NORME INTERNATIONALE

ISO 19226

Première édition
2017-11

Énergie nucléaire — Détermination de la fluence neutronique et des déplacements par atome (dpa) dans la cuve et les internes du réacteur

Nuclear energy — Determination of neutron fluence and displacement per atom (dpa) in reactor vessel and internals

Numéro de référence
ISO 19226:2017(F)

© ISO 2017



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2017

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en oeuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Geneva
Tél.: +41 22 749 01 11
Fax: +41 22 749 09 47
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos ..... **iv**
Introduction ..... **v**
1 Domaine d'application **1**
2 Références normatives **1**
3 Termes et définitions **1**
4 Modèles de calcul de théorie du transport **3**
4.1 Généralités 3
4.1.1 Exigences sur les éditions des résultats de calculs 3
4.1.2 Méthodologie: calculs de transport avec sources fixes 4
4.2 Calcul de transport 4
4.2.1 Données d'entrée 4
4.2.2 Méthode des ordonnées discrètes (SN) 5
4.2.3 Méthode de transport Monte Carlo 5
4.2.4 Calculs de fluence adjointe 5
4.3 Validation des valeurs calculées de fluence neutronique 6
4.4 Détermination des incertitudes de calcul 6
5 Mesures de dosimétrie des neutrons dans les réacteurs sous pression **6**
5.1 Introduction 6
5.2 Exigences générales pour la métrologie des neutrons en cuve de réacteur 7
5.3 Dosimètres de neutrons sans décroissance radioactive 8
5.4 Paramètres de réponse des dosimètres 8
5.5 Estimations de l'incertitude et validation des mesures dans les domaines neutroniques standard 8
6 Comparaison des calculs avec les mesures **9**
6.1 Introduction 9
6.2 Comparaison directe des activités calculées avec les activités mesurées des capteurs 9
6.3 Comparaison des taux calculés avec les taux de réaction moyens mesurés à pleine puissance 9
6.4 Comparaison des calculs par rapport aux mesures à l'aide des méthodes des moindres carrés 9
7 Détermination de la fluence «best-estimate» **9**
8 Méthodes de calcul de dpa et de production de gaz **10**
8.1 Déplacements par atome (dpa) 10
8.2 Production de gaz 10
Bibliographie **12**

© ISO 2017 – Tous droits réservés

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 85, *Énergie nucléaire, technologies nucléaires, et radioprotection*, sous-comité SC 6, *Technologie du réacteur*.

Le présent document est basé sur l'ANSI/ANS 19.10-2009 mais son domaine est étendu pour inclure l'évaluation de l'endommagement par irradiation dû à la fluence neutronique.

 © ISO 2017 – Tous droits réservés

Introduction

Le présent document est destiné

a) à tous ceux qui participent à la détermination des paramètres d'irradiation pour la prédiction de l'endommagement par irradiation de la cuve et des internes d'un réacteur nucléaire, dans les cas où les paramètres d'irradiation peuvent être la fluence neutronique et/ou des déplacements par atome (dpa),

b) à tous ceux qui participent à la détermination des propriétés des matériaux irradiés de la cuve et des internes de réacteur,

c) aux organismes de réglementation dans le cadre des actions d'agrément telles que la rédaction des guides réglementaires et l'analyse des rapports concernant l'intégrité et les propriétés des matériaux irradiés des cuves sous pression et des internes de réacteur.

© ISO 2017 – Tous droits réservés

Énergie nucléaire — Détermination de la fluence neutronique et des déplacements par atome (dpa) dans la cuve et les internes du réacteur

1 Domaine d'application

Le présent document fournit une procédure d'évaluation des données d'irradiation dans la région située entre le cœur du réacteur et la surface interne de la cuve, à travers la cuve sous pression et la cavité du réacteur, entre les extrémités des assemblages combustibles, pour une source donnée de neutrons dans le cœur.

NOTE Ces données d'irradiation peuvent être la fluence neutronique ou les déplacements par atome (dpa), et la production d'Hélium.

Cette évaluation s'appuie à la fois sur des calculs de flux de neutrons et sur des données de mesures de dosimétrie à l'intérieur de la cuve et de la cavité, selon les cas. Le présent document s'applique aux réacteurs à eau sous pression (Pressurized Water Reactors, PWR), aux réacteurs à eau bouillante (Boiling Water Reactors, BWR) et aux réacteurs à eau lourde pressurisée (Pressurized Heavy Water Reactors, PHWR).

Le présent document donne également une procédure d'évaluation des endommagements dus aux neutrons sur la cuve sous pression du réacteur et les composants internes des PWR, BWR et PHWR. Les endommagements sont axés sur les dommages de déplacements atomiques causés par le déplacement direct des atomes dû aux collisions avec les neutrons, et sur les dommages indirects causés par la production de gaz, les deux types de dommages étant fortement dépendants du spectre d'énergie des neutrons. Pour une fluence neutronique et un spectre d'énergie des neutrons donnés, le calcul du nombre cumulé total de déplacements atomiques est donc une donnée importante à utiliser pour la gestion de la durée de vie du réacteur.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ANSI/ANS 19.10, *Methods for determining neutron fluence in BWR and PWR pressure vessel and reactor internals*

ASTM E170-16a, *Standard Terminology Relating to Radiation Measurements and Dosimetry*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ANSI/ANS 19.10, l'ASTM E170-16a ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

— ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse https://www.iso.org/obp

— IEC Electropedia: disponible à l'adresse http://www.electropedia.org/

© ISO 2017 – Tous droits réservés

3.1
précision d'une valeur mesurée/calculée
différence entre la valeur «réelle» et la valeur mesurée/calculée, généralement due à des erreurs systématiques dans la procédure de mesure/calcul

3.2
benchmark expérimental
ensemble bien défini d'expériences physiques dont les résultats sont considérés comme suffisamment précis pour être utilisés comme référence pour les calculs

Note 1 à l'article: Cette appréciation est rendue par un groupe d'experts dans le domaine concerné.

3.3
fluence «best-estimate»
valeur de fluence la plus précise basée sur toutes les mesures disponibles, les résultats calculés, et les ajustements faits à partir d'estimations de biais, d'analyses des moindres carrés et d'appréciations d'ingénierie

3.4
méthodologie de calcul
équations mathématiques, approximations, hypothèses, paramètres associés et procédure de calcul qui fournissent les résultats calculés

Note 1 à l'article: Lorsque le calcul comprend plus d'une étape, l'enchaînement d'étapes dans son ensemble constitue la «méthodologie de calcul».

3.5
benchmark de codes
comparaison avec les résultats d'un autre système de codes qui a déjà été validé par une ou plusieurs expériences

3.6
données de sections efficaces ponctuelles
données de sections efficaces caractérisées par une grande densité de points couvrant le domaine d'énergie

3.7
réaction dosimétrique
réaction nucléaire provoquée par les neutrons sur un nucléide, ayant une activité suffisante pour être mesurée et associée à la fluence neutronique incidente

3.8
déplacements par atome (dpa)
nombre moyen de déplacements de chaque atome d'un solide hors de son emplacement dans le réseau durant une irradiation, calculé conformément aux procédures standard

3.9
procédure d'ajustement des moindres carrés
méthode permettant de combiner les résultats des calculs de transport des neutrons avec les résultats des mesures de dosimétrie qui donne une estimation optimale de la fluence en minimisant, au sens des moindres carrés, les différences entre calcul et mesure

3.10
données de sections efficaces multigroupes
données de sections efficaces qui ont été déterminées en faisant la moyenne des données de sections efficaces ponctuelles sur des intervalles d'énergie discrets, à l'aide de fonctions de pondération permettant de conserver les taux de réaction

© ISO 2017 – Tous droits réservés

3.11
fluence neutronique
taux de fluence neutronique intégrée dans le temps (c'est-à-dire le flux de neutrons intégré dans le temps) exprimé en neutrons par centimètre carré

3.12
précision d'une valeur mesurée/calculée
écart-type (si disponible à partir d'un ensemble de mesures/calculs répétés) de la distribution d'une valeur physique mesurée ou calculée

3.13
internes de réacteur
composants structurels du réacteur situés à l'intérieur de la cuve sous pression, tels que le cloisonnement du cœur, l'enveloppe de cœur, le bouclier thermique et les plaques-supports de cœur inférieure et supérieure dans les PWR et les BWR

3.14
variance du résultat
mesure de la variance statistique du résultat des calculs de transport Monte Carlo due à un nombre fini d'historiques des particules

Note 1 à l'article: D'un point de vue mathématique, c'est le deuxième moment central de la distribution par rapport à la valeur moyenne, qui est utilisé pour mesurer la dispersion de la distribution autour de la moyenne.

4 Modèles de calcul de théorie du transport

4.1 Généralités

4.1.1 Exigences sur les éditions des résultats de calculs

Les calculs de transport doivent permettre de déterminer correctement les distributions de flux ou de fluence de neutrons et/ou d'autres types de réponse tels que les taux de réaction ou les dpa, pour l'analyse des mesures de dosimétrie intégrales et pour la prédiction de l'endommagement par irradiation des internes et de la cuve sous pression du réacteur.

Les méthodologies de calcul décrites dans le présent document portent principalement sur la fluence neutronique pour la détermination de la fragilisation sous irradiation des matériaux de la cuve du réacteur.

Si la fluence neutronique (E > 1,0 MeV), notation désignant la fluence de neutrons d'énergie supérieure à 1,0 MeV, a souvent été choisie comme paramètre d'irradiation pour déterminer la fragilisation sous irradiation des matériaux de la cuve du réacteur, les procédures du présent document sont élargies pour inclure la fluence (E > 0,1 MeV), fluence de neutrons d'énergie supérieure à 0,1 MeV, en plus de la fluence thermique (E < 0,625 eV).

Certains paramètres des calculs sont à déterminer en fonction:

— de l'utilisation des résultats: pour la conception, ou pour la comparaison à des mesures (ce qui implique que les résultats seront enveloppe ou «best-estimate», respectivement);

— des fonctions de réponse requises: flux de neutrons (E > 1,0 MeV), flux de neutrons (E > 0,1 MeV), flux de neutrons thermiques (E < 0,625 eV), dpa/s, taux de réactions dosimétriques;

NOTE Les bornes d'énergie qui sont données comme exemples de limite supérieure ou inférieure dépendent de l'application.

— du ou des points d'intérêt: finesse du maillage spatial.

© ISO 2017 – Tous droits réservés