

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*

# La démarche d'exclusion de rupture

Document du référentiel  
d'expertise de sûreté

2019



---

---

## RESUME

Les réacteurs à eau sous pression français sont conçus selon le principe de défense en profondeur. La démarche de sûreté consiste à considérer la défaillance d'équipements indépendamment des exigences de conception et de fabrication des circuits qui visent à prévenir leur rupture.

Les difficultés de limitation des conséquences de la rupture de certains équipements mécaniques de ces réacteurs ont conduit à ne pas postuler de tels événements dans les études de sûreté. L'absence de disposition de limitation des conséquences, raisonnable et dont l'efficacité peut être démontrée au vu de l'état des connaissances et des techniques disponibles, est alors justifiée par l'application d'exigences particulièrement fortes en matière de conception, de fabrication et par une surveillance initiale et en service renforcée visant à garantir la prévention de la rupture de ces équipements : c'est la démarche d'exclusion de rupture.

Ces cas d'exclusion de rupture concernent, pour les réacteurs à eau sous pression, les gros composants du circuit primaire principal et des circuits secondaires principaux.

Pour les cas des tuyauteries, la démarche d'exclusion de rupture ne peut être envisagée que pour les tuyauteries primaires principales et pour les tuyauteries secondaires principales véhiculant de la vapeur : l'exclusion de rupture résulte alors, sauf exception, d'un choix. Ce choix ne pourrait être accepté conformément au guide de l'ASN n°22 élaboré conjointement avec l'IRSN que par la mise en évidence de gains significatifs pour la sûreté. Par ailleurs, l'opportunité du recours à la démarche d'exclusion de rupture doit faire l'objet d'un examen à un stade précoce de la conception, celui-ci étant un choix structurant pour la conception.

**L'IRSN a établi une liste non exhaustive de conditions nécessaires pour que l'exclusion de rupture puisse être envisagée pour un équipement mécanique étant entendu que le recours à une démarche d'exclusion de rupture pour des équipements mécaniques doit rester exceptionnel et être impérativement justifié soit par l'absence de moyen physique permettant de faire face à la rupture soit par des gains significatifs en matière de sûreté.**

---

---

## ABSTRACT

French Pressurized Water Reactors are designed accordingly to the defense-in-depth principle. Safety approach considers equipment failure notwithstanding design and manufacturing requirements that are applied to prevent their failure.

Difficulties to limit the consequences of some PWR pieces of equipment break have led not to postulate the corresponding event in safety assessments. Then, absence of realistic and demonstrable provisions to limit the consequences according to current knowledge and the techniques available is justified by implementation of particularly stringent requirements for design, manufacturing and both initial and in-service reinforced monitoring aiming at guaranteeing prevention of these pieces of equipment break: this is the "break preclusion" approach.

Regarding pressurized water reactors, these cases of "break preclusion" are related to large components of the main primary system and main secondary systems.

Concerning pipework, "break preclusion" approach can only be considered for main primary pipes and main secondary steam pipes: "break preclusion" is then a design choice. According to ASN guide n° 22 produced jointly with IRSN, this choice may be considered acceptable only on the basis of a justification of major advantages for safety. The possibility to apply "break preclusion approach" shall be assessed at an early stage of the design considering that this choice is structuring for the design.

IRSN has established a non-comprehensive list of conditions necessary to consider that application of “break preclusion” approach as possible for some pieces of mechanical equipment, given that it shall remain an exception and shall be justified whether by absence of practicable provision to deal with the break whether by major advantages for safety.

---

---

#### **MOTS-CLES**

Exclusion, rupture, exigences, défense en profondeur, tuyauteries, gros composant, circuit primaire principal, circuits secondaires principaux

# SOMMAIRE

1 INTRODUCTION .....	4
2 LE PRINCIPE DE DEFENSE EN PROFONDEUR ET SA DECLINAISON AUX EQUIPEMENTS MECANQUES .....	5
3 LA DEMARCHE D'EXCLUSION DE RUPTURE : PRATIQUES ACTUELLES .....	6
3.1 RECIPIENTS .....	6
3.2 TUYAUTERIES .....	7
4 LES CONDITIONS A SATISFAIRE .....	9
5 CONCLUSION .....	14

# **1 INTRODUCTION**

La démarche d'exclusion de rupture<sup>1</sup> consiste dans son principe à ne pas postuler, au titre des événements déclencheurs uniques à étudier de façon déterministe dans la démonstration de sûreté, la rupture d'un récipient ou d'une tuyauterie.

Ce document présente la position de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) relative à cette démarche. Après un rappel de la démarche d'exclusion de rupture dans les pratiques actuelles, le document identifie les récipients et tuyauteries des réacteurs à eau sous pression (REP) pour lesquels un exploitant peut être amené à appliquer cette démarche dans sa démonstration de sûreté et à définir les conditions associées.

---

<sup>1</sup> Selon la définition figurant au Journal officiel du 23 septembre 2015, l'exclusion de rupture est une « *hypothèse consistant, dans l'analyse de sûreté d'un équipement contenant un fluide, à ne pas prendre en compte la rupture complète de cet équipement comme un événement initiateur* ».

## **2 LE PRINCIPE DE DEFENSE EN PROFONDEUR ET SA DECLINAISON AUX EQUIPEMENTS MECANIQUES**

Les réacteurs à eau sous pression sont conçus selon le principe de défense en profondeur : un ensemble de dispositions sont définies, d'une part pour éviter la survenue d'incidents ou d'accidents, d'autre part pour limiter les conséquences de ceux qui se produiraient malgré les dispositions prises pour les prévenir. Il en découle la distinction de différents niveaux de défense en profondeur, chaque niveau visant à limiter les conséquences de la défaillance du ou des niveau(x) précédent(s) et à éviter de solliciter le niveau suivant, dans le respect des objectifs généraux de sûreté.

Le guide de l'ASN n°22 élaboré conjointement avec l'IRSN précise certains éléments qui contribuent à la déclinaison du principe de défense en profondeur, notamment la prise en compte des événements pouvant affecter la sûreté nucléaire des installations. « *Dans la démonstration de sûreté nucléaire, [de tels événements sont ainsi] « exclus » ou « traités »* ». Un événement « *peut « être « exclu » s'il est démontré qu'il est physiquement impossible ou extrêmement improbable avec un haut degré de confiance au regard des objectifs de sûreté* ». Toutefois, pour le cas particulier de l'exclusion de rupture des récipients et tuyauteries, certaines considérations spécifiques sont également préconisées par le guide de l'ASN n° 22.

Le présent document porte sur la prise en compte du risque de rupture des récipients et tuyauteries - appelés par la suite équipements mécaniques - au vu de ces considérations, étant entendu que, pour ce qui concerne la défense en profondeur, les objectifs visés aux différents niveaux peuvent être considérés satisfaits par :

- au premier niveau, une prévention des différents modes de dégradation par la définition d'exigences appropriées en termes de conception, de réalisation et de contrôles associés ;
- au deuxième niveau, une vérification du maintien de l'intégrité<sup>2</sup> par la définition d'exigences appropriées en termes de surveillance des conditions de fonctionnement et de suivi en service des équipements, permettant de s'assurer de l'absence de dégradation ;
- au-delà, la définition de défaillances postulées, malgré les précautions résultant des exigences relevant des deux premiers niveaux, et la prise en compte de ces défaillances pour mettre en œuvre des dispositions permettant d'en limiter les conséquences.

---

<sup>2</sup> L'intégrité est à comprendre comme l'absence d'altération susceptible de remettre en cause la prévention des différents modes d'endommagement pour l'équipement concerné.

## **3 LA DEMARCHE D'EXCLUSION DE RUPTURE : PRATIQUES ACTUELLES**

L'arrêté du 30 décembre 2015 relatif aux équipements sous pression nucléaires (ESPN) ne traite pas de la démonstration de sûreté des réacteurs mais de la sécurité de chaque ESPN pris isolément. Selon cet arrêté, tous les équipements du circuit primaire principal (CPP) ainsi que les tuyauteries du circuit primaire principal et des circuits secondaires principaux (CSP) doivent être classés au niveau N1, tel que défini à l'article 3, et dimensionnés en conséquence. Ainsi, l'exploitant a retenu les règles du RCC-M<sup>3</sup> de niveau 1 pour la conception de ces équipements. L'arrêté ne fait pas référence à une possible exclusion de rupture de certains de ces équipements.

### **3.1 RECIPIENTS**

Si des dispositions peuvent être mises en place afin de limiter les conséquences de la plupart des ruptures, dans l'état actuel des connaissances et des techniques disponibles, la rupture de certains récipients ne peut pas faire l'objet de dispositions, raisonnables et dont l'efficacité peut être démontrée, de limitation des conséquences qui permettraient de rendre ces conséquences compatibles avec les objectifs de sûreté retenus pour les installations correspondantes. L'effort porte alors sur l'amélioration de la prévention des événements correspondants pour, *in fine*, permettre de les « exclure ».

C'est le cas de la rupture brutale de gros composants des REP comme la cuve du réacteur, l'enveloppe externe des générateurs de vapeur (GV), le pressuriseur ou la volute des pompes primaires. Les effets mécaniques de la rupture de l'un de ces composants, si elle survenait, auraient inévitablement des conséquences sur les assemblages de combustible, sur les structures internes de la cuve, sur les tubes des générateurs de vapeur ou sur l'enceinte de confinement, incompatibles avec l'atteinte des objectifs de sûreté d'un REP.

**Il apparaît nécessaire que, pour de tels récipients, la rupture soit rendue extrêmement improbable avec un haut degré de confiance moyennant le respect d'exigences renforcées de conception, de fabrication et de surveillance.**

Il a donc été retenu, dès la conception des premiers REP, de ne pas postuler les accidents initiés par de telles ruptures dans les études de sûreté déterministes, donc de ne pas définir des dispositions de limitation des conséquences de ces ruptures au titre du troisième niveau de la défense en profondeur. En conséquence, des exigences particulièrement fortes ont été retenues en matière de conception et de fabrication des équipements, ainsi que de leur surveillance initiale et en service de façon à prévenir la rupture de ces récipients. Ainsi :

- les choix de conception visent à prévenir l'apparition d'endommagements, le recours à des procédés de fabrication et de contrôle exigeants permet l'obtention d'un haut niveau de qualité ;
- le suivi en service permet de vérifier l'absence de dégradation du récipient ou d'en détecter l'éventuelle apparition suffisamment tôt.

La démarche d'exclusion de rupture est ainsi citée dans le guide de l'ASN n°22 élaboré conjointement avec l'IRSN qui traite de la conception des réacteurs à eau sous pression. Il y est indiqué en particulier « [qu'] *une démarche*

---

<sup>3</sup> Règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires des REP



*d'exclusion de rupture des gros composants du CPP et des CSP doit être mise en œuvre. En effet, aucune disposition raisonnable de limitation des conséquences de leur rupture, en tant qu'évènement déclencheur, ne pourrait être définie. Ces composants sont dits non ruptibles ».* Le guide cite ensuite, parmi les moyens à retenir au stade de la conception et de la fabrication de tels composants : « *la détermination enveloppe de sollicitations subies, l'analyse du comportement des structures sous ces sollicitations, l'existence de marges notamment par rapport aux critères mécaniques, la qualification des procédés de fabrication et les approvisionnements, le choix, l'étendue et la précision des techniques de contrôles au regard des procédés de fabrication, la détermination des critères d'acceptation des défauts de fabrication, l'accessibilité des zones à surveiller en exploitation et l'étendue des contrôles associés, la prise en compte de l'expérience sur le comportement de matériaux ou d'installations similaires sont des moyens nécessaires à la mise en œuvre de cette démarche.* »

Enfin, il convient de rappeler que le choix des procédés de fabrication et de contrôle doit tenir compte de l'« *état d'avancement de la technique et de la pratique* ».

## 3.2 TUYAUTERIES

Les études d'accident relatives aux ruptures de tuyauteries intégrées à la démonstration de sûreté d'une installation conduisent à postuler des brèches (localisation, dimensions). Dans la pratique, des localisations spécifiques sont retenues par l'exploitant pour ces ruptures. Par exemple, les règles de conception indiquent que, pour les tuyauteries auxiliaires de niveau 1 au sens du RCC-M, une brèche doit être considérée aux extrémités de chaque tronçon ainsi qu'en au moins deux points intermédiaires où la contrainte est élevée. Les lieux de singularité (en particulier les soudures) sont également envisagés. D'autres considérations peuvent aussi être prises en compte, notamment dans les études d'agression. Finalement, le positionnement des brèches postulées est en partie guidé par leur fréquence estimée d'occurrence mais revêt néanmoins un caractère conventionnel.

Le fait de positionner les brèches en certains lieux d'un tronçon de tuyauterie pour en étudier les conséquences implique l'absence d'étude de brèches aux autres endroits. Cette démarche ne relève pas de l'exclusion de rupture. L'exploitant justifie dans ce cas que les évènements étudiés sont représentatifs et conduisent à une évaluation qui couvre les conséquences de l'ensemble des situations de brèches considérées comme plausibles. C'est le cas des tuyauteries primaires principales des réacteurs français - hormis du réacteur EPR de Flamanville, dont la rupture n'est pas exclue par hypothèse, pour lesquelles les conséquences de sept brèches positionnées conventionnellement au niveau de soudures sont étudiées.

Pour certains tronçons de tuyauteries, il peut être estimé que, moyennant des exigences renforcées, les brèches à étudier sont nécessairement positionnées en dehors de ces tronçons. Une telle démarche, que l'on peut rapprocher à juste titre de l'exclusion de rupture, nécessite une attention concernant le référentiel d'exigences retenues pour les tronçons concernés. Les éléments figurant dans la suite de ce document s'appliquent également à ce cas.

La démarche d'exclusion de rupture a ainsi été déclinée aux tronçons des tuyauteries de vapeur principales situés entre la traversée de l'enceinte du bâtiment du réacteur et l'organe d'isolement extérieur<sup>4</sup>. Cette approche a abouti à la notion de « *tronçons protégés* » conçus et réalisés selon des exigences spécifiques qui correspondent à des exigences de conception renforcées par rapport à celles applicables aux tuyauteries classées au niveau 2 de sûreté<sup>5</sup>.

Enfin, la démarche d'exclusion de rupture a été déclinée, dans le cas du réacteur EPR de Flamanville, aux tuyauteries principales du CPP et aux tuyauteries de vapeur principales des CSP conformément aux directives techniques pour la conception et la construction de la prochaine génération de tranches nucléaires à eau pressurisée publiées en 2004 et aux conclusions de la réunion de la Section permanente nucléaire du 21 juin 2005. Les directives techniques prévoyaient néanmoins le maintien de certaines études considérant la « *rupture doublement débattue d'une tuyauterie primaire principale* », avec des hypothèses réalistes, en particulier sans la prise en compte d'un aggravant.

La démarche d'exclusion de rupture de tuyauteries est également mentionnée dans le guide de l'ASN n° 22 élaboré conjointement avec l'IRSN qui précise toutefois qu'elle « *ne peut être envisagée que pour les tuyauteries primaires principales* » et « *pour les tuyauteries secondaires principales véhiculant de la vapeur* ». Le guide précité précise des dispositions nécessaires à sa mise en œuvre, parmi lesquelles figure notamment, au-delà des dispositions similaires à celles qui permettent l'exclusion de rupture des gros composants, le besoin de « *justifi[er] que ce choix est raisonnable compte tenu des avantages et inconvénients qu'il apporte au niveau de sûreté global de l'installation et à la radioprotection* ». En effet, dans le cas des tuyauteries, contrairement aux gros composants du circuit primaire, des dispositions permettant de limiter les conséquences d'une brèche guillotine peuvent *a priori* être définies<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup> La rupture d'une tuyauterie vapeur se produisant entre le point fixe de la traversée de l'enceinte et le dispositif de protection en aval de la vanne d'isolement pourrait entraîner la vidange de deux générateurs de vapeur si l'on suppose la défaillance de la vanne d'isolement située sur la ligne rompue (à cause des efforts induits par la rupture) et si l'on applique le critère de défaillance unique à une autre vanne d'isolement (Extrait du RCC-P).

<sup>5</sup> Les CSP sont classées au niveau 2 de sûreté sur les réacteurs français, hormis le réacteur EPR de Flamanville.

<sup>6</sup> Il apparaît toutefois que la prise en compte de tous les effets induits par une brèche guillotine doublement débattue ne peut être démontrée, notamment les effets dynamiques sur les internes de cuve pour le circuit primaire principal.

## **4 LES CONDITIONS A SATISFAIRE**

Les circonstances conduisant un exploitant à exclure, dans la démonstration de sûreté, la rupture de certains équipements mécaniques en tant qu'évènement déclencheur peuvent, selon l'IRSN, relever des deux cas suivants :

- **Cas 1** : la prise en compte de la rupture ne peut pas être envisagée car, au vu de l'état des connaissances et des techniques disponibles, la définition et la mise en œuvre de dispositions raisonnables pour en limiter les conséquences ne sont pas réalisables ou leur efficacité ne peut être démontrée ;
- **Cas 2** : la prise en compte de la rupture est possible et la définition ainsi que la mise en œuvre de dispositions pour en limiter les conséquences sont réalisables, mais l'exploitant fait le choix de ne pas retenir cette rupture et considère pouvoir l'exclure, moyennant des exigences spécifiques de conception, de fabrication et de surveillance.

### **Cas 1**

La prise en compte de la rupture d'un équipement mécanique ne peut pas être envisagée, car ses conséquences ne peuvent pas être limitées par des moyens dédiés ou la démonstration de leur efficacité ne peut être apportée en suivant les règles d'étude usuelles.

Il s'agit d'une situation où l'exclusion de rupture est une nécessité ; elle ne résulte pas d'un choix car il n'existe pas d'alternative. Des exigences renforcées en matière de conception, de fabrication et de surveillance sont dans ce cas nécessaires, de telle sorte que la rupture puisse être considérée comme extrêmement improbable avec un haut degré de confiance.

La rupture complète des gros composants du CPP des réacteurs électronucléaires français relève typiquement du cas 1.

Un lien peut alors être fait entre la démarche d'exclusion de rupture et celle d'élimination pratique.

### **Cas 2**

La prise en compte de la rupture complète d'un équipement mécanique en tant qu'évènement déclencheur n'est pas envisagée par l'exploitant qui estime qu'il peut justifier que les exigences de conception, de fabrication et de surveillance qu'il a prévues sont telles que cette rupture peut être considérée comme extrêmement improbable avec un haut degré de confiance.

Il s'agit donc d'une situation où l'exclusion de rupture résulte généralement d'un choix délibéré de l'exploitant : elle repose sur l'excellence et la bonne mise en œuvre des exigences de conception, de fabrication et de surveillance au vu de l'absence « choisie » de dispositions de limitation des conséquences.

Ce choix permet à l'exploitant une certaine optimisation de ses moyens dès lors qu'il s'affranchit d'un certain nombre d'études et du déploiement de ces dispositions de limitation des conséquences.

Tout d'abord, l'IRSN souligne qu'il n'existe pas de réglementation ou de référentiel technique prescriptif qui fixe les exigences qu'un exploitant doit retenir pour justifier l'exclusion de rupture<sup>7</sup>.

De plus, dans tous les cas, la définition même de ces exigences est délicate dans la mesure où les équipements concernés bénéficient déjà, en règle générale, de dispositions de construction visant à leur conférer une excellente qualité. C'est le cas des tuyauteries et des gros composants du CPP, qui sont construits selon les règles de la classe 1 du code RCC-M. Il en résulte que la différence entre un équipement faisant l'objet d'une exclusion

---

<sup>7</sup> A noter toutefois la notion de « tronçon protégé » des tuyauteries de vapeur qui bénéficie d'une définition établie.

de rupture et un équipement similaire qui n'en fait pas l'objet pourra apparaître minime. Cela pourrait conduire à affirmer que l'utilisation du niveau 1 du code RCC-M vaut exclusion de rupture. L'IRSN réfute cette dernière affirmation.

La définition de critères mécaniques qui viendraient renforcer ceux du niveau 1 du RCC-M pour se prémunir des dommages conventionnels a été évoquée par le passé, mais ces travaux n'ont pas abouti. En tout état de cause, pour l'IRSN, une telle proposition n'apparaît pas satisfaisante car les « coefficients de sécurité » appliqués au travers de la démarche de conception étant réputés suffisants pour se prémunir contre la défaillance de l'équipement, une augmentation de ces coefficients n'apporterait pas de gain significatif en termes de sûreté. Ainsi, cette proposition n'est pas celle suivie pour se prémunir des dommages conventionnels et un apport d'une autre nature doit être recherché.

Cet apport d'une autre nature peut être notamment le choix de dispositions facilitant l'accès aux équipements concernés et l'emploi de plusieurs procédés de contrôle, de méthodes de fabrication éprouvées, la réalisation de contrôles accrus en fabrication et en service, ainsi que des requalifications en service. Deux conditions apparaissent également constituer des préalables incontournables :

- aucune défaillance occasionnée par des mécanismes de dégradation ne doit jamais avoir été constatée sur le type d'équipements mécaniques concerné ;
- des dispositions doivent être prises pour garantir l'absence de sollicitation susceptible de créer un dommage, autres que les sollicitations thermiques et mécaniques prises en compte à la conception.

L'IRSN a ainsi établi une liste non exhaustive de conditions à satisfaire en prenant en compte l'état d'avancement de la technique et de la pratique, pour que l'exclusion de rupture puisse être envisagée pour un équipement mécanique. Elles comprennent :

- a. un retour d'expérience positif en fabrication et en exploitation sur les composants similaires, y compris sur le ou les matériau(x) utilisés et les procédés de fabrication mis en œuvre. Cela implique le constat de l'absence de perte d'intégrité. De plus, une analyse détaillée des éventuelles difficultés de mise en œuvre des matériaux et procédés est à réaliser ;
- b. des exigences de conception renforcées :
  - une accessibilité facilitant la réalisation des contrôles requis, l'accessibilité et la contrôlabilité devant être totales ;
  - la réduction au strict nécessaire du nombre de soudures et de la longueur de la tuyauterie, ainsi que la limitation de la distance entre 2 points fixes de la tuyauterie ;
  - la garantie de l'absence de sollicitations autres que celles résultant des transitoires du rapport de sûreté. Le caractère enveloppe des sollicitations retenues doit être justifié. Ainsi, par exemple, les effets hydrodynamiques significatifs doivent être évités. Les sollicitations issues des effets des agressions internes doivent être évitées autant que raisonnablement possible ;
  - une attention particulière doit être portée au risque de corrosion lors du choix des matériaux et de la définition des spécifications chimiques des fluides circulant dans les circuits ;

- un dimensionnement mécanique selon des règles au moins équivalentes<sup>8</sup> à celles du niveau 1 du RCC-M ;
- c. des exigences renforcées en termes de fabrication et de contrôles associés, relevant au moins du niveau 1 du RCC-M, complétées par des exigences définies dans la spécification de l'équipement, dont :
  - la qualification des approvisionnements ;
  - la réalisation d'un contrôle volumique des approvisionnements ;
  - des procédés de fabrication garantissant l'homogénéité et la compacité des produits ;
  - la réalisation d'un contrôle des bords à souder ;
  - la réalisation des soudures selon un procédé qualifié spécifiquement développé au titre de l'exclusion de rupture ;
  - la réalisation de coupons témoins représentatifs pour l'ensemble des soudures de résistance ;
  - la réalisation d'un double contrôle volumique de l'ensemble des soudures de résistance par des procédés différents ;
- d. des exigences renforcées en termes de contrôle en service :
  - un programme de contrôle lors des inspections en service doit être défini - la fréquence de ces inspections constituant un paramètre clé - et un point zéro initial doit être réalisé. En particulier, ce programme doit inclure un contrôle volumique de l'ensemble des soudures de résistance ;
  - les procédés de contrôle en service doivent être qualifiés. La redondance et la diversification de ces procédés doivent être recherchées en cohérence avec la nature des défauts à détecter ;
- e. pour l'ensemble des activités de fabrication et de contrôle, un choix pertinent des fournisseurs et des sous-traitants. Ce choix doit être particulièrement justifié au regard de leur expérience et de leur qualification.

Par ailleurs, le retour d'expérience de la réalisation de certains équipements mécaniques du réacteur EPR de Flamanville a récemment mis en évidence des lacunes organisationnelles, tant au niveau des spécifications et de la fabrication qu'au niveau des contrôles associés, malgré les exigences applicables. Cela conduit à s'interroger sur l'efficacité globale du système de surveillance mis en œuvre pour de tels équipements.

**Un renforcement de la surveillance de la conception et de la fabrication des équipements mécaniques pour lesquels une démarche d'exclusion de rupture est retenue, doit donc être mis en œuvre. Ce renforcement devra notamment permettre de détecter au plus tôt tout écart.**

En outre, la justification du caractère extrêmement improbable avec un haut degré de confiance ne peut pas reposer sur le simple respect d'un seuil de coupure probabiliste, à l'instar de la démarche de sûreté en général. Si, par le passé, des études ont été menées pour estimer la probabilité de rupture de tuyauterie dans le domaine

---

<sup>8</sup> L'équivalence s'entend en termes de modes de dégradation couverts et en termes de coefficients de sécurité employés. Le RCC-M niveau 1 requiert en particulier des études détaillées de la tenue à la fatigue et du risque de rupture brutale.

nucléaire, les résultats sont très dispersés compte tenu d'importantes incertitudes. Ces outils ne sont pas adaptés pour prendre en compte un phénomène de dégradation dont la nature reste inconnue au moment des études. Le retour d'expérience des quelques ruptures de tuyauteries survenues sur le parc nucléaire français au cours des dernières années permet d'illustrer le propos :

- l'incident survenu sur le circuit de refroidissement à l'arrêt (RRA) de la centrale de Civaux 1 est dû à la présence d'une brèche longitudinale attribuée à un phénomène de fatigue thermique, survenu en fonctionnement normal qui n'avait pas été identifié à la conception ;
- plusieurs incidents ont conduit entre 2005 et 2008 à des fuites significatives des faisceaux tubulaires des GV du parc électronucléaire français ; ils ont conduit à la découverte du phénomène de colmatage de la partie secondaire des GV, non identifié à la conception, qui augmente le risque d'instabilité fluide-élastique de certains tubes du faisceau.

Ces incidents n'auraient pas pu être anticipés par des études probabilistes. Certes les tronçons concernés dans ces exemples ne sont pas en exclusion de rupture, mais des phénomènes non identifiés au stade de la conception peuvent tout aussi bien survenir pour des tronçons en exclusion de rupture.

Enfin, l'apport possible des études probabilistes reste extrêmement limité dans ces conditions. **Aussi, des éléments de nature probabiliste ne permettent pas de justifier le recours à une démarche d'exclusion de rupture.**

Le retour d'expérience concernant les anomalies de fabrication des gros composants forgés du circuit primaire en France et à l'étranger montre que le niveau de qualité souhaité ou spécifié pour ces composants n'a pas toujours été atteint et que cela n'a pas été décelé au cours du processus de fabrication. De même, des soudures des tronçons de tuyauteries de vapeur principales du réacteur EPR de Flamanville ont présenté des écarts de conformité au référentiel d'exclusion de rupture défini par l'exploitant. **Il convient donc de rester prudent en limitant le recours à la démarche d'exclusion de rupture.**

Pour le cas n° 1 dont relèvent les gros composants dits « non ruptibles », la démarche est éprouvée, notamment au regard du retour d'expérience d'exploitation, et n'est pas à remettre en cause pour la construction de nouveaux REP pour autant que les conditions susmentionnées soient correctement mises en œuvre et maîtrisées.

Pour le cas n° 2 dont relèvent les tuyauteries du CPP et des CSP, la démarche qui doit prévaloir est de postuler les ruptures plausibles, d'étudier les scénarios accidentels et de mettre en place des dispositions de limitation des conséquences, le cas échéant, par exemple l'installation de dispositifs anti-débattement, l'étanchéification des locaux adjacents ou la mise en place d'une double enveloppe, à laquelle est associé un système de détection de fuite dans l'espace entre enveloppes qui serait classé de sûreté.

Le recours à la démarche d'exclusion de rupture « choisie » pourrait être accepté dans le cas où les dispositions permettant de limiter les conséquences de la rupture complète conduisent à des inconvénients pour la sûreté. Par exemple, l'exploitant EDF a souligné que la présence de dispositifs anti-débattement du CPP gênait les contrôles et pouvait induire des contraintes sur ce circuit en cas de mauvais calage. En accord avec le guide de l'ASN n° 22, il s'ensuit que le recours à une démarche d'exclusion de rupture pourrait être acceptable si :

- un gain significatif en termes de sûreté est démontré par l'application de cette démarche ;
- les conditions a) à e) citées plus haut sont respectées.

En termes de gains significatifs possibles, on peut citer :

- la réalisation de tuyauteries avec des piquages constituant des ensembles forgés, améliorant à la fois la robustesse et les possibilités de contrôles ;
- l'optimisation du tracé des tuyauteries connectées aux tuyauteries en exclusion de rupture, permise par l'absence de dispositifs anti-débattement ou anti-fouettement ;
- la réduction des doses reçues lors des contrôles du fait d'un accès facilité aux équipements et aux circuits à contrôler<sup>9</sup>.

L'analyse des gains est à réaliser au cas par cas. **Un exploitant qui souhaiterait avoir recours à la démarche d'exclusion de rupture doit donc justifier précisément, dès les premières phases du projet, les gains attendus en termes de sûreté.**

Il est à noter que le recours à une démarche d'exclusion de rupture est un choix structurant pour la conception, dans la mesure où il a des conséquences sur des hypothèses essentielles au dimensionnement de certains systèmes. L'application d'une démarche d'exclusion de rupture aux tuyauteries principales du circuit primaire peut avoir ainsi des conséquences sur la conception de l'injection de sécurité, des internes de cuve, de l'enceinte de confinement et des structures internes à l'enceinte de confinement ainsi que sur les profils de qualification des composants. Pour ces raisons, l'opportunité du recours à cette démarche doit faire l'objet d'un examen à un stade précoce de la conception.

---

<sup>9</sup> Un tel argument peut toutefois difficilement être comparé à l'inconvénient d'une démonstration de sûreté ne prenant pas en compte la rupture complète d'une tuyauterie, des dispositions de limitation de l'exposition pouvant être définies par ailleurs.

## **5 CONCLUSION**

Les réacteurs à eau sous pression français sont conçus selon le principe de défense en profondeur. La démarche de sûreté consiste à considérer la défaillance d'équipements indépendamment des exigences de conception et de fabrication des circuits qui visent à prévenir leur rupture. La surveillance en service permet de vérifier pendant l'exploitation que les hypothèses de conception restent vérifiées et que l'intégrité des circuits est assurée tout au long de la vie de l'installation.

Des brèches sont postulées au titre des événements déclencheurs et étudiées de façon déterministe dans la démonstration de sûreté afin de s'assurer de la limitation de leurs conséquences.

Les difficultés de limitation des conséquences de la rupture de certains équipements mécaniques des réacteurs à eau sous pression ont conduit à ne pas postuler de tels événements dans les études de sûreté. L'absence de disposition de limitation des conséquences, raisonnable et dont l'efficacité peut être démontrée, au vu de l'état des connaissances et des techniques disponibles est alors justifiée par l'application d'exigences particulièrement fortes en matière de conception, de fabrication et par une surveillance initiale et en service renforcée visant à garantir la prévention de la rupture de ces équipements : c'est la démarche d'exclusion de rupture.

Pour ces cas d'exclusion de rupture, que l'on pourrait qualifier de « nécessaire », et qui concernent, pour les réacteurs à eau sous pression, les gros composants du CPP et des CSP, la démarche mise en œuvre sur l'ensemble des réacteurs du parc en fonctionnement n'est pas à remettre en cause pour la construction de nouveaux réacteurs, pour autant que les exigences susmentionnées soient correctement mises en œuvre et maîtrisées, en particulier lors de la fabrication.

Pour les cas des tuyauteries, la démarche d'exclusion de rupture ne peut être envisagée que pour les tuyauteries primaires principales et pour les tuyauteries secondaires principales véhiculant de la vapeur. L'exclusion de rupture résulte alors d'un choix ; les dispositions visant à limiter les conséquences d'une rupture doivent être privilégiées. L'exclusion de rupture des tuyauteries ne pourrait être acceptée conformément au guide de l'ASN n°22 élaboré conjointement avec l'IRSN que par la mise en évidence de gains significatifs pour la sûreté du fait de l'exclusion de cette rupture. L'opportunité du recours à cette démarche doit faire l'objet d'une instruction à un stade précoce de la conception, celui-ci étant un choix structurant pour la conception.

**En conclusion, le recours à une démarche d'exclusion de rupture pour des équipements mécaniques doit rester exceptionnel et être impérativement justifié soit par l'absence de moyen physique permettant de faire face à la rupture soit par des gains significatifs en matière de sûreté. Dans les deux cas, l'existence d'un retour d'expérience positif sur des équipements similaires et l'application d'exigences de conception, de fabrication et de surveillance renforcées sont nécessaires.**

L'IRSN a établi une liste non exhaustive de conditions nécessaires pour que l'exclusion de rupture puisse être envisagée pour un équipement mécanique du CPP et des CSP des REP. Ces conditions pourraient constituer des éléments d'éclairage pour un exploitant qui souhaiterait appliquer une démarche d'exclusion de rupture à d'autres équipements, y compris sur un autre type d'installation qu'un REP. En tout état de cause, ceci ne pourrait être envisagé qu'au cas par cas.





**Siège social**

31, avenue de la Division Leclerc  
92260 Fontenay-aux-Roses  
RCS Nanterre B 440 546 018

**Téléphone**


+33 (0)1 58 35 88 88

**Courrier**

B.P. 17 - 92262 Fontenay-aux-Rose Cedex

**Site Internet**

[www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)

 @IRSNFrance, @suretenucleaire