL du 14 janvier 2014.  
[2] RFS I.2.d du 7 mai 1982 : « Prise en compte des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication ».  
[3] Avis IRSN n°2011-00187 du 2 mai 2011.  
[4] Avis IRSN n°2013-00069 du 21 février 2013.  
[5] Arrêté du 10 mai 1993 relatif aux règles parasismiques.  
[6] Arrêté du 24 janvier 2011 fixant les règles parasismiques applicables à certaines installations classées.

À la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a évalué les réponses d'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) en cours de construction à quatre kilomètres de cette centrale.

L'analyse par l'IRSN des effets des phénomènes dangereux pouvant résulter d'un accident lié à l'exploitation de ce terminal méthanier a été réalisée en s'appuyant sur la règle fondamentale de sûreté relative à la prise en compte des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication, applicable aux installations nucléaires de production d'énergie électrique comportant un réacteur à eau sous pression [2]. Elle traite des risques liés au trafic maritime de méthaniers et de ceux liés aux installations terrestres du terminal. Ces risques ont d'ores et déjà fait l'objet de deux avis de l'IRSN, en mai 2011 [3] et en février 2013 [4]. EDF n'ayant pas analysé l'ensemble des risques, ces avis n'étaient pas conclusifs. En 2013 et au début de l'année 2014, EDF a transmis les éléments complémentaires attendus, l'application au terminal méthanier de la démarche associée aux « évaluations complémentaires de sûreté » (ECS) devant toutefois faire l'objet d'un complément ultérieur. **Comme demandé dans la lettre [1], le présent avis ne se prononce pas sur les risques associés aux scénarios extrêmes à retenir dans le cadre de la démarche ECS.**

**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

### Risques induits par le trafic de méthaniers

Concernant les risques de collision dans le chenal d'accès au port, EDF considère une taille maximale de brèche sur une cuve de GNL d'un méthanier de 750 mm. Au regard des diverses études réalisées à l'international, et à la suite de ses avis en références [3] et [4], l'IRSN retient un diamètre enveloppe de brèche de 1500 mm. EDF, bien qu'en désaccord avec l'IRSN, a étudié le cas d'une telle brèche. L'étude réalisée par EDF prend également en compte le fait que le méthanier accidenté s'échoue au plus près de la centrale, c'est-à-dire à 3000 m des réacteurs.

Les études de dispersion du nuage menées, d'une part par EDF, d'autre part par l'IRSN, montrent que la concentration en méthane au niveau de la centrale, bien que supérieure à la limite inférieure d'explosivité (LIE) du méthane dans l'air, resterait proche de cette limite. À cette concentration, l'onde de pression d'une explosion serait faible. La surpression maximale induite en zone semi-confinée est estimée, par EDF, à 50 mbar et, par l'IRSN, à 70 mbar. Cette surpression est compatible avec le dimensionnement des équipements permettant l'arrêt sûr et le refroidissement à long terme du combustible des différents réacteurs, puisque ceux-ci sont conçus pour résister à une surpression de 200 mbar conformément aux décrets autorisant la création des réacteurs de la centrale de Gravelines. Par contre, certains matériels situés à l'extérieur des bâtiments pourraient être endommagés par les effets thermiques d'une explosion du nuage de méthane. L'IRSN considère notamment que ces effets thermiques pourraient conduire à la perte des transformateurs de puissance et de systèmes nécessaires au fonctionnement des groupes électrogènes de secours. **Bien que la probabilité de telles pertes soit vraisemblablement très faible, une rupture de confinement d'une cuve d'un méthanier s'échouant à proximité de la centrale nucléaire pourrait provoquer une perte totale des alimentations électriques d'un ou de plusieurs réacteurs.**

Le refroidissement et le confinement du combustible pourraient ne pas être assurés si cette perte totale des alimentations électriques (situation H3) affectait simultanément des réacteurs jumeaux partageant certains équipements de sûreté nécessaires à la maîtrise d'une telle situation. **Ce point fait l'objet de la recommandation n°1 présentée en annexe.** Il est à noter que les modifications prévues dans le cadre des ECS post-Fukushima permettraient de remplir ces fonctions de sûreté - à condition que ces modifications résistent aux effets thermiques et de surpression d'une explosion - mais leur mise en œuvre n'est actuellement planifiée qu'à l'horizon 2020.

En situation de perte des alimentations électriques externes, l'eau borée du réservoir PTR est utilisée pour le maintien de l'inventaire en eau du circuit primaire. Or le réservoir PTR n'est pas abrité par un bâtiment et n'a pas été dimensionné pour résister à l'onde de surpression associée au souffle d'une explosion. Pour l'IRSN, la hauteur de la rétention entourant ce réservoir n'est pas suffisante pour le protéger d'une explosion. En cas d'endommagement de ce réservoir, la possibilité de maintenir en état sûr un réacteur serait incertaine. En effet, une proportion importante du volume d'eau présent dans le réservoir serait perdue et les dégâts occasionnés seraient susceptibles d'obstruer les tuyauteries d'aspiration des pompes des circuits nécessaires au maintien de l'inventaire en eau du circuit primaire. L'instrumentation de niveau de la bache, nécessaire au contrôle-commande de ces systèmes, pourrait également être détruite par une explosion. **Ceci amène l'IRSN à formuler la recommandation n°2 figurant en annexe.**

Pour ce qui concerne les bâtiments nucléaires, les bouches d'aspiration des systèmes de ventilation sont placées à une altitude suffisamment élevée pour que le risque de pénétration de gaz explosif puisse être écarté. Seule la prise d'aspiration de la ventilation des bâtiments du combustible se situe à l'intérieur du nuage de méthane. L'IRSN considère donc que la formation d'une atmosphère explosive dans ces bâtiments ne peut pas être exclue. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 3 présentée en annexe.**

Par ailleurs, les stations de pompage sont les seuls bâtiments de l'îlot nucléaire dont les voiles latéraux sont en bardage métallique. **En cas d'explosion telle que définie ci-dessus, la tenue du bardage ne serait pas garantie, ce qui amène l'IRSN à formuler la recommandation n° 4 présentée en annexe.**

Dans son étude des conséquences associées à l'inflammation d'un nuage de gaz à l'extérieur d'une station de pompage, EDF estime que la température atteinte au droit du bardage ne remettrait pas en cause la stabilité du bâtiment. Toutefois, Il est préconisé dans cette étude d'éliminer tout matériau dont la température d'auto-inflammation serait de l'ordre de 300 °C, afin d'éviter tout départ de feu. Cependant, EDF n'a pas présenté les mesures à mettre en œuvre afin d'éliminer la présence de tels matériaux à proximité de la façade des stations de pompage. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 1 en annexe.**

Enfin, EDF n'a pas été en mesure d'apporter la justification de la tenue des cuves d'effluents SEK, KER et TER<sup>1</sup> aux ondes de surpression ainsi évaluées, ni de présenter les conséquences radiologiques qui résulteraient de la perte de leur confinement. **Ce point amène l'IRSN à formuler la recommandation n° 5 en annexe.**

### **Risques induits par les installations terrestres du terminal méthanier**

#### **Agressions naturelles**

Les niveaux d'agression externe retenus pour la conception du terminal méthanier à l'égard de la neige, du vent, des scénarios de type grand chaud et de la foudre sont enveloppes de ceux retenus pour le dimensionnement de la centrale nucléaire de Gravelines. **Ce point n'appelle de remarque de la part de l'IRSN.**

En revanche, les niveaux retenus pour la conception du terminal méthanier à l'égard des scénarios de type grand froid sont inférieurs à ceux considérés pour le dimensionnement de la centrale nucléaire de Gravelines. Un gel du sol au niveau des réservoirs entraînerait un gonflement qui pourrait engendrer d'importantes contraintes dans certaines parties des réservoirs et une perte de confinement. EDF a montré à l'aide d'une simulation qu'en cas de perte du chauffage du radier une température nulle en partie inférieure d'un réservoir serait atteinte en une durée supérieure à celle de l'épisode de grand froid pris en compte pour le dimensionnement de la centrale nucléaire de Gravelines. **Ce point n'appelle donc pas de remarque de la part de l'IRSN.**

---

<sup>1</sup>SEK : système de collecte des effluents de l'îlot conventionnel - KER : système de contrôle et de rejet - TER : système de traitement des effluents. Le niveau de surpression associé au scénario maritime évalué par l'IRSN au voisinage de ces réservoirs est de 50 mbar environ.

L'application du référentiel « inondation »<sup>2</sup> pour le dimensionnement du terminal méthanier donne lieu à la prise en compte de l'aléa de type « crue bord de mer majorée par surcote » (CBMS) et de l'aléa correspondant à un niveau de houle propagé au droit du site en condition de CBMS (scénario de type CBMH). EDF a réalisé des essais en bassin, représentatifs d'une inondation plus pénalisante que les aléas CBMS et CBMH. Le risque de rupture d'une tuyauterie cryogénique ne pouvant pas être totalement écarté, l'IRSN a effectué une simulation afin d'évaluer les conséquences de la formation puis de la dérive d'un nuage de gaz en un tel cas ; la surpression maximale atteinte sur la centrale nucléaire serait de l'ordre de 20 mbar. **Compte tenu de ces résultats, les conséquences d'un tel scénario sont couvertes par celles du scénario d'accident maritime. Aussi, l'IRSN considère que, lorsque les recommandations associées au scénario maritime auront été appliquées, les conséquences sur la centrale nucléaire de Gravelines associées au scénario d'inondation pourront être considérées acceptables.**

Pour ce qui concerne le séisme, le spectre de sol retenu pour le dimensionnement des réservoirs de GNL du terminal méthanier est enveloppe du séisme majoré de sécurité (SMS), du spectre de dimensionnement de la centrale nucléaire de Gravelines et du spectre minimal à la surface du site du Clipon défini par les arrêtés en références [5] et [6]. **Le spectre retenu par EDF pour le dimensionnement des réservoirs de GNL n'appelle donc pas de remarque de la part de l'IRSN. Par ailleurs, la méthodologie mise en œuvre par EDF pour dimensionner les réservoirs de GNL du terminal méthanier n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

#### Autres agressions

EDF classe les phénomènes dangereux qui ne sont pas issus d'agressions naturelles en deux catégories : ceux qui conduisent à une inflammation immédiate d'un épandage accidentel de GNL et ceux qui conduisent à une inflammation différée (i.e. explosion après dérive du nuage de gaz vers la centrale).

Une inflammation immédiate de vapeurs de GNL donne lieu à un feu de nappe sans explosion et n'est potentiellement dangereuse que par ses effets thermiques. EDF a considéré comme scénario enveloppe un feu de nappe produit par le déversement complet d'un réservoir de GNL (soit 190 000 m<sup>3</sup>), étendu à l'ensemble de la surface du terminal. Compte tenu de la distance de la centrale nucléaire de Gravelines, le flux thermique rayonné serait faible (inférieur à 3 kW/m<sup>2</sup>) et n'aurait pas d'impact sur cette centrale. L'IRSN considère que le GNL pourrait, dans certains cas, se déverser également en mer, ce qui conduit à un étalement plus important de la nappe. Le flux thermique rayonné dans le périmètre de la centrale nucléaire pourrait alors dépasser la valeur de 3 kW/m<sup>2</sup>, mais l'épaisseur de la nappe susceptible de conduire à de tels effets serait plus mince et la durée du feu plus courte (moins d'une minute). **Les conséquences sur la centrale nucléaire seraient donc moins importantes que celles du scénario maritime étudié précédemment. Aussi, l'IRSN considère que, lorsque les recommandations associées au scénario maritime auront été appliquées, les conséquences sur la centrale nucléaire de Gravelines associées aux scénarios d'inflammation immédiate pourront être considérées acceptables.**

---

<sup>2</sup> Le référentiel « inondation » applicable à la centrale nucléaire de Gravelines correspond à la RFS 1.2.e du 12 avril 1984 et à la méthodologie « REX Blayais ».

L'IRSN a identifié trois scénarios accidentels pouvant conduire à une agression de la centrale suite à une inflammation différée de gaz. Ces scénarios résultent de la perte d'intégrité d'un réservoir du terminal ou d'une cuve d'un méthanier à quai à la suite d'un des événements initiateurs suivants :

- une chute d'avion,
- une explosion interne à un réservoir à la suite d'une baisse excessive de pression,
- une rupture de tuyauterie avec le siphonnage d'un réservoir.

Parmi ces scénarios, seules les chutes d'avion ont fait l'objet d'une analyse probabiliste par EDF.

Les réservoirs du terminal ayant été dimensionnés à la chute d'un avion de type CESSNA<sup>®</sup>, l'évaluation probabiliste des risques d'accident conduite par EDF n'a retenu, pour ces réservoirs, que la probabilité de chute d'un avion d'une taille supérieure à cet aéronef. Dans ces conditions, les fréquences annuelles d'occurrence de la chute d'un avion sur l'un des trois réservoirs du terminal ou sur un méthanier à quai sont, pour EDF, respectivement de  $9.10^{-7}$  et de  $2.10^{-7}$  par an. Les résultats des évaluations de l'IRSN sont proches de ceux d'EDF. Ensuite, EDF a considéré (comme l'IRSN) que la probabilité d'inflammation différée du nuage émanant de la brèche était de 0,1. La probabilité que ce nuage dérive en direction de la centrale nucléaire est estimée entre 7 et 8 % par EDF. Cette estimation repose sur un secteur angulaire de dérive du nuage vers la centrale nucléaire qui ne prend pas en compte l'envergure du panache. Dans une démarche conservatrice, l'IRSN a considéré que tous les vents d'est sont susceptibles de faire dériver un nuage atteignant une partie de la centrale nucléaire. Le risque correspondant est alors de 50 %.

In fine, l'IRSN estime que la probabilité qu'un nuage de gaz atteigne la centrale nucléaire de Gravelines à la suite d'une chute d'avion sur un des trois réservoirs du terminal ou sur un méthanier à quai est de  $8.10^{-8}$  par an.

De plus, l'IRSN souligne que les éléments du dossier d'EDF permettant de justifier la tenue d'un réservoir du terminal à la chute d'un aéronef de type CESSNA<sup>®</sup> retiennent une force à l'impact de 4200 kN alors que les règles de conception des réacteurs nucléaires retiennent une force de 7000 kN. En appliquant les règles en vigueur pour les réacteurs, l'IRSN estime que la tenue de la jupe d'un réservoir ne serait pas remise en cause, mais que la tenue du dôme ne serait pas garantie. En retenant la chute d'un avion de type CESSNA<sup>®</sup> sur les réservoirs de GNL, la probabilité qu'un nuage atteigne la centrale devient légèrement supérieure à  $10^{-7}$ .

Afin de pouvoir apprécier les risques associés à la chute d'un avion de type CESSNA<sup>®</sup> sur un réservoir de GNL, l'IRSN a étudié les concentrations de mélange gazeux qui pourraient atteindre la centrale nucléaire, en postulant un spectre de brèche sur un réservoir d'un diamètre équivalent compris entre 1,5 et 5 m. Ces concentrations sont supérieures à la LIE, mais proches de cette limite ; en conséquence, les valeurs de surpression ne conduisent pas à des recommandations autres que celles déjà formulées dans cet avis. **Aussi, l'IRSN considère que, lorsque les recommandations associées au scénario maritime auront été appliquées, les conséquences sur la centrale nucléaire de Gravelines associées à la chute d'un avion de type CESSNA<sup>®</sup> pourront être considérées acceptables.**

De même, lorsque ces recommandations auront été appliquées, les conséquences des autres initiateurs pour la centrale de Gravelines (risques de rupture de tuyauterie avec siphonnage d'un réservoir, risques d'explosion interne d'un réservoir) pourront être considérées acceptables.

Compte tenu de ce qui précède, l'étude des scénarios terrestres non exclus de manière déterministe ne conduit pas à considérer que la fréquence d'occurrence de conséquences inacceptables pour la centrale nucléaire de Gravelines soit supérieure à la valeur repère de la RFS 1.2.d [2].

### Effets dominos

EDF n'a pas étudié les éventuels effets dominos sur les installations du terminal méthanier et sur celles des appontements pétroliers des Flandres situés à proximité de la centrale de Gravelines.

S'agissant de ces dernières installations, les scénarios d'agression d'ores et déjà étudiés ne sont pas de nature à aggraver les contraintes pour la centrale en cas d'accident induit par le terminal méthanier. L'IRSN souligne toutefois que le niveau des flux thermiques atteint pourrait rendre impossible les déplacements du personnel au voisinage du BDS, qui intervient dans la gestion de crise. **L'IRSN considère qu'EDF devra en tenir compte dans ses dispositions de gestion de crise.**

S'agissant des installations du terminal méthanier (réservoirs terrestres et méthanier à quai), en première analyse, les éventuels effets dominos devraient conduire à des conséquences comparables à celles du scénario maritime qui a été étudié et qui fait l'objet des recommandations effectuées précédemment. **Ceci amène l'IRSN à formuler la recommandation n°6 en annexe.**

### Gestion de crise

EDF a confirmé l'existence d'un plan d'urgence interne (PUI) couvrant l'émission externe de matières dangereuses gazeuses, mais ne détaille toutefois pas précisément l'organisation de gestion de crise correspondante. En particulier, EDF devrait préciser les dispositions permettant d'alerter les opérateurs de la centrale en cas de nappe dérivante de gaz (détecteurs, sirène...) ainsi que les moyens de secours et les dispositions organisationnelles à mettre en œuvre en un tel cas. **Ceci amène l'IRSN à formuler la recommandation n°7 en annexe.**

### Conclusion

Après examen des risques d'agression de la centrale nucléaire de Gravelines par le terminal méthanier, l'IRSN retient que la combinaison des effets thermiques et de souffle d'une explosion d'un nuage dérivant de gaz pourrait induire, pour les scénarios pénalisants retenus, une perte totale des alimentations électriques d'un ou de plusieurs réacteurs nucléaires, une perte de l'intégrité de réservoirs PTR et des dégradations d'équipements indispensables au refroidissement des piscines d'entreposage du combustible irradié. **Aussi, l'IRSN estime qu'EDF doit mettre en œuvre les actions préconisées dans les recommandations n°1, 2 et 3. A cet égard, l'IRSN estime que ces recommandations pourraient faire l'objet de prescriptions de l'ASN.**

Par ailleurs, EDF devra étudier les conséquences de la combinaison des effets thermiques et du souffle d'une explosion d'un nuage de méthane sur les stations de pompage et les réservoirs d'effluents SEK, KER et TER (recommandations n°4 et 5). En outre, les éventuels effets dominos pouvant survenir sur le terminal méthanier et les dispositions de gestion de crise devront être justifiés par EDF (recommandations n°6 et 7).

Enfin, comme indiqué dans la lettre [1], l'application au terminal méthanier de la démarche associée aux ECS fera l'objet d'une instruction ultérieure, après réception des réponses correspondantes d'EDF.

Pour le Directeur général, par ordre

Thierry CHARLES  
Directeur général adjoint

Annexe à l'avis IRSN 2014-00112 du 18 mars 2014

Recommandations et observation de l'IRSN

**Recommandation n° 1 : Maîtrise d'une perte totale des alimentations électriques d'un ou de plusieurs réacteurs**

L'IRSN recommande qu'EDF mette en œuvre des dispositions pour prévenir ou maîtriser une perte totale des alimentations électriques affectant un ou plusieurs réacteurs de la centrale nucléaire de Gravelines, consécutive aux effets de l'explosion d'une nappe dérivante de gaz survenant dans le périmètre de la centrale. Ces dispositions seront dimensionnées aux effets thermiques induits par cette explosion ainsi qu'à l'onde de surpression définie dans les décrets autorisant la création des réacteurs de cette centrale.

**Recommandation n° 2 : Alimentation en eau borée**

L'IRSN recommande qu'EDF mette en œuvre des dispositions permettant de garantir une capacité d'alimentation suffisante en eau borée en cas d'explosion à proximité d'un réservoir PTR, conduisant à une onde de surpression d'intensité au moins égale à 70 mbar.

**Recommandation n° 3 : Risque de formation d'une atmosphère explosive dans les bâtiments du combustible**

L'IRSN recommande qu'EDF mette en œuvre des dispositions permettant d'éviter toute formation d'une atmosphère explosive dans les bâtiments du combustible, en cas de présence d'un nuage de gaz dans le périmètre de la centrale nucléaire.

**Recommandation n° 4 : Risque d'agression des équipements de la station de pompage**

L'IRSN recommande qu'EDF évalue les conséquences de la chute d'une partie du bardage d'une station de pompage par l'effet de souffle d'une explosion, sur les matériels nécessaires au refroidissement du combustible en réacteur ou en piscine de désactivation et prene, le cas échéant, les dispositions correctives nécessaires.

**Recommandation n° 5 : Tenue des réservoirs d'effluents**

L'IRSN recommande qu'EDF étudie les conséquences radiologiques liées à d'éventuelles dégradations des réservoirs d'effluents SEK, KER et TER en cas de surpression de 50 mbar et prene, le cas échéant, les dispositions correctives nécessaires.

**Recommandation n° 6 : Effets dominos**

L'IRSN recommande qu'EDF justifie que les éventuels effets dominos sur les installations du terminal ou sur un méthanier conduisent à des conséquences comparables à celles déjà évaluées pour la centrale nucléaire de Gravelines.

**Recommandation n° 7 : Gestion de crise**

L'IRSN recommande qu'EDF explicite et justifie les dispositions de gestion de crise prévues sur le site de Gravelines en cas d'accident sur le terminal méthanier, en tenant compte d'éventuels effets dominos pouvant affecter le site des Appontements pétroliers des Flandres et pouvant rendre indisponible le bloc de sécurité de la centrale.

**Observation n° 1 : Risque d'incendie dans la station de pompage**

EDF devra présenter les mesures prises pour écarter la présence, à proximité de la façade des bâtiments des stations de pompage, de tout matériau dont la température d'auto-inflammation atteindrait ou dépasserait une valeur de l'ordre de 300 °C.