

---

---

**Sûreté-criticité — Valeurs critiques pour  
oxydes mixtes homogènes de plutonium  
et d'uranium hors réacteurs**

*Nuclear criticality safety — Critical values for homogeneous plutonium-  
uranium oxide fuel mixtures outside of reactors*

iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

ISO 11311:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9dc940a4-c697-4318-92d2-737b6e48eec3/iso-11311-2011>



iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

ISO 11311:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9dc940a4-c697-4318-92d2-737b6e48eec3/iso-11311-2011>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2011

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

# Sommaire

Page

<b>Avant-propos .....</b>	<b>iv</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>v</b>
<b>1     Domaine d'application .....</b>	<b>1</b>
<b>2     Références normatives .....</b>	<b>1</b>
<b>3     Termes et définitions .....</b>	<b>1</b>
<b>4     Systèmes de référence concernés par la présente Norme internationale .....</b>	<b>2</b>
4.1   Milieux fissiles de référence.....	2
4.2   Conditions de modération .....	3
4.3   Modèles géométriques.....	4
4.4   Conditions de réflexion.....	4
<b>5     Valeurs critiques.....</b>	<b>4</b>
5.1   Présentation des résultats.....	4
5.2   Exigences .....	5
<b>6     Limites sous-critiques et marge de sécurité .....</b>	<b>5</b>
<b>Annexe A (informative) Milieux fissiles de référence .....</b>	<b>6</b>
<b>Annexe B (informative) Schémas des calculs de criticité utilisés .....</b>	<b>7</b>
<b>Annexe C (normative) Dimensions critiques pour une réflexion par 30 cm d'eau .....</b>	<b>9</b>
<b>Annexe D (normative) Dimensions critiques pour une réflexion par 2,5 cm d'eau .....</b>	<b>10</b>
<b>Annexe E (normative) Paramètres critiques pour une réflexion par 30 cm d'eau .....</b>	<b>11</b>
<b>Annexe F (normative) Paramètres critiques pour une réflexion par 2,5 cm d'eau.....</b>	<b>12</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>13</b>

## 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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée 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.

L'ISO 11311 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 85, *Énergie nucléaire, technologies nucléaires, et radioprotection*, sous-comité SC 5, *Cycle du combustible nucléaire*.

iteh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

ISO 11311:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9dc940a4-c697-4318-92d2-737b6e48ecc3/iso-11311-2011>

## Introduction

La présente Norme internationale fournit des spécifications permettant d'établir des limites de procédé et d'équipement en termes de contrôle du risque de criticité (par exemple choix de modes de contrôle du procédé, choix de la géométrie de l'équipement) dans des installations (hors réacteurs nucléaires) mettant en œuvre des oxydes mixtes de plutonium et d'uranium (MOX).

Le risque de criticité pour ce type de combustibles est lié à la présence des nucléides fissiles  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  et  $^{235}\text{U}$  et d'autres nucléides fissibles, tels que  $^{242}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  et  $^{238}\text{U}$ , plus ou moins neutrophages.

Les systèmes pris en considération sont des mélanges homogènes et uniformes, modérés et réfléchis par de l'eau. Les formes géométriques correspondantes sont des unités simples de sphères, cylindres et plaques. Un nombre limité de paramètres de sûreté est ensuite sélectionné.

En fait, concernant les combustibles MOX, le nombre d'expériences directement représentatives des poudres humides est insuffisant pour établir un biais entre les calculs et les mesures. En conséquence, une comparaison entre codes de calcul est effectuée pour estimer de façon conservative les valeurs critiques pour différentes spécifications de matières fissiles.

L'utilisation de codes de calcul pouvant être associée à différentes bibliothèques nucléaires, la comparaison précédente est étendue aux résultats obtenus avec la plupart des bibliothèques usuelles de données nucléaires.

Par conséquent, la présente Norme internationale fournit des valeurs critiques de référence pour les paramètres de sûreté sélectionnés. Ces valeurs sont déterminées par des comparaisons entre codes de calcul avec une exactitude acceptable et sont définies comme étant les valeurs critiques minimales calculées des paramètres de sûreté choisis. Ces valeurs aideront les analystes en sûreté-criticité au cours de leurs analyses en vue d'établir des exigences techniques pour la prévention du risque de criticité en conception et en exploitation.

ISO 11311:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9dc940a4-c697-4318-92d2-737b6e48ecc3/iso-11311-2011>



# Sûreté-criticité — Valeurs critiques pour oxydes mixtes homogènes de plutonium et d'uranium hors réacteurs

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie des valeurs critiques (dont le facteur de multiplication effectif des neutrons,  $k_{\text{eff}}$ , est égal à 1) usuelles de référence pour de l'oxyde mixte de plutonium et d'uranium homogène modéré par de l'eau, s'appuyant sur une comparaison inter-codes de valeurs critiques calculées.

Elle est applicable à des opérations, hors réacteurs nucléaires, mettant en œuvre des oxydes mixtes de plutonium et d'uranium (MOX) non irradiés.

Le manque d'expériences critiques pour les MOX empêche toute approche de validation classique des valeurs critiques.

Divers systèmes de référence, en termes de composition isotopique, d'épaisseur de réflexion par de l'eau et de densité d'oxyde, sont étudiés à l'aide de différentes combinaisons de codes de calcul et de bibliothèques de données nucléaires (c'est-à-dire selon différents schémas de calcul, voir Annexe B).

Les valeurs critiques spécifiées dans la présente Norme internationale sont les valeurs les plus basses parmi celles calculées selon chacun de ces schémas de calcul et réputées crédibles.

Les valeurs de la présente Norme internationale sont des valeurs de référence et non des valeurs critiques absolues.

[ISO 11311:2011](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9dc940a4-c697-4318-92d2-737b6e48ecc3/iso-11311-2011)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/9dc940a4-c697-4318-92d2-737b6e48ecc3/iso-11311-2011>

## 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application 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).

ISO 921, *Énergie nucléaire — Vocabulaire*

ISO 1709, *Énergie nucléaire — Matières fissiles — Principes de sécurité en matière de criticité lors du stockage, de la manipulation et du traitement*

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 921 s'appliquent.

## 4 Systèmes de référence concernés par la présente Norme internationale

### 4.1 Milieux fissiles de référence

#### 4.1.1 Description

Les milieux fissiles de référence sont des dioxydes mixtes d'uranium et de plutonium uniformes et homogènes dans de l'eau.

#### 4.1.2 Teneur en plutonium

La teneur en plutonium dans le mélange, exprimée en fraction massique,  $w_{Pu}$ , en pourcent, est définie par l'Équation (1):

$$w_{Pu} = \left[ m_{Pu} / (m_U + m_{Pu}) \right] \quad (1)$$

où

$m_{Pu}$  est la masse de plutonium dans le mélange, exprimée en grammes;

$m_U$  est la masse d'uranium dans le mélange, exprimée en grammes.

Les teneurs en plutonium utilisées dans les milieux fissiles de référence sont:

a)  $w_{Pu} = 35,0 \%$ ,

b)  $w_{Pu} = 12,5 \%$ .

#### 4.1.3 Plages de densité de l'oxyde

Deux plages de densité d'oxyde, exprimée en masse des oxydes ( $UO_2 + PuO_2$ ) par centimètre cube, sont prises en compte:

— jusqu'à  $3,50 \text{ g/cm}^3$ , si la teneur en plutonium est de  $35,0 \%$ ,

— jusqu'à  $11,03 \text{ g/cm}^3$ , si la teneur en plutonium est de  $12,5 \%$ .

NOTE Cette dernière densité est la masse volumique sèche théorique pour cette composition isotopique spécifique de MOX.

#### 4.1.4 Composition isotopique

##### 4.1.4.1 Notations

Les notations suivantes sont retenues dans ce paragraphe.

$m_{iU}$  est la masse de l'isotope  $i$  de l'uranium, exprimée en grammes;

$m_{U,\text{total}}$  est la masse d'uranium, exprimée en grammes;

$m_{iPu}$  est la masse de l'isotope  $i$  du plutonium, exprimée en grammes;

$m_{Pu,\text{total}}$  est la masse de plutonium exprimée en grammes.



#### 4.1.4.2 Uranium

La composition isotopique de l'uranium retenue est celle de l'uranium naturel. Elle est définie par:

$$m_{235\text{U}} / m_{\text{U},\text{total}} = 0,718 \%$$

$$m_{238\text{U}} / m_{\text{U},\text{total}} = 99,282 \%$$

NOTE Les systèmes fissiles comprenant de l'uranium appauvri sont couverts par les systèmes d'uranium naturel pris en considération dans la présente Norme internationale.

#### 4.1.4.3 Plutonium

Trois compositions isotopiques du plutonium, notées ci-après P0, P5 et P20, sont retenues:

a) la composition P0 est définie par:

$$m_{239\text{Pu}} / m_{\text{Pu},\text{total}} = 100,000 \%$$

b) la composition P5 est définie par:

$$m_{239\text{Pu}} / m_{\text{Pu},\text{total}} = 95,000 \%$$

$$m_{240\text{Pu}} / m_{\text{Pu},\text{total}} = 5,000 \%$$

c) la composition P20 est définie par:

$$m_{240\text{Pu}} / m_{\text{Pu},\text{total}} = 20,000 \%$$

$$m_{241\text{Pu}} / m_{240\text{Pu}} = R_1 = 11/17$$

$$m_{242\text{Pu}} / m_{241\text{Pu}} = R_2 = 1/11$$

$$m_{239\text{Pu}} / m_{\text{Pu},\text{total}} = 1 - m_{240\text{Pu}} / m_{\text{Pu},\text{total}} - m_{241\text{Pu}} / m_{240\text{Pu}} - m_{242\text{Pu}} / m_{241\text{Pu}}$$

$$= 1 - m_{240\text{Pu}} / m_{\text{Pu},\text{total}} - (m_{240\text{Pu}} / m_{\text{Pu},\text{total}} \times R_1) - (m_{240\text{Pu}} / m_{\text{Pu},\text{total}} \times R_1 \times R_2)$$

#### 4.1.5 Milieux fissiles obtenus

Les six milieux fissiles de référence obtenus à partir de ces formes physico-chimiques et compositions isotopiques sont présentés dans l'Annexe A.

### 4.2 Conditions de modération

Deux degrés de modération par l'eau sont retenus:

a) une modération limitée, correspondant à une fraction massique d'eau inférieure ou égale à 3,0 %, selon l'Équation (2):

$$w_{\text{H}_2\text{O}} = \left[ m_{\text{H}_2\text{O}} / (m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{PuO}_2} + m_{\text{UO}_2}) \right] \leq 3\% \quad (2)$$

où

$m_{\text{H}_2\text{O}}$  est la masse d'eau dans le mélange, exprimée en grammes;

$m_{\text{PuO}_2}$  est la masse de dioxyde de plutonium dans le mélange, exprimée en grammes;

$m_{\text{UO}_2}$  est la masse de dioxyde d'uranium dans le mélange, exprimée en grammes.

NOTE Ce degré de modération est retenu car les MOX sont généralement fabriqués à partir de mélanges de poudres presque sèches et d'additifs hydrogénés.

- b) une modération optimale (valeurs critiques minimales obtenues quel que soit le rapport de modération).

Ces modérations sont considérées comme étant homogènes dans le milieu fissile.

Le mélange de MOX et d'eau conduit à une réduction de la masse volumique du MOX par rapport à sa masse volumique théorique (masse volumique totale du cristal sec) au fur et à mesure que la teneur en eau augmente dans le mélange. Pour chaque mélange de MOX et d'eau, la somme des fractions volumiques respectives (la masse volumique réelle divisée par la masse volumique théorique) est égale à 1.

Dans le cas d'une masse volumique maximale de MOX égale à  $3,50 \text{ g/cm}^3$ , un taux de vide initial est défini par cette masse volumique maximale divisée par la masse volumique théorique du MOX. Le taux de vide initial permet alors une certaine teneur en eau dans le mélange avec une masse volumique constante du MOX. Une augmentation supplémentaire de la teneur en eau conduit à une diminution de la masse volumique du MOX. Pour chaque mélange de MOX et d'eau, la somme des fractions volumiques respectives et du taux de vide est égal à 1.

### 4.3 Modèles géométriques

Des valeurs critiques sont données pour les trois formes géométriques simples suivantes de la matière fissile:

- sphère,
- cylindre de longueur infinie,
- plaque de section infinie.

### 4.4 Conditions de réflexion

Les valeurs critiques sont spécifiées pour un réflecteur d'eau de 2,5 cm et de 30,0 cm. Le réflecteur d'eau entoure directement la matière fissile, avec une condition limite de fuite au-delà du réflecteur.

## 5 Valeurs critiques

### 5.1 Présentation des résultats

L'Annexe C (pour une réflexion d'eau de 30 cm) et l'Annexe D (pour une réflexion d'eau de 2,5 cm) spécifient les valeurs minimales des dimensions critiques pour une sphère, un cylindre de longueur infinie et une plaque de section infinie. Ces dimensions critiques sont le rayon (en centimètres) et le volume (en litres) de la sphère, le diamètre (en centimètres) du cylindre infini et l'épaisseur (en centimètres) de la plaque infinie. Le volume critique d'une sphère est le volume critique minimal, quelle que soit la forme géométrique crédible de la matière fissile.

L'Annexe E (pour une réflexion d'eau de 30 cm) et l'Annexe F (pour une réflexion d'eau de 2,5 cm) spécifient les valeurs minimales des paramètres critiques pour les trois formes géométriques de référence, en termes de masse d'actinides (en kilogrammes) pour une sphère, de masse linéique d'actinides (en grammes par centimètre) pour un cylindre et de masse surfacique d'actinides (en grammes par centimètre carré) pour une plaque, les actinides étant l'uranium et le plutonium.