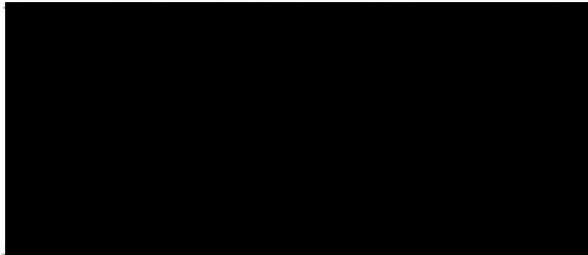




Note



Pièces-jointes :-

Annexes : 1

Classification INTERNE
Dossier 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007
Référence IFSN-N-8293_F
Mots-clés IDA NOMEX, scénarios de référence



Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires

Cette note décrit la vérification technique des scénarios de référence en se basant sur les analyses probabilistes de sécurité des centrales nucléaires suisses. Elle fait partie des travaux d'application de la mesure 14 du rapport du groupe de travail interdépartemental créé afin d'examiner les mesures de protection de la population en cas de situation d'urgence suite à des événements extrêmes en Suisse (IDA NOMEX).

Des scénarios de référence pour la protection d'urgences sont employés pour estimer l'ampleur d'un accident potentiel. Ils permettent également d'opérer les préparations correspondantes. Ces scénarios de référence se basent sur des bases légales existantes ainsi que des standards internationaux. Les scénarios de référence de 2006, valables jusque-là, ont été approuvés par la Commission fédérale de la sécurité des installations nucléaires (CSA) et par la Commission fédérale pour la protection ABC (ComABC). La distribution de comprimés d'iode n'avait alors pas été associée directement à un scénario.

Lors de l'accident à Fukushima, l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) avait adapté en conséquence le scénario de référence A3. L'IFSN l'avait alors utilisé pour son compte rendu quotidien au Conseil fédéral.

Comme nouveauté, l'IFSN propose comme base décisionnelle une palette de scénarios avec endommagement du cœur et rejet non filtré. Ces derniers vont nettement au-delà du scénario A3. En outre, un intervalle de temps est indiqué pour la durée du rejet.

En tant que mesures d'approfondissement, l'IFSN fait les propositions suivantes :

- Le scénario A3 représente un scénario extrême représentatif pour des accidents de fusion du cœur avec un rejet non filtré. Il couvre les conséquences accidentelles d'accidents de fu-



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

sion du cœur avec décompression filtrée de manière conservatrice. Le scénario A2 de la liste des dangers des événements ABCN doit ainsi être remplacé par le scénario A3.

- Les processus de décision en protection d'urgence pour des événements décrits exactement et pouvant mener à des rejets sont à adapter.
- Pour l'IFSN et en fonction des documents de l'AIEA, des précautions adaptées devraient également être élaborées pour des régions de la zone 3.
- La durée de rejet du scénario A3 est désormais fixée sur un intervalle allant de 2 à 48 heures.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

Sommaire

1	Introduction	4
1.1	Mandat	4
1.2	Scénarios de référence	4
1.2.1	Approche déterministe	4
1.2.2	Approche (probabiliste) basée sur le risque	5
1.3	Enseignements tirés de l'accident de réacteur de Fukushima	6
2	Méthodes de vérification des scénarios de référence	8
2.1	Etudes probabilistes de sécurité	8
2.2	Conséquences radiologiques	9
2.2.1	DOSE	9
2.2.2	ADPIC	10
2.3	Décisions pour la vérification des scénarios de référence	10
2.3.1	Caractéristiques de l'analyse	10
2.3.2	Types de scénarios	11
2.3.3	Evénements initiateurs	11
2.3.4	Début et durée du rejet	12
2.3.5	Degré de couverture	12
2.3.6	Mandat aux exploitants de centrales nucléaires suisses	13
3	Résultats de l'EPS	14
3.1	Fréquences de dommages au cœur	14
3.1.1	Fréquences des rejets	14
3.1.2	Scénarios de rejet à la suite d'un accident avec endommagement du cœur	14
3.1.3	Début du rejet	18
3.1.4	Durée du rejet	20
3.2	Conséquences radiologiques	20
3.2.1	Calculs de DOSE	20
3.2.2	Calculs ADPIC	27
4	Résumé	37
5	Abréviations	41
6	Références	42



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

1 Introduction

1.1 Mandat

Suite à l'accident de réacteur dans la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, le Conseil fédéral a décidé le 4 mai 2011 de constituer un groupe de travail interdépartemental afin d'examiner les mesures de protection de la population en cas de situation d'urgence suite à des événements extrêmes en Suisse (IDA NOMEX). Le rapport du groupe de travail /1/ contient une liste de mesures. Celle-ci a été approuvée par le Conseil fédéral le 5 juillet 2012. La mesure 14 se rapporte aux scénarios de référence. Elle a été formulée comme suit :

L'IFSN est chargée, jusqu'au 31 décembre 2012 et en collaboration avec le DFI/OFSP, le DDPS/OFPP et les cantons, de vérifier les scénarios de référence au voisinage des centrales nucléaires et les thèses sur lesquelles ils reposent dans le domaine de la protection d'urgence.

1.2 Scénarios de référence

Dans une centrale nucléaire, de nombreuses séquences accidentelles avec des menaces radiologiques d'importance différente pour la population sont possibles. Des accidents avec de graves conséquences sont beaucoup plus invraisemblables que des accidents avec des conséquences moindres en comparaison.

Des scénarios de référence sont des « défaillances modèles » /2/ ; ils sont représentatifs, quant à leur déroulement temporel et à leurs conséquences radiologiques, d'un grand nombre d'accidents envisageables. La planification et la préparation des mesures de protection de la population sont en partie basées sur ces scénarios de référence.

A l'occasion du remaniement du concept de protection en cas d'urgence de la ComABC /3/, l'ancienne Division principale de la sécurité nucléaire (DSN) avait analysé les scénarios de référence pour la protection d'urgence. Des termes sources réalistes avaient été déterminés pour chaque centrale nucléaire suisse en cas d'accident de dimensionnement, en particulier pour un accident de perte de réfrigérant primaire (LOCA) ainsi que pour deux accidents avec endommagement du cœur du réacteur. Lors des accidents impliquant un endommagement du cœur du réacteur, une fusion du cœur et un fonctionnement du confinement conforme à la conception avec un rejet par le système de décompression filtrée ont été pris comme hypothèse. Respectivement, une défaillance de l'enceinte de confinement avec rejet non filtré a été supposée. Des scénarios de référence globaux pour toutes les installations ont été déterminés à partir des résultats spécifiques à chaque centrale. Dans le cadre du projet « Protection ABC nationale », il a été décidé de reprendre le scénario avec endommagement du cœur A2 avec décompression filtrée comme scénario de référence pour la protection d'urgence en Suisse /4/. Bien que les conséquences radiologiques du scénario A2 soient limitées à des régions plus petites que les surfaces de la zone 2, aucune modification des dimensions des zones et des mesures de protection d'urgence n'a été envisagée.

En principe, il y a deux approches différentes pour la définition de scénarios de référence : les approches déterministe et probabiliste.

1.2.1 Approche déterministe

Par approche déterministe, on entend le choix d'un scénario modèle typique sur la base de réflexions d'ingénierie concernant la séquence d'un accident de fusion du cœur et les voies de rejet. Pour ces séquences modèles, les termes sources peuvent être calculés par des codes de calculs pour le confinement (par exemple MAAP, MELCOR, COCOSYS) ou estimés. De même, les résultats de l'étude



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

probabiliste de sécurité de niveau 2 peuvent être employés. Des exemples typiques pour des scénarios de référence définis de manière déterministe sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : scénarios pour accidents avec fusion du cœur

Pays	Descriptif	Terme source [Bq]	Proportion terme source/inventaire du cœur	Moment du rejet [h]
Allemagne /5/ (18 scénarios modèles au total)	Catégorie de rejet FKF : décompression non filtrée au niveau du toit pour un réacteur à eau pressurisée (3733 MW _{th})	Xe-133 $4.81 \cdot 10^{18}$	0.62	12.4
		I-131 $2.34 \cdot 10^{16}$	0.00091	
		Cs-137 $2.75 \cdot 10^{14}$	0.0064	
	Catégorie de rejet FKA : fuite à un tube de chauffage du générateur de vapeur d'un réacteur à eau pressurisée	Xe-133 $1.82 \cdot 10^{18}$	0.24	20.8
		I-131 $3.06 \cdot 10^{17}$	0.084	
		Cs-137 $2.86 \cdot 10^{16}$	0.094	
Etats-Unis /6/	Analyse SOARCA : fuite à un tube de chauffage du générateur de vapeur du réacteur à eau pressurisée de la centrale nucléaire de Surry	I-131 —	0.01	4
		Cs-137 —	0.01	
	Analyse SOARCA : accident de perte de réfrigérant primaire et de systèmes d'interfaces au réacteur à eau pressurisée de la centrale nucléaire de Surry « Interfacing Systems LOCA Surry NPP »	I-131 —	0.16	14
		Cs-137 —	0.02	
France /7/	Scénario S3 : défaillance tardive du confinement avec une certaine fonction de rétention (ce scénario est le scénario de conception pour la protection d'urgence en France)	Gaz rares —	0.75	—
		I-131 —	0.003	
		Cs-137 —	0.0035	
	Scénario S1 : en France, la défaillance rapide du confinement est exclue en raison du type de construction d'une grande enceinte de confinement sèche	Gaz rares —	0.75	—
		I-131 —	0.6	
		Cs-137 —	0.4	
IAEA /8/	Base pour les rayons des zones de protection d'urgence recommandée par l'AIEA	Produits de fission volatils	0.1	—

Les différentes analyses montrent que des parts de rejet maximales de 8 % à 60 % pour l'iode et de 2 % à 40 % pour les aérosols sont estimées en cas d'accidents graves avec endommagement du cœur et rejets non filtrés. A l'exception du scénario S3 en France, les scénarios présentés ne font pas office de base de conception pour la protection d'urgence externe.

Le désavantage principal des scénarios définis de manière déterministe, respectivement de scénarios sélectionnés, réside dans le fait qu'ils ne représentent qu'une détermination plutôt arbitraire dans le spectre d'accidents avec endommagement du cœur possibles. Il existe alors le danger de sous- ou de surévaluation du risque global pour des installations spécifiques ou des flottes de centrales.

1.2.2 Approche (probabiliste) basée sur le risque

L'AIEA prescrit dans les principes fondamentaux de sécurité de l'INSAG-12 (« Basic Safety Principles INSAG-12 » /9/) une valeur directrice de fréquence moyenne des dommages au cœur du réacteur (« Core Damage Frequency CDF ») d'une fois tous les 10 000 ans (10^{-4} a^{-1}). Pour la fréquence de rejets importants (« Large Release Frequency LRF »), un objectif prévu d'une fois tous les 100 000 ans (10^{-5} a^{-1}) est proposé. D'importants rejets ne peuvent survenir qu'en raison d'accidents avec endommagement du cœur. Dans son document SSG-3 /10/, l'AIEA entend par important rejet un événement ayant des conséquences importantes pour la société et nécessitant des mesures de protection d'urgence dans le voisinage. Un rejet important peut être quantifié par le terme source, la part de relâchement, la dose pronostiquée ou déterminée. Aucun consensus sur des valeurs chiffrées



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

n'existe au niveau international. Des rejets avec une part de relâchement de l'inventaire du cœur de 10^{-5} jusqu'à 10^{-2} comptent comme rejets importants.

Les objectifs prévus pour la fréquence d'occurrence d'un rejet en proportion dangereuse (LRF) ont été repris par différents Etats utilisant l'énergie nucléaire à large échelle. Cette reprise a été faite soit dans le droit national (Suède, Suisse) ou dans la réglementation, respectivement la pratique de surveillance, (Etats-Unis, Corée du Sud) /11/. Une décision du gouvernement suédois exige par exemple que la fréquence d'occurrence de rejets avec plus d'un millième de l'inventaire du cœur (gaz rares non compris) d'un réacteur d'une capacité 1800 MW_{th} soit plus faible qu'une fois tous les 100 000 ans (10^{-5} a^{-1}).

En plus de la quantité de substances radioactives rejetées, le moment du rejet est d'une importance capitale. Aux Etats-Unis, la fréquence d'occurrence d'un rejet à un moment donné, à partir duquel un potentiel pour des dommages déterministes précoces dus aux radiations est présent, est définie comme fréquence de rejet précoce important (« Large Early Release Frequency LERF »). La région où peuvent se produire de telles doses se situe conformément aux prévisions dans un rayon de quelques kilomètres autour de l'installation concernée. L'autorité de surveillance US NRC fixe l'objectif prévu pour la fréquence LERF dans les installations en service à une fois tous les 100 000 ans (10^{-5} a^{-1}) /11/.

1.3 Enseignements tirés de l'accident de réacteur de Fukushima

Soutenue par la société allemande pour la sécurité des réacteurs (« Gesellschaft für Reaktorsicherheit GRS »), l'IFSN a évalué les conséquences radiologiques de l'accident de réacteur de Fukushima /12/. En tenant compte des questions soulevées dans le document /13/, les enseignements suivants peuvent être déduits pour des précautions internes aux installations contre des accidents hors dimensionnement :

- a) La décompression (venting) du confinement primaire s'est produite de manière non filtrée dans les bâtiments des réacteurs. Dans deux tranches, la quantité d'hydrogène évacuée par la décompression a conduit à la formation de mélanges combustibles. Ces mélanges ont brûlé lors d'une explosion endommageant fortement les bâtiments de trois tranches. L'explosion dans la tranche 4 est due à des gaz transférés de l'unité 3. Elle n'était pas due à une formation d'hydrogène dans la piscine de désactivation des assemblages combustibles de la tranche 4 comme supposé au départ. Les mesures appliquées dans les installations suisses pour la décompression filtrée du confinement primaire ainsi que la présence de confinements secondaires massifs en comparaison des centrales japonaises accidentées diminuent considérablement le danger de rejets en proportion dangereuse.
- b) Malgré les circonstances extrêmement défavorables (infrastructure détruite, instrumentation de l'installation défaillante lors de périodes données, moyens de communication manquants) pour la gestion d'urgence, l'équipe en charge à Fukushima a réussi à ralentir et contenir la progression des accidents avec endommagement du cœur dans les réacteurs spécifiques. Elle a ainsi permis d'éviter des rejets plus importants. Une meilleure préparation en matière de gestion d'accident grave améliore les chances d'aboutir à des conséquences moins importantes d'un accident de fusion du cœur. La gestion d'accident grave était déjà un standard dans les centrales nucléaires helvétiques avant l'accident de Fukushima. Elle a été encore améliorée sur la base des enseignements tirés de Fukushima.

En vue de la vérification des scénarios de référence, une attention particulière doit être accordée aux points suivants :



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

- a) Le premier rejet massif d'une des tranches a eu lieu 17 heures après l'événement initiateur. Il y a ainsi eu suffisamment de temps à disposition pour la mise en œuvre des mesures de protection d'urgence. La séquence accidentelle dans toutes les trois unités concernées par un endommagement du cœur confirme le déroulement temporel d'accident avec endommagement du cœur pris actuellement comme hypothèse dans la protection d'urgence en Suisse /2/.
- b) Les accidents avec endommagement du cœur du réacteur se sont produits dans les tranches 1 à 3 avec des vitesses différentes. Des rejets spécifiques dans des proportions dangereuses ont eu lieu sur plusieurs jours consécutifs. Ces rejets provenaient de tranches différentes. Dans une des trois tranches, il y a eu plusieurs rejets sur des jours différents. Ces circonstances ont donné l'impression d'un rejet s'étalant dans la durée. En Suisse, il existe en revanche trois installations avec une seule tranche ainsi qu'une installation à deux unités. Elles se trouvent sur des sites différents. Les effets d'événements naturels sont ainsi mieux isolés. Pour les sites des centrales nucléaires suisses, des durées de rejet plus courtes peuvent de manière générale être attendues.
- c) La quantité de radioactivité pouvant potentiellement être rejetée (inventaires des cœurs des trois tranches concernées et inventaire du dépôt de combustible) était plus grande sur le site de Fukushima que dans toutes les centrales nucléaires suisses prises ensemble. Il convient de prendre en compte les circonstances chanceuses de l'accident : trois tranches sur six se trouvaient alors en arrêt pour révision. La quantité maximale de radioactivité pouvant être rejetée d'un site de centrale nucléaire en Suisse est nettement inférieure à celle du site de Fukushima-Daiichi. Par-là, un grave endommagement du cœur et une conception du réacteur semblable n'occasionneraient qu'une part de la quantité rejetée à Fukushima.
- d) La quantité de gaz rares rejetée en raison de l'endommagement du cœur a été déterminée entre $5 \cdot 10^{17}$ Bq (TEPCO) et $2 \cdot 10^{18}$ Bq (IRSN). L'analyse de l'IFSN de 2011 supposait encore une quantité de $1.1 \cdot 10^{19}$ Bq d'après les données de GRS /14/. L'inventaire de gaz rares des trois réacteurs accidentés s'élève en revanche à environ $2 \cdot 10^{19}$ Bq. En fonction de l'origine des données, il en résulte une part de rejet des gaz rares allant de 5 % à 50 %.
- e) Le terme source de l'accident et la situation météorologique nécessitaient des mesures d'urgence nettement au-delà des zones de planification d'urgence définies pour chaque site au Japon. La situation météorologique à Fukushima a conduit d'une part à ce qu'une grande partie de la radioactivité transportée par l'air soit évacuée vers la mer. D'autre part, après que la direction principale du vent ait tourné, le Nord-ouest a principalement été concerné par les retombées en raison de précipitations et de chutes de neige. L'expérience issue de Fukushima et de Tchernobyl montre que des régions peuvent être concernées en dehors des zones de planification d'urgence habituelles au niveau international (recommandation de l'AIEA : zone extérieure < 30 km) en raison d'influences météorologiques. Dans ces régions, des mesures de protection pour la population doivent être prises.
- f) Des accidents de réacteurs dans des installations multitranches provoqués par un événement commun sont plus problématiques que des accidents dans des installations à une tranche pour ce qui concerne l'application de mesures de protection d'urgence dans le voisinage. Les accidents avec endommagement du cœur dans les tranches 1 à 3 se sont déroulés de manière très différente en ce qui concerne la proportion, la vitesse et les conséquences sur l'environnement. Cela a compliqué l'établissement de pronostics pour décider des mesures de protection.
- g) En plus des rejets par l'air, des quantités significatives d'eau contaminée ont été rejetées en mer lors de l'accident de Fukushima. L'IFSN analyse cet aspect séparément /15/.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

2 Méthodes de vérification des scénarios de référence

2.1 Etudes probabilistes de sécurité

L'étude probabiliste de sécurité (EPS) permet entre autres d'évaluer la menace qu'un accident grave survienne dans une centrale nucléaire. Un accident grave désigne une défaillance par laquelle le cœur du réacteur ne peut plus être refroidi et commence à fusionner. Seul un accident grave peut conduire à des rejets d'importantes quantités de substances radioactives dans l'environnement. L'accident de Three Mile Island a montré que des accidents de fusion du cœur peuvent aussi se produire sans rejet important.

Une EPS peut être subdivisée en plusieurs niveaux. En partant d'un large spectre d'événements initiateurs, toutes les séquences accidentelles possibles jusqu'à l'endommagement du cœur (fusion du cœur) sont considérées dans l'EPS de niveau 1. Les événements internes et externes pertinents sont pris en compte comme événements initiateurs. Il s'agit entre autres des pertes de moyen de refroidissement, de défaillances de systèmes d'exploitation, de sécurité et de systèmes auxiliaires, du déclenchement intempestif de systèmes de sécurité, d'incendies, d'explosions, de l'éclatement de turbines, d'inondations interne et externe, d'une chute d'avion accidentelle, de forts vents, de tornades, du bouçage de prises d'eau et de séismes. La fréquence moyenne de dommages au cœur du réacteur par année (« Core Damage Frequency CDF ») est un résultat important issu de cette EPS de niveau 1.

L'EPS de niveau 2 se base sur les résultats de l'EPS de niveau 1. Elle comprend l'analyse de la suite du déroulement d'un endommagement du cœur jusqu'à une éventuelle libération de substances radioactives dans l'environnement. Pour l'analyse de la séquence accidentelle, les contraintes possibles subies par l'enceinte de confinement lors des phénomènes survenant pendant un accident grave sont prises en compte. Il s'agit par exemple d'une explosion de vapeur, de la combustion d'hydrogène ou d'une augmentation de pression. La résistance de l'enceinte de confinement, les mesures prises pour la protection de cette enceinte (par exemple les mesures contre la menace liée à l'hydrogène, le système de décompression filtrée) ainsi que les actions du personnel correspondantes sont également analysées à ce stade.

Les nombreuses séquences accidentelles possibles sont identifiées systématiquement à l'aide d'un arbre d'événements et quantifiées. Cela signifie que pour chaque séquence accidentelle, une fréquence est déterminée. Etant donné qu'un nombre important d'états finaux résulte d'un tel arbre d'événements, ces états finaux sont en règle générale regroupés en fonction du moment de la défaillance (tôt ou tard), du mode de défaillance de l'enceinte de confinement ainsi que de la quantité du rejet (quantité de l'inventaire de radioactivité du cœur rejeté) dans des catégories de rejet. La fréquence des différentes catégories de rejet résulte de la fréquence cumulée des états finaux spécifiques. Un modèle informatique spécifique à l'installation permet de calculer la quantité et le début du rejet pour chaque catégorie de rejet.

Concernant le début du rejet, il faut noter qu'il est supposé, lors du calcul du terme source de l'EPS, qu'un composant n'est pas disponible dès le début de la défaillance. Les périodes de rejet déterminées peuvent ainsi être très conservatives. Concernant la quantité de rejet, les différents groupes radiologiques (gaz rares, halogènes, métaux alcalins, etc.) sont différenciés. Les différentes catégories de rejet sont ainsi caractérisées par leurs quantités, leurs débits et leurs fréquences. Une fois les catégories de rejet ordonnées d'après leurs quantités, la fréquence de rejets plus importants qu'une quantité donnée de rejet peut être simplement déterminée.

Les exigences détaillées pour l'EPS des centrales nucléaires sont définies dans la directive ENSI-A05. Chaque exploitant a élaboré une EPS spécifique à son installation et l'actualise régulièrement.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

2.2 Conséquences radiologiques

Il existe une multitude de modèles pour la simulation de la propagation atmosphérique de particules. Ces modèles se différencient principalement par les processus physiques considérés et par leur approximation. Dans la suite, les deux modèles employés par l'IFSN seront brièvement décrits.

2.2.1 DOSE

DOSE est un modèle de Gauss avec correction en fonction de la hauteur développé par la DSN, respectivement l'IFSN. Il sert à la simulation de la diffusion atmosphérique. Celle-ci est décrite par des facteurs de diffusion temporels et spatiaux. Ces facteurs sont définis comme rapport entre la concentration locale de nucléides et le taux de rejet. Les doses pour les différentes voies peuvent ainsi être calculées à partir de la concentration de nucléides. Les formules et paramètres appliqués ainsi que les processus physiques considérés sont définis dans la directive IFSN-G14.

DOSE simule le rejet comme étant de courte durée. Un panache est calculé à l'aide de la vitesse du vent prescrite. Les doses consécutives peuvent en être déduites. Ce modèle prend comme hypothèse simplificatrice une vitesse et une direction du vent constantes dans le temps et dans l'entier du secteur de simulation possédant une topographie plate. Ce modèle permet une transposition simple sur des lieux de rejet choisis tout en tenant compte d'effets orographiques possibles. En principe, la manière de procéder prescrite par la directive IFSN-G14 permet d'atteindre un calcul de dose très conservatif de sorte que les doses consécutives peuvent être comprises comme couvrant un cas réel.

Le spectre des conditions météorologiques pouvant survenir est réduit à six situations météorologiques caractéristiques et englobantes. Il s'agit de situations météorologiques stable, neutre et instable avec à chaque fois la présence ou non de pluie. Pour la situation moyenne, les situations météorologiques citées auparavant sont pourvues des facteurs de pondération suivants : 30 % pour les trois situations sèches, respectivement 3,3 % pour les trois situations météorologiques avec présence de pluie. Les situations météorologiques spécifiques peuvent être tirées des tableaux suivants :

Modèle de météo	Situation météo	Précipitations [mm/h]	Vitesse du vent [m/s]
Météo 1	stable	-	0.75
Météo 2	neutre	-	3.00
Météo 3	instable	-	1.50
Météo 4	stable	1	0.75
Météo 5	neutre	5	3.00
Météo 6	instable	2	1.50

Situation météorologique stable : presque aucun échange vertical turbulent, peu de mélange atmosphérique et mauvaise dilution des substances radioactives rejetées.

Situation météorologique neutre : vitesses de vents élevées et mélange vertical modéré, meilleure dilution des substances radioactives que pour une situation météorologique stable.

Situation météorologique instable : de fortes turbulences et un bon mélange de l'atmosphère conduisent à une bonne dilution des substances radioactives.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

2.2.2 ADPIC

ADPIC (Atmospheric Diffusion Particle-In-Cell) est un programme numérique en trois dimensions pour le calcul de la diffusion. Il permet le calcul de concentrations dans l'air de substances en fonction du temps et par des conditions diverses. Les phénomènes physiques concernés sont notamment des dépôts secs et mouillés, la désintégration radioactive ainsi que les turbulences variables spatialement et temporellement des vents. Du point de vue de la physique, ADPIC résout l'équation advection - diffusion en trois dimensions au moyen de la méthode de Monte Carlo. Le programme calcule ainsi les développements dans le temps et l'espace d'un nuage de particules (modèle de Lagrange). En aval de la diffusion atmosphérique se trouve un module de dose calculant directement les doses d'irradiation résultantes dans l'entier du secteur de simulation.

Le modèle de diffusion ADPIC a été développé par le Laboratoire national Lawrence Livermore (« Lawrence Livermore National Laboratory »). Il a été sélectionné comme modèle le plus approprié pour la Suisse dans le cadre de l'évaluation d'une multitude de modèles de dispersion atmosphérique pouvant décrire les processus de diffusion dans des terrains complexes. L'évaluation s'est déroulée sur la base d'expériences avec traceurs dans les environs de Gösgen. Pour un emploi opérationnel du modèle en Suisse, d'importantes adaptations étaient nécessaires. Elles concernaient notamment la saisie en ligne de données météorologiques, les données du vent en trois dimensions et la visualisation des résultats.

2.3 Décisions pour la vérification des scénarios de référence

2.3.1 Caractéristiques de l'analyse

Un scénario de référence pour un accident dans une centrale nucléaire est caractérisé par les propriétés essentielles suivantes /2/ :

- Voie de rejet
La voie du rejet détermine quelle quantité de substances radioactives contenues dans l'enceinte de confinement peut parvenir dans l'environnement.
- Terme source
Le terme source contient la quantité et le type de radionucléides rejetés. Pour la détermination des conséquences radiologiques, les groupes de nucléides « gaz rares », « iode » et « aérosols » sont généralement employés. Pour des calculs détaillés, des quantités de rejet spécifiques aux nucléides sont prises en compte.
- Déroulement temporel (début et durée du rejet)
Le début du rejet est défini comme étant le moment suivant la survenue de l'accident où une quantité d'un groupe de nucléide rejetée dans l'environnement dépasse une limite de rejet annuelle¹. Le laps de temps allant de la survenue de l'accident au début du rejet est défini comme « phase d'alerte » dans le concept de protection d'urgence /3/. Aucun rejet dans des proportions dangereuses n'a lieu jusqu'au début du rejet. Par-là, le début du rejet constitue un paramètre important pour la planification des déroulements jusqu'à l'exécution de mesures de protection pour la population. La durée de rejet est pertinente pour l'évaluation du potentiel de réalisation et de l'acceptabilité de mesures de protection.
- Conséquences radiologiques
Les conséquences radiologiques d'un scénario d'accident sont déterminées par le terme source et la durée du rejet. Elles se différencient en fonction de l'étendue des régions concernées où des mesures de protection sont nécessaires.

¹ La limite de rejet annuelle d'une installation nucléaire est fixée de sorte qu'en fonctionnements normal et perturbé d'un site d'une installation nucléaire la valeur directrice liée à la source selon l'art. 7 ORap ne soit pas dépassée.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

2.3.2 Types de scénarios

Les trois scénarios de référence caractérisés sous /2/ représentent les scénarios envisageables de rejets de radioactivité des centrales nucléaires suisses.

Le scénario A1 représente un scénario de rejet sans endommagement du cœur. Il s'agit de loin de la plus grande part de toutes les défaillances. Des scénarios sans endommagement du cœur sont notamment importants pour les mesures d'urgence lors de « défaillances rapides ». Pour ce scénario, aucun nouvel enseignement ne peut être tiré de l'événement de Fukushima et d'autres expériences acquises en exploitation au niveau international durant la période 2005-2012. Pour ces raisons, ce scénario n'est pas analysé plus en détail.

Le scénario A2 avec endommagement du cœur du réacteur et décompression filtrée est présenté actuellement dans le concept de protection ABC de l'OFPP /4/ comme scénario de référence pour la protection d'urgence. Tout comme pour le scénario A1, aucun nouvel enseignement pour le scénario A2 ne peut être tiré de l'accident de Fukushima.

Compte tenu de l'accident de réacteur à Fukushima, le scénario A3 doit être vérifié par rapport aux aspects du terme source, du début et de la durée du rejet afin de déterminer s'il représente suffisamment le spectre des accidents avec des rejets massifs non filtrés.

2.3.3 Événements initiateurs

Lors des dix dernières années, l'aléa sismique a été analysé pour les sites des centrales nucléaires suisses dans le cadre des projets PEGASOS et PEGASOS-Refinement (PRP) en fonction des données scientifiques les plus récentes. En règle générale, les études ont montré que la fréquence d'occurrence de graves séismes doit être estimée de manière plus élevée que ce qui avait été supposé auparavant. En conséquence, la part des séismes parmi les événements initiateurs d'accidents avec fusion du cœur s'est accrue relativement aux autres événements initiateurs. L'utilisation des résultats de PEGASOS dans les EPS a déjà conduit à des analyses détaillées dans les centrales nucléaires concernant un besoin d'amélioration de la résistance contre des événements sismiques et à de nombreuses améliorations ponctuelles.

Les événements à Fukushima Dai-ichi ont soulevé plusieurs questions. Il s'agissait ainsi de savoir si les installations suisses étaient bien conçues contre des événements naturels et d'éventuels événements consécutifs tels que des ruptures de barrages. Suite à l'événement de Fukushima, l'IFSN a conçu un catalogue de requêtes détaillé pour les centrales exigeant des démonstrations déterministes et probabilistes de la conception des installations ainsi que des mesures supplémentaires en matière de protection d'urgence /16/. Dans la lignée de la vérification prévisible des scénarios de référence, l'IFSN a par ailleurs exigé des centrales nucléaires qu'elles déterminent la fréquence de dépassement pour des rejets de termes sources importants et leurs débuts. Les analyses devaient se baser sur les EPS actuelles /16/. Les calculs des centrales ont été réalisés pour les événements initiateurs considérés dans l'EPS avec et sans prise en compte des séismes.

Bien qu'en Suisse des tremblements de terre extrêmes ont une fréquence d'occurrence faible et que les centrales nucléaires suisses sont toutes conçues de manière robuste contre l'intensité des séismes attendus, un tremblement de terre dépassant les limites de dimensionnement ne peut pas être exclu. Un tel séisme pourrait avoir un accident de fusion du cœur et une défaillance de la dernière barrière comme conséquences. En vue de la vérification des scénarios de référence, les événements initiateurs analysés dans les EPS des centrales sont ainsi pleinement considérés. Cette vérification inclut les séismes puissants en tenant compte des connaissances actuelles sur l'aléa sismique ainsi que de chutes d'avion accidentelles.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

Les attaques terroristes et le sabotage, par exemple une chute préméditée d'avion ainsi que des actes de guerre, ne sont en revanche toujours pas pris en compte. Ces événements liés à la civilisation ne peuvent être estimés quant à leur fréquence d'occurrence et à l'étendue de leurs dégâts qu'avec des incertitudes élevées. En outre, les centrales ont réalisé ces dix dernières années des mesures importantes en vue d'élever le niveau de sécurité contre des actes illicites de tiers.

2.3.4 Début et durée du rejet

Le processus d'avertissement et d'alarme dans la protection d'urgence suisse se base sur le concept de protection d'urgence /3/. Cela signifie qu'il y a plusieurs niveaux d'escalade commençant avec l'information de l'IFSN et de la CENAL sur l'urgence survenue, le niveau de l'avertissement, l'alarme générale pour la préparation et l'alarme générale pour l'application des mesures de protection.

Pour des rejets suivant des accidents avec endommagement du cœur, une phase d'alerte d'au minimum six heures est supposée pour le cas d'un rejet non filtré. Pour le cas d'une décompression filtrée de l'enceinte de confinement, une phase d'alerte nettement plus longue que six heures est supposée.

Un scénario de référence pour la protection d'urgence devrait être représentatif du déroulement temporel d'une grande part des développements dans le temps de séquences accidentelles possibles dans une centrale nucléaire.

2.3.5 Degré de couverture

La représentativité d'un scénario pour la prévention d'urgence peut être mesurée de manière quantitative par le degré de couverture. Ce dernier détermine la fréquence des rejets plus importants que ceux du scénario de référence et ayant lieu plus tôt.

La définition d'un scénario représentatif s'oriente au procédé suivant :

- (1) A partir des fréquences, déterminées pour chaque centrale, du terme source d'accident et du début des rejets, la valeur la plus défavorable de toutes les installations est employée.
- (2) Le terme source des gaz rares du scénario de référence prend en compte 100 % des gaz rares de l'installation qui est dominante pour les deux autres groupes de nucléides.
- (3) La fréquence d'occurrence cumulée de tous les scénarios de rejets avec des termes sources plus importants que celui du scénario de référence est plus petite que le degré de couverture sélectionné.
- (4) La fréquence d'occurrence cumulée de tous les scénarios avec des rejets plus importants que le terme source de référence et avec un début du rejet plus précoce que celui du scénario de référence est plus petite que le degré de couverture sélectionné.

L'utilisation des fréquences d'occurrence du terme source et du début du rejet les plus défavorables à chaque fois (1) permet de définir un scénario couvrant tous les sites et tous les types de centrales nucléaires.

L'approche consistant à supposer un rejet des gaz rares de 100 % (2) de l'installation avec la plus grande part des groupes de nucléides « aérosols » et « iode » est de manière générale aussi conservative. Les critères de découplage (3) et (4) garantissent que la protection d'urgence dans le voisinage des centrales nucléaires soit adaptée à la maîtrise d'événements rares. Une importance particulière est accordée à l'étendue potentielle des dégâts d'un accident dans une centrale nucléaire en comparaison d'autres dangers liés à la civilisation ou à des dangers naturels². Des recommandations

² Dans les scénarios de référence de l'OFPP se trouvant encore en discussion, un séisme avec une fréquence d'occurrence de $3 \cdot 10^{-3}$ à 10^{-3} par année (c'est-à-dire 1 fois tous les 1000 ans) est pris comme base. Pour un tel tremblement de terre, les



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

internationales, notamment /17/, /18/ et /19/ sont ainsi prises en compte.

Toutes les bases légales actuelles et connaissances internationales /9/, /11/ indiquent que la définition d'un degré de couverture doit être établie à 10^{-5} par année (voir chapitre 1.2.2). Un consensus international concernant la méthode de détermination d'un scénario représentatif pour la prévention d'urgence n'existe cependant pas. Il manque des recommandations univoques. Puisque même l'AIEA ne propose dans ce contexte que la couverture d'une vaste majorité des défaillances par la prévention d'urgence /18/, la définition d'une valeur concrète pour le degré de couverture ne sera pas poursuivie ici. La définition d'une telle valeur est le résultat d'un processus sociopolitique, respectivement d'un débat largement étayé sur l'acceptation de risques.

2.3.6 Mandat aux exploitants de centrales nucléaires suisses

Par sa lettre du 5 décembre 2011 /16/, l'IFSN a octroyé le mandat aux exploitants des centrales nucléaires suisses de réaliser de nouveaux calculs sur la base des études probabilistes de sécurité actuelles spécifiques à chaque centrale pour le fonctionnement de puissance et pour les termes sources prescrits.

L'IFSN a déterminé les termes sources suivants. Le scénario de référence A3 de 2006 en constituait le point de départ :

Scénario A3

- Moment du rejet après le début de l'accident : 6 heures ;
- Iode : 10^{15} Bq, césium (classe Rb-Cs) : 10^{14} Bq, gaz rares : $3 \cdot 10^{18}$ Bq ;
- Le scénario A3 correspond selon l'annexe 1 à un événement du niveau 6 de l'échelle d'appréciation INES de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) qui compte sept niveaux.

Scénario A4 (A3 x 10)

- Les termes sources de l'iode et du césium sont multipliés par un facteur 10 par rapport au scénario A3 ;
- Concernant les gaz rares, un rejet de 100 % est supposé (pour des installations de $1000 \text{ MW}_{\text{th}}$, il en résulte $3 \cdot 10^{18}$ Bq ; pour des installations de $3000 \text{ MW}_{\text{th}}$ 10^{19} Bq) ;
- Moment du rejet après le début de l'accident : 6 heures ;
- Le scénario A4 correspond selon l'annexe 1 à un événement du niveau 7 de l'échelle d'appréciation INES de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) qui compte sept niveaux.

Scénario A5 (A3 x 100)

- Les termes sources de l'iode et du césium sont multipliés par un facteur 100 par rapport au scénario A3 ;
- Concernant les gaz rares, un rejet de 100 % est supposé ;
- Moment du rejet après le début de l'accident : 4 heures ;
- Le scénario A5 correspond selon l'annexe 1 à un événement du niveau 7 de l'échelle d'appréciation INES de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) qui compte sept niveaux.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

Scénario A6 (A3 x 1000)

- Les termes sources de l'iode et du césium sont multipliés par un facteur 1000 par rapport au scénario A3 ;
- Concernant les gaz rares, un rejet de 100 % est supposé ;
- Moment du rejet après le début de l'accident : 2 heures ;
- Le scénario A6 correspond selon l'annexe 1 à un événement du niveau 7 de l'échelle d'appréciation INES de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) qui compte sept niveaux.

La détermination et la documentation des fréquences d'occurrence de dommages au cœur et de dépassement devaient à chaque fois être réalisées avec et sans prise en compte de séismes. Pour les scénarios A3 à A6, les fréquences cumulées (par année) de rejets, dont le début a lieu avant le moment de rejet fixé dans le scénario ainsi qu'après plus de 6 heures, étaient à calculer.

3 Résultats de l'EPS

3.1 Fréquences de dommages au cœur

L'objectif fixé par l'AIEA d'une fréquence moyenne des dommages au cœur du réacteur (« Core Damage Frequency CDF ») $< 10^{-4} \text{ a}^{-1}$ est clairement respecté par toutes les centrales nucléaires suisses. Les analyses se sont déroulées en tenant compte de tous les événements initiateurs importants aux niveaux interne et externe pour des accidents avec endommagement du cœur du réacteur.

3.1.1 Fréquences des rejets

L'objectif fixé par l'AIEA d'une fréquence moyenne des rejets précoces massifs (LERF) $< 10^{-5} \text{ a}^{-1}$ est clairement respecté par toutes les centrales nucléaires suisses.

Les travaux d'analyse des centrales pour la vérification des scénarios de référence /16/ se basent sur les modèles d'EPS actuels. L'IFSN a examiné les données quant à leur plausibilité et peut les confirmer dans les grandes lignes.

3.1.2 Scénarios de rejet à la suite d'un accident avec endommagement du cœur

Suite à un endommagement du cœur, une partie de l'inventaire radioactif du cœur sera acheminée dans un premier temps dans l'enceinte de confinement. Ce processus se déroulera soit via des conduites ouvertes ou des soupapes d'arrêt ou encore à la suite d'une défaillance de la cuve de pression (par exemple en raison d'une fusion au travers de la calotte de fond de cuve). Les développements accidentels possibles dépendent fortement de l'événement initiateur et des mesures prises en matière de gestion d'accident grave (Severe Accident Management SAM). Les scénarios possibles peuvent être regroupés de la manière suivante :



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

Tableau 2 : scénarios de rejet lors d'accidents avec endommagement du cœur

Scénario	Processus physiques	Conséquences radiologiques
S(mall)	<ul style="list-style-type: none">Après la survenue d'un endommagement du cœur, le refroidissement est rapidement rétabli :Le cœur reste dans une large mesure apte à être refroidi et à l'intérieur de la cuve de pression :Rejet d'une partie de l'inventaire du cœur dans l'enceinte de confinement par des soupapes ouvertes ou des conduites défectueuses :La pression dans l'enceinte de confinement reste en-dessous des valeurs de dimensionnement.	<ul style="list-style-type: none">Rejet de radioactivité dans l'environnement via des fuites conformes à la conception ou de petites ouvertures non isolables :Le terme source est plus grand que lors du scénario A1 mais plus petit que dans le scénario A2.
F(iltered)	<ul style="list-style-type: none">Interruption plus longue du refroidissement du cœur :Rejet plus important de l'inventaire du cœur dans l'enceinte de confinement que dans le scénario S, soit par des conduites ou soupapes ouvertes ou à la suite d'une fusion au travers de la calotte de fond de cuve :Perte de plus longue durée des systèmes de diminution de la pression dans l'enceinte de confinement, il en résulte par-là une augmentation de pression au-dessus de la valeur de dimensionnement :Décompression filtrée passive en raison de la rupture des disques d'éclatement ou menée manuellement.	<ul style="list-style-type: none">Rejet radioactif via le système de décompression filtrée de l'enceinte de confinement :Réduction du terme source de l'enceinte de confinement de plusieurs ordres de grandeur pour l'iode et les aérosols :Les gaz rares ne sont pas filtrés :Le terme source correspond au scénario A2, cependant la capacité de rétention du laveur humide est fixée de manière très conservatrice dans le scénario de référence A2.
L(arge)	<ul style="list-style-type: none">Processus dans le circuit de refroidissement du réacteur et rejet dans l'enceinte de confinement semblables à ceux du scénario F :L'intégrité de l'enceinte de confinement n'est pas assurée à la suite d'un événement externe ou d'une ouverture ne pouvant être refermée.	<ul style="list-style-type: none">Rejet non filtré :Le terme source dépend des processus dans l'enceinte de confinement, du succès de mesures de gestion d'accident (SAM) et de la taille de l'ouverture (dérivation/bypass de l'enceinte de confinement) :Le terme source est plus important que dans le scénario A2.

L'illustration 1 montre avec quelle répartition de fréquence les scénarios S, F et L surviennent de manière cumulée dans les centrales. Les données des centrales ont été prises en compte en rapport avec /16/ pour l'évaluation. Il ressort de l'analyse des données quantitatives, indépendantes de chaque site et type de réacteur, sur les conséquences radiologiques possibles d'accidents de fusion du cœur.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

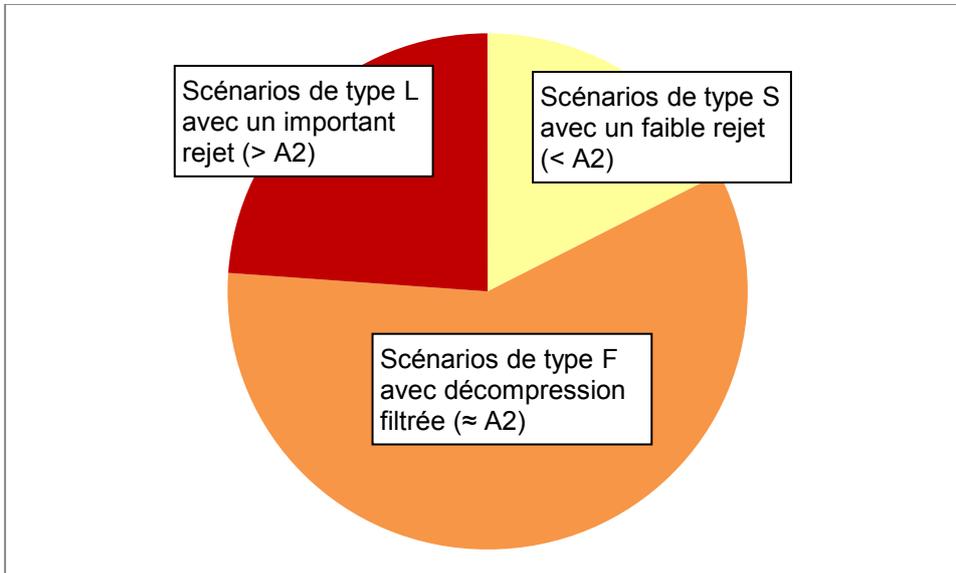


Illustration 1 : répartition des fréquences de scénarios de rejet pour accidents avec endommagement du cœur (toutes les centrales nucléaires suisses).

La plus grande partie de loin des accidents avec endommagement du cœur conduirait donc soit à un faible rejet (type S) soit à un rejet de type F (décompression filtrée de l'enceinte de confinement). Les résultats illustrent la signification importante et l'efficacité des mesures appliquées dans les centrales nucléaires suisses pour la conception de la dernière barrière (confinements primaire et secondaire) pour la gestion d'accidents graves (SAM) et l'atténuation des conséquences de l'accident (décompression filtrée de l'enceinte de confinement).

La fréquence cumulée de rejets de type L pour toutes les cinq installations correspond à environ 10^{-5} par an. Les résultats disponibles confirment que des scénarios avec décompression filtrée de l'enceinte de confinement ont une grande importance pour la planification d'urgence. Les accidents avec endommagement du cœur impliquant des termes sources semblables ou plus importants que le scénario A3 selon l'illustration 1 ne peuvent survenir en cas de rejet non filtré qu'à la suite d'une enceinte de confinement endommagée ou de fuites importantes.

Les illustrations suivantes montrent les fréquences d'occurrence spécifiques aux groupes de nucléides dérivées des analyses de l'EPS avec et sans prise en compte de séismes extrêmes. L'illustration 2 présente les résultats pour le groupe de nucléides « iode » : l'illustration 3 pour le groupe de nucléides « aérosols ».



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

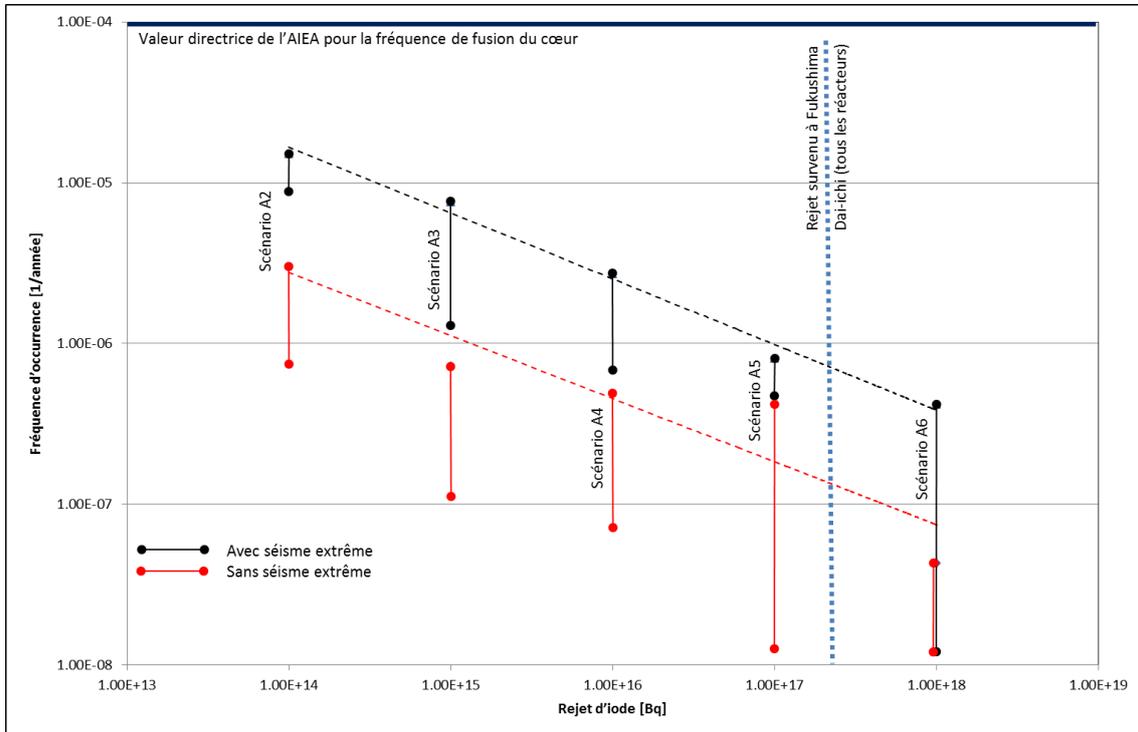


Illustration 2 : fréquence d'occurrence de rejets du groupe de nucléides « iode » avec (en noir) et sans (en rouge) séisme extrême.

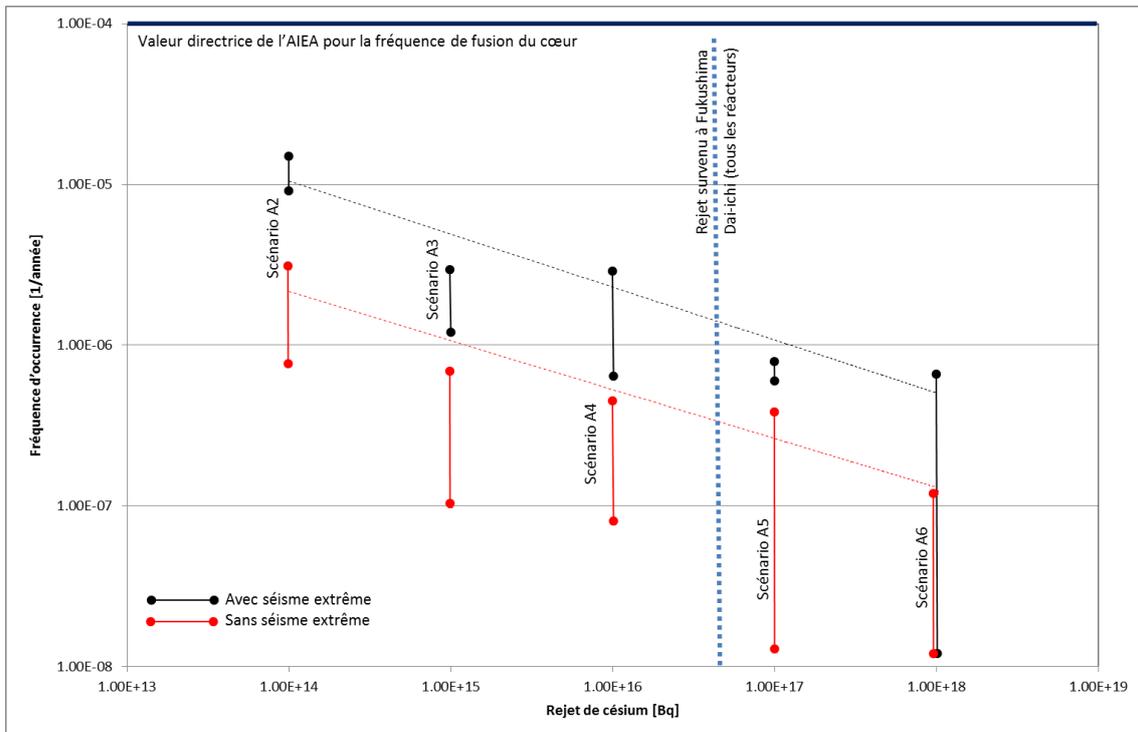


Illustration 3 : fréquence d'occurrence de rejets du groupe de nucléides « aérosols » avec (en noir) et sans (en rouge) séisme extrême.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

Les enseignements suivants peuvent être déduits de l'évaluation :

- Toutes les installations nucléaires suisses se situent nettement en-dessous de la fréquence de fusion du cœur de l'AIEA correspondant à 10^{-4} par an : même en tenant compte d'événements externes rares.
- Avec l'EPS, des termes sources très importants, comme par exemple ceux de Fukushima, sont quantifiables. Ils résultent principalement de tremblements de terre extrêmes.
- Plus un terme source est élevé, plus faible sera sa fréquence d'occurrence. Des scénarios avec les termes sources A2 et A3 sont dominants.
- La fréquence d'occurrence d'importants rejets est plus basse d'un facteur 5 à 10 sans prise en compte de séismes extrêmes.
- Une déduction issue des rejets de gaz rares correspond au fait que la quantité de gaz rares correspondant aux réacteurs de la classe de $1000 \text{ MW}_{\text{th}}$ ($3 \cdot 10^{18} \text{ Bq}$) est à utiliser pour le terme source de référence A3.

En résumé, il apparaît que la partie la plus importante des scénarios d'accident possibles est couverte par les termes sources A2 et A3. Des rejets avec des termes sources plus importants sont nettement plus improbables et sont en corrélation directe avec la fréquence d'occurrence de séismes extrêmes.

3.1.3 Début du rejet

La durée de la phase d'alerte est d'importance capitale pour l'applicabilité du concept suisse de protection d'urgence. Il s'agit de la durée entre l'événement initiateur d'un accident avec endommagement du cœur et le début d'un rejet dans des proportions menaçantes (début du rejet). L'IFSN a ainsi requis des études probabilistes concernant la probabilité d'occurrence de rejets précoces (phases d'alerte de deux, quatre et six heures). Ces analyses se concentraient sur les termes sources d'accidents A3 à A6. Des analyses sur le début de rejet pour le terme source A2 n'ont pas été exigées.

L'illustration 4 montre les fréquences d'occurrence pour des rejets précoces avec et sans prise en compte de séismes extrêmes. Pour les périodes de rejets 0 - 2 h, 0 - 4 h et 0 - 6 h, la valeur la plus défavorable de toutes les centrales nucléaires a à chaque fois été indiquée. La fréquence d'occurrence de rejets plus précoces sera présentée en relation avec les termes sources A3 à A6.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

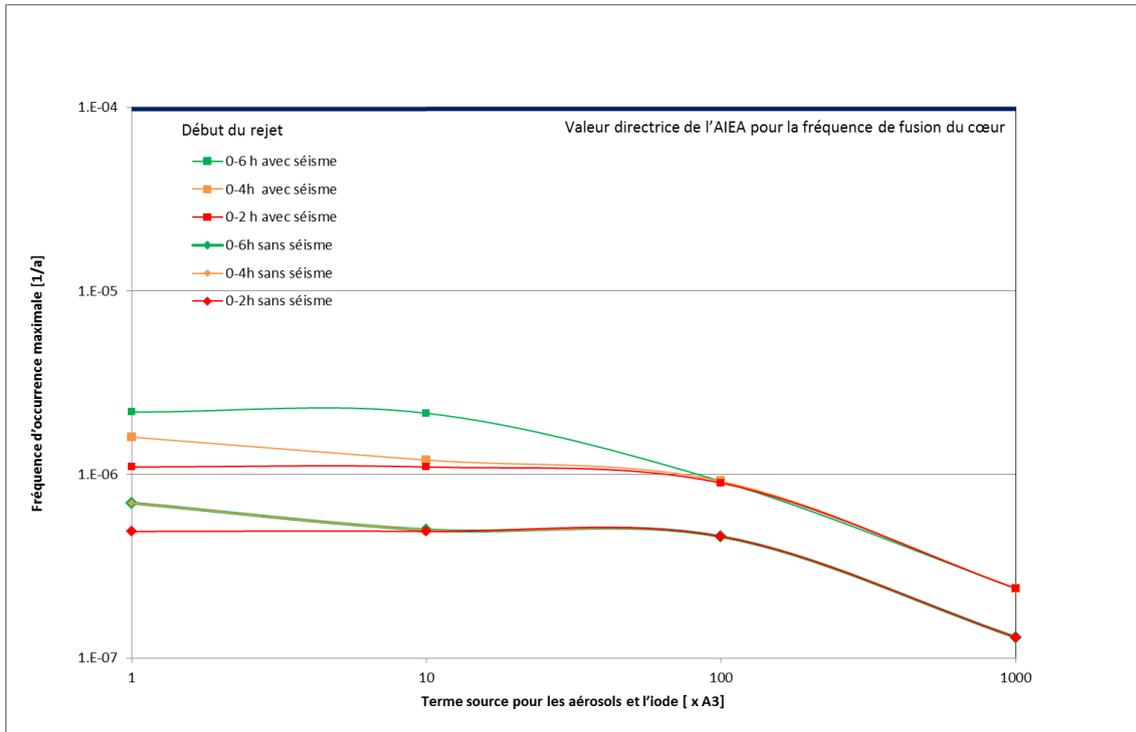


Illustration 4 : fréquence d'occurrence pour des rejets précoces en rapport avec les termes sources A3 à A6 avec et sans prise en compte de séismes extrêmes.

Les enseignements suivants peuvent être déduits de ces évaluations :

- La fréquence d'occurrence pour un rejet précoce d'un terme source important (début du rejet se produisant avant six heures) se situe presque deux ordres de grandeur sous la valeur directrice de l'AIEA pour la fréquence de fusion du cœur : même si la chute d'un avion ou un séisme extrême est pris en compte. Pour des termes sources importants, comme à Fukushima par exemple, la fréquence d'occurrence d'un rejet précoce est inférieure à une fois chaque million d'années.
- La fréquence d'occurrence de rejets précoces baisse en fonction de l'importance du terme source.
- Pour les termes sources modèles analysés, la fréquence d'occurrence pour des rejets précoces est nettement plus basse sans prise en compte de séismes extrêmes.
- En cas de prise en compte complète de tous les événements initiateurs et en fonction des caractéristiques de sécurité des installations spécifiques, aucune tendance dominante en matière de début du rejet ne se dessine dans les scénarios avec termes sources importants.

Les quatre accidents de fusion du cœur dans des réacteurs à eau légère de conception occidentale sont survenus à TMI (1979) et dans les tranches 1 à 3 de Fukushima (2011). Ils avaient à chaque fois de longues phases d'alerte jusqu'au début des rejets. Les analyses d'EPS des centrales nucléaires suisses montrent en revanche que des scénarios d'accident sont possibles lors de certains événements extrêmes qui peuvent conduire à des termes sources importants et des rejets plus précoces.

En tenant compte des enseignements de Fukushima et des analyses d'EPS des centrales nucléaires suisses, il est proposé de laisser à 6 heures le début de rejet des scénarios de référence comme valeur de planification. Une meilleure préparation à des scénarios avec un rejet plus précoce doit toutefois être prévue.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

3.1.4 Durée du rejet

La durée d'un rejet dépend du déroulement de l'accident de fusion du cœur et de l'état de la dernière barrière. Des rejets via le système de décompression filtrée de l'enceinte de confinement sont maîtrisables par rapport à la durée et de manière limitée par rapport au début du rejet. D'importants rejets dus à des fuites de la dernière barrière (scénarios A3 à A6) ne peuvent en revanche pas être gérés relativement à leur dimension temporelle. Si la pression augmente dans l'enceinte de confinement en raison de la progression de l'accident de fusion du cœur, un rejet radioactif vers l'environnement provoqué par une différence de pression a lieu.

Une évaluation systématique de la durée des rejets n'a pas été requise par l'IFSN auprès des centrales /16/. Les données livrées par les centrales contiennent cependant des repères indiquant qu'en cas d'accident de fusion du cœur et d'importantes fuites dans la dernière barrière, plusieurs rejets peuvent survenir sur peu de jours après la survenue de l'accident si aucune mesure ne s'avère efficace pour la limitation de l'accident de fusion du cœur et pour le rétablissement de l'intégrité de la dernière barrière ou l'atténuation des rejets.

D'un autre côté, l'accident de Fukushima a montré que même après les conséquences d'une catastrophe naturelle extrême et d'une préparation d'urgence insuffisante, des contre-mesures pouvaient être prises après quelques temps avec succès. En raison du haut niveau de préparation des centrales nucléaires suisses (organisation d'urgence et SAMG préparées), l'IFSN part du principe que des rejets significatifs au-delà de 48h ne sont envisageables dans une installation suisse que dans des cas extrêmes.

Il est donc proposé de fixer un intervalle allant de 2 heures à 48 heures pour la durée de rejet du scénario de référence.

3.2 Conséquences radiologiques

3.2.1 Calculs de DOSE

La dose efficace pour adultes après deux jours et la dose à la glande thyroïde pour enfants en bas âge à la suite de l'inhalation d'iode lors du passage du panache sont présentées et discutées en tant que résultats des calculs. Les calculs ont été à chaque fois réalisés avec les mêmes conditions cadres, à savoir un séjour non protégé à l'air libre lors de conditions météorologiques diverses. Les hypothèses très conservatives du programme DOSE ont conduit à ce que les doses consécutives soient systématiquement surestimées.

L'illustration 5 montre les doses efficaces accumulées en deux jours à l'air libre par les adultes en cas de situation météorologique moyenne en rapport avec la distance du lieu de l'accident pour les scénarios A2 à A6.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

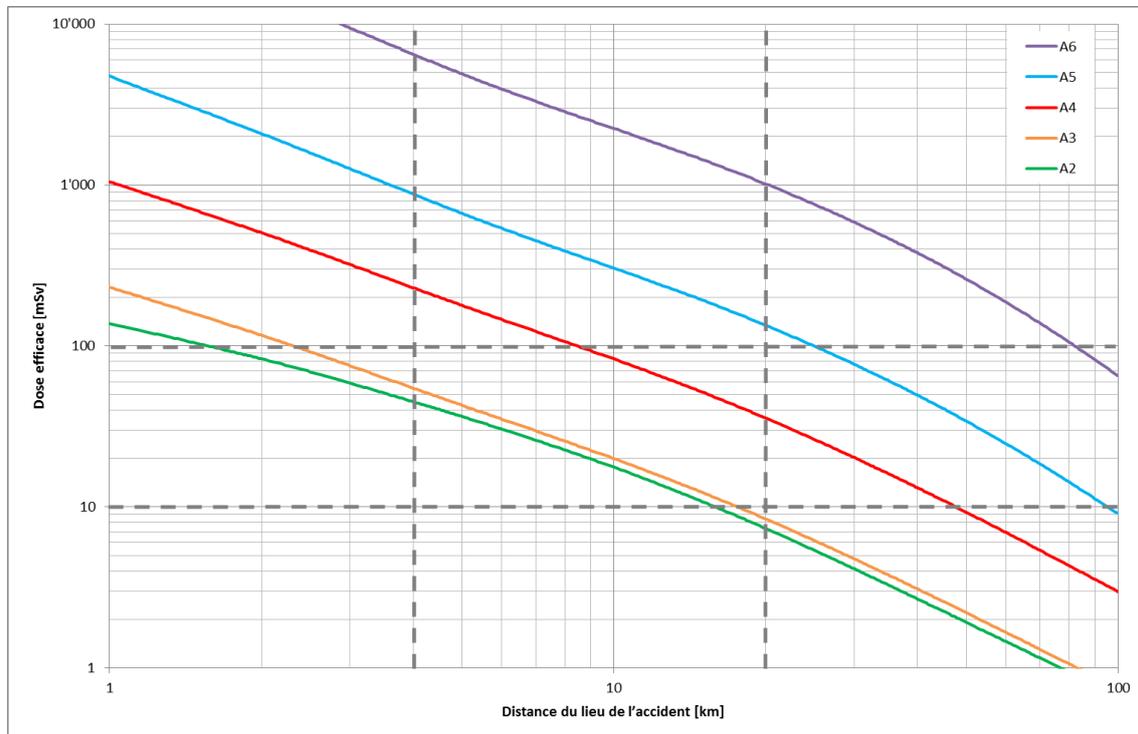


Illustration 5 : dose efficace pour adultes sur les deux jours après le début du rejet

Les scénarios A2 et A3 se différencient principalement par rapport à des distances inférieures à cinq kilomètres de la source. Une personne recevrait une dose d'environ 75 mSv en cas de séjour non protégé à l'air libre à la distance de trois kilomètres dans le scénario A3 : dans le scénario A2 environ 50 mSv. A une distance de 20 kilomètres, elle recevrait 8 mSv, respectivement 7 mSv.

Les doses efficaces pour des termes sources dans l'ordre de grandeur de Fukushima sont comme prévu significativement plus élevées. A 20 km de distance, plus de 100 mSv seraient accumulés en deux jours lors d'un séjour non protégé. A quatre km de distance, la dose efficace s'élèverait à 1000 mSv. Des débits de dose conduisant à des doses aussi élevées sur deux jours n'ont été mesurés à Fukushima que sur le site de la centrale et pendant quelques heures mais pas à une distance importante des installations.

Les conditions météorologiques ont une influence essentielle sur les conséquences radiologiques. En vue d'être complet, les calculs pour des situations météorologiques différentes selon le chapitre 2.2.1 sont présentés en plus pour les scénarios A3 à A6.

Les illustrations 6 à 9 montrent que des doses plus élevées sont à attendre lors de situations météorologiques stables que lors de conditions météorologiques neutres ou instables. Il ressort de l'illustration 6 qu'en cas de situations météorologiques stables, un séjour en milieu protégé en dehors de la zone 2 devient nécessaire selon le concept des mesures à prendre en fonction des doses (CMD) pour le scénario A3 déjà.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

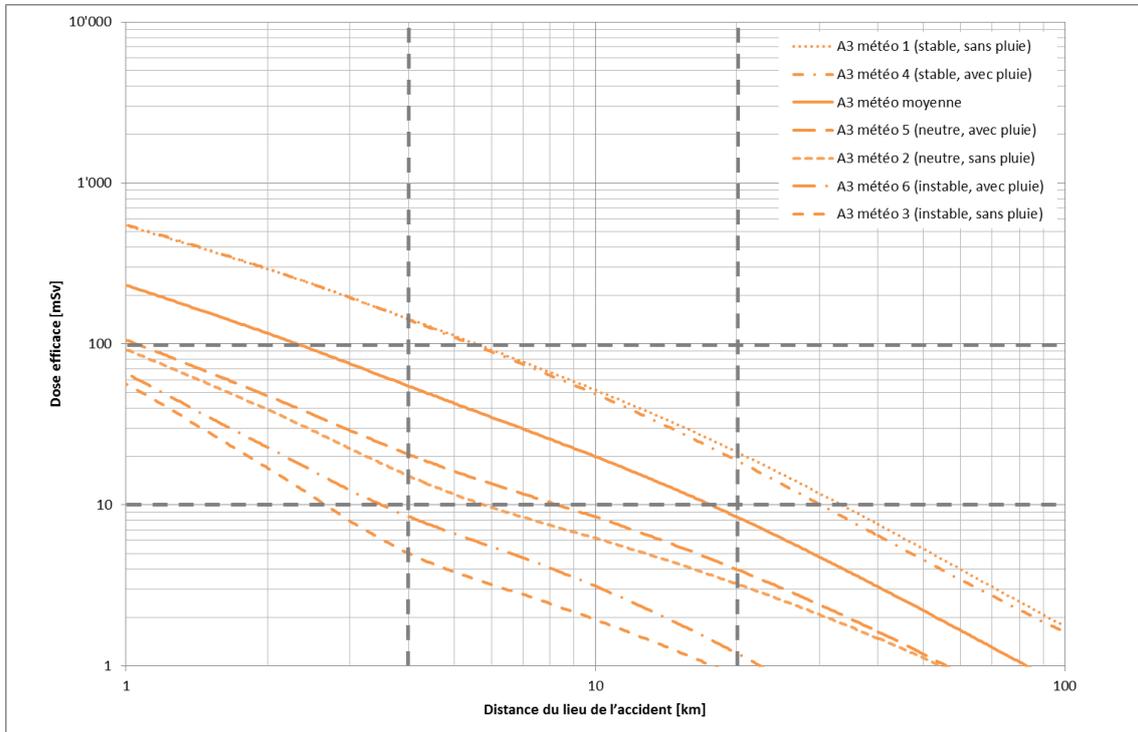


Illustration 6 : influence des différentes situations météorologiques sur la dose efficace d'adultes pour le terme source A3.

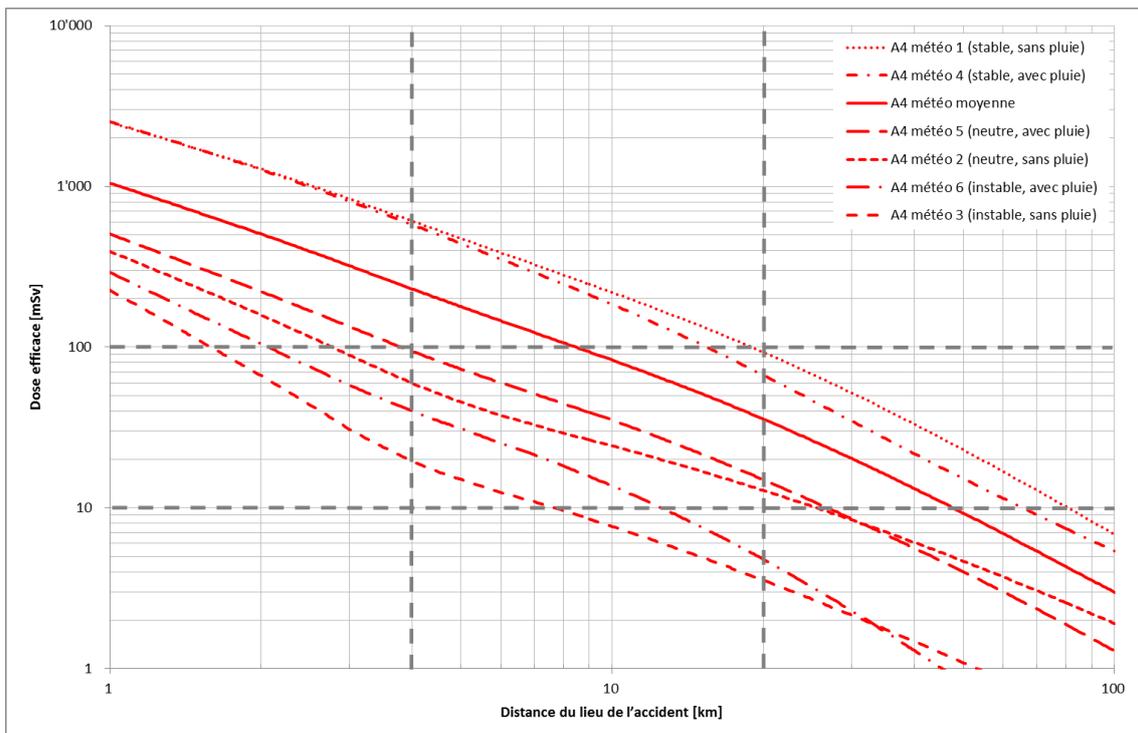


Illustration 7 : influence des différentes situations météorologiques sur la dose efficace d'adultes pour le terme source A4.



Classification :
Dossier/Référence :
Titre :

INTERNE
10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
04.12.2013 / VAR/MEH

Date/Dossier traité par :

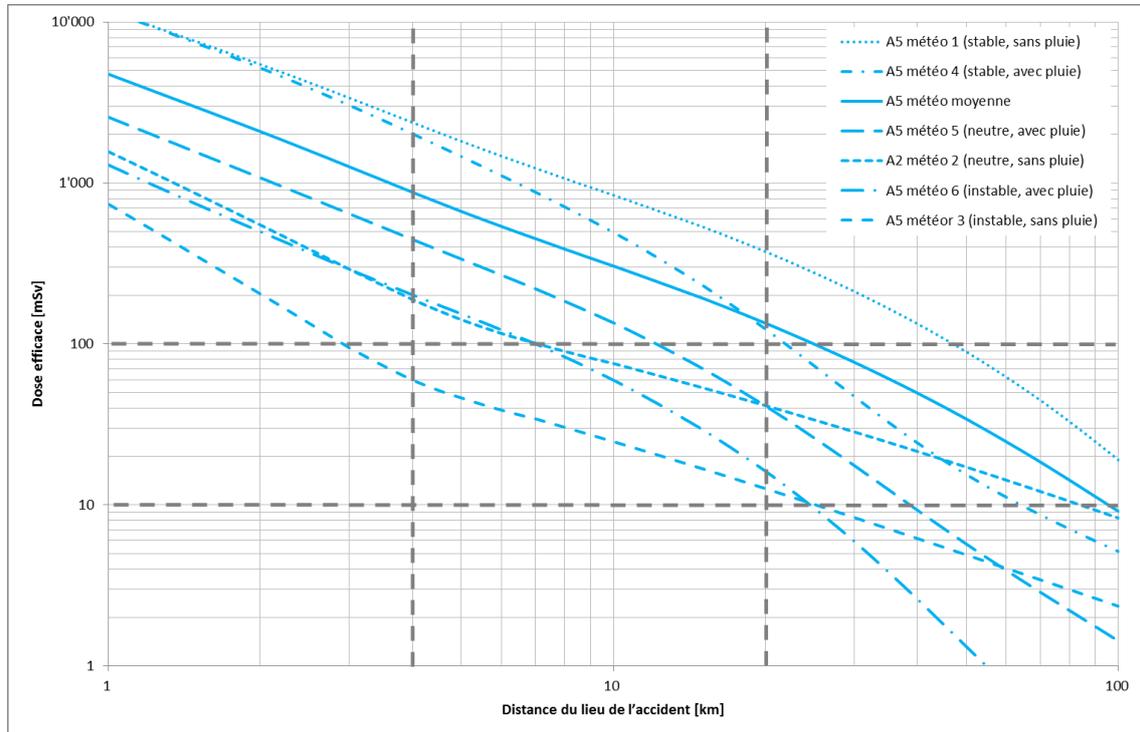


Illustration 8 : influence des différentes situations météorologiques sur la dose efficace d'adultes pour le terme source A5.

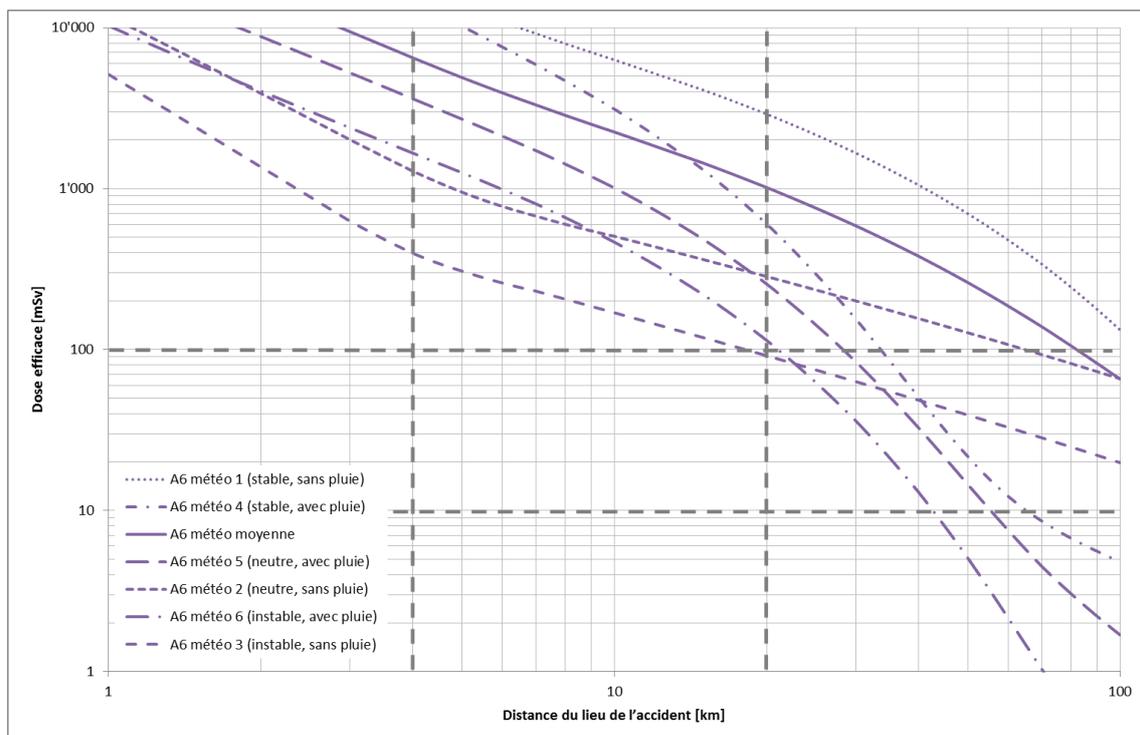


Illustration 9 : influence des différentes situations météorologiques sur la dose efficace d'adultes pour le terme source A6.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

La dose à la thyroïde (dose à l'organe) pour enfants en bas âge en cas de séjour non protégé à l'air libre est présentée dans l'illustration 10 sur la base du passage du panache comme autre repère de grandeur.

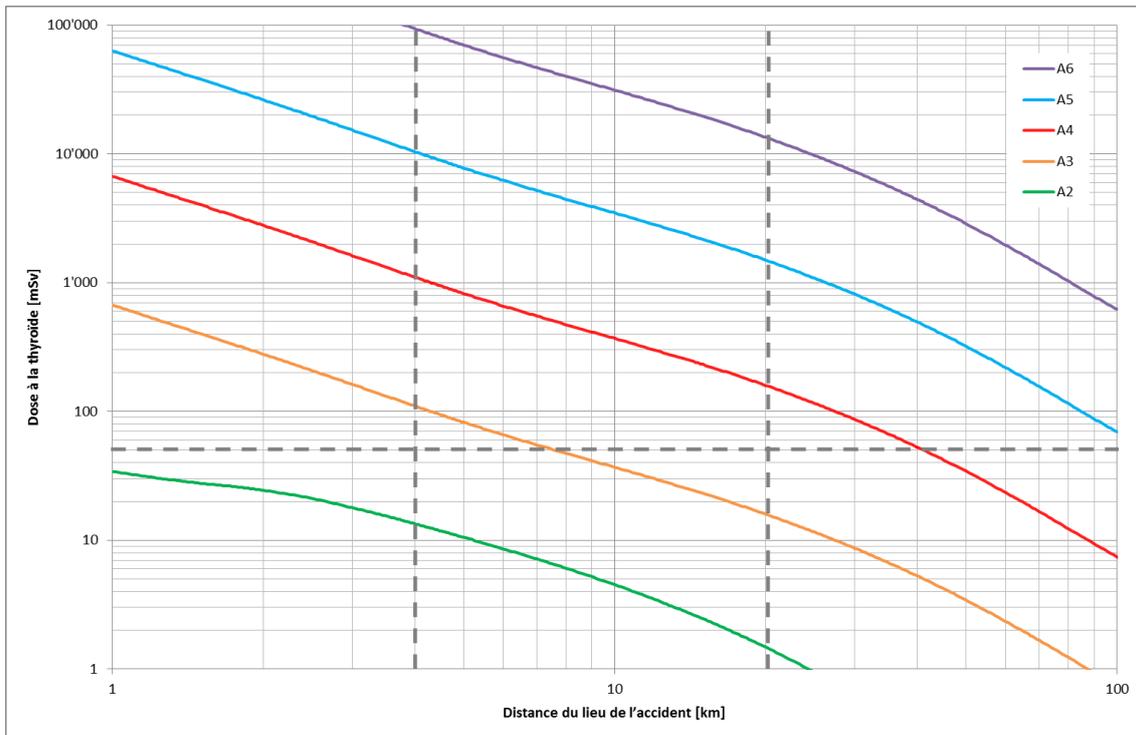


Illustration 10 : dose à la thyroïde d'enfants en bas âge suite à l'inhalation d'iode lors du passage du panache.

Des mesures de prophylaxie par l'iode ne seraient pas nécessaires pour le terme source A2 selon le concept des mesures à prendre en fonction des doses (CMD). Concernant le terme source A3, la prise de comprimés d'iode serait nécessaire jusqu'à une distance de 8km du lieu de l'accident. Des termes sources plus importants nécessitent aussi une prophylaxie par l'iode dans la zone 3 jusqu'à un ordre de grandeur de 100 km.

En vue d'être complet, les calculs pour des situations météorologiques différentes selon le chapitre 2.2.1 sont présentés en plus pour les scénarios A3 à A6.

Les illustrations 11 à 14 montrent que lors de situations météorologiques stables, des doses à la thyroïde plus élevées sont à attendre que lors de conditions météorologiques neutre et instable. Il ressort de l'illustration 11 que lors d'une situation météorologique défavorable, le seuil de 50 mSv pour la prise de comprimés d'iode serait atteint au bord de la zone 2 dans le scénario A3 également.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

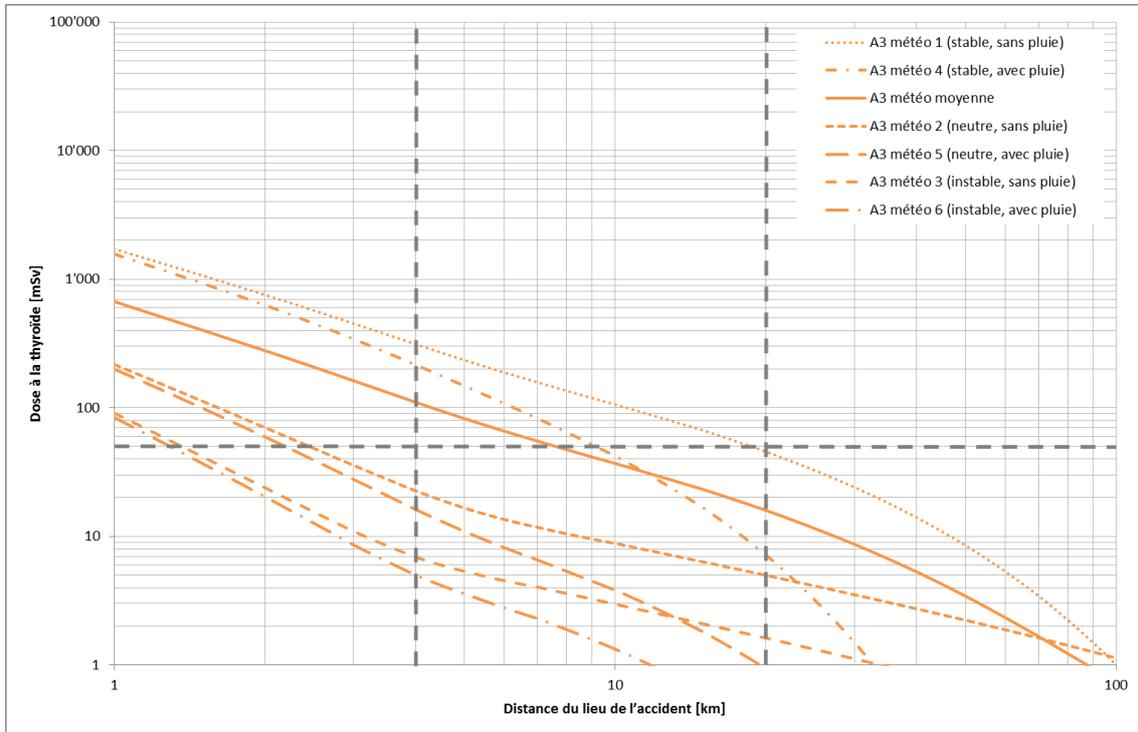


Illustration 11 : influence des différentes situations météorologiques sur la dose à la thyroïde pour des enfants en bas âge pour le terme source A3.

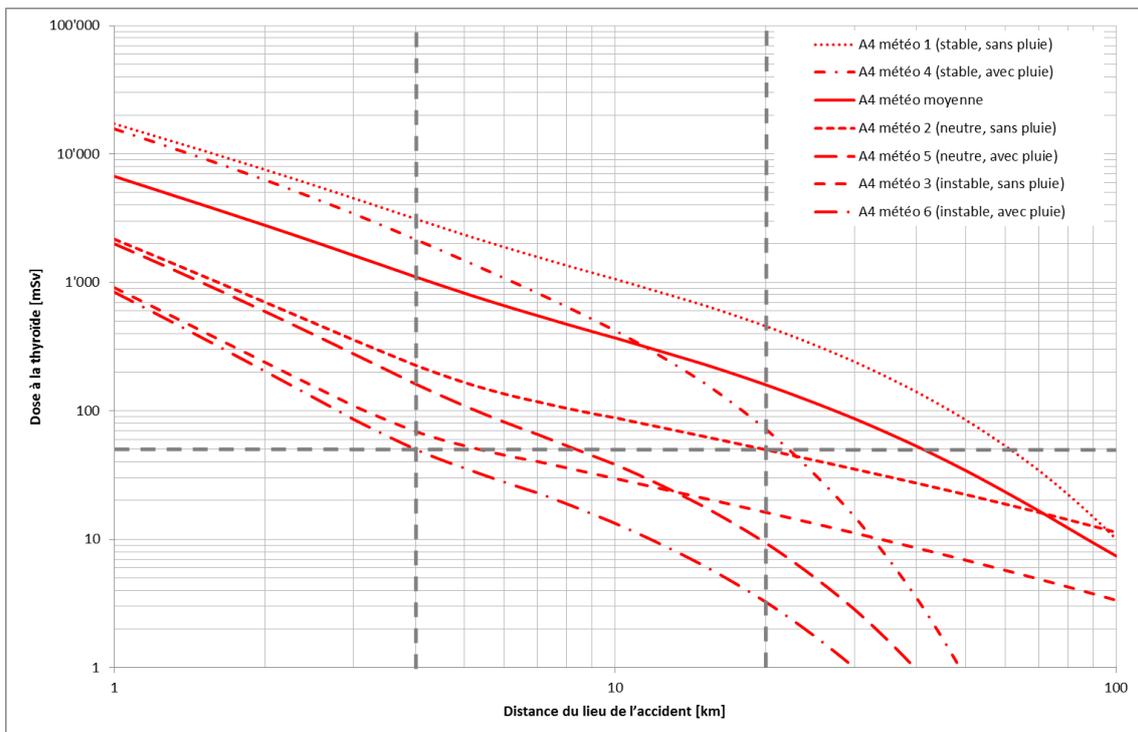


Illustration 12 : influence des différentes situations météorologiques sur la dose à la thyroïde pour des enfants en bas âge pour le terme source A4.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

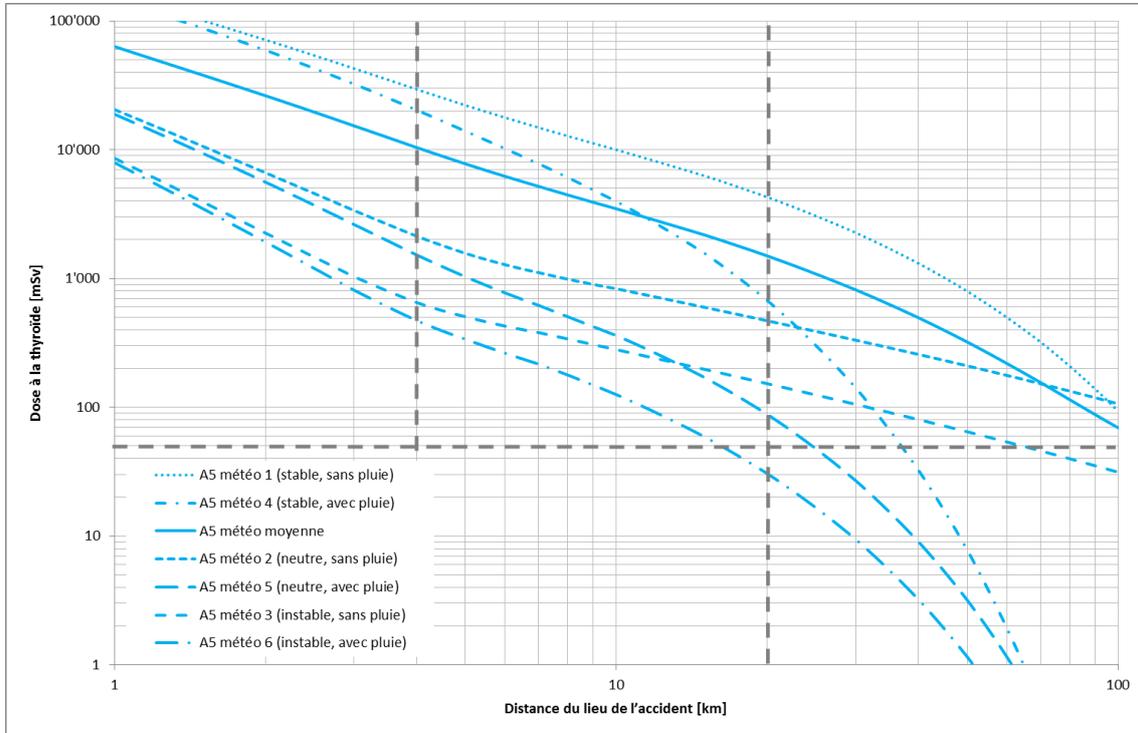


Illustration 13 : influence des différentes situations météorologiques sur la dose à la thyroïde pour des enfants en bas âge pour le terme source A5.

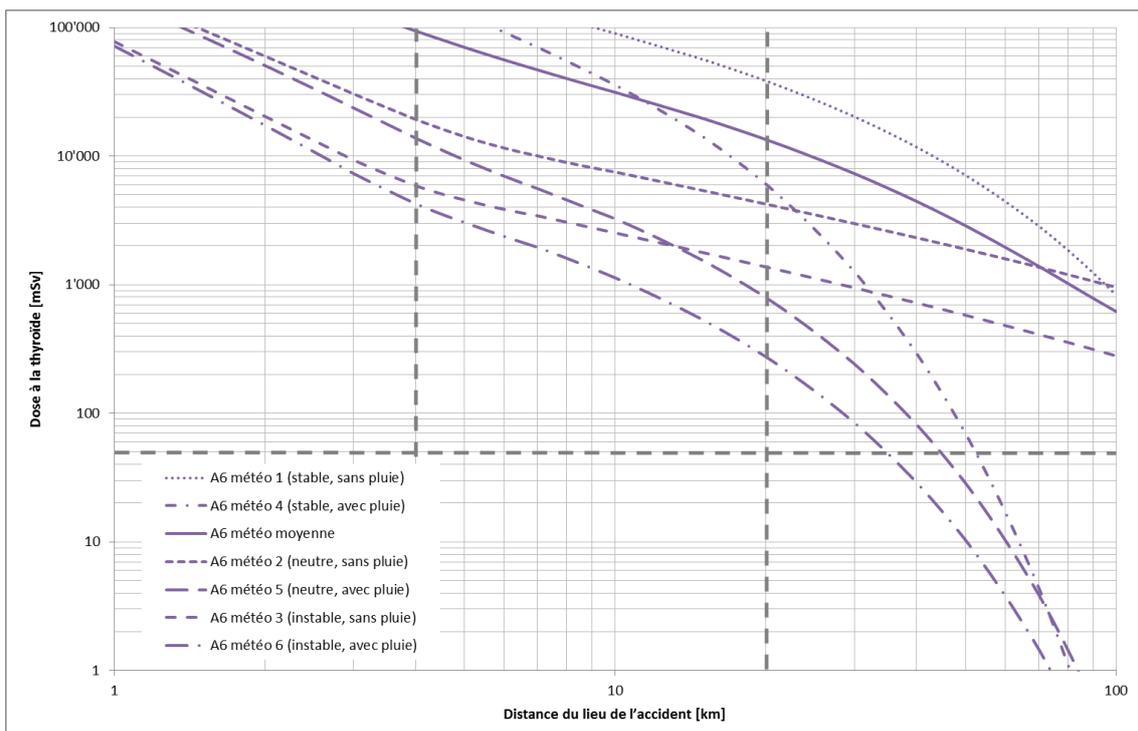


Illustration 14 : influence des différentes situations météorologiques sur la dose à la thyroïde pour des enfants en bas âge pour le terme source A6.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

3.2.2 Calculs ADPIC

Un important enseignement de l'accident de réacteur à Fukushima réside dans le fait qu'il peut y avoir des domaines en dehors des zones de planification d'urgence nécessitant des mesures de protection d'urgence. L'IFSN a donc réalisé entre octobre et novembre 2012 des calculs ADPIC pour tous les sites avec des termes sources différents pour la situation météorologique du moment. Les 6000 calculs de simulation environ permettent d'effectuer des évaluations statistiques. L'objectif était d'obtenir des renseignements sur les régions concernées dans la zone 3 dans lesquelles des mesures d'urgence devraient être prises. Ces calculs de simulation prenaient en compte :

- les quatre sites des centrales nucléaires :
- les termes sources A2 à A5 :
- les groupes de nucléides « gaz rares », « aérosols » et « iode »,
- plusieurs calculs quotidiens :
- des situations météorologiques réelles (c'est-à-dire aucune situation météorologique représentative) :
- des durées de simulation de six heures (c'est-à-dire des durées d'intégration de six heures) :
- un rejet durant deux heures.

Les illustrations 15 à 18 présentent les résultats de différentes simulations pour les centrales nucléaires spécifiques. Pour chaque scénario, les simulations sont à chaque fois présentées conduisant aux surfaces les plus petites, médianes et les plus grandes avec des doses efficaces de plus de 10 mSv.

Avec ces illustrations, l'espace pour des mesures de protection selon le concept des mesures à prendre en fonction des doses (CMD) de l'ordonnance sur l'organisation des interventions en cas d'événement ABC et d'événement naturel (RS 520.17) est représenté. Elles montrent aussi la grande variance des conséquences lors de situations météorologiques différentes.

Dans les illustrations 15 à 18, les régions sont teintées en fonction du seuil de dose et des mesures de protection selon le CMD :

Seuil de dose	Mesure de protection
 > 1.00E+02	Evacuation préventive ou séjour en milieu protégé
 > 2.00E+01	
 > 1.00E+01	Séjour en milieu protégé (à la maison, à la cave ou dans l'abri de protection)
 > 1.00E+00	Pour les enfants, adolescents et femmes enceintes, séjour à la maison

Les flèches présentent les vecteurs de vent sur le site de la mesure : de petits cercles sont dessinés pour des vitesses de vent inférieures à 1 m/s.

Les cercles se recoupant représentent l'envergure approximative des zones 1 et 2.

Il s'avère que des conséquences radiologiques très différentes peuvent survenir en fonction des conditions du vent. Ces simulations montrent également d'une part que l'entier des zones 1 ou 2 est rarement concerné et que d'autre part des dépassements des seuils de dose pour le séjour en milieu protégé dans des régions de la zone 3 sont à prendre en compte.



Classification :
Dossier/Référence :
Titre :

INTERNE
10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
04.12.2013 / VAR/MEH

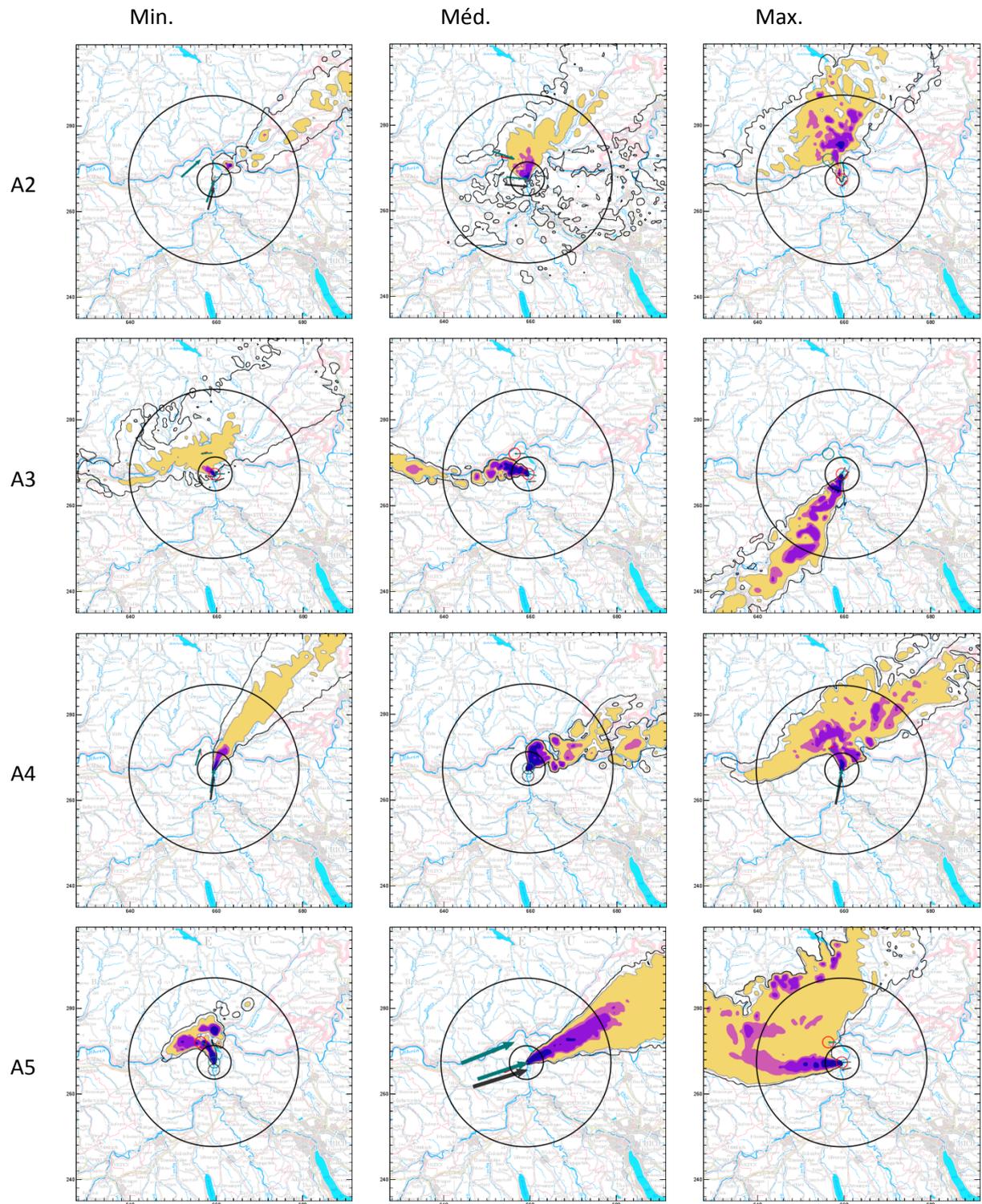


Illustration 15 : surfaces ADPIC pour la centrale nucléaire de Beznau : dose externe cumulée (rayonnements du nuage et du sol ainsi que l'inhalation).



Classification :
Dossier/Référence :
Titre :

INTERNE
10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
04.12.2013 / VAR/MEH

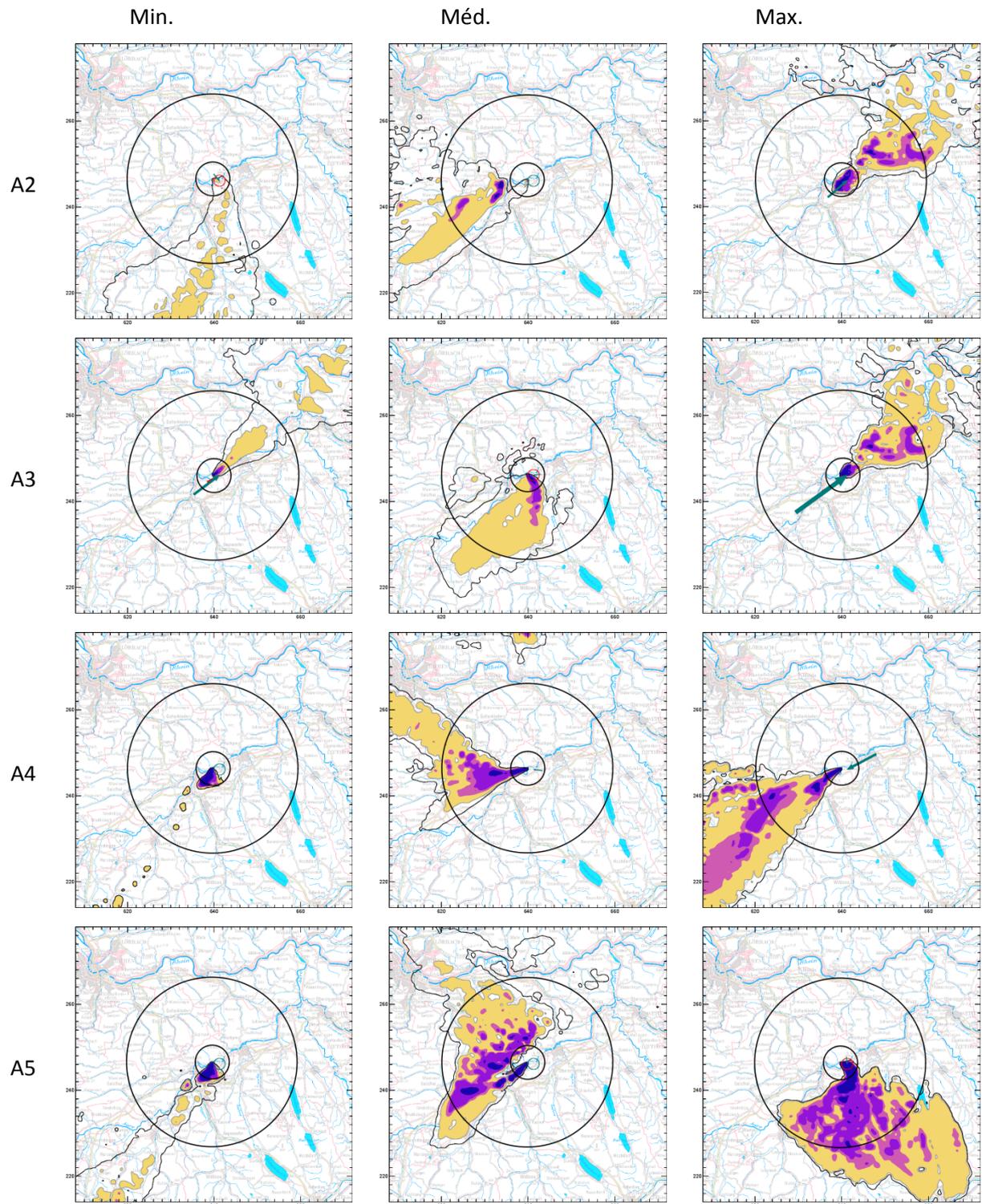


Illustration 16 : surfaces ADPIC pour la centrale nucléaire de Gösgen : dose externe cumulée (rayonnements du nuage et du sol ainsi que l'inhalation).



Classification :
Dossier/Référence :
Titre :

INTERNE
10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
04.12.2013 / VAR/MEH

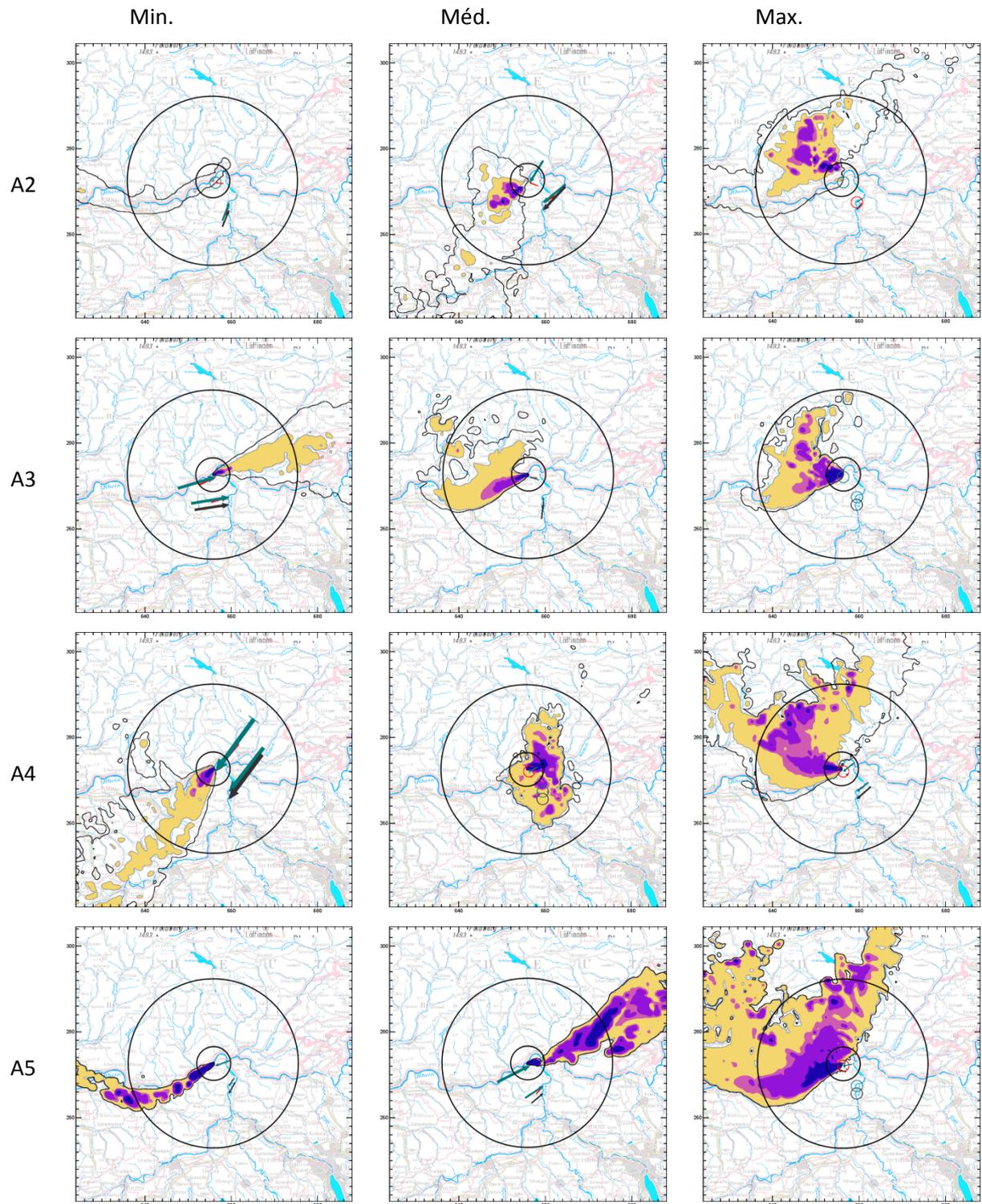


Illustration 17 : surfaces ADPIC pour la centrale nucléaire de Leibstadt : dose externe cumulée (rayonnements du nuage et du sol ainsi que l'inhalation).



Classification :
Dossier/Référence :
Titre :

INTERNE
10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
04.12.2013 / VAR/MEH

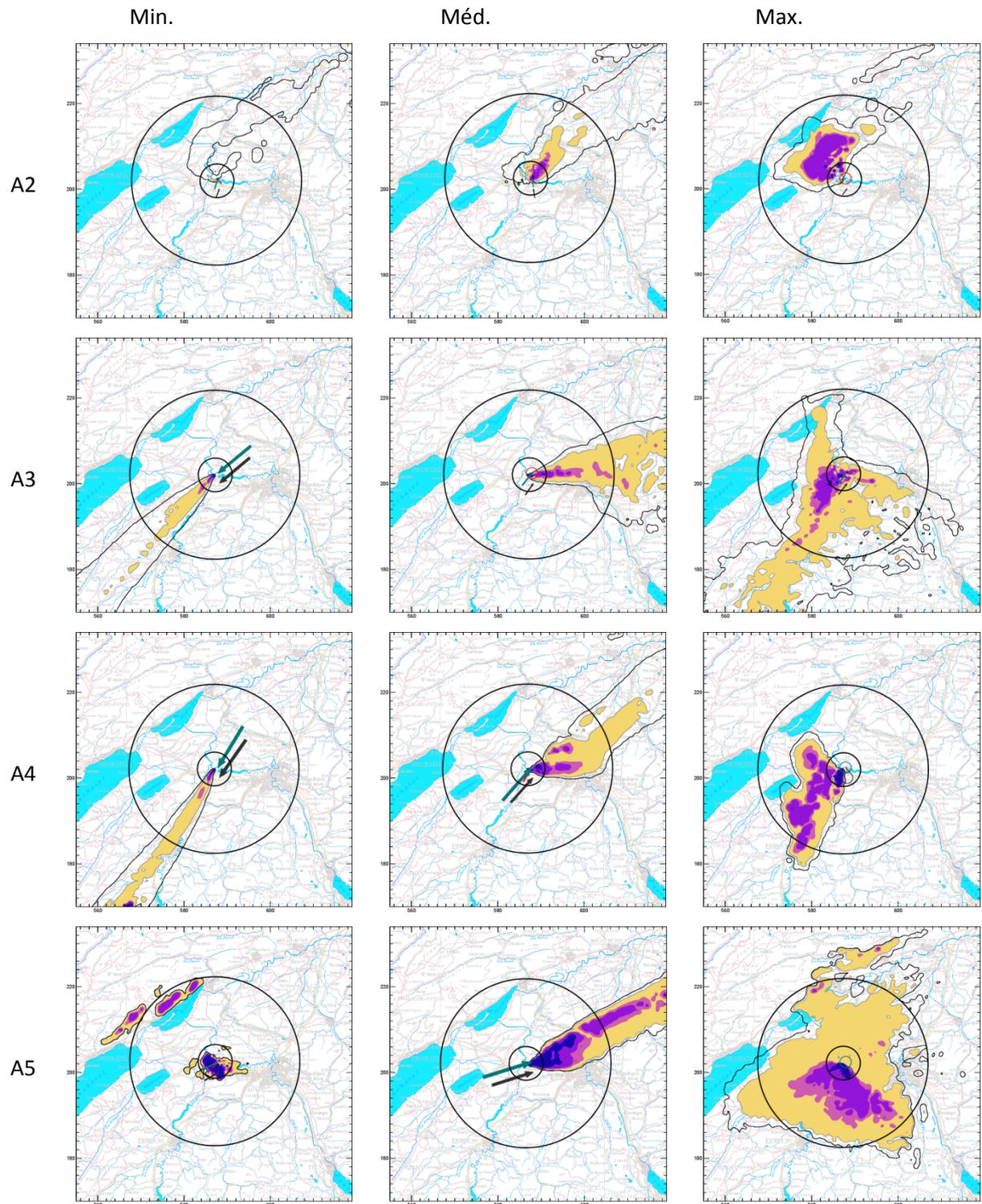


Illustration 18 : surfaces ADPIC pour la centrale nucléaire de Mühleberg : dose externe cumulée (rayonnements du nuage et du sol ainsi que l'inhalation).



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

Les illustrations 19 à 21 montrent avec quelle fréquence relative un dépassement du seuil de la dose selon le CMD est à prendre en compte dans la zone 3. La résolution du procédé permet d'identifier des régions avec des surfaces plus grandes que 0.25 km². Ces présentations ne donnent en revanche aucun renseignement sur la taille des régions concernées. La question de la présence de régions habitées n'a pas été examinée.

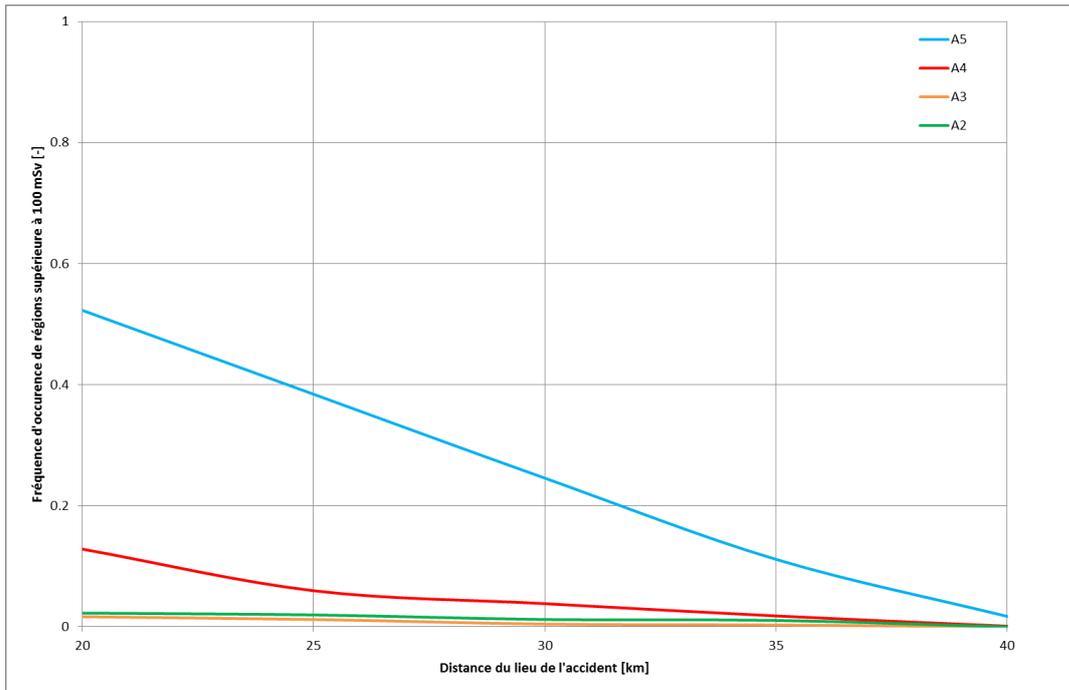


Illustration 19 : occurrence de régions concernées par des doses efficaces supérieures à 100 mSv en dehors de la zone 2 en rapport avec le terme source et la distance du lieu de l'accident.

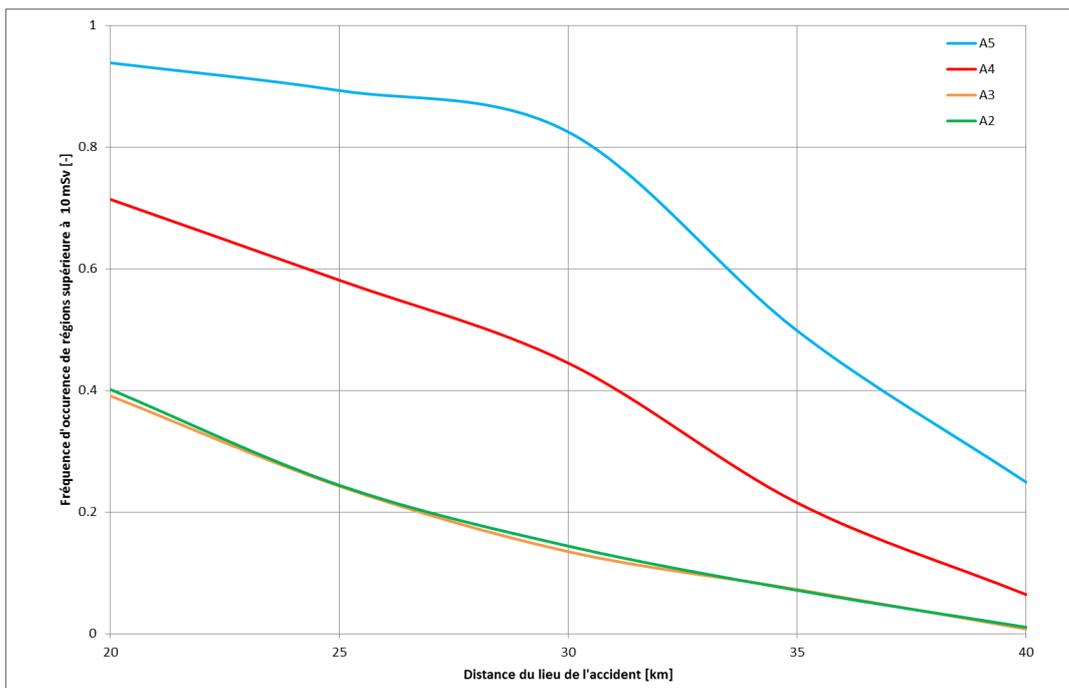


Illustration 20 : occurrence de régions concernées par des doses efficaces supérieures à 10 mSv en dehors de la zone 2 en rapport avec le terme source et la distance du lieu de l'accident.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

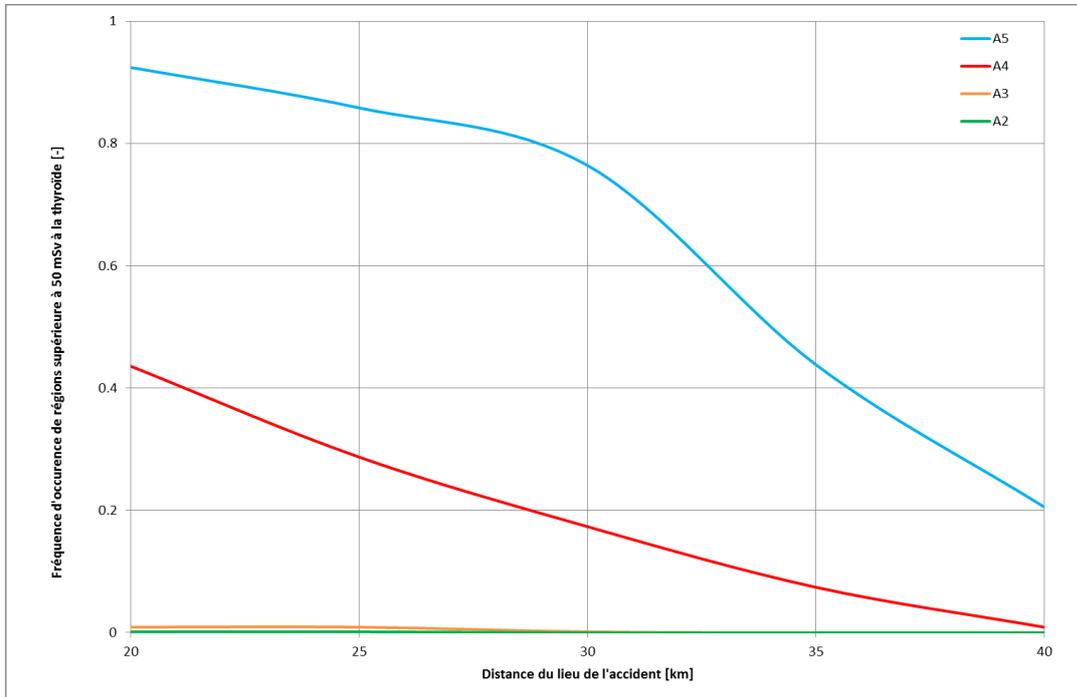


Illustration 21 : occurrence de régions concernées par des doses à la thyroïde supérieures à 50 mSv en dehors de la zone 2 en rapport avec le terme source et la distance du lieu de l'accident.

Les illustrations 22 à 24 montrent avec quelle fréquence relative une partie des surfaces de la zone 3 peut être concernée. Cette partie se calcule à partir du rapport entre la surface où un seuil de dose selon le CMD a été dépassé et les surfaces des zones 1 et 2 (environ 1256 km²).

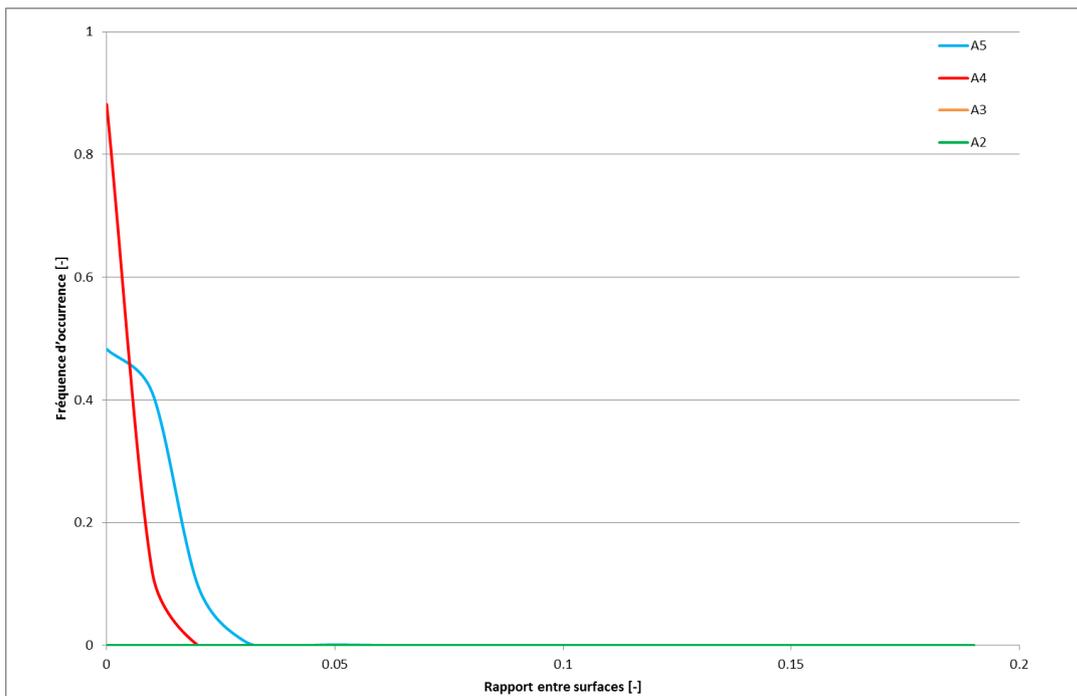


Illustration 22 : répartition de la fréquence d'occurrence pour des surfaces concernées où les doses efficaces ont dépassé 100 mSv.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

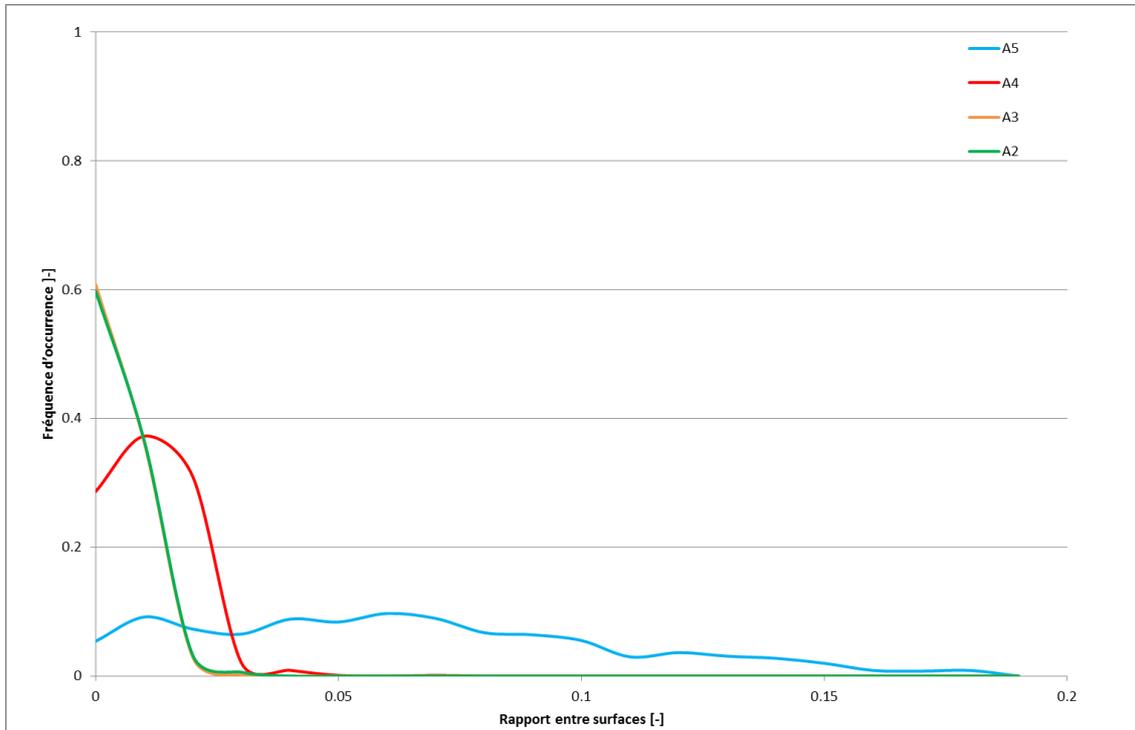


Illustration 23 : répartition de la fréquence d'occurrence pour des surfaces concernées où les doses efficaces ont dépassé 10 mSv.

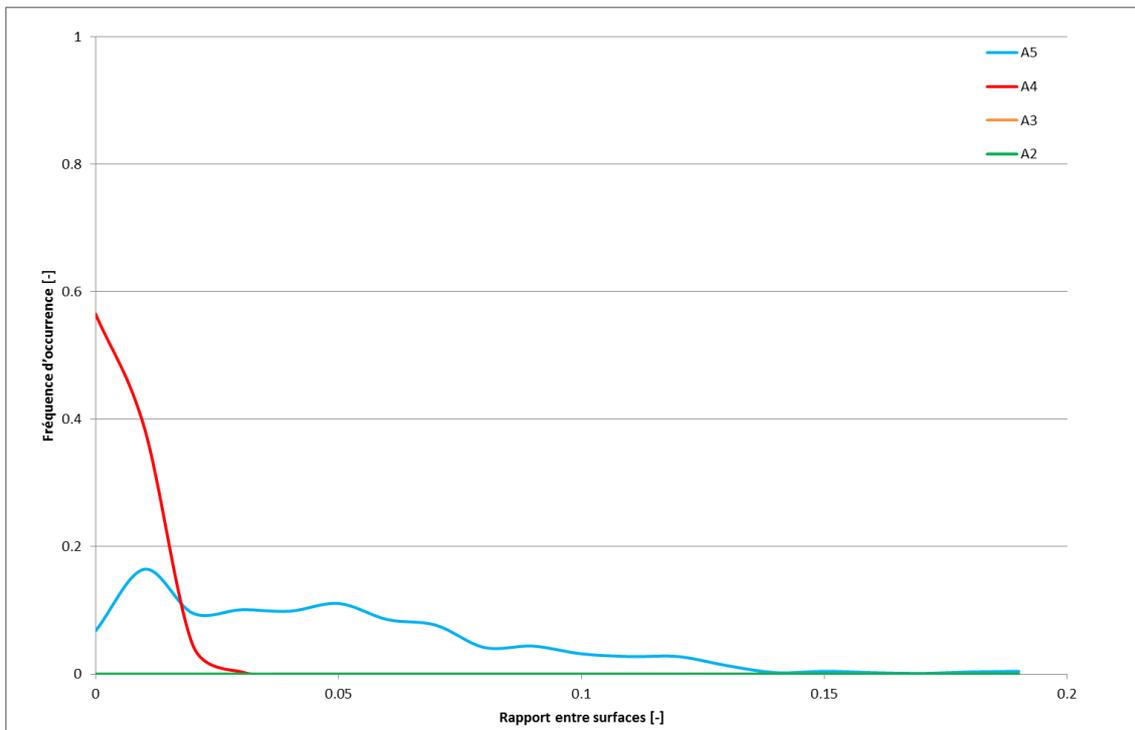


Illustration 24 : répartition de la fréquence d'occurrence pour des surfaces concernées où les doses à la thyroïde ont dépassé 50 mSv.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

Les enseignements suivants résultent des simulations avec des situations météorologiques non représentatives :

- **Régions avec une dose efficace supérieure à 100 mSv**
Lorsque de telles doses efficaces sont pronostiquées, il est nécessaire de décider si une évacuation préventive ou un séjour en milieu protégé est à ordonner. L'occurrence de régions, où des doses efficaces plus importantes que 100 mSv au-delà d'une distance de 20 km du lieu de l'accident peuvent survenir, est faible pour les termes sources A2 et A3.
- **Régions avec une dose efficace supérieure à 10 mSv**
Lors du dépassement de la dose efficace pronostiquée, le séjour en milieu protégé doit être ordonné. Des régions concernées en dehors des zones 1 et 2, où cette mesure serait nécessaire, peuvent être constatées pour tous les termes sources analysés.
- **Régions avec une dose à la thyroïde supérieure à 50 mSv**
Lors du dépassement de la dose à l'organe pronostiquée, la prise de comprimés d'iodure de potassium doit être ordonnée. L'occurrence de régions, où des doses à la thyroïde plus importantes que 50 mSv peuvent survenir en dehors de l'espace des zones 1 et 2, est pratiquement nulle pour les termes sources A2 et A3. La surface concernée est plus petite que 1 km².

Influence de rejets de longue durée

Pour cette analyse, des calculs ADPIC avec le terme source A3 et le terme source A5 100 fois plus important ont été réalisés. Ils prenaient à chaque fois en compte des durées de rejet de deux heures et de 48 heures.

Les enseignements suivants peuvent être déduits des illustrations 25 à 27 :

- Pour le terme source A3, il ne résulte pratiquement aucune différence si la même quantité de substances radioactives est rejetée sur une courte ou une longue durée.
- Concernant les seuils d'intervention pour un séjour en milieu protégé (dose efficace plus importante que 10 mSv) ou pour la prophylaxie par l'iode (dose à la glande thyroïde supérieure à 50 mSv), les régions concernées peuvent devenir plus étendues avec un terme source important (A5).
- Les régions concernées avec des doses efficaces supérieures à 100 mSv sont plus petites que 20 km² environ pour le terme source A3, indépendamment de la durée de rejet. En cas de terme source A5 100 fois plus important, la surface concernée est dans tous les cas inférieure à 120 km², ce qui correspond à un dixième de la surface des zones 1 et 2. Pour ce terme source important, respectivement cette dose, il ne résulte aucune dépendance entre la taille de la région concernée et la durée du rejet.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

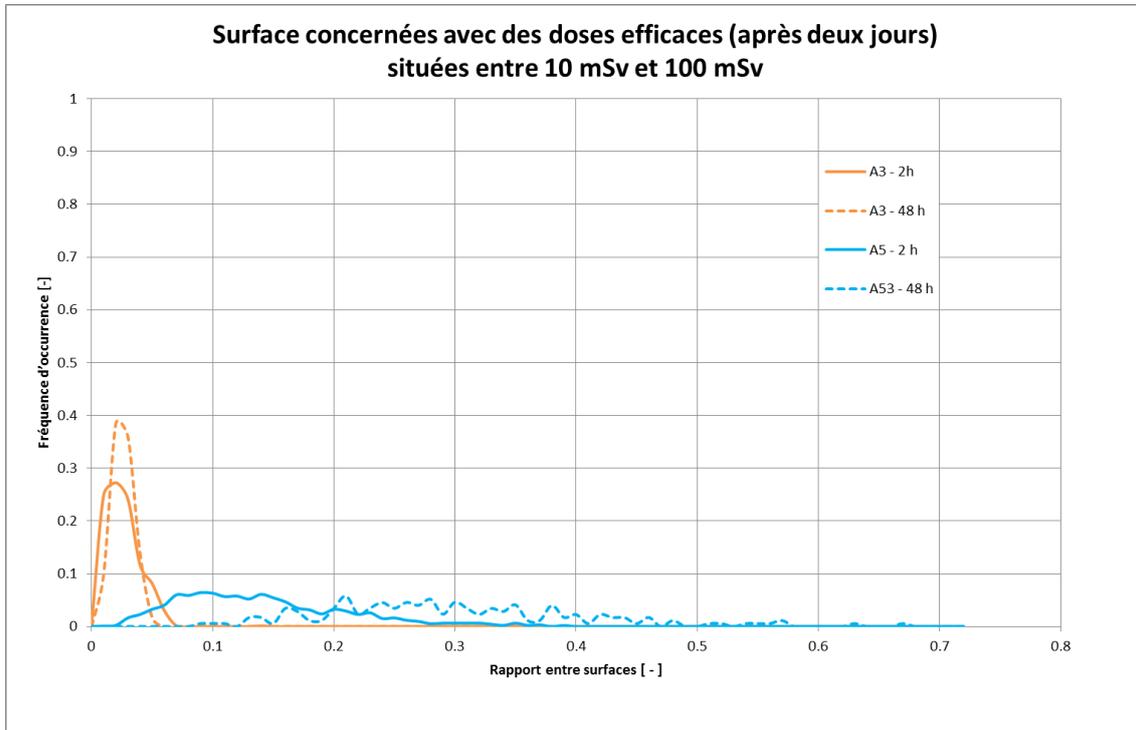


Illustration 25 : surfaces concernées avec des doses efficaces (après deux jours) situées entre 10 mSv et 100 mSv.

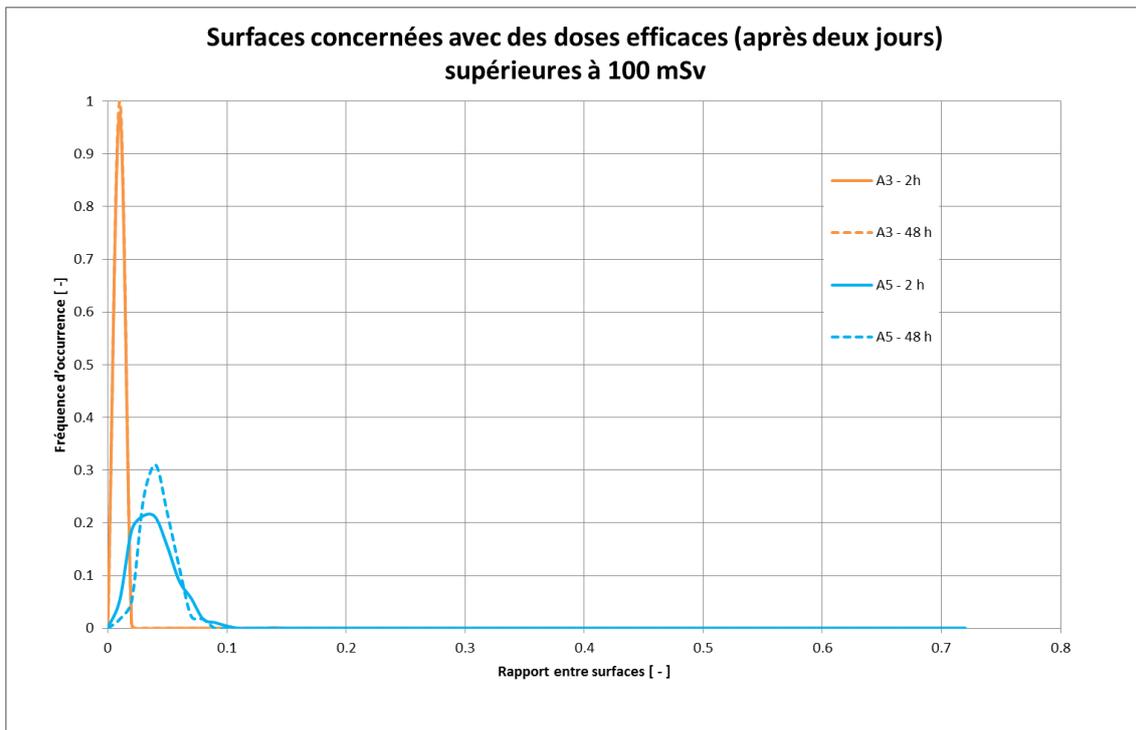


Illustration 26 : surfaces concernées avec des doses efficaces (après deux jours) supérieures à 100 mSv.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

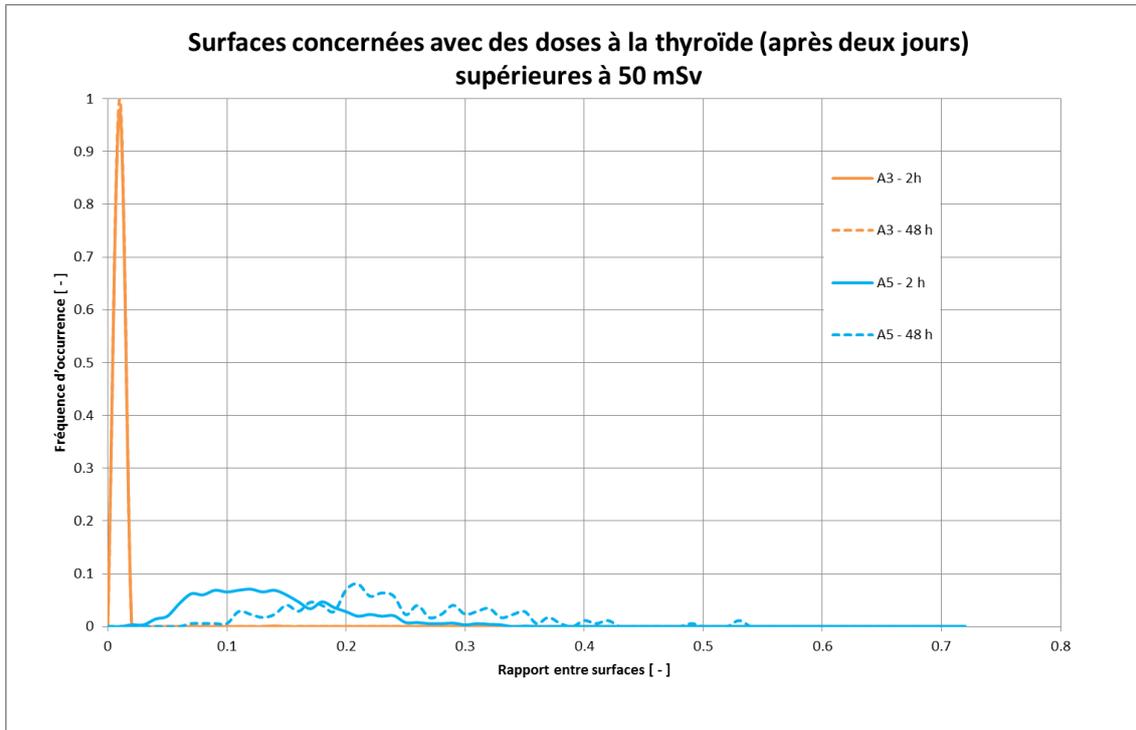


Illustration 27 : surfaces concernées avec des doses à la thyroïde (après deux jours) supérieures à 50 mSv.

4 Résumé

L'IFSN a complété les scénarios de référence actuels avec trois nouveaux termes sources plus importants (parts de rejet comparées à l'inventaire du cœur d'une installation de 3000 MW_{th} entre parenthèses : pour les aérosols, une valeur pour le césium a été indiquée) :

Scénario		A1	A2	A3
Début du rejet		0 h	6 h	6 h
Durée du rejet		8 h	2 h	2 - 48 h
Terme source	Gaz rares	10 ¹⁶ Bq (8·10 ⁻⁴)	3·10 ¹⁸ Bq (3·10 ⁻¹)	3·10 ¹⁸ Bq (3·10 ⁻¹)
	Iode	10 ¹² Bq (4·10 ⁻⁸)	10 ¹⁴ Bq (7·10 ⁻⁶)	10 ¹⁵ Bq (7·10 ⁻⁵)
	Aérosols	10 ¹¹ Bq (2·10 ⁻⁹)	10 ¹³ Bq (5·10 ⁻⁷)	10 ¹⁵ Bq (5·10 ⁻⁵)
INES		≥ 2	4	6



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

Scénario		A4	A5	A6
Début du rejet		6 h	4 h	2 h
Durée du rejet		2 - 48 h	2 - 48 h	2 - 48 h
Terme source	Gaz rares	$1 \cdot 10^{19}$ Bq (1)	$1 \cdot 10^{19}$ Bq (1)	$1 \cdot 10^{19}$ Bq (1)
	Iode	10^{16} Bq ($7 \cdot 10^{-4}$)	10^{17} Bq ($6 \cdot 10^{-3}$)	10^{18} Bq ($5 \cdot 10^{-2}$)
	Aérosols	10^{16} Bq ($5 \cdot 10^{-4}$)	10^{17} Bq ($4 \cdot 10^{-3}$)	10^{18} Bq ($3 \cdot 10^{-2}$)
INES		7	7	7

Les enseignements suivants peuvent être déduits des analyses qui précèdent :

- Les scénarios A1 (sans endommagement du cœur) et A2 (avec endommagement du cœur et décompression filtrée de l'enceinte de confinement) couvrent la majeure partie des incidents attendus et devraient être maintenus.
- La fréquence cumulée de rejets avec des termes sources plus importants que pour le scénario A3 est plus petite qu'une fois tous les cent mille ans ($< 10^{-5} \text{ a}^{-1}$). Pour des rejets plus importants qu'un rejet A4, la fréquence cumulée se situe à environ une fois chaque million d'années.
- La fréquence cumulée des rejets précoces de termes sources importants (\geq terme source A3) est plus petite qu'une fois tous les cent mille ans.
- Le scénario A3 (endommagement du cœur avec rejet non filtré) est un événement parmi les accidents avec endommagement du cœur qui peut surtout survenir en raison d'effets externes. Ce scénario tient compte de façon nouvelle de tous les événements initiateurs, tremblements de terre inclus, pouvant conduire à des scénarios d'accident avec une fréquence cumulée plus importante qu'une fois tous les cent mille ans. Il comporte des conséquences radiologiques importantes et correspond à un événement du niveau 6 des sept niveaux de l'échelle d'appréciation INES de l'AIEA.
- Des termes sources dépassant le scénario A3 ne peuvent pas être totalement exclus lors d'un accident dans une centrale nucléaire suisse. Ils sont toutefois nettement moins probables que le terme source A3. Cela est dû à un solide type de construction de l'enceinte de confinement, des rééquipements de sécurité et des mesures spécifiques pour l'atténuation des conséquences d'accidents avec endommagement du cœur.
- Tous les scénarios avec endommagement du cœur et rejet non filtré comportent une fréquence d'occurrence située au minimum un ordre de grandeur sous la limite CDF de l'AIEA pour centrales nucléaires existantes. En ne tenant pas compte de séismes extrêmes, les fréquences sont encore une fois plus petites d'un ordre de grandeur. L'hypothèse de séismes extrêmes, conduisant à des rejets importants de l'installation, pose notamment un défi particulier aux autorités pour la définition de priorités et pour l'application de mesures de protection pour la population. Les déroulements à Fukushima et des simulations d'accident de fusion du cœur pour installations suisses montrent que les deux heures fixées jusque-là sont réalistes mais qu'elles peuvent aussi être dépassées significativement. Lors de rejets avec le terme source A3, il n'y a aucune différence notable concernant la taille de la région concernée entre un rejet de courte durée et un rejet de longue durée. Pour le terme source d'accident A5, des régions concernées plus importantes pour le séjour en milieu protégé et la prophylaxie par l'iode sont à attendre lors de rejets de plus longue durée que lors de rejets de courte durée.



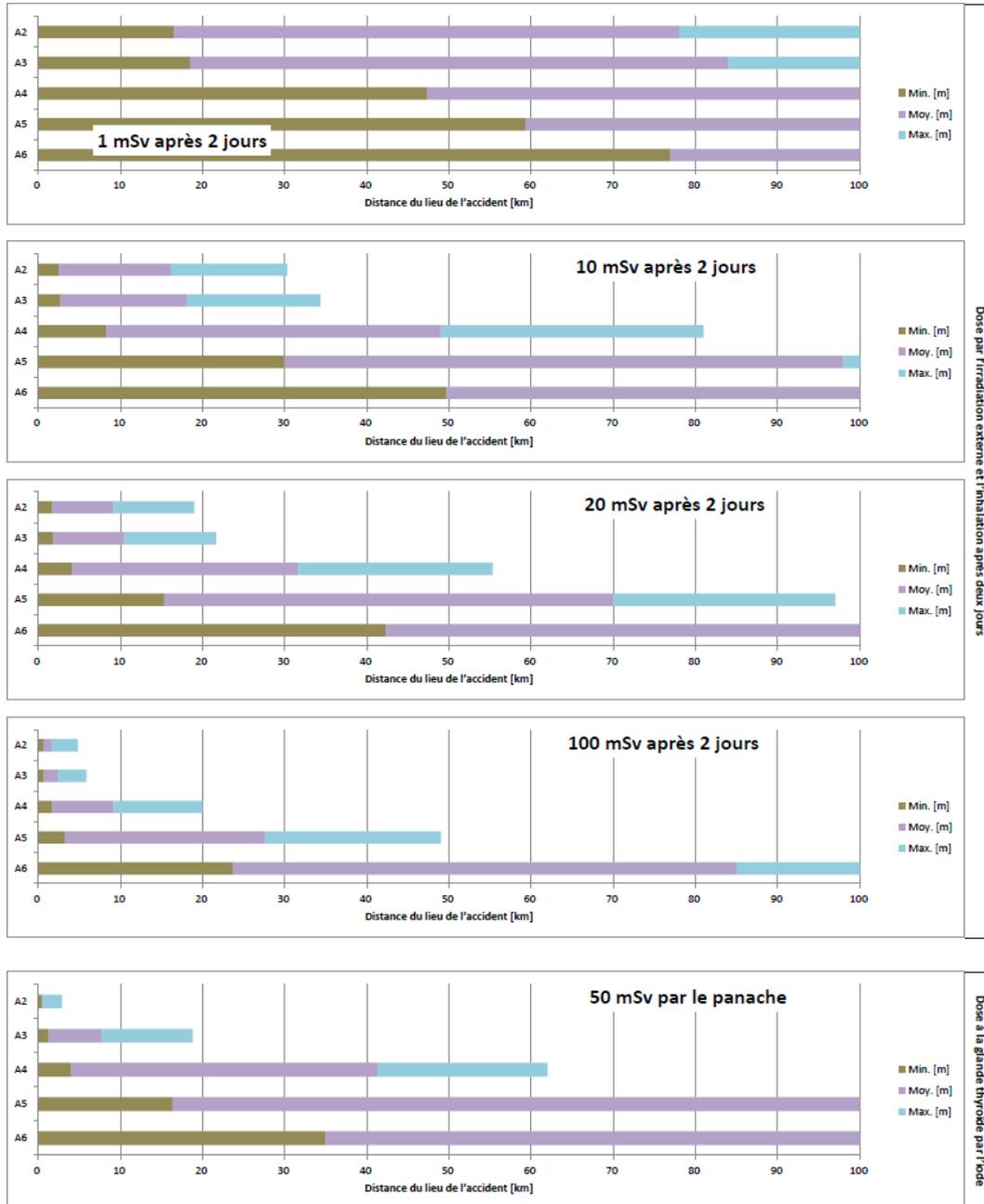
Classification : **INTERNE**
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

- La nécessité de la mesure de protection « séjour en milieu protégé » dans la zone 3 est avérée lors de situations météorologiques défavorables pour les scénarios A2 et A3 aussi. Des régions très petites sont toutefois concernées. Les mesures de protection « prophylaxie par l'iode » et « évacuation préventive » ne sont pas nécessaires en dehors des zones 1 et 2 pour les scénarios A2 et A3. Lors d'une situation météorologique défavorable, l'évacuation de parties de la zone 2 peut être nécessaire pour le scénario A3.
- Des termes sources importants (comme A5) peuvent conduire à des régions concernées importantes dans la zone 3. La mesure de protection éventuelle « évacuation préventive » reste toutefois limitée à la zone 2.
- Pour le terme source A3, il n'existe pratiquement aucune différence si la même quantité de substances radioactives est libérée sur une courte ou sur une longue durée. Avec des termes sources plus importants et des rejets de plus longue durée, il en résulte des régions concernées plus considérables pour le séjour en milieu protégé et la prophylaxie par l'iode.
- La portée des mesures de protection à ordonner a été déterminée de manière conservatrice avec le programme DOSE pour le spectre des termes sources traité par l'IFSN. Cette portée est résumée dans l'illustration 28.
- Tout comme l'événement de Fukushima, les nouvelles analyses de l'IFSN montrent qu'en plus du terme source effectif, les conditions météorologiques ont une influence décisive. En cas de conditions météorologiques défavorables, le terme source A3 a par exemple des conséquences radiologiques de plus grande portée que le terme source A4 lors d'une situation météorologique favorable.



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

Doses selon le CMD pour un enfant d'une année, 3000 MWth



Termes sources pour des installations de 3000 MWth (le rejet d'iode est identique pour des installations de 1000 MWth et de 3000 MWth)

Moyen : valeur moyenne pondérée des six catégories de météo
 Minimum : distance minimale du lieu de l'accident (météo 3 ou 6)
 Maximum : distance maximale du lieu de l'accident (météo 1)

Modèle de météo	Situation météo	Précipitation	Cat. Pasquill-Gifford
Météo 1	Stable	Non	F
Météo 2	Neutre	Non	D
Météo 3	Instable	Non	B
Météo 4	Stable	Pluie 1 mm/h	F
Météo 5	Neutre	Pluie 5 mm/h	D
Météo 6	Instable	Pluie 2 mm/h	B

Illustration 28 : la portée des mesures de protection à ordonner a été déterminée de manière conservative avec le programme DOSE pour le spectre des termes sources traité par l'IFSN et des situations météorologiques



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

Pour l'IFSN, il ressort de la vérification des scénarios de référence les axes d'intervention prioritaires suivants :

- (1) Du point de vue probabiliste et en fonction de l'approche acceptée jusque-là pour la détermination de scénarios dans des centrales nucléaires /19/, le scénario A3 est un scénario extrême représentatif pour des accidents de fusion du cœur avec rejet non filtré. Il couvre les conséquences d'accidents de fusion du cœur avec rejet non filtré de manière conservatrice. Il doit donc remplacer le scénario A2 dans la liste des dangers des événements ABCN. Si d'autres critères devaient être appliqués, ils devraient être clairement établis et présentés de manière transparente.
- (2) Les processus dans la protection d'urgence nécessitent une phase d'alerte de six heures jusqu'à la mise en œuvre des premières mesures de protection /3/. Les décisions sur les mesures de protection sont alors prises entre autres sur la base de pronostics de doses. Des rejets précoces sont très invraisemblables mais envisageables. Il est donc proposé d'adapter les processus de décision dans la protection d'urgence pour des événements définis pouvant conduire à des rejets précoces. Dans cette optique, le modèle de « la défaillance rapide » pourrait être étendu à des scénarios avec des rejets plus importants. Pour des décisions rapides, des critères spécifiques à l'événement et à l'installation doivent être employés. Les seuils d'intervention (« Emergency Action Levels » /20/) sont à disposition pour de telles décisions, comme recommandé à la Suisse lors de la mission du Service d'examen intégré de la réglementation (IRRS) à l'IFSN en 2011 /21/.
- (3) En fonction du scénario et de la situation météorologique, des mesures de protection selon le CMD doivent aussi être ordonnées dans la zone 3. Du point de vue de l'AIEA (exigences GS-R-2 actuellement en remaniement) et de l'IFSN, des précautions appropriées doivent être élaborées pour des régions de la zone 3.
- (4) La durée du rejet du scénario A3 est fixée de manière nouvelle sur un intervalle de 2 à 48 heures.

5 Abréviations

CDF	Core Damage Frequency
EPS	Etude probabiliste de sécurité
GRS	Gesellschaft für Reaktorsicherheit
ICRP	International Commission for Radiological Protection
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, France
JAL	Limite annuelle de rejet (JAL = Jahresabagabelimite)
LERF	Large Early Release Frequency
LOCA	Accident de perte de réfrigérant primaire (Loss of Coolant Accident)
SAMG	Severe Accident Management Guidance



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

6 Références

- /1/ Bericht der interdepartementalen Arbeitsgruppe IDA NOMEX „Überprüfung der Notfallschutzmassnahmen in der Schweiz“ vom 22. Juni 2012
- /2/ HSK-Publikation „Referenzszenarien für den Notfallschutz in der Umgebung der schweizerischen Kernkraftwerke“, Ausgabe 2. Oktober 2006
- /3/ KomABC „Konzept für den Notfallschutz in der Umgebung der Kernanlagen“ vom 1. Januar 2006
- /4/ Technisches ABC-Schutzkonzept, Labor Spiez
- /5/ Aktualisierung der Quelltermbibliothek des Entscheidungshilfesystems RODOS für Ereignisse im Leistungsbetrieb, BFS-RESFOR-48/12 vom Februar 2012
- /6/ State-of-the-Art Reactor Consequence Analyses (SOARCA) Report, NUREG-1935, Januar 2012
- /7/ Technical Basis for off-site emergency planning in France, Charpin et al, Int. J. Risk Assessment and Management, Vol. 8, Nos. 1/2, 2008
- /8/ IAEA EPR-NPP Public Protective Actions 2013 “Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor”, Mai 2013
- /9/ INSAG-12 „Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants“ 75-INSAG-3 Rev. 1
- /10/ IAEA Specific Safety Guide SSG-3 „Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants“, Wien 2010
- /11/ „Probabilistic Risk Criteria and Safety Goals“ JT03276306 NEA/CSNI
- /12/ ENSI-Publikation „Lessons Fukushima 11032011 – Radiologische Auswirkungen aus den kerntechnischen Unfällen in Fukushima“ vom 30. Januar 2012
- /13/ IDA NOMEX Stellungnahme der eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität (KSR) vom 31. August 2012 zum interdepartementalen Bericht vom 22. Juni 2012
- /14/ ENSI-Publikation „Lessons Fukushima 11032011 – Lessons learned und Prüfpunkte aus den kerntechnischen Unfällen in Fukushima“ vom 31. Oktober 2011
- /15/ ENSI-Aktionsplan Fukushima 2013
- /16/ ENSI-Schreiben „Überprüfung der Referenzszenarien für den Notfallschutz“ vom 5. Dezember 2011
- /17/ ICRP „Application of the Commission’s Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations“ ICRP Publication 109, Ann. ICRP 39, 2009
- /18/ IAEA GS-G-2.1 “Arrangements for Preparedness for a Nuclear Radiological Emergency“, Wien 2007
- /19/ Leitfaden KATAPLAN Kantonale Gefährdungsanalyse und Vorsorge, BABS, Januar 2013
- /20/ IAEA GSG2 „Criteria for use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency“, Wien 2011



Classification : **INTERNE**
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

- /21/ Integrated Regulatory Review Service (IRRS) Mission to Switzerland, 20. November bis 2. Januar 2011, IAEA-NS-IRRS-2011/11
- /22/ INES User's Manual 2008 Edition, IAEA, Wien 2009



Classification : INTERNE
Dossier/Référence : 10KEX.APFUKU7 : 10/11/007 / IFSN-N-8293_F
Titre : Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires
Date/Dossier traité par : 04.12.2013 / VAR/MEH

Annexe 1 : échelle d'appréciation INES

L'échelle d'appréciation internationale INES (International Event Scale) de l'AIEA /22/ prévoit 7 niveaux avec une signification décroissante allant de 7 à 1. Pour le classement d'un événement, les rejets de substances radioactives dans l'atmosphère sont notamment employés. Pour le classement ci-dessous, les conséquences sur l'être humain et l'environnement ont été prises en compte selon la figure 5 de /22/ :

INES	Equivalent en iode	
	Seuil inférieur	Seuil supérieur
7	$5 \cdot 10^{16}$	-
6	$5 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{16}$
5	$5 \cdot 10^{14}$	$5 \cdot 10^{15}$
4	$5 \cdot 10^{13}$	$5 \cdot 10^{14}$
1-3	Aucun seuil défini	

Il en résulte le classement INES suivant pour les scénarios A3 à A6 :

Scénario	Activité [Bq]		Equivalent en iode		INES
	Iode	Cs-137	Iode	Cs-137	
A1	$1 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^{12}$	$4 \cdot 10^{11}$	≥ 2 *)
A2	$1 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{13}$	4
A3	$1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{15}$	6
A4	$1 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{16}$	$4 \cdot 10^{16}$	7
A5	$1 \cdot 10^{17}$	$1 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{17}$	$4 \cdot 10^{17}$	7
A6	$1 \cdot 10^{18}$	$1 \cdot 10^{17}$	$1 \cdot 10^{18}$	$4 \cdot 10^{18}$	7

*) Le classement INES du scénario A1 ne résulte pas des quantités de rejets selon /22/ mais des conséquences radiologiques et du nombre de personnes concernées. La directive IFSN-B03 donne un classement INES ≥ 2 pour le scénario A1.