

---

---

**Sécurité de criticité nucléaire —  
Évaluation du nombre de fissions en cas  
d'un hypothétique accident de criticité**

*Nuclear criticality safety — Estimation of the number of fissions of a  
postulated criticality accident*

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO 16117:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/89d52d5e-9f5f-4dd0-8a4e-d1bfcd5c757/iso-16117-2013)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/89d52d5e-9f5f-4dd0-8a4e-  
d1bfcd5c757/iso-16117-2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/89d52d5e-9f5f-4dd0-8a4e-d1bfcd5c757/iso-16117-2013)



**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 16117:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/89d52d5e-9f5f-4dd0-8a4e-d1bfcd5c757/iso-16117-2013>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2013

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées 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 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

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	v
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Principes généraux</b> .....	<b>2</b>
<b>4</b> <b>Estimation du nombre de fissions</b> .....	<b>3</b>
4.1   Généralités.....	3
4.2   Données d'entrée.....	3
4.3   Utilisation des modèles simplifiés.....	3
4.4   Utilisation des outils de calcul.....	4
<b>Annexe A</b> (informative) <b>Schéma fonctionnel d'une analyse d'accident de criticité (extrait de l'ISO 27467:2009)</b> .....	<b>5</b>
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Caractéristiques des accidents de criticité qui sont survenus pendant des opérations du cycle du combustible</b> .....	<b>7</b>
<b>Annexe C</b> (informative) <b>Résultats expérimentaux</b> .....	<b>16</b>
<b>Annexe D</b> (informative) <b>Formules simplifiées</b> .....	<b>22</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>28</b>

**ITeH STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 16117:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/89d52d5e-9f5f-4dd0-8a4e-d1bfcdf5c757/iso-16117-2013>

## 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 procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/CEI, 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/CEI, Partie 2, [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives).

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. 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 sur la liste ISO des déclarations de brevets reçues, [www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents).

Les éventuelles appellations commerciales utilisées dans le présent document sont données pour information à l'intention des utilisateurs et ne constituent pas une approbation ou une recommandation.

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 85, *Énergie nucléaire*, sous-comité SC 5, *Technologie du combustible nucléaire*.

[ISO 16117:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/89d52d5e-9f5f-4dd0-8a4e-d1bfcdf5c757/iso-16117-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/89d52d5e-9f5f-4dd0-8a4e-d1bfcdf5c757/iso-16117-2013>

## Introduction

Dans les activités impliquant des matières fissiles, la possibilité d'un accident de criticité ne peut être complètement écartée. Afin de préparer des interventions d'urgence dans cette éventualité, l'ISO 27467 spécifie des domaines à étudier (voir [Annexe A](#)) lors de l'analyse des éventuelles conséquences, chaque fois qu'un accident de criticité plausible peut avoir lieu. La présente Norme internationale porte sur l'un de ces domaines et est destinée à l'estimation du nombre de fissions dans le cas d'un hypothétique accident de criticité. Il s'agit d'un sujet essentiel car la plupart des autres questions soulevées par l'analyse d'un accident de criticité dépendent de l'estimation adéquate de ce nombre de fissions.

## iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO 16117:2013](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/89d52d5e-9f5f-4dd0-8a4e-d1bfcd5c757/iso-16117-2013>

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 16117:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/89d52d5e-9f5f-4dd0-8a4e-d1bfcd5c757/iso-16117-2013>

# Sécurité de criticité nucléaire — Évaluation du nombre de fissions en cas d'un hypothétique accident de criticité

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale fournit une méthodologie afin d'estimer la valeur raisonnablement maximale du nombre de fissions d'un hypothétique accident de criticité.

L'estimation du nombre de fissions, associée à son hypothétique accident de criticité, a un impact sur la planification et l'intervention d'urgence en cas d'accident de criticité car cela est utilisé dans l'estimation des doses de rayonnement et matières radioactives rejetées.

La présente Norme internationale ne fournit pas de méthodologie ni de directives afin de déterminer des scénarios d'accidents enveloppes.

La présente Norme internationale ne couvre pas la détection des accidents de criticité traitée par l'ISO 7753.

La présente Norme internationale s'applique aux installations nucléaires, aux usines, aux laboratoires, à l'entreposage et au transport des matières fissiles (mais pas aux cœurs de réacteurs nucléaires) pour lesquels un accident de criticité plausible peut avoir lieu.

## iTeh STANDARD PREVIEW

## 2 Termes et définitions (standards.iteh.ai)

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

ISO 16117:2013

**2.1 hypothétique accident de criticité**  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/89d52d5e-9f5f-4dd0-8a4e-41bfcdf5c757/iso-16117-2013>  
hypothétique association d'un scénario d'accident et d'une évolution de l'accident

Note 1 à l'article: Un hypothétique accident de criticité est associé à un nombre de fissions estimé.

### 2.2 scénario d'accident

ensemble de conditions hypothétiques plausibles selon lesquelles une installation et/ou un procédé contenant de la matière fissile développe une ou plusieurs conditions anormales telles qu'il soit susceptible de dépasser l'état critique, occasionnant ainsi un accident de criticité

Note 1 à l'article: Cette définition est tirée de l'ISO 27467.

### 2.3 évolution de l'accident

progression de l'accident de criticité (après que l'état critique soit dépassé), tenant compte des phénomènes physiques (par exemple les effets de température et de vide) et des éventuelles interventions humaines destinées à arrêter l'accident

### 2.4 domaine d'applicabilité

ensemble des paramètres (par exemple l'environnement, les caractéristiques géométriques, la matière fissile, la durée de l'accident) pour lesquels il est prévu d'utiliser un modèle/outil

Note 1 à l'article: Dans l'Annexe D, les dernières colonnes des tableaux résumant le domaine d'applicabilité de certaines formules simplifiées.

### 3 Principes généraux

**CONDITIONS PRÉALABLES** Une fois que les objectifs de l'analyse de l'accident de criticité ont été définis (analyse fondée, par exemple, sur l'ISO 27467), un ou plusieurs accidents de criticité peuvent être postulés. Les hypothèses d'un hypothétique accident de criticité, et par conséquent, les éventuelles conséquences, doivent être reliées aux objectifs de l'analyse de l'accident de criticité (par exemple l'élaboration des chemins d'évacuation, la cartographie de dose, le choix du/des point(s) de regroupement).

**EXEMPLE 1** Parce que les paramètres enveloppes peuvent être différents pour les estimations de la dose de rayonnement et les estimations du rejet de matières radioactives, il est possible de sélectionner un ensemble d'hypothèses adaptées pour chaque estimation.

**EXEMPLE 2** L'élaboration des chemins d'évacuation peut être réalisée avec un nombre de fissions arbitraire, l'objectif étant d'optimiser les chemins d'évacuation des opérateurs, quelle que soit la valeur de la dose. Dans ce cas, le siège de l'hypothétique accident de criticité constitue le paramètre principal.

**3.1** Pour l'estimation du nombre de fissions, il convient de tenir compte des hypothèses suivantes et de leur variation:

- la description de l'équipement (configuration géométrique, réflecteur, etc.);
- le degré de confinement et l'environnement (cuve ouverte ou fermée, pression, refroidissement, etc.);
- la matière fissile (quantité, enrichissement, milieu, forme physico-chimique, etc.);
- la réactivité totale insérée;
- la vitesse d'insertion de réactivité;
- le délai avant la première réaction en chaîne persistante (fonction de la source neutronique initiale, c'est-à-dire les fissions spontanées, réactions  $(\alpha, n)$ , etc.);
- la durée de l'accident de criticité (calculée/estimée avec et sans intervention le cas échéant).

**3.1.1** Il convient de déterminer ces hypothèses à partir du scénario d'accident et de l'évolution de l'accident de l'hypothétique accident de criticité.

**3.1.2** Les hypothèses sélectionnées doivent être comprises dans le domaine physiquement possible conformément aux caractéristiques de l'activité considérée (caractéristiques de l'installation, du transport, etc.).

**AVERTISSEMENT** — — L'estimation du nombre de fissions ne constitue que la première étape dans la détermination des conséquences de l'hypothétique accident de criticité (voir, par exemple, le schéma fonctionnel issu de l'ISO 27467 dans l'Annexe A). L'estimation globale des conséquences doit tenir compte de tous les aspects de l'accident de criticité, et il convient d'effectuer des itérations entre l'estimation du nombre de fissions et les actions suivantes (par exemple l'estimation des doses). Par exemple, dans le cas de sièges potentiels d'accident de criticité différents, l'hypothétique accident de criticité conduisant au plus grand nombre de fissions peut ne pas nécessairement conduire aux doses les plus élevées auxquelles seront exposés les employés et le public en raison de son emplacement. Il convient alors de considérer d'autres hypothèses affectant les conséquences d'un hypothétique accident de criticité telles que les hypothèses suivantes:

- l'emplacement de l'équipement, siège de l'accident de criticité;
- la description du bâtiment;
- l'emplacement des personnes;
- la présence/absence de système d'alarme d'accident de criticité.



**3.2** Chaque estimation du nombre de fissions doit être associée à une durée approximative. Il convient de tenir compte de toute action humaine anticipée dans l'évolution de l'accident.

**3.3** Le nombre de fissions doit être déterminé à l'aide de modèles simplifiés (4.3 et notamment 4.3.2), ou d'outils de calcul (4.4), ou des deux.

## 4 Estimation du nombre de fissions

### 4.1 Généralités

**4.1.1** Pour estimer le nombre de fissions, il convient d'utiliser en premier lieu les modèles simplifiés (4.3).

**4.1.2** L'utilisation des outils de calcul peut ensuite être considérée (4.4), en tenant compte des objectifs de l'analyse de l'accident de criticité (par exemple l'élaboration des chemins d'évacuation, la cartographie de dose, le choix du/des point(s) de regroupement). Cela nécessite:

- la disponibilité d'un outil de calcul permettant la simulation de l'accident de criticité,
- la détermination de toutes les données d'entrée nécessaires à l'outil de calcul.

**4.1.3** Dans le cas où les deux voies d'estimation sont utilisées, il convient de comprendre et de documenter l'origine d'une disparité dans l'ordre de grandeur des deux résultats.

### 4.2 Données d'entrée

**4.2.1** Les données d'entrée nécessaires aux modèles simplifiés ou aux outils de calcul (configuration géométrique, environnement extérieur, caractéristiques du milieu, etc.) doivent être extraites des hypothèses considérées dans le scénario d'accident et dans l'évolution de l'accident. Si ces derniers éléments n'apportent pas les données d'entrée nécessaires, il convient d'obtenir ces informations à partir de mesures ou de calculs, ou bien de les estimer à partir de la documentation internationale.

NOTE Selon le mode d'estimation choisie, le type et le nombre de données d'entrée nécessaires peuvent varier.

**4.2.2** Il convient d'étudier la sensibilité aux données d'entrée sélectionnées (liées aux incertitudes et aux possibles variations indiquées en 3.1) pour la voie d'estimation choisie (4.3 et/ou 4.4). Cette étude permettra une meilleure compréhension des incertitudes associées au nombre de fissions estimé. Cette étude peut constituer une base potentielle permettant à un spécialiste de la sûreté-criticité d'adéquatement sélectionner une estimation maximale. Autrement, il convient de fournir davantage de justifications concernant l'applicabilité du résultat.

**4.2.3** Il est nécessaire de tenir compte des paramètres pouvant varier de manière significative pendant la durée de l'accident de criticité.

### 4.3 Utilisation des modèles simplifiés

**4.3.1** Pour l'estimation du nombre de fissions, il convient de se fonder sur des options simplifiées fournissant des «ordres de grandeur».

**4.3.2** Il convient de s'appuyer, pour cette estimation, sur l'enseignement collectif tiré des précédents accidents de criticité (voir [Annexe B](#)) et des résultats des expériences de criticité (voir [Annexe C](#)), ainsi que sur l'utilisation éventuelle de formules simplifiées (voir [Annexe D](#)).

**4.3.3** Lorsqu'un modèle simplifié est utilisé, la cohérence de son domaine d'applicabilité avec les hypothèses choisies de l'hypothétique accident de criticité doit être justifiée et documentée.

NOTE La durée de l'accident de criticité affecte de manière significative l'évaluation. Les modèles simplifiés se fondent en effet principalement sur des expériences de criticité ainsi que sur de précédents accidents de criticité arrêtés par des interventions humaines.

4.3.4 Pour estimer le nombre de fissions, il convient d'associer aux résultats des modèles simplifiés l'étude de sensibilité réalisée (4.2.2).

#### 4.4 Utilisation des outils de calcul

**AVERTISSEMENT — — Il convient d'utiliser avec prudence les résultats donnés par les outils de calcul pour l'estimation du nombre de fissions. En particulier, la qualification complète d'un outil de calcul d'accident de criticité est actuellement difficile en raison de la complexité des modèles ainsi que du manque d'expérience sur des systèmes critiques et de l'absence de données précises pouvant être tirées des précédents accidents de criticité.**

4.4.1 L'outil de calcul utilisé doit être documenté et doit comprendre la vérification de la mise en œuvre adéquate des différents modèles (par exemple la neutronique, les transferts thermiques, le comportement des bulles).

4.4.2 Lorsque c'est possible, il convient de documenter la comparaison entre les résultats de l'outil de calcul et des expériences/accidents proches des hypothèses choisies pour l'hypothétique accident de criticité.

4.4.3 Lorsqu'un outil de calcul est utilisé, la cohérence de son domaine d'applicabilité avec les hypothèses choisies pour l'hypothétique accident de criticité doit être justifiée et documentée. En cas d'incohérence, les outils de calcul peuvent continuer à être utilisés, mais il est nécessaire de documenter leur utilisation.

4.4.4 La libre évolution du système pendant la durée de l'accident doit être prise en considération. Il convient d'utiliser, dans le calcul, des hypothèses résultantes conduisant à l'établissement de l'évaluation maximale du nombre de fissions.

4.4.5 Pour estimer le nombre de fissions, il convient d'associer aux résultats de l'outil de calcul l'étude de sensibilité réalisée (4.2.2) et les autres éléments disponibles (par exemple les résultats obtenus à partir de la comparaison avec des expériences, la complexité des modèles, les éventuelles hypothèses pénalisantes des modèles).

**Annexe A**  
(informative)

**Schéma fonctionnel d'une analyse d'accident de criticité (extrait  
de l'ISO 27467:2009)**

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 16117:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/89d52d5e-9f5f-4dd0-8a4e-d1bfcd5c757/iso-16117-2013>

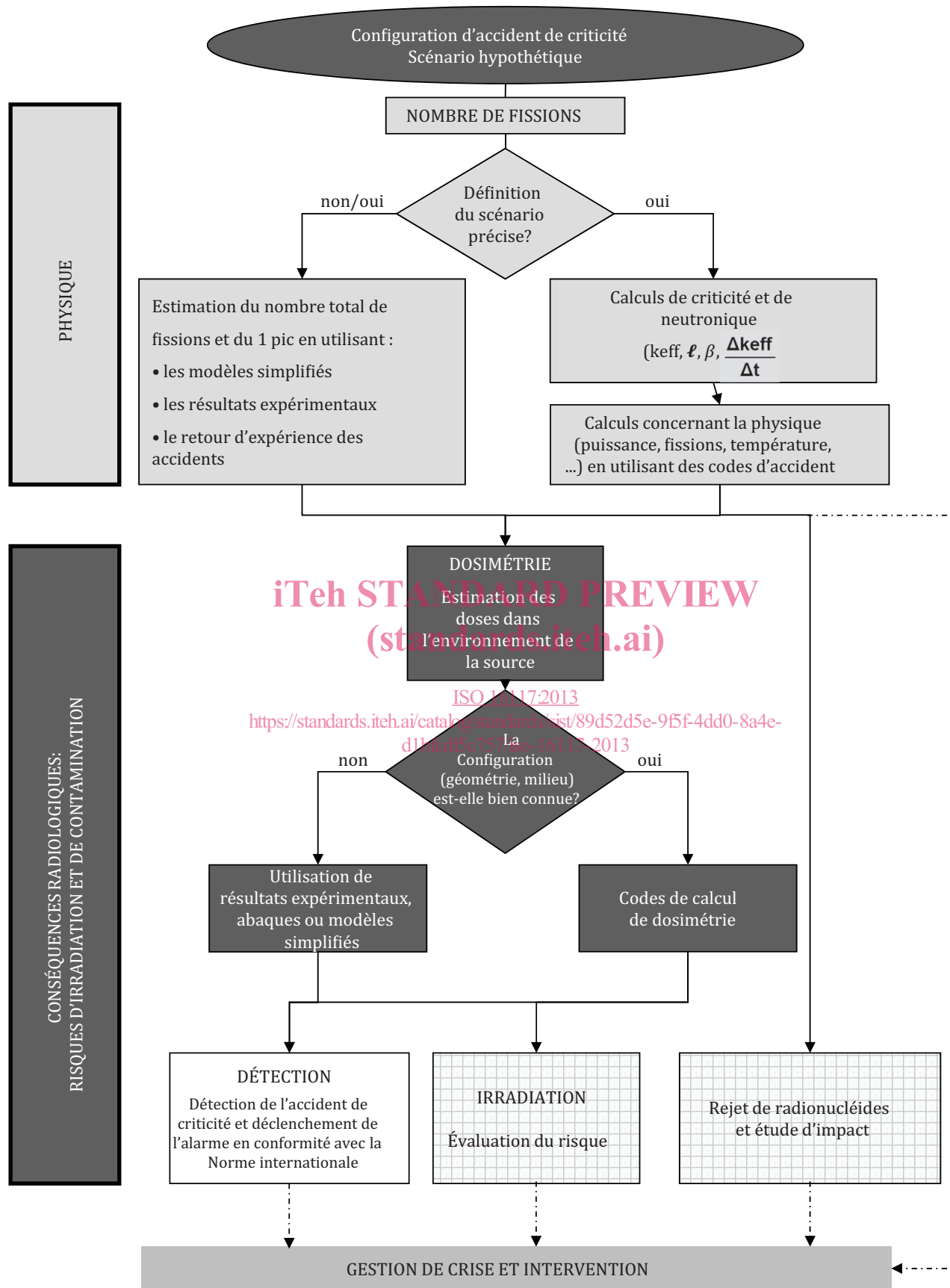


Figure A.1 — Schéma fonctionnel d'une analyse d'un accident de criticité

## Annexe B (informative)

### Caractéristiques des accidents de criticité qui sont survenus pendant des opérations du cycle du combustible

Les informations suivantes sont principalement issues de la Référence [4]. 22 accidents de criticité connus se sont produits pendant les opérations du cycle du combustible. 21 se sont produits avec des matières fissiles dans des solutions liquides ou des boues, 1 s'est produit avec des lingots métalliques.

Jusqu'à présent, aucun accident dans le cycle du combustible n'a eu lieu dans de la poudre sèche, avec des crayons dans l'eau ou avec des matières fissiles entreposées ou transportées.

Les caractéristiques des milieux fissiles impliqués dans les précédents accidents de criticité sont divers par leur élément (U, Pu) et leur enrichissement. En solution, le volume de combustible varie de 19 l à 800 l.

Pour ces accidents de criticité, le nombre de fissions au premier pic de puissance, lorsqu'il est connu, est inférieur à  $2 \times 10^{17}$  fissions. Le nombre total de fissions pour les accidents de criticité varie d'environ  $10^{15}$  à  $4 \times 10^{19}$  fissions. Ces estimations du nombre de fissions sont néanmoins très approximatives pour certaines d'entre elles et il convient de les considérer avec prudence.

Le retour d'expérience des accidents a démontré que ces événements peuvent être un unique pic, plusieurs pics, ou une excursion quasi-stable pouvant durer longtemps. La durée de l'accident varie entre quelques secondes et environ 40 h. Sans intervention, certains des accidents du cycle du combustible auraient pu durer pendant plus longtemps.

L'analyse des précédents accidents de criticité montre que les scénarios conduisant aux excursions de criticité étaient dus à plusieurs défaillances (plus de deux). La plupart de ces défaillances sont survenues pendant des opérations non routinières.

Une synthèse des accidents de criticité survenus dans des installations du cycle du combustible nucléaire est présentée dans le [Tableau B.1](#). Pour augmenter la quantité de données relatif à l'estimation du nombre de fissions basée sur les accidents de criticité passés, une synthèse des accidents de criticité survenus dans les réacteurs et au cours d'expériences critiques est également présentée dans le [Tableau B.2](#). Même si ces accidents sont survenus dans le cadre de configurations différentes des opérations du cycle du combustible (par exemple insertion de réactivité importante due à la configuration avec des expériences critiques ou légèrement sous-critiques, système de détection, système de protection, etc.), il peuvent apporter des informations concernant des milieux fissiles qui n'ont pas eu d'accident de criticité dans le cycle du combustible (par exemple métaux, crayons dans l'eau) en plus de fournir plus d'informations pour des milieux fissiles qui ont été impliqués dans des accidents de criticité dans le cycle du combustible.