



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité

**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 6 mai 2021

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2021-00073

---

**Objet :**           Établissement Orano Cycle de La Hague  
                  Utilisation du logiciel CHUTE pour justifier la résistance des poutres et des dalles en cas de chute de charge.

---

**Réf. :**            Saisine ASN CODEP-DRC-2020-011170 du 4 mars 2020.

---

Par la lettre citée en référence, l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) demande l'avis de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) sur l'utilisation par Orano Cycle du logiciel dénommé CHUTE pour les analyses de sûreté des installations du site de La Hague. Ce logiciel a été notamment utilisé par l'exploitant pour analyser les risques liés aux opérations de manutention dans les futurs ateliers E/ECC et NCPF, ainsi que dans des projets liés aux opérations de reprise et conditionnement des déchets des installations du site. En effet, le risque de chute de charge doit notamment être pris en compte pour justifier la résistance de certains éléments de structure.

Afin de justifier de la validation et de la pertinence du modèle utilisé par ce logiciel, Orano Cycle a transmis à l'ASN une note présentant des éléments de validation de ce logiciel, établis sur la base de résultats expérimentaux et de résultats de simulations numériques. Dans sa saisine, l'ASN demande en particulier à l'IRSN de se prononcer, au regard de l'état de l'art, sur la capacité de ce logiciel à calculer les grandeurs d'intérêt, pour le domaine d'utilisation visé, avec des valeurs d'incertitudes adaptées aux besoins des analyses de sûreté.

### 1. CONTEXTE

Pour les analyses de sûreté des opérations de manutention et dans certaines situations sous séisme, des scénarios postulant des chutes de charge sont généralement étudiés par les exploitants afin de vérifier le caractère suffisant des dispositions retenues à l'égard de ces risques et le niveau de sûreté de l'installation.

En fonction des conséquences potentielles associées à ces chutes de charge et pour en limiter l'étendue ou la gravité, des exigences de sûreté peuvent être attribuées aux structures de génie civil. En particulier, ces structures (appelées ci-après cible) doivent être en capacité, d'une part d'arrêter la chute des composants manutentionnés, d'autre part d'assurer la protection des équipements importants pour la sûreté qui pourraient être endommagés.

MEMBRE DE  
**ETSON**

Dans ce cadre, Orano Cycle doit apporter la démonstration du respect des exigences attribuées aux cibles. Cette démonstration de la résistance des éléments de structures aux chutes de charge, difficile à apporter du fait des phénomènes complexes mis en jeu, repose généralement sur l'utilisation de formules empiriques proposées dans la littérature technique et sur des résultats d'essais ou de simulations numériques.

Dans le cadre d'expertises récentes effectuées sur différentes installations du site de la Hague, l'IRSN a relevé que cette démonstration s'appuyait sur des méthodes et des outils variés, selon l'entité en charge de l'étude, en fonction des installations et des scénarios de chutes de charge envisagés. Ainsi, des résultats différents, voire contradictoires dans leurs conclusions, ont pu être obtenus sans que l'exploitant n'ait pu identifier l'origine de ces différences (de méthode ou d'utilisation de logiciels).

Dans ce contexte, l'IRSN a estimé que la surveillance des études et la maîtrise des différentes méthodes de calcul utilisées par l'exploitant étaient perfectibles et qu'Orano Cycle devrait améliorer la maîtrise des démonstrations de sûreté associées aux chutes de charge sur les ouvrages de génie civil. En décembre 2019, Orano Cycle a transmis une note présentant des éléments de validation de ce logiciel, établis sur la base de résultats expérimentaux et de résultats de simulations numériques, qui fait l'objet de la demande de l'ASN.

## 2. VALIDATION DU LOGICIEL CHUTE

Créé à la fin des années 1980 dans le cadre du développement des installations de l'usine COGEMA de La Hague, ce logiciel s'appuie sur une note technique qui présente les principes de l'analyse du comportement d'éléments de structures de génie civil soumis à des chutes de charge, prenant en compte des exigences de sûreté attribuées à ces cibles. La validation initiale du logiciel s'appuie sur les résultats d'une campagne d'essais, également décrits dans cette note technique.

En cours d'expertise, Orano Cycle a indiqué avoir réalisé une analyse des différentes méthodes et moyens techniques mis en œuvre dans ses démonstrations de sûreté pour ce qui concerne les risques de chute de charge. Cet état des lieux a confirmé la nécessité d'une réappropriation des méthodes mises en œuvre dans les analyses de sûreté. Orano Cycle a ainsi décidé d'utiliser préférentiellement le logiciel CHUTE et d'apporter les éléments de validation associés.

Ce logiciel vise à montrer l'absence de ruine d'éléments de génie civil de type poutre ou dalle soumis à l'impact selon deux modes de ruine distincts. Le premier mode de ruine correspond à un effet local, par perforation de l'élément (poutre ou dalle) ou écaillage<sup>1</sup> du béton au droit de la zone impactée. Le second mode est un effet d'ensemble, par perte de la résistance de la cible conduisant à son effondrement et à son incapacité à arrêter la chute de la charge (qui constitue un projectile à l'égard de la cible). Dans la méthode retenue par Orano Cycle, la déformabilité du projectile n'est pas considérée, ce qui revient à maximiser l'énergie transmise à la cible lors de l'impact. En outre, les deux modes de ruine sont vérifiés indépendamment en considérant l'intégralité de l'énergie de chute incidente, ce qui est conservatif.

Pour ce qui concerne le premier mode, la prise en compte des effets locaux démontrant l'absence de perforation ou d'écaillage repose sur des formules empiriques issues de résultats d'essais qui permettent de déterminer les épaisseurs minimales nécessaires des cibles. Au cours d'expertises récentes de l'IRSN, Orano Cycle a utilisé un autre logiciel, fondé sur d'autres formules empiriques que celles présentées dans la note de qualification du logiciel CHUTE, pour montrer l'absence de ruine locale par perforation ou par émission de projectiles secondaires de la face arrière de l'élément impacté. **En tout état de cause, pour l'IRSN, toutes ces formules empiriques ont un domaine de validité qui conditionne le domaine d'application des logiciels.**

---

<sup>1</sup> Écaillage : éjection du béton d'enrobage en face arrière de la cible.

Pour ce qui concerne le second mode, la démonstration de l'absence de ruine par effondrement s'appuie sur une méthode dite énergétique, comparant l'énergie cinétique de l'objet chutant à l'énergie admissible par déformation de la cible. Afin de répondre au besoin de validation du logiciel, Orano Cycle a identifié la nécessité de se réinterroger sur les fondements de prise en compte de la méthode énergétique dans le développement de ce logiciel. Cette démarche a ainsi conclu à la nécessité de réaliser des études complémentaires en support à la qualification du logiciel permettant de confronter des résultats d'essais réalisés dans les années 1980 à ceux issus de simulations numériques mettant en œuvre des modèles aux éléments finis. De plus, Orano Cycle a constaté que l'interprétation des résultats de ces essais disponibles dans le dossier de qualification du logiciel existant ne permet pas de couvrir certaines configurations du domaine d'application du logiciel aux dalles.

Compte tenu de l'investissement nécessaire pour réaliser de nouveaux essais, Orano Cycle a alors privilégié la valorisation des résultats d'essais disponibles pour montrer l'aptitude des simulations numériques à retrouver ces résultats d'essais. Orano Cycle a donc réalisé des simulations numériques complémentaires, essentiellement dans le cas de dalles.

En décembre 2019, Orano Cycle a transmis à l'ASN une version révisée de la note de qualification du logiciel CHUTE présentant les éléments de comparaison des résultats du logiciel, soit avec des résultats expérimentaux, soit avec des résultats de simulations numériques issus de calculs non-linéaires aux éléments finis. Ces calculs permettent de traiter des configurations qui n'ont pas fait l'objet d'essais.

Sur la base des cas tests « poutre » et « dalle », Orano Cycle conclut que ce logiciel est qualifié dans le domaine d'utilisation qui couvre une masse maximale du projectile, une hauteur de chute maximale et une énergie maximale. Ce domaine d'utilisation définit des limites associées aux objets pouvant chuter.

Au cours de l'expertise, en cohérence avec les modes de ruine considérés dans le logiciel, l'IRSN a souligné l'importance de définir des limites de validité pour les points suivants :

- le rapport entre les dimensions de l'objet chutant et les dimensions de la cible ;
- les positions d'impact sur la cible ;
- la démarche à suivre pour traiter les configurations géométriques particulières couramment rencontrées (continuités des poutres et dalles, console courte, porte à faux des dalles, bords libres et zones comportant des ouvertures, présence de masses localisées d'équipements ou d'éléments de structure disposés sur la cible) ;
- les dispositions constructives de ferrailage.

En conséquence, pour définir ces limites de validité, Orano Cycle a inclus un chapitre dédié à la définition du domaine d'application et aux conditions d'utilisation du logiciel en lien avec les deux types de cible (poutre et dalle). De plus, Orano Cycle a précisé dans une notice d'utilisation les limites d'emploi du logiciel et la manière de présenter les données.

**L'ensemble de ces éléments de démonstration n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Par ailleurs, Orano Cycle envisage la valorisation de certains des conservatismes du logiciel, en cas de nécessité, dans le cadre d'analyses plus spécifiques des cas rencontrés. **L'IRSN estime que cette démarche est acceptable dans son principe.**

### **3. CONCLUSION**

Sur la base de la version révisée de la note de qualification du logiciel CHUTE d'Orano Cycle, ainsi que des éléments présentés au cours de l'expertise, l'IRSN considère qu'Orano Cycle a apporté la démonstration que ce logiciel comporte des conservatismes acceptables. En outre, l'IRSN estime que ce logiciel constitue un outil adapté aux besoins des études de sûreté pour justifier la résistance des éléments de poutres et de dalles en cas de chute de charge.

**IRSN**

Pour le Directeur général et par délégation  
Anne-Cécile JOUVE  
Adjointe au Directeur de l'expertise de sûreté