

PIÈCE 9

ÉTUDE DE MAÎTRISE DES RISQUES

- Chapitre 6 -

Analyse des conséquences en situation accidentelle

PLACE DU CHAPITRE DANS L'ÉTUDE DE MAÎTRISE DES RISQUES

Résumé non technique

Sommaire général

Chapitre 1 – Introduction

Chapitre 2 – Inventaire des risques

Chapitre 3 – Analyse du Retour d'Expérience d'installations analogues

Chapitre 4 – Présentation des méthodes retenues pour l'analyse des risques

Chapitre 5 – Dispositions de maîtrise des risques

Chapitre 6 – Analyse des conséquences en situation accidentelle

Chapitre 7 – Radioprotection et systèmes de surveillance

Chapitre 8 – Conclusion

SOMMAIRE

PRESENTATION DU CHAPITRE 6.....	3
6.1. METHODES DE CALCUL DES CONSEQUENCES ACCIDENTELLES.....	4
6.1.1. VOLET RADIOLOGIQUE.....	4
6.1.1.1. Outil de calcul.....	4
6.1.1.2. Principe de calcul.....	4
6.1.1.2.1. Calcul du transfert dans les différents vecteurs.....	4
6.1.1.2.2. Vérification de la limite de commercialisation des denrées alimentaires.....	4
6.1.1.2.3. Calcul de l'exposition des populations riveraines.....	5
6.1.1.3. Objectifs et critères de sûreté.....	5
6.1.2. VOLET NON RADIOLOGIQUE.....	6
6.1.2.1. Principe de calcul.....	6
6.1.2.2. Identification et caractérisation des scénarios d'accident.....	6
6.1.2.2.1. Évaluation des effets toxiques.....	6
6.1.2.2.2. Évaluation des effets de surpression.....	7
6.1.2.2.3. Évaluation des effets thermiques.....	7
6.1.2.3. Analyse approfondie des risques.....	7
6.2. ÉVALUATION DES CONSEQUENCES DES ACCIDENTS ENVELOPPES.....	8
6.2.1. VOLET RADIOLOGIQUE.....	8
6.2.1.1. Scénario n°1 : incendie généralisé du bâtiment salle des machines suite à un séisme.....	8
6.2.1.2. Scénario n°2 : feu d'engin de manutention dans le bâtiment salle des machines.....	9
6.2.1.3. Scénario n°3 : feu dans un bâtiment mobilisant tous les colis d'une zone d'entreposage tampon.....	9
6.2.1.4. Conclusion.....	10
6.2.2. VOLET NON RADIOLOGIQUE.....	10
6.2.2.1. Incendie.....	10
6.2.2.2. Explosion d'une bouteille sur le parc à gaz.....	11
6.2.2.3. Conclusion.....	11

TABLEAUX

Tableau 6.a	Grille de hiérarchisation des risques.....	7
Tableau 6.b	Résultats des calculs de dose efficace (mSv) pour le scénario n°1.....	8
Tableau 6.c	Résultats des calculs de dose efficace (mSv) pour le scénario n°2.....	9
Tableau 6.d	Résultats des calculs de dose efficace (mSv) pour le scénario n°3.....	10

P RESENTATION DU CHAPITRE 6

Ce chapitre correspond aux éléments exigés au 4° de l'article R. 593-19 du décret n°2019-190 du 14 mars 2019 codifiant les dispositions applicables aux installations nucléaires de base, au transport de substances radioactives et à la transparence en matière nucléaire :

« 4° Une analyse des conséquences des accidents éventuels pour les personnes et l'environnement ».

L'objectif de ce chapitre est de présenter la méthode et les hypothèses retenues pour l'évaluation des conséquences des scénarios d'accidents, puis les conséquences radiologiques et non radiologiques associées aux scénarios enveloppes couvrant l'ensemble des scénarios envisagés dans les analyses de risques. Ces calculs permettent de démontrer la suffisance des dispositions de maîtrise des risques pour la protection des intérêts.

Pour mémoire, suite aux opérations de préparation au démantèlement (PDEM) et notamment à l'évacuation des assemblages combustibles et des substances dangereuses non utiles au démantèlement, les risques d'accident et les conséquences sur les intérêts protégés sont considérablement réduits pendant la phase de démantèlement. Néanmoins, des situations enveloppes sont examinées, pour des accidents de nature radiologique et d'autres de nature non radiologique (conventionnelle).

Le chapitre est organisé comme suit :

- [§ 6.1](#) : Méthodes de calcul des conséquences accidentelles ;
- [§ 6.2](#) : Évaluation des conséquences des accidents enveloppes.

6.1.

METHODES DE CALCUL DES CONSEQUENCES ACCIDENTELLES

6.1.1. VOLET RADIOLOGIQUE

6.1.1.1. OUTIL DE CALCUL

Pour les accidents à caractère radiologique, l'évaluation des conséquences radiologiques est réalisée en utilisant un code développé par le CEA qui permet, pour des rejets atmosphériques **en situations accidentelles**, d'effectuer des calculs de dispersion atmosphérique de substances radioactives, de transfert dans la biosphère et d'estimer l'impact dosimétrique de ces rejets sur la population. Cet outil de calcul est **qualifié**.

La **qualification** d'un outil de calcul consiste à définir et effectuer des séries de tests afin de vérifier la pertinence des résultats obtenus avec l'outil.

6.1.1.2. PRINCIPE DE CALCUL

6.1.1.2.1. Calcul du transfert dans les différents vecteurs

À partir de la caractérisation du rejet atmosphérique lié à une situation accidentelle donnée, la première étape de la méthode consiste à évaluer l'activité radiologique résultante dans les différents compartiments de l'environnement :

- activité volumique de l'**air**, obtenue en utilisant la modélisation de la dispersion atmosphérique ;
- activité déposée au **sol**, obtenue en utilisant des facteurs de dépôt ;
- activité transférée dans la partie comestible des **végétaux** par voie directe (activité déposée sur les feuilles) et par voie indirecte (activité déposée au sol qui est transférée aux végétaux par les racines) ;
- activité transférée vers les **produits d'origine animale**, compte tenu des quantités de végétaux consommés par les animaux.

6.1.1.2.2. Vérification de la limite de commercialisation des denrées alimentaires

Les calculs d'activité dans les denrées alimentaires présentées ci-dessus permettent d'identifier les surfaces agricoles considérées comme affectées, à savoir celles pour lesquelles au moins une des denrées alimentaires qui y sont produites ne respecte pas les critères de commercialisation définis dans la réglementation européenne « Règlement EURATOM 2016/52 du conseil du 15/01/2016 fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique ».

6.1.1.2.3. Calcul de l'exposition des populations riveraines

Le calcul de l'exposition des populations riveraines est effectué pour des groupes de référence, à savoir des groupes homogènes d'individus représentatifs des personnes subissant l'exposition la plus élevée à un rejet. Leurs modes de vie sont définis par leur lieu d'habitation et, en fonction de leur classe d'âge, par leur régime alimentaire et leur temps de présence sur les différents types de sol.

Quatre classes d'âge sont retenues :

- le nourrisson (âge compris entre 0 et 1 an) ;
- le très jeune enfant (âge compris entre 1 et 2 ans) ;
- l'enfant (âge compris entre 7 et 12 ans) ;
- l'adulte (âge supérieur à 17 ans).

Les **doses** sont calculées pour plusieurs durées d'exposition :

- à court terme : 24 heures et 7 jours après le début du rejet ;
- à moyen terme : 1 an après le début du rejet ;
- à long terme : sur la vie entière de l'individu (50 ans pour l'adulte et 70 ans pour les classes d'âge enfant).

L'exposition humaine à la radioactivité est évaluée au travers d'une grandeur appelée « dose efficace » ou plus simplement « dose », qui exprime les effets des rayonnements sur l'organisme.

Les voies d'exposition prises en compte dans le calcul de dose sont :

- l'exposition externe au panache ;
- l'exposition externe au dépôt au sol ;
- l'exposition interne par inhalation de l'air, prenant en compte le débit respiratoire ;
- l'exposition interne par ingestion de végétaux et de produits d'origine animale, prenant en compte les rations alimentaires et la fraction de denrées consommées qui est d'origine locale et donc susceptible d'être contaminée suite à un accident. Note : l'exposition par ingestion n'est pas retenue pour le calcul à 24 heures.

Deux lieux d'habitation sont retenus, dans l'axe du panache :

- à 500 m du point de rejet, pour les évaluations à court terme (24 heures et 7 jours) ;
- à 2000 m du point de rejet, pour les évaluations à moyen et long termes (1 an et vie entière).

La distance réelle aux premières habitations (situées à 950 m du point de rejet) est prise en compte au travers d'une évaluation de la dose court terme à 7 jours et une vérification du niveau de la dose moyen terme.

6.1.1.3. OBJECTIFS ET CRITERES DE SURETE

Pour les denrées alimentaires, une évaluation de la distance à partir de laquelle les denrées alimentaires ne sont plus affectées par des dépassements de limites de commercialisation des denrées alimentaires est présentée.

Pour les populations riveraines, il est retenu que les accidents de nature à engendrer des conséquences radiologiques par voie aérienne sur les intérêts protégés ne doivent pas induire la mise en œuvre de mesures de protection des populations, conformément à l'arrêté du 20 novembre 2009 portant homologation de la décision ASN relative aux niveaux d'intervention en situation d'urgence radiologique.

Ainsi :

- pour la phase **court terme** des accidents (24 heures et 7 jours), il est défini en tant qu'exigence une limite de dose efficace individuelle de 10 mSv. Cette dose est évaluée à 500 m pour des durées associées au passage du panache ;
- pour les phases **moyen et long termes**, l'objectif est le retour à un niveau normal d'exposition, à savoir une dose efficace inférieure à 1 mSv par an à 2000 m dès la première année, déduction faite de la dose court terme. Cet objectif est complété par la vérification que la dose à moyen terme reste inférieure à quelques mSv par an à la distance des premières habitations.

L'unité de mesure de la dose efficace est le millisievert (mSv).

Pour comparaison, en France :

- la dose due à la radioactivité naturelle est de 2,9 mSv/an ;
- la dose maximale ajoutée du fait des activités nucléaires est réglementairement limitée à 1 mSv/an pour le public.

6.1.2. VOLET NON RADIOLOGIQUE

6.1.2.1. PRINCIPE DE CALCUL

Pour les accidents à caractère non radiologique, dans le cadre d'une démarche proportionnée aux enjeux, l'analyse de risque est adaptée aux potentiels de dangers présents dans l'installation. Elle s'appuie essentiellement sur les méthodologies et pratiques issues des installations classées pour l'environnement (ICPE). Le principe consiste à :

- examiner les scénarios d'accident dans l'installation, évaluer leurs conséquences sur les intérêts protégés et comparer ces conséquences avec des valeurs de référence pour les effets sur les intérêts protégés ;
- si les conséquences dépassent les valeurs de référence pour les effets sur les intérêts protégés, réaliser une analyse approfondie du scénario.

6.1.2.2. IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES SCENARIOS D'ACCIDENT

Les potentiels de danger non radiologiques, dits conventionnels, sont notamment liés à la présence de substances dangereuses. Ils sont étudiés de manière déterministe et réaliste, au travers des effets qu'ils peuvent engendrer sur les intérêts protégés : effets toxiques, effets de surpression, effets thermiques, émission de projectiles pouvant engendrer des effets dominos.

6.1.2.2.1. Évaluation des effets toxiques

Les effets toxiques liés aux fumées d'un incendie ou à l'évaporation d'une substance dangereuse suite à son déversement sont évalués par un outil de calcul qui permet de modéliser la dispersion atmosphérique des fumées ou de la substance. Le calcul d'impact toxique en fonction de la distance est effectué en comparant la concentration toxique (des fumées ou de la substance) avec les seuils liés aux effets toxiques pour l'homme par inhalation : seuils des effets irréversibles (SEI), seuils des premiers effets létaux (SPEL) et seuils des effets létaux significatifs (SELS) des produits considérés. Cet outil de calcul est qualifié.

Concernant les effets toxiques sur l'environnement par voie eau, il n'existe pas de seuil quantitatif de référence. La gravité potentielle des conséquences sur l'environnement par voie eau est donc évaluée de manière qualitative et proportionnée à la dangerosité des substances liquides accidentellement déversées.

6.1.2.2.2. Évaluation des effets de surpression

Les pressions engendrées par un accident conventionnel sont évaluées puis comparées avec les seuils liés aux effets sur les constructions (destruction de vitres, dégâts sur les structures) et aux seuils liés aux effets de surpression pour l'homme (SEI, SPEL et SELS).

6.1.2.2.3. Évaluation des effets thermiques

Les rayonnements thermiques engendrés par un accident conventionnel sont évalués puis comparés avec les seuils liés aux effets sur les constructions (destruction de vitres, dégâts sur les structures) et aux seuils liés aux effets thermiques pour l'homme (SEI, SPEL et SELS).

6.1.2.3. ANALYSE APPROFONDIE DES RISQUES

Pour les scénarios d'accidents dont les conséquences dépassent les valeurs de référence pour les effets sur les intérêts protégés, une analyse approfondie est menée.

Cette analyse vise à déterminer la probabilité d'occurrence de chaque accident et la gravité de ses conséquences.

En fonction de leur niveau de probabilité et de gravité, les scénarios d'accident sont ensuite positionnés dans la grille de hiérarchisation des risques faisant apparaître trois zones (voir tableau ci-dessous) :

- rouge : gravité et probabilité élevées ; risque considéré inacceptable ;
- orange : gravité ou probabilité élevée ; risque considéré tolérable mais devant faire l'objet d'une démarche d'amélioration continue ;
- vert : gravité et probabilité faibles ; risque considéré acceptable en l'état.

GRAVITÉ des conséquences	PROBABILITÉ (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreux	Orange	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Catastrophique	Orange	Orange	Rouge	Rouge	Rouge
Important	Orange	Orange	Orange	Rouge	Rouge
Sérieux	Vert	Vert	Orange	Orange	Rouge
Modéré	Vert	Vert	Vert	Vert	Orange

Tableau 6.a Grille de hiérarchisation des risques

Pour les scénarios en zone rouge ou orange, une analyse complémentaire est menée de façon itérative de manière à ramener le scénario en zone verte, en utilisant plusieurs leviers possibles :

- la réduction du risque à la source (limitation de la quantité de substances dangereuses présentes) ;
- affinement du scénario pour se rapprocher d'un scénario réaliste ;
- mise en place de dispositions de maîtrise des risques en vue de diminuer la probabilité et/ou les conséquences du scénario d'accident.

6.2.

ÉVALUATION DES CONSEQUENCES DES ACCIDENTS ENVELOPPES

Les scénarios présentés dans la suite de ce paragraphe couvrent l'ensemble des scénarios envisagés dans les analyses de risques. Ainsi les scénarios associés à d'autres risques sont couverts, en termes de conséquences, par les situations accidentelles enveloppes présentées.

6.2.1. VOLET RADIOLOGIQUE

6.2.1.1. SCENARIO N°1 : INCENDIE GENERALISE DU BATIMENT SALLE DES MACHINES SUITE A UN SEISME

La situation enveloppe retenue est l'incendie généralisé du bâtiment Salle Des Machines consécutif à un séisme. Il est considéré que le bâtiment est ruiné et qu'un feu s'y développe, entraînant l'agression de l'ensemble des colis présents.

Il est retenu le nombre maximal de colis possible à un moment donné du démantèlement, tout en considérant que l'activité totale présente ne dépasse pas le maximum fixé pour l'activité cumulée des déchets présents dans le bâtiment SDM.

Il est supposé de manière pénalisante que l'intégralité de l'activité mise en suspension dans le scénario d'incendie est transférée dans l'environnement, ce qui correspond à l'absence totale de filtration des rejets.

Les doses efficaces pour chaque durée d'exposition et pour la classe d'âge la plus impactée sont présentées dans le tableau suivant.

Durée d'exposition	Distance	Exposition pour la classe d'âge la plus impactée	Classe d'âge
Court terme (24 heures)	500 m	0,41 mSv en 24 heures	Adulte
Court terme (7 jours)	500 m	0,98 mSv en 7 jours	Adulte
Moyen terme (1 an)	2000 m	0,66 mSv en 1 an	Adulte
Long terme (vie entière)	2000 m	5,3 mSv en 50 ans	Adulte
Court terme (7 jours)	Premières habitations 950 m	0,32 mSv en 7 jours	Adulte
Moyen terme (1 an)		2,6 mSv en 1 an	Adulte

Tableau 6.b Résultats des calculs de dose efficace (mSv) pour le scénario n°1

6.2.1.2. SCENARIO N°2 : FEU D'ENGIN DE MANUTENTION DANS LE BATIMENT SALLE DES MACHINES

La situation enveloppe retenue est le feu d'un engin de manutention sur le niveau haut du bâtiment Salle Des Machines à proximité de l'entreposage de fûts contenant des déchets plastiques combustibles, entraînant la mobilisation de 90 fûts ainsi que de 60 caisses de déchets non combustibles entreposées autour des fûts.

Il est considéré que l'activité mise en suspension correspond à la totalité de l'activité présente sous forme de contamination dans les fûts et caisses.

Il est supposé de manière pénalisante que l'intégralité de l'activité mise en suspension dans le scénario d'incendie est transférée dans l'environnement, ce qui correspond à l'absence totale de filtration des rejets.

Les doses efficaces pour chaque durée d'exposition et pour la classe d'âge la plus impactée sont présentées dans le tableau suivant.

Durée d'exposition	Distance	Exposition pour la classe d'âge la plus impactée	Classe d'âge
Court terme (24 heures)	500 m	0,13 mSv en 24 heures	Adulte
Court terme (7 jours)	500 m	0,33 mSv en 7 jours	Adulte
Moyen terme (1 an)	2000 m	0,22 mSv en 1 an	Adulte
Long terme (vie entière)	2000 m	1,6 mSv en 50 ans	Adulte
Court terme (7 jours)	Premières habitations 950 m	0,11 mSv en 7 jours	Adulte
Moyen terme (1 an)		0,85 mSv en 1 an	Adulte

Tableau 6.c Résultats des calculs de dose efficace (mSv) pour le scénario n°2

6.2.1.3. SCENARIO N°3 : FEU DANS UN BATIMENT MOBILISANT TOUS LES COLIS D'UNE ZONE D'ENTREPOSAGE TAMPON

La situation enveloppe retenue est basée sur les différents scénarios d'incendie étudiés pour les zones d'entreposage tampon dans le BAN, les BK et les BR. Il s'agit d'un feu entraînant la mobilisation de tous les colis d'une zone d'entreposage tampon située à l'intérieur d'un bâtiment, scénario présentant un caractère majorant d'activité susceptible d'être rejetée vers l'environnement.

Il est considéré que l'activité mise en suspension correspond à la totalité de l'activité présente sous forme de contamination dans les colis présents.

Il est supposé de manière pénalisante que l'intégralité de l'activité mise en suspension dans le scénario d'incendie est transférée dans l'environnement, ce qui correspond à l'absence totale de filtration des rejets.

Les doses efficaces pour chaque durée d'exposition et pour la classe d'âge la plus impactée sont présentées dans le tableau suivant.

Durée d'exposition	Distance	Exposition pour la classe d'âge la plus impactée	Classe d'âge
Court terme (24 heures)	500 m	0,14 mSv en 24 heures	Adulte
Court terme (7 jours)	500 m	0,35 mSv en 7 jours	Adulte
Moyen terme (1 an)	2000 m	0,23 mSv en 1 an	Adulte
Long terme (vie entière)	2000 m	1,9 mSv en 50 ans	Adulte
Court terme (7 jours)	Premières habitations 950 m	0,11 mSv en 7 jours	Adulte
Moyen terme (1 an)		0,91 mSv en 1 an	Adulte

Tableau 6.d Résultats des calculs de dose efficace (mSv) pour le scénario n°3

6.2.1.4. CONCLUSION

Pour les trois scénarios enveloppes étudiés, l'étude met en évidence que les doses court terme (24 heures et 7 jours) sont inférieures à la valeur exigée de 10 mSv à 500 m, et que la dose moyen terme (1 an) est également inférieure à 1 mSv à 2000 m. Ces scénarios ne remettent pas en cause les objectifs généraux de sûreté définis au § 4.1.1 du chapitre 4. Ainsi les dispositions de maîtrise des risques sont suffisantes.

Aux premières habitations situées à 950 m, la dose moyen terme (1 an) est estimée à 2,6 mSv pour le scénario d'incendie généralisé du bâtiment Salle Des Machines et inférieure à 1 mSv pour les autres scénarios. Dans tous les cas, elle est inférieure à l'objectif de quelques mSv par an au niveau des habitations les plus proches.

L'estimation de l'étendue des zones susceptibles d'être affectées par des dépassements de limites de commercialisation de denrées alimentaires montre que des dépassements peuvent avoir lieu sur des distances au point de rejet de l'ordre de 4000 m.

6.2.2. VOLET NON RADIOLOGIQUE

Les scénarios enveloppes susceptibles d'avoir des conséquences non radiologiques sur les intérêts protégés sont :

- l'incendie se déclarant dans un bâtiment et pouvant entraîner des effets toxiques issus de la décomposition de charges combustibles et des effets thermiques ;
- l'explosion d'une bouteille de gaz sur le parc à gaz pouvant entraîner des effets thermiques et de surpression.

6.2.2.1. INCENDIE

Pour l'incendie, plusieurs scénarios d'incendie ont été examinés :

- BR et BAN : le scénario enveloppe est un incendie dans l'atelier « gros composants » de chacun des bâtiments ;
- BK, BL, BW : le scénario enveloppe est un incendie dans les locaux de la zone de feu présentant la charge calorifique la plus élevée dans chaque bâtiment ;
- Bâtiment Salle Des Machines : le scénario enveloppe est un incendie mettant en jeu les fûts contenant des déchets plastiques combustibles.

L'analyse montre que les effets toxiques et thermiques des différents scénarios sont inférieurs au seuil des effets irréversibles (SEI) pour l'homme à l'extérieur du site.

6.2.2.2. EXPLOSION D'UNE BOUTEILLE SUR LE PARC A GAZ

Le scénario pénalisant est l'éclatement d'une bouteille B50 contenant un gaz inflammable.

Compte tenu de la robustesse des structures des différents bâtiments de l'INB n°75 et de la distance les séparant du parc à gaz, la surpression générée par l'éclatement d'une bouteille du parc à gaz n'est pas en mesure de les agresser. De même, les éventuels effets thermiques dus à la libération de gaz inflammable ne sont pas en mesure d'agresser ces bâtiments.

L'analyse montre que les effets thermiques et de surpression dus à l'éclatement de la bouteille sont sans conséquence sur les personnes et l'environnement.

6.2.2.3. CONCLUSION

Ces scénarios ne présentent pas de risque vis-à-vis des intérêts protégés.