



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen HSK
Division principale de la sécurité des installations nucléaires DSN
Divisione principale della sicurezza degli impianti nucleari DSN
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate HSK

Scénarios de référence

pour la

protection en cas d'urgence

au voisinage des centrales nucléaires
suisses

Version 2, octobre 2006

1 Matière

1.1 Pourquoi a-t-on besoin de scénarios de référence ?

De nombreuses séquences accidentelles sont possibles dans une centrale nucléaire, impliquant un danger radiologique variable pour la population. Dans ce contexte, les accidents ayant des conséquences radiologiques graves sont beaucoup moins probables que ceux dont les conséquences sont mineures en comparaison.

Les scénarios de référence sont des «défaillances modèles»; ils sont représentatifs, quant à leur déroulement temporel et à leurs conséquences radiologiques, d'un grand nombre d'accidents possibles. La planification et la préparation des mesures de protection de la population sont basées sur ces scénarios de référence.

1.2 Délimitation des scénarios de référence

On délimite les scénarios de référence en fonction de l'objectif fixé. Dans le cadre de la protection externe en cas d'urgence au voisinage des installations nucléaires, une catégorisation selon le degré de gravité des conséquences attendues, comme le prévoit aussi l'Agence internationale pour l'énergie atomique (AIEA), est adéquate. Les mesures de protection en cas d'urgence, telles que le déplacement dans les caves ou les abris, la prise de comprimés d'iode ou l'évacuation, servent à atténuer les conséquences d'un accident, c'est-à-dire à réduire les doses de radiation.

Dans le cadre du développement des scénarios de référence pour la planification des mesures en cas d'urgence, il est judicieux de procéder à la catégorisation suivante:

- **Défaillances ayant des conséquences radiologiques mineures:**

Cette catégorie de défaillances conduit à un relâchement de substances radioactives impliquant un effet mineur, voire pas d'effet du tout, sur la santé de la population exposée. Selon l'ordonnance sur la radioprotection (ORaP) et l'ordonnance concernant l'organisation d'intervention en cas d'augmentation de la radioactivité (OROIR), il s'agit de défaillances conduisant à une dose engagée inférieure à 1 mSv pour les personnes les plus exposées. Dans ces cas, aucune mesure de protection n'est requise.

- **Défaillances ayant des conséquences radiologiques requérant des mesures de protection:**

Cette catégorie de défaillances conduit à l'émission de substances radioactives qui peuvent porter atteinte à la santé de la population lorsque celle-ci n'est pas protégée. Les mesures envisagées réduisent la dose de telle manière que pratiquement aucune affection radiologique aiguë ne soit à craindre et que le nombre des effets tardifs et génétiques soit le plus faible possible.

1.3 Evolution des scénarios de référence

Les scénarios de référence ont évolué avec l'avancement des connaissances du comportement des centrales nucléaires en situation de défaillance et suite aux rééquipements, liés aux aspects de sécurité, réalisés dans les centrales nucléaires suisses. Cette évolution est brièvement présentée ci-dessous.

1.3.1 Concept de la protection en cas d'urgence de 1977

Les éléments centraux du concept de la protection en cas d'urgence de 1977 sont les suivants:

- Réalisation d'un système d'alarme rapide de la population (RABE ; pour «rasche Alarmierung der Bevölkerung»); le nombre de sirènes de la protection civile a été augmenté et des critères techniques et radiologiques ont été définis pour l'alerte des autorités et de la population.
- Dispositif de zones.

Le dispositif de zones présente les caractéristiques suivantes:

- La zone 1 comprend le domaine où les personnes sans protection peuvent recevoir une dose supérieure à 1 Sv lors du passage du nuage radioactif. Le diamètre de cette zone est adapté à l'importance de l'installation (environ 3 km pour les centrales de Beznau et de Mühleberg et 5 km pour les centrales de Gösgen et de Leibstadt).
- La zone 2 est adjacente à la zone 1 et comprend un domaine dans lequel le rayonnement émis lors du passage du nuage radioactif ne présente plus un risque mortel, mais dans lequel les dépôts au sol provenant du nuage conduisent à une irradiation supplémentaire.

- La zone 3 comprend le domaine au-delà des zones 1 et 2. Dans cette zone il n'existe pas de risque aigu pour la population, même dans le cas d'un accident sévère. Cependant, à long terme, des problèmes peuvent survenir dans le domaine de l'agriculture et de l'approvisionnement en denrées alimentaires.

1.3.2 Concept de la protection en cas d'urgence de 1991

Sur la base des leçons tirées de l'accident de la centrale nucléaire de Three Mile Island en 1979, les centrales nucléaires suisses ont été rééquipées. En outre, les analyses de comportement en cas de défaillance effectuées sur les centrales suisses ont conduit à une nouvelle version du concept de la protection en cas d'urgence et à une nouvelle défaillance de référence comprenant les hypothèses suivantes:

- rejet de 100 % des gaz nobles radioactifs
- rejet inférieur à 1 % du reste de l'inventaire du cœur

dans l'environnement.

Sur la base de cet accident de référence les doses suivantes ont été estimées:

Dose au corps entier attendue lors d'un séjour en plein air. La fourchette indiquée tient compte des conditions météorologiques possibles		
à une distance de 4 km	à une distance de 10 km	à une distance de 20 km
de 20 à 700 mSv	de 7 à 200 mSv	de 3 à 80 mSv

Dose attendue à la glande thyroïde par inhalation d'iode en plein air. La fourchette indiquée tient compte des conditions météorologiques possibles		
à une distance de 4 km	à une distance de 10 km	à une distance de 20 km
de 100 à 7000 mSv	de 40 à 2000 mSv	de 10 à 1000 mSv

On dispose de 4 heures depuis l'ALERTE jusqu'au début d'un rejet et de 2 heures pour la préparation des mesures de protection à partir du premier déclenchement de l'alarme. Ces indications de temps ont été prises en compte dans l'établissement de la documentation d'engagement des cantons et des communes (voir la figure du paragraphe 3.1.).

Pour les centrales de Beznau et de Leibstadt, des zones 1 et 2 communes ont été définies.

1.3.3 Concept de la protection en cas d'urgence de 1998

Les enseignements tirés des exercices d'urgence nucléaire, ainsi que des modifications juridiques et la distribution de comprimés d'iode, ont rendu nécessaire la révision du concept de la protection en cas d'urgence nucléaire. La disposition de zones ne s'en trouva pas modifiée. La planification des mesures est basée sur un choix de scénarios. La variété de ceux-ci permet une adaptation de la réaction de l'organisation d'intervention aux diverses situations d'urgence. La protection de la population a été préparée pour les trois scénarios suivants:

- A – Scénarios sans endommagement du cœur du réacteur («défaillance de dimensionnement»)
- B – Scénarios avec endommagement du cœur du réacteur et bon fonctionnement de l'enveloppe de confinement et du système de décompression-filtration
- C – Scénarios avec endommagement du cœur du réacteur et mauvais fonctionnement de l'enveloppe de confinement et du système de décompression-filtration.

2 Conditions prises en compte lors de l'établissement des scénarios de référence pour le concept 2006

Les scénarios de référence retenus doivent remplir les conditions suivantes:

- La partie des séquences accidentelles se déroulant plus rapidement que les scénarios de référence ou qui conduisent à un rejet radioactif plus important doit présenter une probabilité d'occurrence inférieure à environ 10^{-6} événements par an (c'est-à-dire environ 1 fois en 1'000'000 d'années).
- La planification des mesures de protection doit être en principe la même pour le voisinage de toutes les centrales.

- Une condition météorologique moyenne¹ doit être retenue pour le calcul des doses engagées.

Pour le concept 2006 de la protection en cas d'urgence au voisinage des centrales nucléaires, les réflexions suivantes ont orienté la DSN lors de l'établissement des scénarios de référence.

2.1 Hypothèses réalistes pour la planification de la protection en cas d'urgence

La protection en cas d'urgence doit découler d'hypothèses réalistes concernant les accidents. Elle doit assurer la même protection que celle de dangers semblables, technologiques ou naturels.

Ainsi les situations suivantes ne sont pas prises en compte dans l'élaboration des scénarios de référence:

- Tremblements de terre très importants: Les centrales nucléaires sont dimensionnées de sorte qu'elles résistent aux tremblements de terre. Une répétition du tremblement de terre important de Bâle de 1356 n'endommagerait pas les centrales au point de mettre en danger l'environnement. Les tremblements de terre très importants ont des conséquences dont la prise en charge pose, aux organes de la protection, des problèmes beaucoup plus grands que ceux qui sont ajoutés par le danger radiologique. Dans une telle situation, ce sont le sauvetage et la prise en charge médicale des blessés qui ont la priorité.
- Attaque terroriste et sabotage: Les centrales nucléaires sont dimensionnées de telle sorte qu'elles résistent dans une large mesure aux actions de ce genre.
- Conflits armés: Les conséquences de scénarios de ce type sont très difficiles à prévoir. Ici aussi on peut admettre que la population est soumise, par les actions guerrières, à des atteintes plus graves que celles issues des rejets radioactifs qui s'y ajoutent.

Dans toutes ces situations, les mesures de protection en cas d'urgence proposées sur la base des scénarios de référence seraient aussi appliquées et atténueraient les conséquences de l'accident.

¹ Une «condition météorologique moyenne» correspond à une moyenne des résultats obtenus pour différentes conditions météorologiques, moyenne pondérée par la fréquence d'apparition de celle-ci.

2.2 Fréquence des défaillances avec rejet de substances radioactives

Les scénarios les plus fréquents doivent être pris en charge par les systèmes de sécurité et les barrières internes de la centrale, de sorte qu'aucune mesure de protection en cas d'urgence ne soit nécessaire à l'extérieur de l'installation. La planification des mesures d'urgence doit se concentrer sur les défaillances dont la probabilité d'occurrence est inférieure à 10^{-4} événements par an (c'est-à-dire moins de une fois en 10'000 années). Pour ces situations, les mesures d'urgence préparées doivent conduire à une réduction substantielle des doses.

3 Description des scénarios de référence

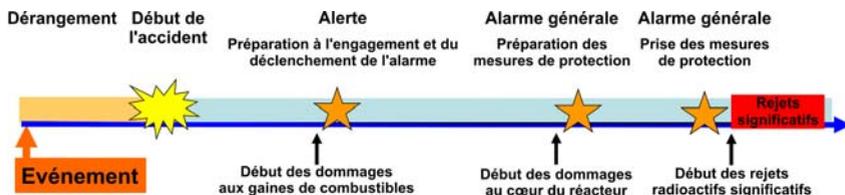
La DSN a procédé comme suit pour l'établissement des scénarios de référence du concept 2006.

Les déroulements accidentels avec relâchement de radioactivité et correspondant aux hypothèses du chapitre 2 ont été identifiés sur la base d'analyses probabilistes de sécurité. Le déroulement de ces accidents a été simulé à l'aide de modèles informatisés. L'efficacité des mesures associées à la gestion d'accident graves et visant à en réduire les effets a aussi été évaluée de manière probabiliste.

Dans les trois paragraphes qui suivent, un déroulement typique des événements intervenant dans une centrale nucléaire lors d'un accident est présenté, de même que les actions synchronisées de l'organisation en cas d'urgence. Les voies de relâchement de la radioactivité dans l'environnement, ainsi que leurs conséquences radiologiques, sont aussi présentées.

3.1 Déroulement chronologique

Le déroulement générique d'un accident peut être décrit de la manière suivante:



Un dérangement intervient et se développe: le système principal de refroidissement n'est plus disponible. De plus, les systèmes de sécurité et d'urgence tombent en panne. Durant cette phase, la grande partie de la radioactivité reste confinée dans le combustible.

Dans la suite du déroulement, la chaleur résiduelle du cœur du réacteur ne peut suffisamment être évacuée: Le cœur se réchauffe. A un certain moment, une défaillance des gaines de combustible devient probable. Des produits de fission volatils parviennent dans le système primaire de refroidissement. C'est à ce moment-là au plus tard que les critères techniques et radiologiques d'ALERTE sont atteints.

Si l'on peut rétablir le refroidissement du cœur, le déroulement de l'accident est interrompu.

Dans le cas où l'on ne peut rétablir le refroidissement, la température du cœur augmente et il commence à fondre. Ceci peut entraîner des dommages au circuit de refroidissement primaire et de grandes quantités de produits radioactifs peuvent pénétrer dans l'enceinte de confinement. C'est à peu près à ce moment-là que les critères techniques et radiologiques de l' «alarme générale – préparation des mesures de protection » sont atteints.

A cet instant, aucune quantité significative de substances radioactives n'a encore été relâchée dans l'environnement.

3.2 Voies possibles de rejet

A partir du moment où de grandes quantités de radioactivité sont relâchées dans l'enceinte de confinement et où la pression dans celle-ci augmente, ces substances peuvent aussi atteindre l'environnement. Il existe deux voies de rejet de la radioactivité:

- rejet filtré
- rejet non filtré

Sitôt qu'un rejet significatif de substances radioactives dans l'environnement est attendu ou intervient, le moment est venu de déclencher l' «alarme générale – prise des mesures de protection».

3.2.1 Rejet filtré

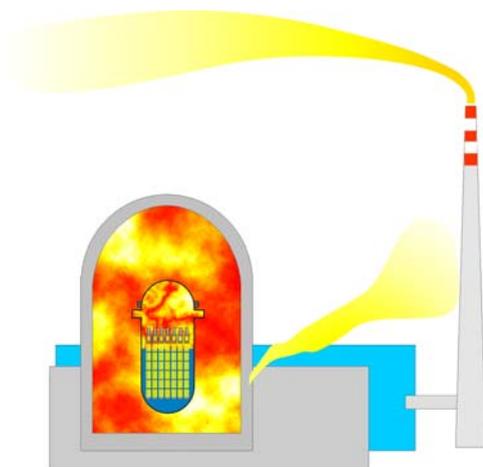
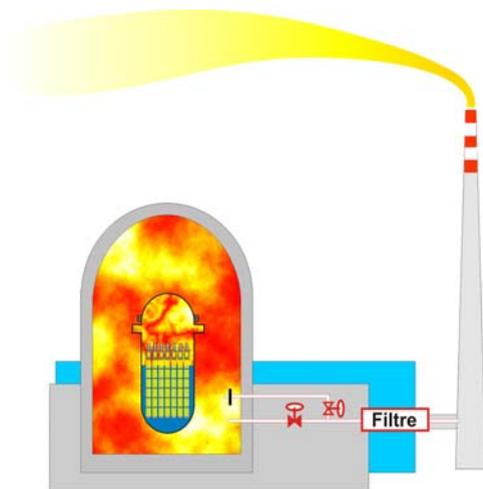
On rassemble dans cette catégorie de relâchements toutes les séquences accidentelles pour lesquels l'enceinte de confinement reste intacte et pour lesquels les rejets dans l'environnement ont lieu soit au travers des installations de ventilation d'urgence de la centrale, soit au travers de l'installation de filtration en cas de défaillance (dispositif de décompression filtrée). Ces rejets sont émis principalement par la cheminée de ventilation.

L'installation de décompression filtrée est dimensionnée de telle sorte que 99 % de l'iode élémentaire libéré et 99,9 % des aérosols, soient retenus dans le filtre. On assiste, à cause de leur faible volatilité, à une émission quasi nulle des actinides tel que l'uranium et le plutonium. Dans cette situation, les émissions consistent ainsi pour leur plus grande partie en gaz nobles radioactifs qui ne peuvent être retenus par les filtres.

Les relâchements de radioactivité provenant des fuites, qui interviennent déjà avant dans le cours de l'accident, ne sont pas pris en considération dans le cadre de ce scénario, ni dans le suivant, car ils constituent une faible part du rejet total.

3.2.2 Rejet non filtré

On rassemble dans cette catégorie de rejets tous les séquences accidentelles pour lesquels l'isolement de la radioactivité dans l'enceinte de confinement ne fonctionne pas parfaitement ou pour lesquels l'installation de ventilation d'urgence, respectivement l'installation de décompression filtrée, n'est pas disponible ou ne l'est que partiellement. On admet en outre que les substances ra-



radioactives parviennent dans l'environnement pour deux tiers au niveau du sol et pour un tiers au niveau de la cheminée.

Dans le cas des rejets non filtrés, la quantité de substances radioactives émises est plus grande. En outre, ces rejets présentent une composition radiologique et chimique différente de celle des rejets filtrés. En plus des gaz nobles, on y trouve aussi de l'iode et des aérosols.

3.3 Scénarios, termes sources et doses

On définit, pour la planification de la protection en cas d'urgence, les trois scénarios suivants (les mêmes que dans la concept de 1998):

- Scénario A1: défaillance sans endommagement du cœur du réacteur
- Scénario A2: défaillance avec endommagement du cœur du réacteur et avec rejet filtré
- Scénario A3: défaillance avec endommagement du cœur du réacteur et avec rejet non filtré

Les caractéristiques et les conséquences de ces trois scénarios sont résumées dans le tableau de la page suivante.

4 Conclusions

Les trois scénarios de référence retenus couvrent comme suit les catégories présentées au paragraphe 1.2:

Défaillances ayant des conséquences radiologiques mineures	complètement
Défaillances ayant des conséquences radiologiques requérant des mesures d'urgence	en grande partie

La DSN a en outre établi, sur la base d'analyses probabilistes, que les scénarios de référence remplissent, pour toutes les centrales nucléaires suisses, les exigences fixées au paragraphe 2, à savoir:

- la fréquence totale des séquences accidentelles qui, en ce qui concerne le moment du rejet et la quantité de substances radioactives relâchées, ne sont pas pris en compte, est inférieure à environ 1×10^{-6} événements par an.

Ainsi les scénarios de référence proposés sont adéquats pour servir de base à la planification des mesures de protection en cas d'urgence en Suisse

Résumé des scénarios de référence: Termes – sources et conséquences radiologiques pour une situation météorologique moyenne

	Scénario A1 sans endommagement du cœur		Scénario A2 avec endommagement du cœur et décompression filtrée		Scénario A3 avec endommagement du cœur et sans décompression filtrée	
	Important pour la zone 1		Important pour les zones 1 et 2		Important pour les zones 1 et 2 ainsi que pour des parties de la zone 3	
Terme – source	Activité	Fraction ¹⁾	Activité	Fraction ¹⁾	Activité	Fraction ¹⁾
- Gaz nobles	$1 \cdot 10^{16}$ Bq	$8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{18}$ Bq	$3 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{18}$ Bq	$3 \cdot 10^{-1}$
- Iode	$1 \cdot 10^{12}$ Bq	$4 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{14}$ Bq	$7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{15}$ Bq	$7 \cdot 10^{-5}$
- Aérosols	$1 \cdot 10^{11}$ Bq	$2 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{13}$ Bq	$5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{15}$ Bq	$5 \cdot 10^{-5}$
Début des rejets significatifs ²⁾ (temps à partir du début de l'accident)	aucun		après 6 heures		après 6 heures	
Durée du rejet	8 heures		8 heures		8 heures	
Dose associée au nuage du- rant 48 heures ³⁾						
- dose effective externe	325 μ Sv / 35 μ Sv		43.1 mSv / 7.2 mSv		46 mSv / 7.3 mSv	
- dose par inhalation d'iode ⁴⁾	76 μ Sv / 9.5 μ Sv		13 mSv / 1.4 mSv		104 mSv / 15 mSv	
Dose associée à la contamina- tion du sol durant une année ³⁾						
- dose effective externe	0.4 μ Sv / 0.05 μ Sv		0.1 mSv / 0.01 mSv		5.7 mSv / 0.7 mSv	
- dose effective par ingestion	74 μ Sv / 9.5 μ Sv		18.1 mSv / 2.2 mSv		306 mSv / 46.7 mSv	

1) Fraction de l'inventaire du cœur pour une installation de 3000 MWth (dans le cas des aérosols la valeur indiquée est celle du césium)

2) Les rejets qui nécessitent aucune mesure de protection peuvent survenir déjà au début de la défalliance; on entend par «significatif» un rejet dont la dose associée au nuage conduit à un dépassement de la valeur de 1 mSv ;

3) Valeurs de dose à une distance de 4 km / 20 km pour une situation météorologique moyenne

4) Dose à la glande thyroïde pour un enfant d'une année

**Division principale
pour la sécurité des
installations nucléaires DSN**

Adresse postale

HSK
CH-5232 Villigen-HSK

Téléphone ++41(0)56 310 38 11

Fax ++41(0)56 310 39 95

et ++41(0)56 310 39 07

infodienst@hsk.ch

www.hsk.ch

Octobre 2006

HSK-AN-6073