



Université de POITIERS

Faculté de Médecine et de Pharmacie

ANNEE 2024

THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE
(Arrêté du 8 avril 2013)

Présentée et soutenue publiquement
Le 11 juillet 2024 à POITIERS
Par Madame **BELLOCHE Clara**

Accident nucléaire : place du pharmacien en planification et gestion de
crise
Exemple de la mise à jour du plan ORSEC iode

Composition du jury :

Président : Monsieur FAUCONNEAU Bernard, professeur des universités

Membre : Madame CERTIN Charlotte, pharmacienne d'officine

Directeurs de thèse :

Madame THEVENOT Sarah, Maitre de conférences des universités -
praticien hospitalier

Monsieur GUIHENNEUC Jérémy, Docteur en pharmacie et assistant
Hospitalo-Universitaire

LISTE DES ENSEIGNANTS

Année universitaire 2023 – 2024

SECTION PHARMACIE

Professeurs des universités-praticiens hospitaliers

- DUPUIS Antoine, pharmacie clinique – **Assesseur pédagogique pharmacie**
- FOUCHER Yohann, biostatistiques
- GREGOIRE Nicolas, pharmacologie et pharmacométrie
- MARCHAND Sandrine, pharmacologie, pharmacocinétique
- RAGOT Stéphanie, santé publique

Professeurs des universités

- BODET Charles, microbiologie
- CARATO Pascal, chimie thérapeutique
- FAUCONNEAU Bernard, toxicologie
- FAVOT-LAFORGE Laure, biologie cellulaire et moléculaire
- GUILLARD Jérôme, pharmacochimie
- IMBERT Christine, parasitologie et mycologie médicale
- OLIVIER Jean-Christophe, pharmacie galénique, biopharmacie et pharmacie industrielle – **référént relations internationales**
- PAGE Guylène, biologie cellulaire, biothérapeutiques
- PAIN Stéphanie, toxicologie
- SARROUILHE Denis, physiologie humaine – **Directeur de la section pharmacie**

Maîtres de conférences des universités-praticiens hospitaliers

- BARRA Anne, immuno-hématologie
- BINSON Guillaume, pharmacie clinique – **encadrement stages hospitaliers**
- THEVENOT Sarah, hygiène, hydrologie et environnement – **encadrement stages hospitaliers**

Maîtres de conférences

- BARRIER Laurence, biochimie générale et clinique
- BON Delphine, biophysique
- BRILLAULT Julien, pharmacocinétique, biopharmacie
- BUYCK Julien, microbiologie (HDR)
- CHAUZY Alexia, pharmacologie fondamentale et thérapeutique
- DEBORDE-DELAGÉ Marie, chimie analytique
- DELAGE Jacques, biomathématiques, biophysique
- GIRARDOT Marion, biologie végétale et pharmacognosie
- INGRAND Sabrina, toxicologie
- MARIVINGT-MOUNIR Cécile, pharmacochimie (HDR)
- PINET Caroline, physiologie, anatomie humaine
- RIOUX-BILAN Agnès, biochimie – **Référente CNAES – Responsable du dispositif COME'in – référente égalité-diversité**
- TEWES Frédéric, chimie et pharmacotechnie (HDR)
- THOREAU Vincent, biologie cellulaire et moléculaire
- WAHL Anne, phytothérapie, herborisation, aromathérapie

Maîtres de conférences associés - officine

- DELOFFRE Clément, pharmacien
- ELIOT Guillaume, pharmacien
- HOUNKANLIN Lydwin, pharmacien

A.T.E.R. (attaché temporaire d'enseignement et de recherche)

- ARANZANA-CLIMENT Vincent, pharmacologie
- KAOUAH Zahra, bactériologie
- MOLINA PENA Rodolfo, pharmacie galénique

Professeur émérite

- COUET William, pharmacie clinique (08/2028)

Professeurs et Maîtres de Conférences honoraires

- BARTHES Danièle, chimie analytique (directrice honoraire)
- BAUDRY Michel, physiologie (directeur honoraire)
- BOURIANNES Joëlle, physiologie
- BRISSON Anne-Marie, chimie thérapeutique-pharmacocinétique
- COURTOIS Philippe, pharmacie clinique-pharmacodynamie (directeur honoraire)
- DE SCHEEMAEKER Henri, botanique et cryptogamie
- FORTILLAN Jean-Bernard, pharmacologie et pharmacocinétique
- GIRAUD Jean-Jacques, chimie analytique
- GUERIN René, biophysique
- HERISSE Jacques, biologie moléculaire
- HUSSAIN Didja, pharmacie galénique
- JANVIER Blandine, bactériologie, virologie et parasitologie
- JOUANNETAUD Marie-Paule, chimie thérapeutique (directrice honoraire)
- LEVESQUE Joël, pharmacognosie
- MAISSIAT Renée, biologie cellulaire et moléculaire
- METTEY Yvette, chimie organique
- PARIAT Claudine, pharmacodynamie
- RABOUAN Sylvie, chimie physique, chimie analytique
- SEGUIN François, biophysique, biomathématiques (directeur honoraire)
- VANTELON Nadine, biochimie
- VIOSSAT Bernard, chimie générale et minérale

CENTRE DE FORMATION UNIVERSITAIRE EN ORTHOPHONIE (C.F.U.O.)

- GICQUEL Ludovic, PU-PH, **directeur du C.F.U.O.**
- VERON-DELOR Lauriane, maître de conférences en psychologie

ENSEIGNEMENT DE L'ANGLAIS

- DEBAIL Didier, professeur certifié

CORRESPONDANTS HANDICAP

- Pr PERDRISOT Rémy, section médecine
- Dr RIOUX-BILAN Agnès, section pharmacie

REMERCIEMENTS

Aux membres du Jury,

À **Monsieur Bernard Fauconneau**, pour me faire l'honneur de présider ce jury.

À **Madame Sarah Thevenot et Monsieur Jeremy Guihenneuc**, pour avoir accepté de diriger mon travail. Je vous remercie pour la disponibilité que vous m'avez accordée et les précieux conseils que vous avez su apporter tout au long de ce travail.

À **Madame Charlotte Certin**, je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury. J'ai eu la chance d'apprendre et de travailler à vos côtés et cela a été un réel plaisir.

A ceux qui ont contribué à cette thèse,

À **Monsieur Olivier Fliecx et à l'ensemble du Service Interministériel de Défense et de Protection Civile** de la préfecture de l'Eure, je vous remercie pour votre accueil, votre pédagogie et votre gentillesse. Ce travail n'aurait pas été possible sans les missions que vous avez su me confier pendant mon alternance.

A mes proches,

À **mes très chers parents**, vous êtes mon soutien le plus précieux.

À **mon petit frère, Grégoire**, je suis fière de voir l'homme que tu deviens.

À **mes plus chères et plus anciennes amies, Mathilde, Noémie et Salma**, votre présence et votre soutien comptent énormément pour moi. Je suis fière d'avoir grandi à vos côtés ; vous êtes comme des sœurs.

À **Paul**, pour être un ami en or depuis de nombreuses années. Merci pour ton soutien téléphonique indéfectible.

À **Dorfel**, merci pour ta patience et ton soutien tout au long de ces 6 années. Tu as été un chouette colocataire.

À **Samuel**, tu as été un super binôme de TP et tu es à présent un ami extraordinaire.

À **Charlotte**, merci pour ton amitié et pour ces quatre semi-marathons parcourus ensemble.

À **Margaux**, merci pour ta gentillesse et tes conseils avisés.

À **Carla et Julie**, vous êtes mes belles rencontres de master SPREG. Je vous remercie pour votre présence et ces moments partagés.

À **Liza**, merci pour ton soutien, cette alternance n'aurait pas été la même sans toi.

À **Émilie et Nolwenn et toute la team GGRC estivale**, merci pour ces restaurants hebdomadaires et ces moments de rire.

Et à toutes les personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin, je vous en suis profondément reconnaissante.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	3
LISTE DES FIGURES	8
LISTE DES TABLEAUX	8
ABREVIATIONS.....	9
INTRODUCTION	11
PREMIÈRE PARTIE : LE NUCLÉAIRE	13
I. Les centrales nucléaires	13
A. La production d'électricité	13
B. Le fonctionnement d'une centrale nucléaire	14
C. Le risque nucléaire	15
II. Les principaux acteurs de la sureté nucléaire	16
A. Acteurs internationaux	16
1. Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA)	16
2. Agence pour l'énergie Nucléaire (AEN)	17
3. Association mondiale des exploitants nucléaires (WANO).....	17
B. Acteurs Européens	17
C. Acteurs Français	18
1. L'État.....	18
2. L'exploitant.....	18
3. L'Autorité de Sûreté Nucléaire.....	19
4. L'institut de radioprotection et de Sureté Nucléaire (IRSN)	20
5. Les parties-prenantes et associations.....	20
III. Historique des accidents nucléaires.....	22
A. Les échelles de classement des incidents et accidents nucléaires	22
B. Historique des accidents nucléaires	24
1. L'accident de Kychtym (1957)	24
2. Les deux accidents de Saint-Laurent-Des-Eaux (1969 et 1980)	25
1. L'accident de Three Mile Island (1979).....	25
2. L'accident de Tchernobyl (1986).....	26
3. L'accident de Fukushima (2011)	27
DEUXIÈME PARTIE : EFFETS SANITAIRES DES RAYONNEMENTS IONISANTS	29
I. Les rayonnements ionisants	29
A. Les rayons.....	29
1. Les rayonnements électromagnétiques	29
2. Les rayonnements particuliers	30
B. Les unités de mesure de la radioactivité	32
C. Sources d'exposition.....	32
1. Sources d'exposition naturelles.....	33
2. Sources d'exposition artificielles	34
II. Effets sur l'organisme.....	36

A.	Échelle moléculaire.....	36
B.	Échelle cellulaire	37
1.	Effets déterministes	38
2.	Effets stochastiques	39
III.	Effets sanitaires des accidents nucléaires de Tchernobyl et Fukushima	39
A.	Le cancer de la thyroïde	39
1.	Tchernobyl	40
2.	Fukushima	41
B.	Le syndrome d'irradiation Aiguë (SIA)	43
1.	Tchernobyl	44
2.	Fukushima	44
C.	Autres effets sanitaires	44
1.	Tchernobyl	44
2.	Fukushima	45
D.	Discussion autour des effets sanitaires.....	45
TROISIÈME PARTIE : PLANIFICATION ET GESTION DES ACCIDENTS NUCLÉAIRES.....		48
I.	Planification et gestion de crise	48
A.	La sécurité civile	48
B.	La sécurité sanitaire	49
II.	La place du pharmacien	50
A.	Le pharmacien d'officine.....	51
B.	Le pharmacien sapeur-pompier	52
C.	Le pharmacien au sein des organismes publics.....	52
1.	Santé publique France.....	53
2.	Agence régionale de santé	54
3.	Établissements de santé	54
III.	Les phases de préparation et de gestion d'un accident nucléaire	55
A.	Phase de préparation.....	56
B.	Phase d'urgence.....	59
C.	Phase post-accidentelle	61
QUATRIÈME PARTIE : EXEMPLE DE L'IMPLICATION DU PHARMACIEN DANS LA MISE A JOUR DE LA PLANIFICATION DU PLAN ORSEC IODE DU DÉPARTEMENT DE L'EURE.....		63
I.	La disposition ORSEC « dispositif de stockage et de distribution des comprimés d'iode hors zone PPI ».....	63
A.	Le plan.....	63
B.	Les comprimés d'iode stable.....	64
C.	L'avis du Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) du 6 juillet 2021.....	66
II.	Exemple de la place du pharmacien dans la mise à jour du plan ORSEC « dispositif de stockage et de distribution des comprimés d'iode hors zone PPI » dans le département de l'Eure	70

A. Contexte	70
1. Le département de l'Eure	71
2. La préfecture	72
B. Méthode de travail.....	72
C. La rédaction du plan	73
1. Répartition du territoire et organisation opérationnelle.....	74
2. Le stockage	76
3. L'alerte et la communication	77
D. Difficultés rencontrées	79
1. Le nombre de comprimés.....	79
2. La logistique du stock zonal.....	79
3. Les personnes prioritaires	80
4. L'aspect sécuritaire	81
E. Le pharmacien	81
F. Forces et vulnérabilités	82
CONCLUSION.....	84
BIBLIOGRAPHIE :	86
ANNEXES.....	96
ANNEXE 1 : dispositions ORSEC générales et spécifiques	96
ANNEXE 2 : fiche de liaison.....	98
ANNEXE 3 : le bon de livraison	99
ANNEXE 4 : les 3 étapes de la distribution.....	100

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : le parc nucléaire français en 2022 (7)	14
Figure 2 : principe de fonctionnement d'une centrale avec ou sans aéroréfrigérant (8)	15
Figure 3: acteurs français de la sûreté nucléaire (20)	22
Figure 4 : l'échelle INES (30).....	24
Figure 5 : le spectre des rayonnements électromagnétiques (45).....	30
Figure 6 : le pouvoir de pénétration des différents rayonnements (47)	31
Figure 7 : les sources d'exposition à la radioactivité (49).....	33
Figure 8 : exposition moyenne aux rayonnements ionisants de la population en France (mSv/an) (51).....	36
Figure 9 : représentation schématique à l'échelle moléculaire des lésions de l'ADN induites par les effets directs et indirects des rayonnements ionisants (52)	37
Figure 10 : la glande thyroïde (55)	40
Figure 11 : articulation entre les dispositifs ORSEC et ORSAN (78).....	50
Figure 12 : les phases de prévention et de gestion d'un accident nucléaire (83).....	55
Figure 13 : le département de l'Eure (104)	71
Figure 14 : stockage départemental des comprimés d'iode.....	77
Figure 15 : affiche "alerte nucléaire, je sais quoi faire" (86)	78

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : valeur d'exposition annuelle de la population fortement exposée (51) ...	34
Tableau 2 : effets déterministes et doses seuils pour une exposition unique brève (54)	38
Tableau 3 : incidence de nodules tumoraux thyroïdiens à la suite du dépistage systémique après l'accident de Fukushima (65).....	42
Tableau 4 : posologie de l'iodure de potassium	65
Tableau 5 : les 20 recommandations du HCSP de l'avis relatif à l'actualisation des recommandations concernant la protection des populations par l'iode stable en cas d'accident nucléaire	67

ABREVIATIONS

ADN : Acide désoxyribonucléique

AEN : Agence pour l'énergie nucléaire

AFCN : Agence fédérale de contrôle nucléaire

AIEA : Agence internationale de l'énergie atomique

AMM : Autorisation de mise sur le marché

ANCCLI : Association nationale des comités et commissions locales d'information

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

ANSM : Agence nationale du médicament et des produits de santé

ARS : Agence régionale de santé

ASN : Agence de sûreté nucléaire

ASNR : Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection

Bq : le Becquerel

CERP : Coopérative d'exploitation et de répartition pharmaceutique

CIP : Cellule d'information du public

CLI(N) : Commission locale d'information (nucléaire)

CORRUSS : Centre opérationnel de régulation et des réponses aux urgences sanitaires et sociales

DDETS : Direction départementale de l'emploi, du travail et des solidarités

DDTM : Direction départementale du territoire et de la mer

DMD : Délégation militaire départementale

DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement

DSDEN : Direction des services départementaux de l'éducation nationale

EDF : Électricité de France

EPCI : Établissement public de coopération intercommunale

ERP : Établissement recevant du public

Gy : le Gray

HCSP : Haut conseil de la santé publique

HCTISN : Haut comité pour la transparence et l'information sur la sûreté nucléaire

INB : Installation nucléaire de base

INSEE : Institut nationale de la statistique et des études économiques

IRSN : Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

NRBC : Nucléaire, Radiologique, Biologique, Chimique

OCDE : Organisation de coopération et de développement économique

OMS : Organisation mondiale de la santé

ORSAN : Organisation de la réponse du système de santé en situations sanitaires exceptionnelles

ORSEC : Organisation de la réponse de sécurité civile

PCA : Pharmacie centrale des armées

PPI : Plan particulier d'intervention

PSM : Poste sanitaire mobile

PUI : Plan d'urgence interne

PUI : Pharmacie à usage intérieur

RI : Rayonnement ionisant

SIA : Syndrome d'irradiation aiguë

SAMU : Service d'aide médicale urgente

SIDPC : Service Interministériel de défense et de protection civile

SPF : Santé publique France

Sv : Sievert

UNSCEAR : Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants

INTRODUCTION

Le 24 février 2022, l'armée russe envahit l'Ukraine et prend le contrôle de la zone d'exclusion de Tchernobyl comprenant la ville et la centrale nucléaire. Le mois suivant la Russie bombarde la centrale de Zaporijjia et la situation est qualifiée « *d'extrêmement préoccupante* » par l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA). Cette guerre fait craindre un nouvel accident nucléaire lié à un conflit armé par la communauté internationale et rappelle l'existence de ce risque également sur le territoire français. En France, en raison de ces attaques, une augmentation significative des demandes de comprimés d'iodure de potassium en pharmacie a été observée (1). En effet, la prise d'iode prévient le risque de cancer de la thyroïde en cas d'accident nucléaire. Pour cette raison et pour permettre aux pharmaciens de répondre aux interrogations et aux inquiétudes de la population, le ministère des Solidarités et de la Santé a partagé des éléments de réponse concernant les modalités et les dispositifs entourant la prise de comprimés d'iode (1).

Avec ses 57 réacteurs, la France est le deuxième pays le plus nucléarisé au monde et l'État français se doit d'assurer la sûreté et la sécurité de la population et de l'environnement. Après l'accident de Tchernobyl et plus récemment l'accident de Fukushima qui sont les deux accidents nucléaires majeurs de l'histoire, de nombreuses dispositions ont été mises en place pour éviter un accident nucléaire et protéger la population exposée si un tel événement venait à se produire. Leur objectif principal est la protection des populations, et l'une d'elles est la distribution d'iode. Préventive dans un premier temps, pour les populations vivant à proximité des centrales, la distribution devient prophylactique en gestion de crise avec un plan issu de l'Organisation de la Réponse de Sécurité Civile (ORSEC) qui lui est dédié dans chaque département. Ce plan est nommé « dispositif de stockage et de distribution des comprimés d'iode hors zone PPI ». L'activation de ce plan s'inscrit dans un contexte de crise majeure où la société civile est fortement impactée. Il est à destination de la population vivant à plus de 20 km d'une centrale nucléaire et vise à distribuer rapidement une quantité de comprimés à une population donnée lors d'un accident nucléaire. Comme tous les plans issus du dispositif ORSEC, ils doivent être mis à jour au moins tous les 5 ans au niveau préfectoral par le service en charge de la planification. La mise à jour de ce plan est essentielle pour s'assurer du bon

fonctionnement opérationnel d'un tel dispositif et protéger pour le mieux la population exposée aux éléments radioactifs.

Ainsi, cette thèse s'inscrit dans la mise à jour de ce plan au sein du département de l'Eure. Celui-ci datant de 2012, il était devenu urgent de le mettre à jour. De plus, ce sujet m'a permis d'aborder un dispositif de crise majeure, les effets sanitaires d'un accident nucléaire et l'une des contre-mesures médicales tout en observant le rôle du pharmacien dans ce dispositif de gestion de crise.

Problématique : Quelle est la place du pharmacien dans le cadre de la planification et de la gestion de crise nucléaire en France ?

Nous verrons dans un premier temps la place du nucléaire, les acteurs responsables de la sûreté des installations nucléaires et enfin un aperçu de certains des accidents nucléaires notables de l'histoire. Dans un second temps, nous aborderons les effets sanitaires des rayonnements ionisants et leurs impacts sanitaires à la suite des accidents de Tchernobyl et de Fukushima. Enfin, nous étudierons la mise à jour de la disposition de distribution de comprimés d'iode hors zone des Plans Particuliers d'Intervention (PPI) pour le département de l'Eure et la place du pharmacien dans cette mise à jour.

PREMIÈRE PARTIE : LE NUCLÉAIRE

I. Les centrales nucléaires

A. La production d'électricité

L'industrie nucléaire regroupe principalement l'ensemble des activités liées à l'exploitation des gisements d'uranium, à la production de combustible nucléaire, au fonctionnement des centrales nucléaires, à l'extraction du plutonium, à la gestion des déchets radioactifs ainsi qu'à la médecine nucléaire.

Le nucléaire civil désigne l'exploitation de l'énergie nucléaire pour la production de l'électricité. L'énergie nucléaire « *dépend d'un combustible fissile, l'uranium, dont le minéral est contenu dans le sous-sol de la Terre. Elle permet de produire de l'électricité, dans les centrales grâce à la chaleur dégagée par la fission d'uranium.* »

(2). C'est la première source de production et de consommation d'électricité en France et la troisième dans le monde (3). Le parc nucléaire mondial comptait en 2020 près de 450 réacteurs en exploitation dans plus de 30 pays. Les plus grands parcs nucléaires étaient aux États-Unis avec 94 réacteurs en service, suivi de la France avec 57 réacteurs (figure 1) et enfin la Chine qui possédait 47 réacteurs en exploitation.

L'énergie nucléaire représente 10,1% de la production d'électricité mondiale, ce qui en fait la 3^{ème} source de production d'électricité dans le monde après l'énergie thermique (63,9 %) et hydraulique (16,2%) (4). Le parc nucléaire français est aujourd'hui géré par l'entreprise Électricité de France (EDF) avec 57 réacteurs répartis sur 18 sites. Ce sont des réacteurs à eau sous pression (REP) dits de deuxième génération (5).

L'ASN a autorisé le 7 mai 2024 la mise en service du premier réacteur de troisième génération dit EPR (European pressurized water reactor) en France à Flamanville (6). Cette nouvelle génération de réacteurs ne diffère pas dans le mode de fonctionnement comparativement aux réacteurs de deuxième génération mais ils sont considérés comme plus efficaces et plus sûrs. De plus, leur durée d'utilisation est de 60 ans contre 40 ans pour les réacteurs de deuxième génération (7).

Carte géographique des réacteurs EDF en exploitation

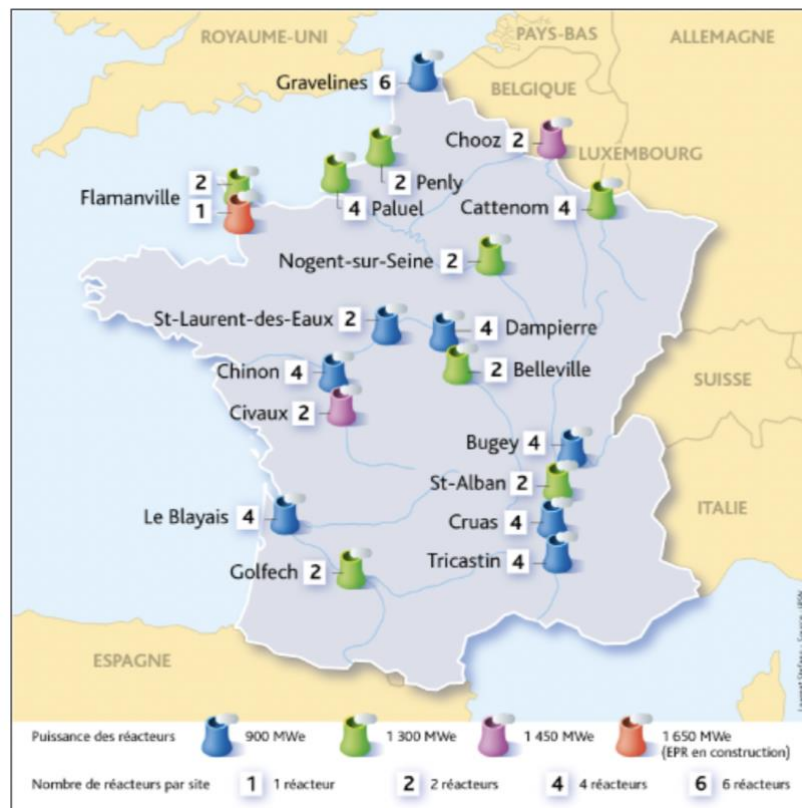


Figure 1 : le parc nucléaire français en 2022 (8)

B. Le fonctionnement d'une centrale nucléaire

Le fonctionnement d'une centrale nucléaire est basé sur 3 circuits indépendants dans lesquels de l'eau circule :

- Un circuit primaire assure la transmission de la chaleur dégagée dans le cœur du réacteur ;
- Un circuit secondaire amène la vapeur produite dans les générateurs de vapeur à la turbine du groupe turbo-alternateur qui produit l'électricité. La vapeur est retransformée ensuite en eau dans le condenseur ;
- Le circuit de refroidissement alimente en eau froide le condenseur, cette eau provient d'un fleuve, d'une rivière ou de la mer.

Selon le modèle de réacteur, l'eau est :

- Soit rejetée à la source à une température légèrement plus élevée dans le cas d'un réacteur sans aéroréfrigérant (figure 2, image de gauche) ;
- Soit réinjectée dans le circuit de refroidissement dans le cas d'un réacteur avec un aéroréfrigérant (figure 2, image de droite).

L'eau du circuit primaire est la seule à rentrer en contact avec le combustible nucléaire ce qui en fait une eau radioactive (9).

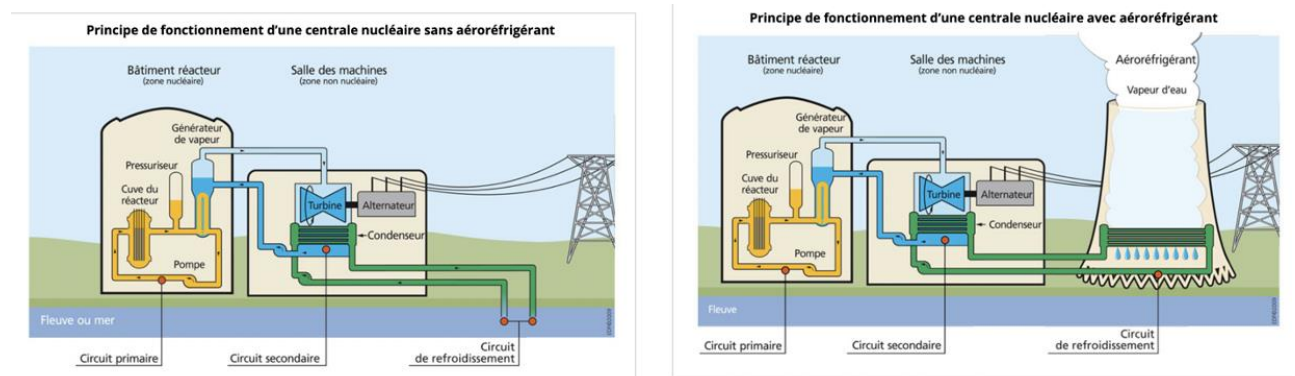


Figure 2 : principe de fonctionnement d'une centrale avec ou sans aéroréfrigérant (9)

Pour assurer la sûreté de fonctionnement d'un réacteur nucléaire, il est nécessaire de maintenir en permanence trois fonctions de sûreté, à savoir le contrôle de la réaction en chaîne, le refroidissement du combustible nucléaire et enfin le confinement de la radioactivité (9).

C. Le risque nucléaire

Le risque nucléaire est défini comme « *un événement se produisant dans une installation nucléaire pouvant conduire à un rejet d'éléments radioactifs dans l'environnement. En absence d'action de protection, les rejets peuvent entraîner deux conséquences pour l'homme : l'irradiation et la contamination.* » (10)

Les installations nucléaires sont exposées à divers dangers (11) :

- Les accidents nucléaires : ils surviennent par suite de défaillances techniques ou à des incendies d'envergure entraînant la défaillance des systèmes de confinement et conduisent parfois à une dispersion atmosphérique ou à des rejet liquide de produits radioactifs dans l'environnement ;
- Les aléas naturels et l'impact de l'environnement : risques sismiques, inondation, canicule. Certains de ces aléas climatiques ou naturels, sont susceptibles de devenir plus fréquents et plus intenses en lien avec le changement climatique. La disponibilité en eau est l'un des enjeux majeurs actuels de la sûreté nucléaire.
- Le danger aérien tel que la chute d'avion ou le survol de drones (12) ;

- Les actes de malveillances tels qu'une intrusion (13), un attentat terroriste ou une cyberattaque.

II. Les principaux acteurs de la sûreté nucléaire

La sûreté nucléaire est définie dans l'article L. 591-11 du Code de l'environnement comme « *l'ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires de base, ainsi qu'aux transports des substances radioactives, prise en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets.* » A ne pas confondre avec la sécurité nucléaire qui comprend les mesures techniques et organisationnelles qui sont prises pour permettre de détecter et d'éviter le vol, le sabotage, l'accès par des personnes non habilitées, le détournement des matières nucléaires et tout acte de malveillance (14).

A. Acteurs internationaux

Deux agences constituent les organisations intergouvernementales les plus importantes en ce qui concerne la sûreté nucléaire et la radioprotection : l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) et l'Agence pour l'Energie Nucléaire (AEN).

1. Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA)

L'Agence Internationale de l'Énergie Atomique est garante du cadre international de sûreté nucléaire. C'est l'organisation mondiale créée en 1957, qui a pour mission d'assurer que le cadre international de sûreté nucléaire le plus robuste soit établi, mis en œuvre dans le monde entier et continuellement renforcé (15). Elle publie les normes internationales de sûreté : les fondements de la sûreté, les prescriptions de la sûreté et les guides de sûreté (16).

2. Agence pour l'énergie Nucléaire (AEN)

L'Agence pour l'énergie nucléaire est une agence spécialisée de l'Organisation de Coopération de Développement Économique (OCDE). Elle a été créée en 1958, basée en France et compte 33 pays membres d'Europe, d'Amérique du Nord et de la région Asie-Pacifique. Ses domaines de travail couvrent la sûreté et la réglementation nucléaire, le droit et la responsabilité nucléaire, le développement de l'énergie nucléaire, la gestion des déchets, la radioprotection et la santé publique. Elle dispose d'une banque de données permettant d'accéder à des codes de calcul et d'autres données nécessaires pour analyser et prévoir les phénomènes dans le domaine nucléaire (17).

L'AIEA travaille autour de deux axes : l'un sur le contrôle des matières nucléaires et la non-prolifération et l'autre sur les activités liées à l'utilisation pacifiques de l'énergie nucléaire. Alors que l'AEN vise à assister les pays membres dans le maintien et le renforcement des fondements scientifiques, technologiques et juridiques nécessaires à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économiquement viable de l'énergie nucléaire.

3. Association mondiale des exploitants nucléaires (WANO)

Cette association a été créée en 1989 à la suite de l'accident de Tchernobyl. Elle réunit toutes les entreprises et pays qui possèdent une centrale nucléaire et vise à améliorer les normes de sûreté. Elle apporte également aux membres une assistance mutuelle, un échange des connaissances en matière de sûreté et de retour d'expérience en exploitation, et partage avec eux les meilleures pratiques afin d'améliorer leurs performances. La WANO compte 130 membres qui exploitent environ 450 réacteurs nucléaires répartis dans plus de 30 pays et régions à travers le monde (18).

B. Acteurs Européens

Concernant la construction du cadre juridique, la Commission européenne est appuyée par l'European Nuclear Safety regulators Group (ENSREG). Elle est créée en 2008 et rassemble des experts issus des pays membres de l'Union Européenne et de la Commission européenne

Les autorités de sûreté des pays européens ont créé des associations telles que :

- L'association des autorités de sûreté nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest (WENRA, Western European Nuclear Regulators Association) qui regroupe 19 États membres. Ses objectifs sont de développer une approche commune de la sûreté nucléaire et de constituer un réseau d'autorité de sûreté nucléaire en Europe échangeant leurs expériences. Les autorités de sûreté des pays membres partagent leurs expériences afin d'harmoniser les règles de sûreté pour les réacteurs et les installations de gestion des déchets (19) ;
- L'association des autorités européennes compétentes en radioprotection (HERCA, Heads of the European Radiological protection Competent Authorities). Son objectif est de renforcer la coopération européenne et l'harmonisation des pratiques nationales en matière de radioprotection (20).

C. Acteurs Français

1. L'État

En matière de politique nucléaire et de sécurité nucléaire, l'État est responsable des choix qui sont faits et il dispose du pouvoir de réglementation générale concernant la sûreté nucléaire et la radioprotection. Il prend les décisions majeures relatives aux installations nucléaires en s'appuyant sur les propositions et avis de l'autorité de sûreté Nucléaire (ASN).

Au niveau territorial, le préfet est responsable de la rédaction et du déclenchement des plans de gestion de crise (plan ORSEC IODE et PPI). Il a également pour rôle la mise en œuvre d'actions de protection de la population.

2. L'exploitant

Les exploitants des installations nucléaires sont les responsables au premier chef de la sûreté de leurs installations. Il justifie auprès des pouvoirs publics de la pertinence des moyens techniques et organisationnels mis en œuvre à cet effet (21). L'exploitant

a la responsabilité de s'assurer de l'application des normes de sûreté les plus élevées et doit répondre de manière appropriée et transparente aux situations d'urgence (15).

On retrouve en France (22) :

- EDF, qui gère l'ensemble du parc nucléaire français ;
- Orano (ex AREVA), qui intervient sur l'ensemble du cycle du combustible (extraction minière, concentration, raffinage, enrichissement, assemblage). Ce combustible est ensuite utilisé dans les centrales nucléaires exploitées par EDF ;
- L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) qui intervient sur la gestion à long terme des déchets radioactifs produits en France ;
- Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) qui exerce dans la recherche et la veille scientifique. Il vise à développer l'utilisation de l'énergie nucléaire dans les domaines scientifique, industriels et de la défense nationale. Il inclut depuis 2015 les énergies alternatives à son champ de compétences.

3. L'Autorité de Sûreté Nucléaire

L'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) a été créée en 2006 par la loi relative à la Transparence et à la Sécurité en matière Nucléaire, dite loi TSN. C'est l'autorité administrative indépendante en charge du contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection dans le domaine du nucléaire civile. Ses missions s'articulent autour de la réglementation, du contrôle et de l'information du public.

Son champ de contrôle comporte les installations nucléaires comme les centrales nucléaires d'EDF ou les établissements d'Orano, ainsi que le transport de matières radioactives. Elle contrôle les activités en lien avec un risque d'exposition des personnes aux rayonnements ionisants (RI), émanant soit d'une source artificielle soit d'une source naturelle. En cas de situation d'urgence, elle contrôle les opérations de mise en sûreté de l'installation prises par l'exploitant. Au titre de la sécurité civile ou sur le plan médical et sanitaire, elle adresse aux autorités compétentes ses recommandations sur les mesures à prendre et informe le public de la situation sur les éventuels rejets dans l'environnement et leurs risques pour la santé (23).

4. L'institut de radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)

L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) est l'organisme public d'expertise et de recherche sur les risques nucléaires et radiologiques. Ses missions regroupent l'expertise et la recherche dans les domaines de la sûreté nucléaire et des transports de matières radioactives et fissiles, de la protection de l'homme et de l'environnement contre les rayonnements ionisants (RI), de la protection et du contrôle des matières nucléaires et de la protection des installations nucléaires et des transports de matières radioactives et fissiles contre les actes de malveillance. En 2023, une possible fusion entre l'IRSN et ASN a été évoquée pour créer une seule et même autorité indépendante (24). Le 9 avril 2024, le projet de loi a été définitivement adopté par le Parlement. Celui-ci aboutira à la création de l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR) en 2025 (25).

5. Les parties-prenantes et associations

Le Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sûreté Nucléaire (HCTISN) est l'instance d'information, de concertation et de débat sur les risques liés aux activités nucléaires.

Les Commissions Locales d'Information (CLI), créées en 1981, sont des structures d'information et de concertation mises en place auprès des Installations Nucléaires de Base (INB). Les INB sont des installations qui, en raison de leur nature ou de la quantité et de l'activité des substances radioactives qu'elles renferment, sont soumises à des mesures spéciales visant à assurer la protection des individus et de l'environnement.

Les CLI ont pour mission générale le suivi et la concertation en matière de sûreté nucléaire, de radioprotection et d'impact des activités nucléaires sur les personnes et l'environnement. Elles ont également une mission d'information auprès du public.

Les Associations Nationales des Comités et Commissions Locales d'Information (ANCCLI) ont été créées dans un désir de mutualisation des expériences des CLI en France. En octobre 2006, l'ANCCLI crée EUROCLI. Ce réseau européen EUROCLI est constitué de CLI et d'acteurs de la société civile et a pour but de favoriser la

démocratie participative dans la gestion des activités nucléaires en Europe. Il vise à représenter la diversité de la société civile en relayant ses questions, ses préoccupations et ses commentaires à l'échelle européenne.

L'ANCCLI collabore avec les institutions nationales chargées de la sûreté nucléaire, notamment l'IRSN et l'ASN, sur plusieurs problématiques visant l'amélioration de la sûreté des installations et la radioprotection des populations.

Les professionnels de santé jouent un rôle essentiel dans la prévention et l'information du grand public. Notamment lors des campagnes de distribution d'iode mais également lors de la phase post-accidentelle en apportant un soutien psychologique, et les informations nécessaires à la protection du patient.

Les associations de protection de l'environnement telles que Greenpeace France ou le Réseau Sortir du Nucléaire luttent activement contre la sortie du nucléaire civil et organisent régulièrement des intrusions dans les centrales nucléaires françaises (26) (27).

La figure 3 présente l'articulation des acteurs français de la sûreté nucléaire.

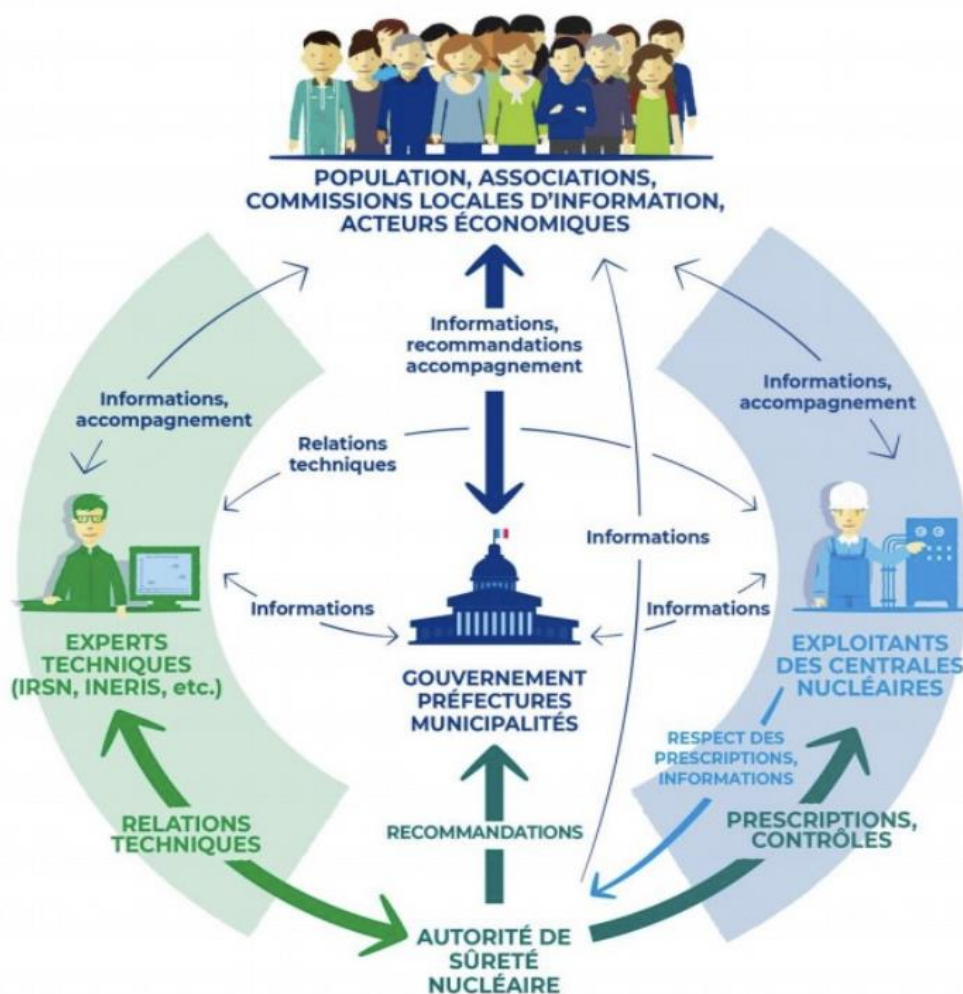


Figure 3: acteurs français de la sûreté nucléaire (28)

III. Historique des accidents nucléaires

A. Les échelles de classement des incidents et accidents nucléaires

La première échelle de classement des incidents et accidents nucléaires a été mise en place en 1987 par le Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire (HCTISN) (ex-CSSIN). L'AIEA publie en 1991 l'échelle INES (International Nuclear Event Scale) (figure 4) qui est utilisée dans plus de 60 pays comme référence internationale et comme moyen d'informer les médias et le public sur la gravité d'un événement nucléaire. Des mises à jour sont alors publiées en 2002 et 2008 et un manuel d'utilisation en langue française est ensuite publié en 2011 par l'ASN. À sa création, l'échelle était appliquée pour classer les événements survenant dans les centrales nucléaires. Aujourd'hui, son champ d'application a été étendu et

adapté aux installations associées à l'industrie nucléaire civile (transport, entreposage, utilisation de substances radioactives et de sources de rayonnement) (29).

Pour classer les événements, l'échelle INES se focalise sur 3 impacts :

- L'impact à l'extérieur du site : prend en compte les rejets radioactifs qui peuvent toucher la population et l'environnement ;
- L'impact à l'intérieur du site : prend en compte les rejets à l'intérieur du site qui peuvent toucher les employés et l'installation ;
- L'impact sur la défense en profondeur (contrôle technique, procédures, systèmes de sûreté...) : concerne les mesures mises en place pour éviter les accidents mais qui n'ont pas fonctionné.

Chaque événement est examiné sous ces trois angles et il est classé au niveau le plus élevé atteint pour l'un des trois. L'échelle est graduée en 7 niveaux allant de 0 à 7, le niveau 0 correspond à un événement qui n'a pas d'importance du point de vue de la sûreté, les niveaux 1 à 3 correspondent à des incidents sans conséquence significative pour l'environnement et la population tandis que les niveaux de 4 à 7 sont des accidents. Chaque année en France, plusieurs centaines d'événements sont classés au niveau 0, un centaine au niveau 1 et entre 0 et 4 au niveau 2 (30).

A titre d'exemple, les accidents de Tchernobyl et de Fukushima Daiichi sont classés au niveau 7 de l'échelle. Sauf s'ils présentent un intérêt particulier, les événements de niveau 0 ne font pas l'objet d'un avis d'incident. Les événements avec un niveau supérieur ou égal à 1 font l'objet d'un avis d'incident publié par l'ASN et enfin les événements de niveaux supérieurs ou égal à 2 font l'objet d'un communiqué de presse et d'une déclaration à l'AIEA.

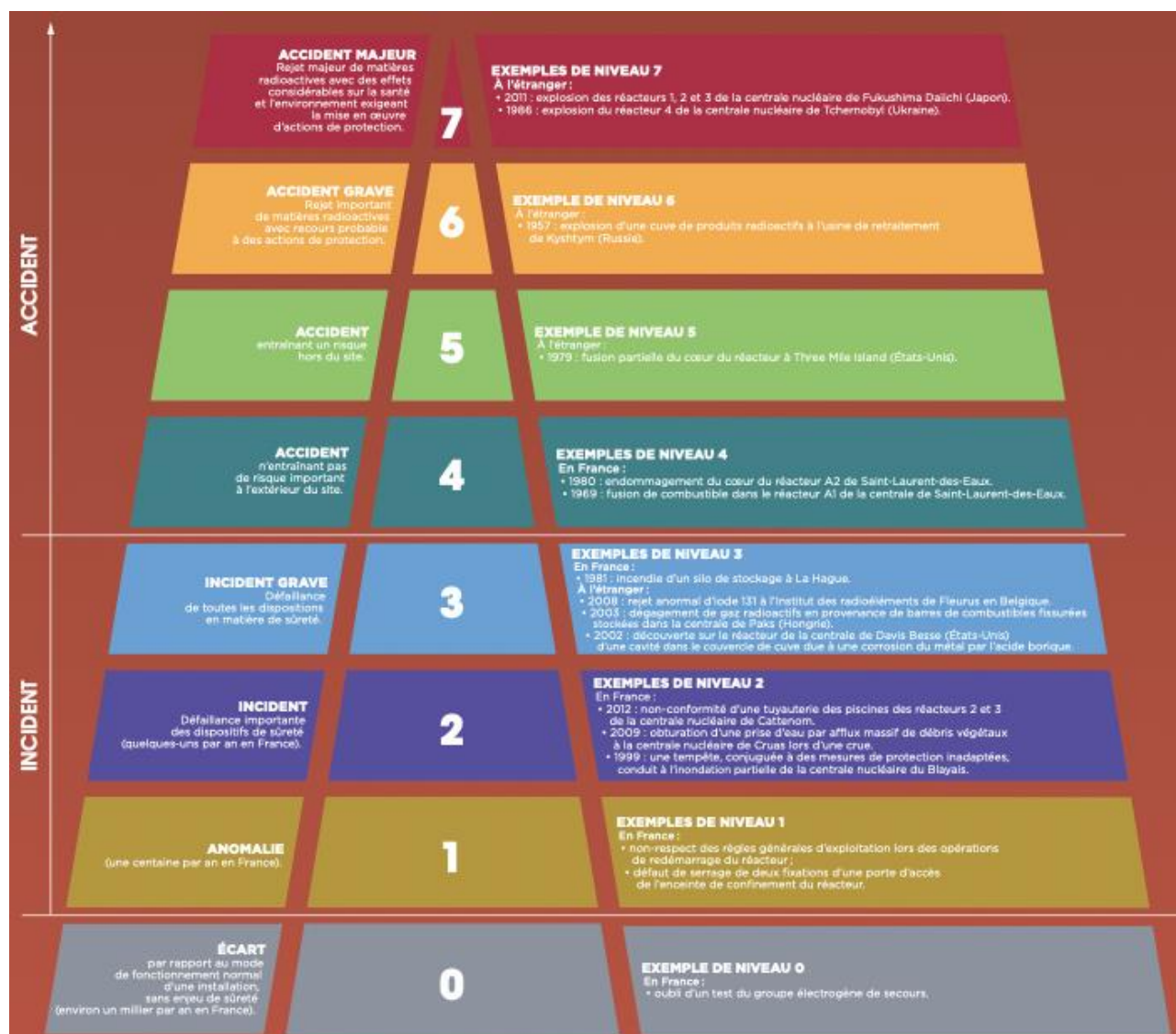


Figure 4 : l'échelle INES (31)

B. Historique des accidents nucléaires

A ce jour, on dénombre 5 accidents nucléaires, allant du niveau 4 à 7, dont deux majeurs dans le monde depuis 1957. En France, les plus graves accidents nucléaires sont les deux accidents de la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux du 17 octobre 1969 et du 13 mars 1980, classés niveau 4 sur l'échelle INES.

1. L'accident de Kychtym (1957)

Le 29 septembre 1957, un site nucléaire militaire russe situé près de la ville d'Oziorsk, subit une explosion.

Cet accident devient le premier accident nucléaire de l'Histoire et sera classé au niveau 6 de l'échelle INES. Il ne sera révélé au grand public qu'en 1976. Le nuage

radioactif se déplaça sur une distance de 350 km et les retombées radioactives ont provoqué une contamination à long terme d'une région d'une superficie d'environ 900 km². En raison du secret entourant cet événement, les 10 000 personnes évacuées n'ont eu aucune précision quant aux raisons de ce déplacement et les conséquences sanitaires sont difficiles à établir (32).

2. Les deux accidents de Saint-Laurent-Des-Eaux (1969 et 1980)

Les deux accidents à la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux (Loir-et-Cher) se sont déroulés, respectivement le 17 octobre 1969 et le 13 mars 1980. Ils sont classés niveau 4 sur l'échelle INES, ce sont donc les accidents nucléaires les plus importants recensés en France. La centrale est définitivement à l'arrêt depuis 1990 pour le réacteur A1 et depuis 1992 pour le réacteur A2.

Les archives dont disposent l'ASN et l'IRSN ne fournissent pas d'information détaillée sur la production et la gestion des effluents radioactifs pour ces deux périodes mais l'IRSN a détecté du plutonium d'origine industrielle grâce aux mesures dans les sédiments et cela pourraient correspondre aux rejets en Loire consécutifs aux deux accidents de Saint-Laurent-Des-Eaux de 1969 et 1980 (33). Dans un rapport de 2016, il est indiqué que « *la santé du public et l'environnement n'ont jamais été menacés et, selon les éléments recueillis, les rejets essentiellement gazeux, relatif à ces deux accidents ont été effectués sans dépasser les limites qui étaient alors imposée.* » (34)

1. L'accident de Three Mile Island (1979)

L'accident de la centrale nucléaire de Three Mile Island (TMI-2) s'est produit en Pennsylvanie en 1979 aux États-Unis. À la suite de multiples défaillances, le refroidissement du cœur n'a pas été assuré et cela a entraîné la fusion d'une partie du combustible et un important relâchement de la radioactivité dans l'enceinte de confinement. Cette dernière ayant rempli son rôle, les conséquences radiologiques pour l'environnement et la population ont été minimales. C'est le premier accident survenu dans une centrale nucléaire, il a été classé au niveau 5 de l'échelle INES et la centrale a été arrêtée définitivement (35).

2. L'accident de Tchernobyl (1986)

Survenu le 26 avril 1986, l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl, en Ukraine, a causé le plus grand rejet radioactif non contrôlé de l'histoire. Les explosions de vapeur et d'hydrogène ont mené à une rupture de la cuve du réacteur ainsi qu'à un incendie d'une durée de 10 jours. Les éléments radioactifs les plus lourds n'ont pas dépassé 30 km autour de la centrale. Mais de grandes quantités d'iode 131, de césium 134 et 137 radioactifs ont été rejetés dans l'atmosphère et transportés par le vent dans d'autres régions d'Europe (Biélorussie, Russie...).

Les personnes les plus impactées et les conséquences les plus graves ont été observées chez les opérateurs et les pompiers qui sont intervenus la nuit de l'accident ainsi que chez les liquidateurs chargés du nettoyage du site. Parmi les premiers intervenants, 134 ont été hospitalisés pour des Syndromes d'Irradiation Aiguë (SIA) et une trentaine de décès directement liés aux radiations a été enregistrée dans les quatre premiers mois (36). En plus des intervenants sur le site de la centrale, l'IRSN estime que 5 millions d'habitants de Biélorussie, d'Ukraine, de Pologne et de Russie ont été exposés. Par ailleurs, on estime entre 116 000 et 130 000 le nombre de personnes évacuées et qui résidaient dans la zone d'exclusion (37,38)

Pour la population générale, l'effet majeur a été une augmentation importante de la fréquence des cancers de la thyroïde dans les zones les plus contaminées de Biélorussie, d'Ukraine et de Russie.

En 2016, l'IRSN estimait qu'il était impossible de dresser un bilan sanitaire exhaustif à l'échelle internationale. En cause, les résultats disponibles sont limités par la qualité des études épidémiologiques réalisées, la difficulté d'identifier précisément les populations exposées et les incertitudes associées aux estimations dosimétriques. La réalisation de bilans sanitaires est rendue extrêmement compliquée par les changements socio-économiques majeurs survenus dans ces régions à la suite de la chute de l'Union soviétique.

A la suite de l'accident, les retombées radioactives au sol ont entraîné la contamination des denrées alimentaires produites sur les territoires contaminés. Les années

suivantes, le césium persistant dans les sols continue de contaminer certains produits agricoles.

En France, la population a été exposée à de très faible dose en 1986 essentiellement à l'est du pays. Toujours en France, une contamination de certaines productions végétales et animales était observable en 1986. En 2011, elle était encore observable occasionnellement dans certains produits naturels comme les champignons de forêt (39).

Aujourd'hui, la centrale de Tchernobyl est en cours de démantèlement. Depuis 2017, une arche recouvre le réacteur détruit et le sarcophage dégradé construit après la catastrophe. Cette arche assure le confinement des matières radioactives, protège le sarcophage des agressions climatique et du risque sismique. Enfin, il permet de préparer le démantèlement du sarcophage et le retrait des matières radioactives (40).

3. L'accident de Fukushima (2011)

Le 11 mars 2011, un séisme de magnitude 9 se produit au large de la ville de Honshu. Ce séisme provoque la coupure de l'alimentation électrique de la centrale nucléaire, entraînant l'arrêt des réacteurs. Par la suite, un tsunami dévaste la centrale et entraîne la perte du refroidissement et à terme la fusion des trois réacteurs nucléaires. L'accident est classé au niveau 7 de l'échelle INES et a entraîné un important rejet radioactif dans l'environnement, l'évacuation des populations et une contamination durable du territoire. Les radionucléides rejetés étaient principalement le césium 134 et 137 ainsi que de l'iode 131. Comparativement à l'accident de Tchernobyl les rejets de l'iode radioactif étaient dix fois moins importants. Les travailleurs employés à la centrale après la catastrophe étaient au nombre de 21 000, aucun SIA et aucun décès ont été attribués à l'exposition aux rayonnements ionisants. Les mesures de prise en charge de la population étaient composées d'une mise à l'abri, d'une évacuation et de surveillance sanitaire. Dans un rayon de 20 km, 76 000 personnes ont été évacuées, par la suite 62 000 habitants vivant dans un rayon de 20 à 30 km ont été priés de se mettre à l'abri et encouragés à évacuer s'il le souhaitait (41).

Le nuage radioactif a d'abord atteint le continent nord-américain puis les Antilles françaises et ensuite le nord de l'Europe. En France métropolitaine, ces concentrations

se situaient à des niveaux de 500 à plus de 1000 fois inférieurs à celles mesurées début mai 1986 à la suite de l'accident de Tchernobyl. A l'état de trace les éléments radioactifs n'ont pas présenté de risques sanitaires ou environnementaux (42).

Fin 2020, les conditions des trois réacteurs sont stabilisées, de l'eau douce est toujours injectée en permanence pour maintenir une température inférieure à 20°C dans les cuves. Pour éviter que les eaux polluées atteignent l'océan, un mur d'étanchéité a été construit et un système de pompage de l'eau mis en place pour rejeter une eau traitée et contrôlée en mer (43). En juin 2023, le rejet en mer des eaux contaminées a débuté. Ce processus est progressif jusque dans les années 2050, le Japon prévoit de rejeter 1,3 million de m³ d'eaux qui étaient jusque-là stockées. L'eau est préalablement diluée et le niveau de radioactivité est sept fois inférieur à la norme établie par l'OMS. Cette action préoccupe tout de même les habitants. Notamment les pêcheurs japonais craignant que cela ait un impact sur les ventes de leurs produits au niveau national et à l'étranger (44).

DEUXIÈME PARTIE : EFFETS SANITAIRES DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Comme évoqué dans la première partie, les accidents nucléaires peuvent être une source d'exposition de rayonnements ionisants et causer des effets pour l'homme et l'environnement. Ils ne sont pas tous responsables d'effets indésirables puisqu'ils peuvent être d'origine naturelle et d'autre sont utilisés dans le domaine médical.

I. Les rayonnements ionisants

A. Les rayons

Les rayons ionisants sont des rayonnements dotés d'une énergie suffisante pour éjecter un électron de l'orbite électronique d'un atome. Ils se propagent par le biais des ondes électromagnétiques à haute énergie (rayons X et rayons gamma) ou des particules (alpha, beta, neutrons) (45)

1. Les rayonnements électromagnétiques

Les rayonnements électromagnétiques comprennent la lumière ainsi que les rayons X et γ , leur spectre est présenté en figure 5. Ces rayons sont de même nature, ils se distinguent par leur origine et par leur énergie et ils ne sont ionisants qu'au-dessus de 10 électron-volts (eV). Ils sont caractérisés par une fréquence et une longueur d'onde. Ils comprennent les rayons X, les rayons ultraviolets, la lumière visible, le rayonnement infrarouge et les micro-ondes.

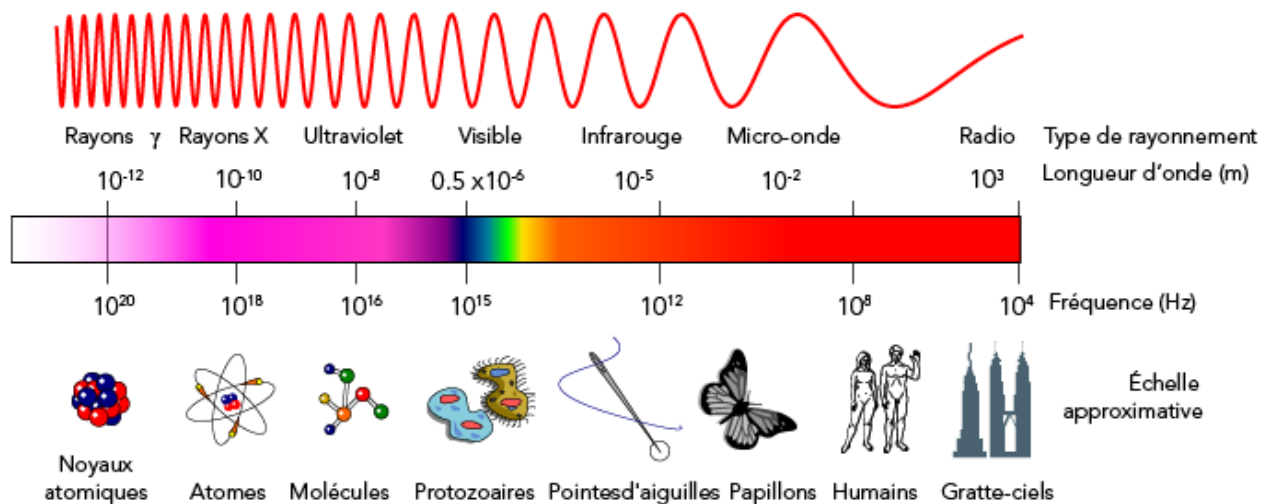


Figure 5 : le spectre des rayonnements électromagnétiques (46)

- Les rayonnements X proviennent des couches électroniques de l'atome. Ils se forment soit par le réarrangement électronique qui suit l'éjection d'un électron d'une couche orbitale profonde d'un atome, soit par la libération d'énergie résultant de l'interaction entre les noyaux des atomes d'une cible et un flux d'électrons. On l'utilise pour observer à travers la matière.
- Tandis que les rayonnements γ proviennent du noyau, ils sont composés de photons de haute énergie. C'est un mode de dissipation de l'énergie lors des réactions nucléaires.

Leur pouvoir pénétrant est très grand. Ils peuvent parcourir plusieurs centaines de mètres dans l'air. Pour s'en protéger, une forte épaisseur de béton ou de plomb est nécessaire (figure 6).

2. Les rayonnements particuliers

Les rayonnements particuliers ou corpusculaires sont des rayonnements α , β et des neutrons émis lors de la transformation nucléaire se produisant dans les noyaux instables (47) :

- Les rayonnements α sont émis lorsque les noyaux les plus lourds se transforment en émettant deux neutrons et deux protons constituant un noyau

d'hélium. Ils proviennent de réactions nucléaires de désintégration des atomes lourds, les émetteurs les plus courants sont le radon, le radium, l'uranium et le plutonium. Leur pénétration est très faible dans l'air, une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter les noyaux d'hélium (figure 6).

- Les rayonnements β sont constitués d'électrons. Contrairement aux rayons α , ils sont chargés électriquement et causent donc plus de dégâts. Ils peuvent être différenciés en deux catégories, les β^+ émis lorsque les noyaux ayant un excès de protons transforment un de leurs protons en neutron en émettant un positon, et les β^- émis lorsque les noyaux ayant un excès de neutron transforment un de leurs neutrons en protons en émettant un électron. Ils proviennent de réactions de désintégrations nucléaires et peuvent être associés à une émission γ comme l'iode 131 et le césium 137. Leur pouvoir pénétrant est faible, ils parcourent quelques mètres dans l'air. Une feuille d'aluminium ayant une épaisseur de quelques millimètres à la capacité de les bloquer (figure 6).
- Les neutrons : La pénétration est dépendante de leur énergie, une forte épaisseur de béton, d'eau ou de paraffine les arrêtent (figure 6).

Le pouvoir de pénétration des différents rayonnements

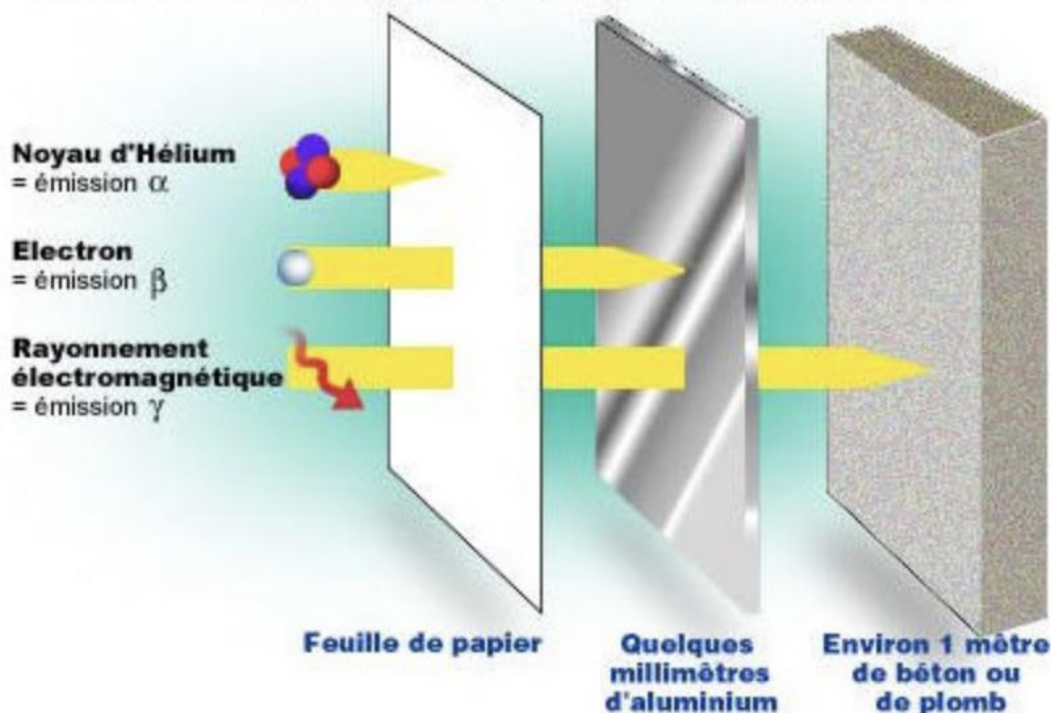


Figure 6 : le pouvoir de pénétration des différents rayonnements (48)

B. Les unités de mesure de la radioactivité (49)

La radioactivité correspond au nombre de désintégration qui se produit par unité de temps dans une quantité donnée du radionucléide qui la constitue, son unité est le becquerel (Bq) correspondant à une désintégration par seconde. C'est une unité à l'échelle atomique, infiniment petite dépourvue de significativité à l'échelle biologique et détectable par les appareils de comptage.

L'énergie transportée par les atomes qui ont émis un rayonnement vont rencontrer de la matière à qui ils cèdent une partie ou une totalité de cette énergie. Cette dose absorbée reçue est mesurée en Gray (Gy), elle correspond à la quantité d'énergie transférée par unité de masse de la matière exposée ($1\text{Gy} = 1\text{ Joule par kilogramme}$).

Pour une dose absorbée (en Gy) équivalente, les effets biologiques sur l'organisme vivant exposé dépendent de la nature du rayonnement, de son énergie et du temps d'exposition. De plus, les tissus ou organes n'ont pas les mêmes sensibilités vis à vis des rayonnements. Pour prendre en compte ces différents paramètres, l'autre grandeur de dose utilisée est le Sievert (Sv). On parle de dose équivalente pour un organe ou un tissu et de dose efficace pour le corps entier correspondant à la somme des doses équivalentes de l'ensemble des organes.

C. Sources d'exposition

Plusieurs sources d'exposition aux rayonnements ionisants sont possibles, elles sont présentées en figure 7.

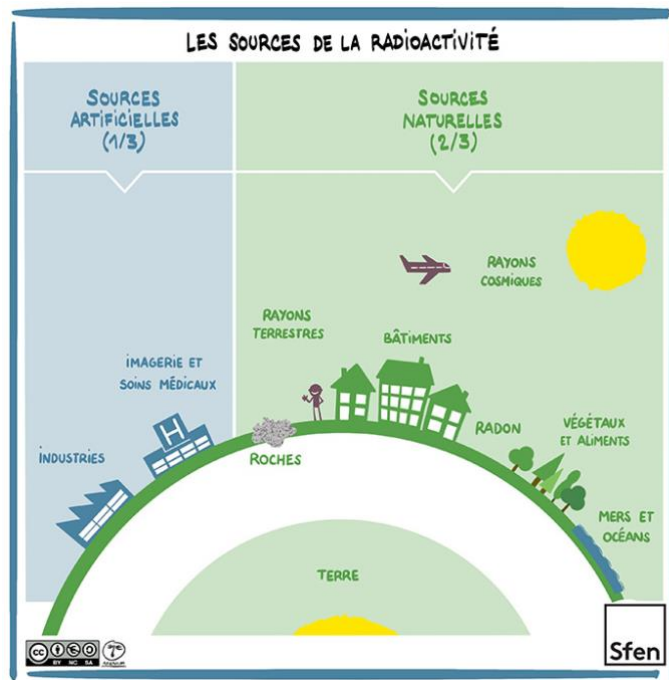


Figure 7 : les sources d'exposition à la radioactivité (50)

1. Sources d'exposition naturelles

Elles sont au nombre de trois (51):

- Origine terrestre ou tellurique :

Source principale de l'exposition des êtres vivants, elle était notamment très élevée lors de l'apparition de la vie. Les radionucléides naturels primitifs avec une période (T) inférieure au million d'années ayant disparu par désintégration naturelle. Il ne reste que les éléments à période longue que l'on différencie selon leur poids en deux familles principales : les éléments lourds et les éléments légers.

- Origine cosmique :

Ces rayonnements proviennent des réactions nucléaires des étoiles de forte activité, comme le soleil qui émet un rayonnement essentiellement protonique, ou des explosions de supernovas. L'organisme ne sera pas exposé à la même dose de rayonnement d'origine cosmique en fonction de l'altitude. Par exemple, elle est de 0,4 mSv au niveau de la mer contre de 2 mSv à 3900 mètres d'altitude.

Ces rayonnements peuvent également interagir avec des éléments terrestres ou atmosphériques pour former des radionucléides secondaires.

- Origine interne :

Elle est dite endogène ou intrinsèque lorsqu'elle provient d'isotopes radioactifs d'éléments constitutifs de l'organisme, comme le potassium 40 et le carbone 14, et exogène lorsqu'elle provient de radionucléides incorporés par inhalation, ingestion ou injection.

L'exposition exogène est principalement due à l'inhalation de produits de décomposition du radon 222, gaz omniprésent dans l'air, qui irradie à leur contact l'épithélium bronchique et alvéolaire. L'exposition exogène peut également être liée à la radioactivité naturelle des aliments.

L'exposition aux rayonnements naturels va dépendre du pays ou de la région. En France, la valeur moyenne annuelle d'exposition aux rayonnements naturels est de 2,4 mSv, en montagne à 1 500 m d'altitude elle est de 3 mSv et en Bretagne, où le sol est granitique, elle est de 3,5 mSv (tableau 1).

Tableau 1 : valeur d'exposition annuelle de la population fortement exposée (51)

Région à forte radioactivité tellurique	Cause	Total annuel (mSv)
Bretagne, Massif central, Vosges	Granite	3,5
Inde, province de Kerala	Thorium	10 à 70
Brésil (Espírito Santo)	Thorium	30
Iran, ville de Ramsar	Uranium, thorium	130

2. Sources d'exposition artificielles

- L'activité médicale :

Cette exposition résulte de trois activités : le radiodiagnostic, la médecine nucléaire et la radiothérapie. En moyenne, un individu de pays développé reçoit une dose annuelle due à l'activité médicale de 1 mSv, en France elle est de 1,53 mSv. Cette moyenne est contestée car les actes de radiologie sont très hétérogènes dans la population. Par exemple en France au cours de l'année 2017, seulement 32,7% de la population

française a bénéficié d'au moins un acte (hors actes dentaires). Parmi ces patients, 50% reçoivent des doses inférieures ou égale à 0,1 mSv, 75% reçoivent une dose inférieure ou égale à 1,5 mSv et seul 5% reçoivent des doses supérieures à 18,1 mSv (52).

- Activité nucléaire civile

Les activités nucléaires impliquant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants sont les Installation Nucléaire de Base (INB), les transports de substances radioactives, l'élimination des déchets radioactifs et la gestion des sites contaminés (52).

L'IRSN gère les réseaux de surveillance automatisés sur l'ensemble du territoire français. Il surveille en temps réel la radioactivité dans l'environnement et met en évidence toute variation anormale. Aucune méthode n'existe pour surveiller la dose reçue par la population du fait de l'activité nucléaire et la limite d'exposition fixée à 1 mSv n'est pas vérifiable. Cependant, une surveillance radiologique de l'environnement est mise en place aux abords des installations et permet de recueillir les données nécessaires pour déterminer l'impact dosimétrique de ces rejets sur les populations vivant proche d'une INB. Cet impact dosimétrique varie entre quelques à μSv et quelques dizaines de μSv par an en fonction du type d'installation.

En fonctionnement anormal, comme les essais nucléaires passés ou les accidents nucléaires, les rejets peuvent contribuer à l'exposition de la population. L'exposition combinée due aux retombées de Tchernobyl et des essais nucléaires est évaluée en moyenne à une dose de 12 $\mu\text{Sv}/\text{an}$ à l'échelle de l'ensemble du territoire français. Concernant les retombées de l'accident de Fukushima, l'IRSN a montré en 2011 la présence d'iode radioactif à des niveaux très faibles exposant la population française à des doses inférieures à 2 $\mu\text{Sv}/\text{an}$.

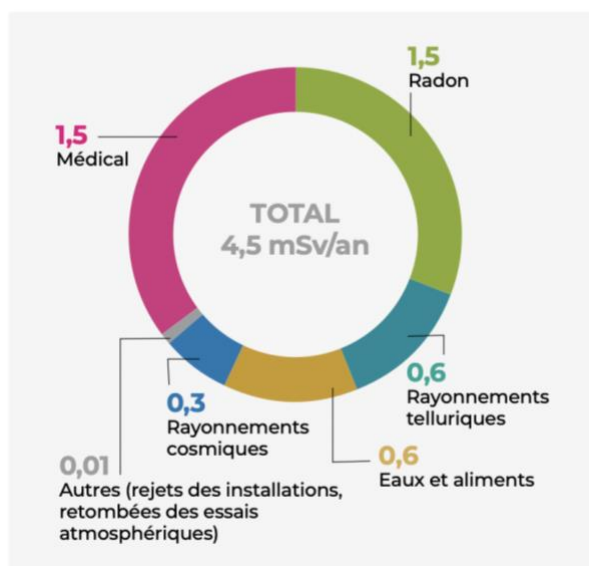


Figure 8 : exposition moyenne aux rayonnements ionisants de la population en France (mSv/an) (52)

II. Effets sur l'organisme

Pour comprendre les effets des RI sur l'organisme, il est nécessaire de regarder leur effet à l'échelle moléculaire dans un premier temps, puis au niveau cellulaire dans un second temps.

A. Échelle moléculaire

Au niveau moléculaire, de nombreuses réactions radiochimiques sont induites par la pénétration des rayonnements ionisants dans l'organisme et sont susceptibles d'induire des altérations moléculaires. Les lésions des RI sur l'ADN sont schématisées en figure 9 et seront :

- A effet direct, ils interagissent directement avec la molécule d'ADN et cela aboutit à la création d'ionisation au sein de la molécule d'ADN ;
- A effet indirect, ils représentent 60 à 70% des dommages causés par l'irradiation. Cet effet implique des réactions avec les molécules d'eau appelées radiolyse qui conduisent à la création de radicaux libres HO et H. Ces radicaux libres vont réagir avec les molécules proches, comme l'oxygène, et vont déclencher des réactions en chaîne, qui, produit à proximité de l'ADN, vont altérer sa structure. Les effets cytolytiques, mutagènes ou cancérigènes engendrés par les RI sont en grande partie liés à cette interaction.

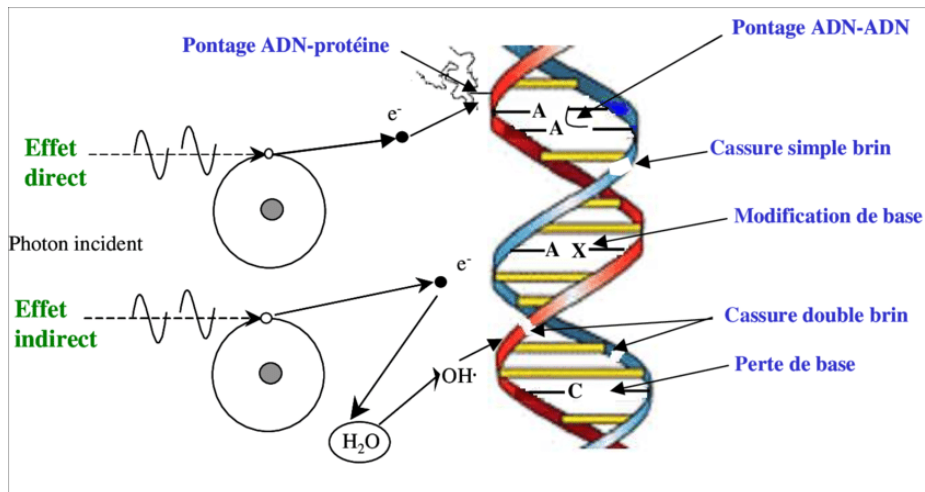


Figure 9 : représentation schématique à l'échelle moléculaire des lésions de l'ADN induites par les effets directs et indirects des rayonnements ionisants (53)

En fonctionnement normal ou lors d'exposition à des RI ou autres toxiques chimiques, des mécanismes de défense permettent à nos cellules d'éviter une modification de l'ADN :

- Défense contre les radicaux libres et le stress oxydatif : la cellule met en place des mécanismes de défense enzymatique qui sont des capteurs de radicaux libres et des antioxydants ;
- Les mécanismes de protection : systèmes de surveillance des lésions de l'ADN ayant pour finalité d'éviter toute rémanence qui pérennisent une altération génétique. Pour ça, la cellule lésée est soit éliminée, car les lésions sont trop importantes, soit l'ADN est réparé car la cellule est viable.

B. Échelle cellulaire

Au niveau cellulaire, les RI peuvent altérer l'ADN, et ceci peut aboutir à 3 phénomènes :

- L'ADN se répare ;
- L'ADN est trop lésé et la cellule meurt (= effet déterministe) ;
- L'ADN se répare mal (= effet aléatoire ou stochastique).

Pour une même dose d'exposition, la nature et l'importance des lésions cellulaires vont dépendre de différents facteurs comme le type et l'énergie des rayonnements, le mode

d'exposition, du débit de dose, de facteurs chimiques ou physiques qui influencent la sensibilité cellulaire et le type de cellules exposées (54).

1. Effets déterministes

Les effets déterministes, ou effets à court terme, apparaissent au-dessus d'un seuil (à partir de 0,15 Gy) (tableau 2) : leur gravité dépend d'une part de la dose délivrée au tissu ; plus elle est élevée plus le pourcentage de cellules tuées augmente, et d'autre part de la superficie du corps irradiée (partiellement ou globalement). Les tissus et organes les plus radiosensibles sont les organes reproducteurs, la moelle osseuse, le cristallin et la peau. Par exemple, une irradiation de la peau localisée peut entraîner, selon la dose, une brûlure, une ulcération ou une nécrose. Dans le cas d'une irradiation globale du corps humain, le pronostic vital sera lié à l'importance de l'atteinte des tissus (moelle osseuse, tube digestif, système nerveux central). Une exposition aiguë uniforme du corps entier entraînera le décès dans 1 cas sur 2 à partir de 4 Gy en l'absence de traitement (54)

Tableau 2 : effets déterministes et doses seuils pour une exposition unique brève (54)

Effet ou réactions tissulaires	Dose d'irradiation (Gy)
Diminution temporaire des spermatozoïdes	0,15
Atteinte oculaire	0,5
Diminution temporaire des leucocytes	1
Lésion cutanées	
Stérilité féminine	2,5
Stérilité masculine définitive	3,5
Atteinte gastro-intestinale	5
Décès par atteinte du système nerveux	15

2. Effets stochastiques

Les effets stochastiques, à long terme ou aléatoire, sont à l'origine d'altérations cellulaires compatibles avec la survie cellulaire. Elles seront de deux types selon la nature des cellules : à l'origine de cancers pour les cellules somatiques et à l'origine d'effets héréditaires transmissibles pour les cellules germinales. Le délai de survenue d'un cancer se compte en années et contrairement aux effets déterministes, ils sont sans lien avec la dose. Il est établi que toute dose, aussi faible soit-elle, peut entraîner un risque de cancer, c'est l'hypothèse d'absence de seuil.

III. Effets sanitaires des accidents nucléaires de Tchernobyl et Fukushima

A. Le cancer de la thyroïde

La thyroïde est une glande située au niveau du cou (figure 10), dont la principale fonction est de fabriquer des hormones à partir de l'iode présent naturellement dans l'alimentation. Il existe quatre types de cancers différenciés de la thyroïde : papillaires (le plus fréquent), vésiculaires, médullaires ou folliculaires. Il est de très bon pronostic : on guérit dans plus de 90% des cas d'un cancer de la thyroïde.

Le cancer de la thyroïde est environ trois fois plus fréquent chez les femmes que chez les hommes, et son incidence varie considérablement d'un pays à l'autre. Les taux normalisés selon l'âge pour 100 000 femmes étaient, en 2012, de 88,6 en Corée du Sud, de 12,6 en France, 6,5 au Japon (55). Seulement 2,3 % de tous les cancers de la thyroïde sont diagnostiqués chez les enfants âgés de 0 à 19 ans.

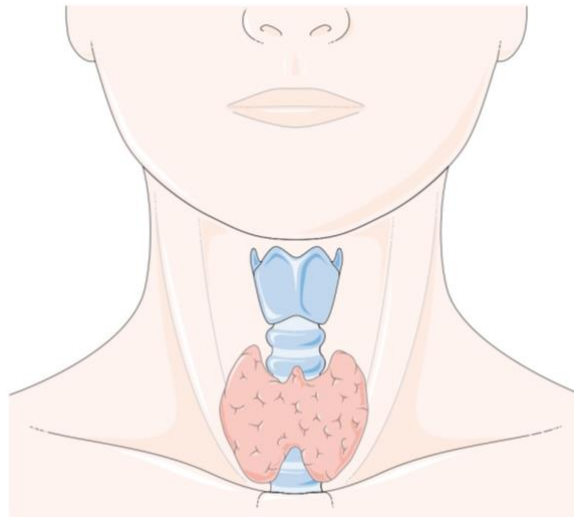


Figure 10 : la glande thyroïde (56)

Il y a deux facteurs de risque avérés du cancer de la thyroïde : la carence en iode et l'exposition interne ou externe aux rayonnements ionisants. En effet, concernant ce dernier facteur de risque, la thyroïde est un organe connu pour être particulièrement sensible aux RI, surtout pendant l'enfance. Le risque de développer un cancer de la thyroïde à la suite d'une exposition aux RI dépend de la dose et de l'âge. Une exposition avant l'âge de 10 ans expose l'individu à un risque plus important de développer un cancer tandis qu'aucune étude n'a démontré un excès de cas de cancer chez les sujets qui ont été irradiés après l'âge de 40 ans, quelle que soit la dose (57).

1. Tchernobyl

En 1986, une cohorte de 11 732 enfants biélorusses âgés de moins de 18 ans au moment de l'accident a permis d'évaluer la dose moyenne à la thyroïde à 580 mGy chez les 0-18 ans et à environ 1000 mGy chez les 0-3 ans (58). En raison de la taille de leur glande thyroïde, les adultes ont reçu une dose moyenne de 100 mGy.

Le rapport de l'UNSCEAR de 2008 s'est basé sur les registres nationaux et régionaux de l'époque et il a été recensé sur la période 1991-2005 un total de 6848 cas de cancer de la thyroïde chez les personnes âgées de 18 ans ou moins en 1986, dans l'ensemble de la Biélorussie, de l'Ukraine, ainsi que dans les quatre régions les plus touchées de la Fédération de Russie. Le rapport soulignait dès 2008 que l'augmentation de l'incidence des cas de cancer de la thyroïde chez les enfants et l'adolescent était très probablement liée à l'exposition à l'iode radioactif. De plus, il a été estimé que le risque

de développer un cancer peut être multiplié par 2,5 à 6 pour une dose de 1 Gy à la thyroïde (59).

En 2018, le nouveau rapport de l'UNSCEAR établit que l'augmentation au cours du temps de l'incidence du cancer de la thyroïde chez les personnes âgées de moins de 18 ans en 1986, pouvait être attribuable à trois facteurs, à savoir, la hausse des taux de cancer avec l'âge, l'amélioration des méthodes de détection médicale et de l'exposition aux rayonnements ionisants. Au total, 20 000 cas de cancer de la thyroïde ont été diagnostiqués sur la période 1991-2015 dont 7600 sur la période 2011-2015 chez les jeunes âgés de moins de 18 ans au moment de l'accident en 1986. L'UNSCEAR estime qu'environ 25% de ces cancers thyroïdiens seraient attribuables à l'exposition aux rayonnements ionisants de l'accident.

Concernant les personnes exposées à l'âge adulte au moment de l'accident, les résultats des études épidémiologiques sont discordants. On peut noter une méta analyse de 2002 (60) démontrant qu'il n'y pas eu d'excès de cas de cancer de la thyroïde chez les résidents de zones contaminées et les liquidateurs. Mais d'autres études menées chez les liquidateurs démontrent une augmentation de l'incidence du cancer de la thyroïde (61,62) et une étude comparative menée chez les résidents des zones contaminées et chez les résidents des zones non contaminées démontre un excès de cas de cancer chez les résidents de territoires contaminés (63). Le rapport de l'UNSCEAR en 2008 a estimé que cette augmentation des cas de cancer peut être attribuée principalement à un meilleur dépistage.

L'exposition aux rayonnements ionisants a entraîné des cancers de la thyroïde principalement chez les personnes ayant moins de 18 ans au moment de l'accident. En 2011, l'OMS et l'AIEA ont estimé à environ 4000 le nombre total de cas de cancer de la thyroïde directement attribuable à l'exposition à l'iode radioactif rejeté lors de l'accident dont 15 ont été mortels.

2. Fukushima

Comparé à Tchernobyl, les doses reçues à la thyroïde étaient de 10 à 250 fois plus faibles, au maximum de 20 mGy. A la suite de l'accident en 2011, la préfecture de

Fukushima a lancé l'enquête sur la gestion de la santé à Fukushima (« Fukushima Health Management Survey »). Elle concerne plus de 360 000 jeunes âgés de moins de 18 ans et consiste en un dépistage systématique du cancer comprenant un examen échographique de la thyroïde. Les bilans thyroïdiens sont réalisés tous les 2 ans pour les jeunes âgés de 20 ans et moins et tous les 5 ans pour les personnes de plus de 20 ans (64).

Les résultats de ces campagnes de dépistages systématiques ont montré un taux élevé de cancer de la thyroïde. En l'absence de données antérieures de surveillance sanitaire à Fukushima, la première campagne de dépistage de masse du cancer de la thyroïde devait servir de référence. Elle s'est déroulée d'octobre 2011 à mars 2014 et a fourni des données sur la prévalence de la maladie (116 cas parmi 300 472 enfants, 39/100 000) qui nous donne à la fois les nouveaux cas de cancer survenu sur cette période mais également les anciens cas déjà présents non diagnostiqués avant l'accident. Les campagnes suivantes ont permis d'estimer l'incidence de la maladie (tableau 3), représentant les nouveaux cas diagnostiqués sur la période donnée. Ces chiffres ont été communiqués par la préfecture de Fukushima. Le nombre de cas détectés sont principalement des nodules tumoraux de petite taille sans manifestation clinique.

Tableau 3 : incidence de nodules tumoraux thyroïdiens à la suite du dépistage systématique après l'accident de Fukushima (65)

Campagne de dépistage	Incidence
Deuxième campagne :	13/100 000 par an
Avril 2014 – mars 2016	→ 71 nouveaux cas en 2 ans parmi 270 552
Troisième campagne :	7/ 100 000 par an
Avril 2016 – mars 2018	→ 31 nouveaux cas en deux ans parmi 217 922 enfants
Quatrième campagne :	9/100 000 par an
Avril 2018 – mars 2020*	→ 36 nouveaux cas en deux ans parmi 183 352 enfants
Cinquième campagne* :	3 nouveaux cas parmi 32 404 enfants au 30 juin 2021
Avril 2021 – mars 2022	

*Le nombre de cas de cette campagne n'est pas encore consolidé et est susceptible d'augmenter

En parallèle de la première campagne de dépistage dans la préfecture de Fukushima et compte tenu du manque de données épidémiologiques sur les taux de cancer de la

thyroïde chez les enfants au Japon, une enquête similaire a été menée de novembre 2012 à janvier 2013 dans les préfectures d'Aomori, Nagasaki et Yamanashi sur 4 365 enfants âgés de 3 à 18 ans (66,67). L'étude a montré des taux de prévalence similaires de kystes et de nodules thyroïdiens mais a souffert de biais : une taille de l'échantillon trop petit, une tranche d'âge et une répartition par sexe différentes des campagnes de Fukushima.

A ce jour, malgré une incidence élevée de nodules tumoraux thyroïdien, les spécialistes estiment que ces résultats observés dans la préfecture de Fukushima sont liés à l'effet du dépistage plutôt qu'à un effet des RI, on parle alors de « facteur de dépistage » lorsque l'augmentation de la prévalence ou de l'incidence est liée au caractère systématique d'une campagne de dépistage (68).

B. Le syndrome d'irradiation Aiguë (SIA)

Le syndrome d'irradiation aiguë se manifeste en général chez les personnes dont le corps entier a été exposé en une fois ou sur une courte période à des doses de rayonnements très élevées.

Selon l'organe principalement atteint, le SIA se classe en trois catégories de syndrome (45) :

- Syndrome hématopoïétique : il se manifeste lors de l'exposition du corps entier à des doses entre 1 et 6 Gy et se compose d'une pancytopénie généralisée ;
- Syndrome gastro-intestinal : il se manifeste lors de l'exposition du corps entier à des doses entre 6 et 30 Gy, souvent létal ;
- Syndrome cérébro-vasculaire : il se manifeste lors de l'exposition du corps entier à de très haute dose (>30 Gy), il est toujours fatal dans les heures ou jours qui suivent l'exposition.

Habituellement, ces syndromes passent par trois stades :

- La phase de symptômes précoces (quelques minutes à 2 jours après l'exposition) : léthargie et syndrome gastro-intestinaux (nausées, vomissements, anorexie, diarrhée) ;

- La phase de latence (quelques heures à 21 jours après l'exposition) : asymptomatique ;
- La phase manifeste de la maladie systémique (de quelques heures à 60 jours après l'exposition : la maladie est classée selon le principal organe atteint et les syndromes dépendent de la dose reçue (45).

1. Tchernobyl

Lors de l'accident de Tchernobyl en 1986, 600 employés de la centrale et pompiers sont intervenus dès le premier jour. C'est la partie de la population ayant reçu les doses les plus élevées. Parmi eux, 134 individus ont été atteints du SIA et au total deux employés sont décédés immédiatement de brûlures, 28 sont morts dans les mois suivant l'accident et 19 sont décédés plus tardivement entre 1987 et 2004 de causes diverses (37,69).

2. Fukushima

L'accident de Fukushima a nécessité 21 000 travailleurs pour effectuer les opérations d'urgence et de remédiation sur le site. Les doses moyennes reçues étaient 10 fois plus faibles que celles reçues par les liquidateurs de Tchernobyl. Les SAI n'ont pas été observés à la suite de l'accident de Fukushima et aucun décès pouvant être attribué à une exposition aux rayonnements ionisants n'a été observé (37).

C. Autres effets sanitaires

1. Tchernobyl

Le cancer du sein, les maladies thyroïdiennes bénignes, les malformations congénitales, les troubles neuropsychiatriques, les maladies cardiovasculaires et cérébro-vasculaires sont des maladies également étudiées à la suite de l'accident. En population générale, aucune étude épidémiologique n'a démontré une augmentation des taux de cancers solides, de leucémie ou de maladie non cancéreuses à la suite de l'exposition aux RI. Chez les liquidateurs, des études utilisant une reconstruction

détaillée de la dose de radiation reçue à la moelle osseuse ont observé une augmentation du risque de leucémie chez les liquidateurs (70,71).

Des effets non liés aux rayonnements ionisants ont été observés. Le rapport du Forum de Tchernobyl (72) a établi que les effets sur la santé mentale étaient l'une des conséquences sanitaires notables en matière de santé publique à la suite de l'accident. L'accident a en particulier impacté la santé mentale des liquidateurs et des femmes ayant des enfants en bas âge. En effet, la population touchée par l'accident a été confrontée à un changement de mode de vie entraînant des conséquences psychologiques et sociales : évacuation, relogement, perte d'emploi, stigmatisation sociale. En 2006, chez les liquidateurs, la prévalence de la dépression et du syndrome de stress post-traumatique était élevée. Ces effets psychosociaux sont principalement attribués aux changements de vie et aux conséquences socio-économiques (73).

2. Fukushima

Tout comme après Tchernobyl, les conséquences sanitaires, autre que le cancer de la thyroïde, ont été étudiées. Il est ressorti dans le « Fukushima Health Management Survey » (74) une augmentation significative après 2011 de la fréquence d'hypertension, de surpoids, de diabètes, de dyslipidémies, d'anxiétés et de dépressions chez les personnes évacuées. Tout comme après l'accident de Tchernobyl, ces conséquences sanitaires sont en lien avec les changements dans leur mode de vie tels que l'évacuation, l'isolement social et le changement du régime alimentaire. Le rapport souligne qu'elles ont été accentuées par la défaillance des infrastructures et des services médicaux.

D. Discussion autour des effets sanitaires

Les données scientifiques entourant les deux accidents nucléaires majeurs sont abondantes mais souvent contradictoires.

Sur l'accident de Tchernobyl, les divergences persistent entre les organisations internationales quant aux nombres de décès et aux impacts sanitaires de l'accident de Tchernobyl. L'OMS estime à 212 le nombre total de décès de liquidateurs à la suite de l'accident tandis que les scientifiques locaux en Ukraine et en Biélorussie avancent

des chiffres allant de 60 000 pour l'association Union Tchernobyl, et jusqu'à 112 000 à 125 000 selon de Yablokov et al.(75). Alors que l'ONU estime qu'à terme le bilan total sera de 4000 morts, des associations tel que Greenpeace avance le chiffre de 200 000 décès entre 1991 et 2006 et l'étude de Yablokov et al. (75) estime le bilan total à un million de décès. De manière générale, la prédiction du nombre de décès liés aux doses de radiation reçues est entachée d'importantes incertitudes : doses sous-évaluées, populations étudiées incomplètes en raison du flux migratoire, désaccord sur l'application de la relation linéaire sans seuil pour les très faibles doses, désaccord sur le type d'exposition (aiguë contre chronique). Ces perspectives divergentes mentionnées ci-dessus expliquent les critiques et les contestations qui surgissent quant à la mortalité imputable à l'accident de Tchernobyl.

Concernant l'accident de Fukushima, il est encore trop tôt pour tirer les conclusions définitives sur les possibles impacts sanitaires et en particulier sur une éventuelle augmentation des cas de cancer de la thyroïde qui, selon les organisations internationales, est liée aux dépistages massifs plutôt qu'à un excès de cas liés aux RI. Les impacts sanitaires radio-induits à long terme seront difficiles à évaluer en raison des faibles doses à laquelle ont été exposées la population.

Les deux accidents ont entraîné des changements de vie pour les populations impactées. Il est important de prendre en compte ces effets sanitaires non liés aux rayonnements ionisants mais en lien direct avec les accidents.

Des projets ont vu le jour pour étudier les impacts sur la population à la suite des accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima :

- Le projet ETHOS de 1996 à 2001 ayant pour objectif de créer les conditions de réhabilitation durables dans les territoires contaminés de Biélorussie en impliquant les populations et les autorités (76).
- Le projet SHAMISEN est lancé en 2015. Il vise à élaborer des recommandations au regard de la surveillance médicale et sanitaire des populations affectées par un accident nucléaire en s'appuyant sur les enseignements acquis auprès des populations affectées par les accidents de Tchernobyl et de Fukushima. (77).

Les résultats discordants et les débats que posent le nucléaire sur les impacts sanitaires soulèvent des interrogations auprès de la population. Mais qu'elles soient à la suite de l'accident de Tchernobyl ou de Fukushima, les questions soulevées après de tels accidents sont en fait des questions récurrentes. Elles s'inscrivent dans le domaine de la sociologie des risques sanitaires et environnementaux influencée par des facteurs tels que la confiance dans les gouvernements (AIEA, UNSCEAR) et les entreprises énergétiques, la compréhension des risques et des bénéfices de l'énergie nucléaire, et les préoccupations environnementales et de santé publique.

TROISIÈME PARTIE : PLANIFICATION ET GESTION DES ACCIDENTS NUCLÉAIRES

Parmi tous les risques de la sécurité civile, le risque nucléaire peut très certainement être considéré comme celui le plus anxiogène pour la population. En effet, le baromètre IRSN de 2023 sur la perception des risques et de la sécurité par les Français souligne que les centrales nucléaires sont considérées comme les installations qui risquent le plus de provoquer un accident grave (78). Malgré des procédures de sécurité et de sûreté mises en place pour assurer la protection des centrales et des populations, les accidents nucléaires passés ont montré qu'il fallait se préparer à la possibilité d'un tel accident sur le territoire français.

I. Planification et gestion de crise

A. La sécurité civile

La gestion de crise de la sécurité civile s'organise en échelon. Le premier échelon de la crise est communal, c'est le maire qui est directeur des opérations. Mais l'on considère que l'échelon principal est départemental, celui-ci est dirigé par le préfet de département. Les échelons supérieurs (zonal, national) sont considérés comme des échelons de renfort et de soutien.

Au niveau national, la planification de défense et de sécurité nationale se décline en trois niveaux : la planification gouvernementale, la planification ministérielle et leurs déclinaisons territoriales.

Les déclinaisons territoriales de la planification de sécurité civile s'articulent autour de la disposition ORSEC. L'Organisation des Secours (ORSEC) est créée en 1952 et recense les moyens disponibles par département pour faire face aux événements exceptionnels. Par la suite, en 1987, le plan ORSEC est étendu au niveau des zones de défense et les PPI sont créés au niveau départemental. La loi de modernisation de la sécurité civile de 2004 modifie la structure et l'esprit du plan ORSEC et devient l'Organisation de la Réponse de Sécurité Civile (79).

Ces déclinaisons de la planification ministérielle à l'échelle territoriale correspondent à l'organisation de la réponse de sécurité civile au niveau départemental sous l'autorité du préfet ou au niveau zonal sous l'autorité du préfet de zone de défense et de

sécurité. L'article R741-1 du Code de la sécurité intérieure précise « *qu'il organise la mobilisation, la mise en œuvre et la coordination des actions de toute personne publique et privée concourant à la protection générale des populations* ». Le préfet dirige la crise et coordonne les acteurs publics ou privés, leur fixe des objectifs et des missions. Ce dispositif s'organise autour des dispositions générales (secours à nombreuses victimes, gestion des décès massif, intervention sur victime NRBC) et des dispositions spécifiques (ORSEC pour site SEVESO, transport de matières dangereuses, inondations...).

B. La sécurité sanitaire

Au niveau national, la sécurité sanitaire est gérée par le ministère de la Santé qui s'appuie sur les agences sanitaires telles que santé publique France, l'ANSES, l'ANSM et les ARS. Le Centre opérationnel de régulation et des réponses aux urgences sanitaires et sociales (CORRUSS) est mobilisé lorsqu'un signalement d'événement indésirable sanitaire ou environnemental doit être partagé avec les autorités sanitaires nationales ou internationales, ou lorsqu'une situation sanitaire requiert une réponse coordonnée à l'échelle nationale. L'équipe est constituée de médecins, pharmaciens, ingénieurs spécialisés en santé publique, gestionnaires de crise. Selon l'événement, il peut être appuyé par des communicants de crise, des juristes et d'autres experts ministériels. Ils collaborent pour définir et coordonner la réponse aux urgences sanitaires (80).

Au niveau régional, le dispositif ORSAN définit les parcours de soins des patients en cas de situation sanitaire exceptionnelle. Ce dispositif est créé en 2014 et il formalise la coordination régionale de la montée en puissance du système de santé dans les 3 secteurs sanitaires (secteurs ambulatoire, hospitalier et médico-social). Ce dispositif est arrêté par le directeur général de l'ARS après avis des préfets de département concernés et de l'Agence Régionale de Santé Zonale (ARSZ).

En 2024, une mise à jour a été effectuée. Il comprend 5 volets qui permettent d'adapter et d'organiser les soins en situation sanitaire exceptionnelle au niveau régional (81):

- ORSAN AMAVI : accueil massif de victimes non contaminées (attentat, catastrophe naturelle...) ;
- ORSAN MEDIC-PSY : prise en charge de nombreuses victimes et blessés psychiques ;

- ORSAN EPI-CLIM : prise en charge de nombreux patients à la suite d'une épidémie saisonnière ou pour tous phénomènes climatiques (canicule, grand froid, pollution...);
- ORSAN REB : répondre aux risques épidémiques et biologiques notamment ceux à potentiel pandémique ;
- ORSAN NRC : prise en charge d'un risque NRC (victimes potentiellement contaminées).

Ce dispositif ORSAN s'articule avec le dispositif ORSEC (figure 11).

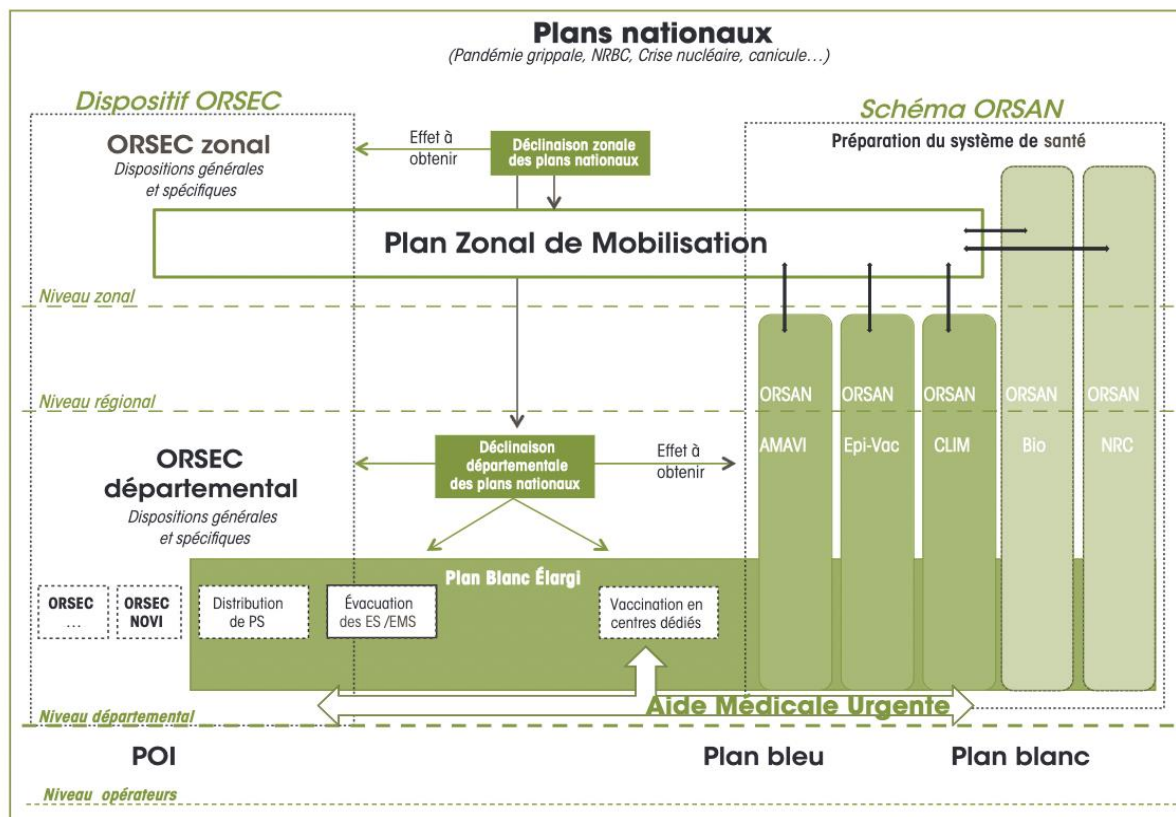


Figure 11 : articulation entre les dispositifs ORSEC et ORSAN (82)

II. La place du pharmacien

Dans l'élaboration de la planification l'État doit s'assurer d'associer les acteurs non étatiques. En effet, cela permet à l'État d'identifier les ressources externes pouvant contribuer à la gestion de crise à ses côtés tout en garantissant la mise en place de plan assurant la protection de la population et assurant la continuité d'activité, en particulier pour les secteurs d'importance vitale. (83)

A. Le pharmacien d'officine

En matière de gestion de crise ou de situations sanitaires exceptionnelles, le pharmacien d'officine peut être amené à effectuer les soins de premiers secours et il contribue aux missions de prévention, de dépistage et de vaccination. Il joue également un rôle dans le système de vigilance sanitaire et il contribue à l'identification, le recueil, la prévention et la déclaration des événements sanitaires indésirables des produits de santé dispensés en pharmacie.

Dans son travail de thèse, Nassim MEKKEDDEM, souligne le manque d'homogénéité sur la présence du pharmacien d'officine dans la planification nationale (83). Malgré cela et même s'il n'est pas cité, il reste un acteur de gestion de crise sanitaire. Le pharmacien d'officine est le professionnel de proximité de la population du fait de sa répartition sur le territoire. La crise sanitaire de la COVID-19 est un exemple très concret des missions effectuées par un pharmacien en gestion de crise comme la prévention, le dépistage et la vaccination.

Dans la planification gouvernementale, on retrouve le pharmacien d'officine dans :

- Le plan gouvernemental NRBC : le pharmacien est considéré comme un relai de l'information en cas d'évènement NRBC et également comme l'un des premiers acteurs de la prise en charge et de l'orientation des personnes impliquées se rendant en officine ;
- Le plan national de réponse à un accident nucléaire ou radiologique majeur : le pharmacien est mobilisé dans la distribution préventive et d'urgence des comprimés d'iode et il va contribuer à la pharmacovigilance après la prise des comprimés. Il pourrait être mobilisé dans la mise en place de la surveillance épidémiologique de l'état de santé de la population à la suite d'un accident nucléaire ou radiologique ;
- Le plan national de prévention et de lutte « pandémie grippale » ;
- Le plan national de prévention et de lutte « Maladie à virus Ébola ».

Au niveau territorial, les plans nationaux sont déclinés dans les dispositions ORSEC. De façon assez disparate, on peut retrouver le pharmacien d'officine dans le plan (83) :

- ORSEC « dispositif de stockage et de distribution des comprimés d'iode hors zone PPI » dit aussi ORSEC iode ;
- ORSEC « dispositif de distribution préventive des comprimés d'iode en zone PPI » ;
- Le plan de prévention et de lutte contre une pandémie grippale ;
- ORSEC vague de chaleur.

En gestion de crise nucléaire, le pharmacien d'officine a un rôle primordial de distribution préventive auprès de la population vivant dans un rayon de 20 km autour d'une installation nucléaire.

B. Le pharmacien sapeur-pompier

Le pharmacien des sapeurs-pompiers assure la gestion et le suivi des médicaments, des dispositifs médicaux et du matériel médical des véhicules de secours et d'assistance aux victimes, et des dotations des médecins et infirmiers de sapeurs-pompiers. Il participe à la sécurisation des traitements et des soins. Le pharmacien sapeur-pompier peut être mobilisé lors d'interventions impliquant un grand nombre de victimes, où les demandes en produits, médicaments et équipements médicaux sont plus importantes.

Il va également participer à la gestion des risques technologiques et environnementaux et il est un conseiller en toxicologie. On retrouve notamment le pharmacien sapeur-pompier dans la participation active à l'évaluation et la maîtrise des risques NRBC. Il participe au soutien sanitaire des sapeurs-pompiers en interventions lorsque celles-ci impliquent un nombre important de personnels, une longue durée ou des risques sanitaires spécifiques (84).

C. Le pharmacien au sein des organismes publics

On retrouve notamment des pharmaciens au sein de la Direction générale de la santé, au CORRUSS, à santé publique France, dans les ARS et les établissements de santé.

1. Santé publique France

La planification sanitaire a été associée à la création de réserves nationales des produits et d'équipements de santé pour garantir la protection de la population contre les menaces sanitaires graves, comprenant des stocks stratégiques et tactiques. Ces réserves ont été constituées progressivement en réponse à l'émergence de nouveaux risques, ajustant leur contenu et leur volume en fonction des enseignements tirés des retours d'expériences des crises passées. Le rôle du pharmacien dans cette gestion de situation sanitaire exceptionnelle sera en lien principalement avec la gestion des stocks stratégiques de l'État. En effet, pour faire face aux situations sanitaires exceptionnelles, l'État a mis en place des stocks stratégiques de produits de santé dont santé publique France assure la gestion pour le compte du ministère de la Santé.

Pour mettre en œuvre toutes les solutions logistiques du dispositif de stockage et de distribution des produits de santé, l'État et les départements doivent élaborer des plans spécifiques pour la distribution exceptionnelle de ces produits. Ces plans devraient prendre en considération les contraintes logistiques et les dispositions particulières liées à la gestion de ces produits. La circulaire interministérielle N°DGS/DUS/DGSCGC/2013/327 du 21 août 2013 relative au dispositif de stockage et de distribution des produits de santé des stocks stratégiques de l'État pour répondre à une situation sanitaire exceptionnelle, fournit les directives techniques pour la création de ces plans départementaux (85).

Dans le cadre de cette planification sanitaire de constitution des stocks, le pharmacien de gestion de crise sanitaire à santé publique France est responsable du recueil des besoins qualitatifs et quantitatifs des produits de santé dont il a la charge en lien avec les ARS et le ministère chargé de la santé. Il recueille et suit la documentation technique, suit les stocks, participe activement aux réunions de suivi de crise au ministère de la santé, répond aux questions et sollicitations des acteurs de terrain (ARS, préfectures, établissements de santé, associations, centres de vaccination) et participe aux retours d'expériences. La gestion des crises sanitaires requiert une expertise pharmaceutique dans la gestion des produits de santé. Dans le contexte de la crise liée à la Covid-19, le pharmacien assistant au sein de santé publique France a la charge de superviser les équipements et produits de santé tels que les équipements de protection individuelle (masque gants, etc.), les dispositifs de

diagnostics, le matériel biomédical, les dispositifs médicaux, les médicaments et autres produits de santé. Ils sont essentiels pour assurer la prise en charge des patients, la continuité des soins principalement à l'hôpital et la protection des populations.

2. Agence régionale de santé

Au sein des ARS, les pharmaciens ou tous autres professionnels de santé peuvent contribuer à l'organisation des dispositifs d'astreinte et de conduite de crise, contribuer à l'élaboration des plans de secours et des plans interministériels dans le domaine de la santé (vague de chaleur, dengue, pandémie grippale, NRBC, ORSEC iode).

Ce sont les ARS qui élaborent les plans du dispositif ORSAN à l'échelle de la région. Elles veillent à ce que ces plans soient interopérables afin d'être déclenchés concomitamment en tant que de besoin.

3. Établissements de santé

En 2024, le ministère du travail, de la santé et des solidarités actualise son guide méthodologique d'élaboration du plan de gestion des tensions hospitalières et des situations sanitaires exceptionnelles des établissements de santé. La rédaction de ce plan s'impose à tous les établissements de santé sous la responsabilité du directeur de l'établissement. Le pharmacien est pleinement intégré dans le développement de la méthodologie de réponse à une situation sanitaire exceptionnelle (SSE). En effet, un référent SSE doit être désigné pour piloter le projet d'élaboration du plan au sein de l'établissement de santé et celui-ci peut être un pharmacien. Le pharmacien peut donc être amené à participer à des formations de gestion des situations sanitaires exceptionnelles, organiser et participer à des exercices (internes, départementaux, zonaux, nationaux) (86).

Une étude au CHU de Dijon (87) a été menée sur l'implication du pharmacien aux situations d'urgence. Leur objectif était de faire un état des lieux des plans d'urgence pouvant être déclenché et de répertorier ceux impliquant le pharmacien hospitalier. L'état des lieux des plans leur a permis d'élaborer des documents à destination du pharmacien hospitalier afin qu'il ait une meilleure connaissance de son rôle et des actions à effectuer en fonction de l'évènement. Le pharmacien est présent dans la gestion du Poste Sanitaire Mobile (PSM) concernant la gestion partagée du stock

SAMU/pharmacie, dans le Plan blanc où il intègre la cellule de crise et dans les crises NRBC (plan biotox, piratox, et nucléaire et radiologique) où il gère les stocks d'urgence de médicament.

Le pharmacien responsable de la PUI ou son représentant identifie et recense les besoins, organise les approvisionnements des différents produits de santé et répartit les moyens (crise NRBC). Une cellule de crise en cas d'accident NRBC inclut des représentants référents dans divers domaines : centre antipoison, service de maladies infectieuses, service de médecine nucléaire, pharmacien. Une cellule de crise de ce type doit fonctionner dans un mode particulièrement ouvert et participatif en recherchant dès l'alerte toutes les compétences disponibles en termes d'expertise.

III. Les phases de préparation et de gestion d'un accident nucléaire

Ces phases concernent les accidents nucléaires majeurs. Il est possible de découper ce type d'événement en 3 phases (figure 12) :

- Phase de préparation : avec la prévention et l'information auprès des populations et de planification au niveau étatique ;
- Phase d'urgence avec la mise en œuvre des plans d'urgence ;
- Phase post-accidentelle lorsque les rejets sont terminés et que l'installation est revenue à un état stable.

Ce découpage est théorique. En réalité, les phases se superposent mais cela permet une meilleure compréhension du déroulement de la gestion des crises nucléaires.

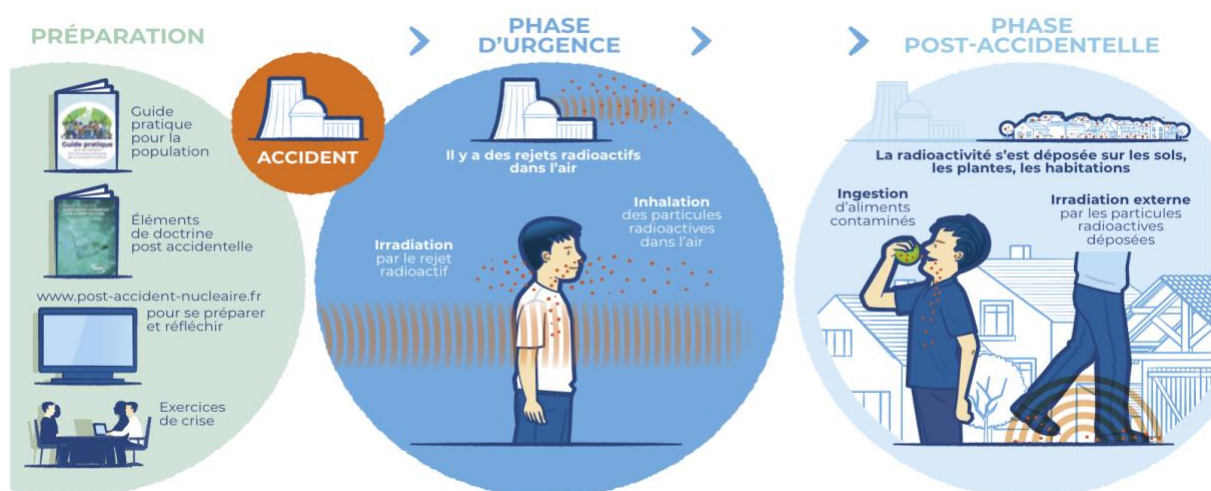


Figure 12 : les phases de prévention et de gestion d'un accident nucléaire (88)

A. Phase de préparation

1. L'information et la prévention

La France est un des pays les plus nucléarisés du monde et un Français ne vit pas à moins de 200 km d'une installation nucléaire. Il est donc essentiel d'informer et d'intégrer la société civile qui sera directement concernée par un accident nucléaire. Ceci passe par une étape de prévention du risque. Une loi a été majeure pour l'information aux populations, il s'agit de la loi n°2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière de nucléaire dite loi TSN. Elle pose les bases législatives du système de sûreté nucléaire, met en place dans le même temps les procédures garantissant l'information du public sur les activités nucléaires et de débat sur le sujet. Créées dans les années 1980 et institutionnalisées par la loi TSN, les CLI sont présentes auprès de chaque installation nucléaire de base. Elles participent au suivi, à l'information et la concertation en matière de sûreté nucléaire, de radioprotection et d'impact des activités nucléaires sur les personnes et l'environnement. Ces 35 CLI font partie de l'ANCCLI créée en 2000. Celle-ci fédère les expériences et porte leurs voix auprès des instances nationales et internationales. Ce sont, en outre, de véritables relais de l'information pour le public ainsi que pour les instances nationales telles que l'ASN, l'IRSN et le gouvernement (89).

En effet, la population vivant près des centrales peut profiter des CLI en participant à des réunions et groupes de travail. De plus, cette population reçoit à titre préventif des comprimés d'iode distribués dans un périmètre de 20 km correspondant au périmètre d'application des PPI depuis 2016. Avant 2016, le périmètre s'étendait à 10 km autour des centrales, celui-ci a été élargi à 20km à la suite de l'accident de Fukushima. En effet, les pouvoirs publics ont révisé les mesures de protection de la population pour suivre les pratiques internationales et les recommandations des autres autorités européennes de sûreté nucléaire (90).

Ces campagnes ont lieu depuis 1997 et sont organisées par les services de l'État, EDF et les propriétaires des centrales nucléaires. L'iode stable est l'une des mesures de protection en cas d'urgence car la prise de comprimés permet de protéger la thyroïde de l'iode radioactif. La dernière campagne en date a été réalisée à partir de 2019. Un courrier a d'abord été envoyé à l'ensemble des riverains nouvellement inclus dans le périmètre pour les informer. Par la suite, les foyers, les nouveaux arrivants des

communes et les Établissements Recevant du Public (ERP), dont les écoles, ont été invités à venir récupérer les comprimés dans les pharmacies partenaires. Elle a été réalisée en 2 parties et concernait le rayon de 10 – 20 km autour de la centrale avec un total de 2,2 millions de personnes et plus de 200 000 établissements, entreprises, écoles et administrations sur tout le territoire concerné, répartis sur 1063 communes (91) :

- 1^{ère} partie en septembre 2019 : elle visait à remettre les comprimés d'iode aux pharmacies partenaires. Un total de 646 pharmaciens d'officine a distribué les comprimés d'iode adressés à titre individuel et non pas par ménage ou foyer ;
- 2^{ème} partie en février 2021 : les comprimés ont été envoyés aux 600 000 foyers identifiés comme ne les ayant pas retirés en pharmacie.

En parallèle de la distribution des comprimés, la population a reçu un complément d'information sur le risque nucléaire et sur la prise des comprimés sous la forme de brochure sur la prise d'iode et de dépliants expliquant le PPI. De plus, la campagne a été développée au niveau local par les préfets de département avec les ARS, les CLI, les maires, les centrales EDF et les professionnels de santé. A titre d'exemple, la CLI des centrales de Paluel et Penly en Seine-Maritime a relayé les informations sur son site internet en partageant les brochures et éléments essentiels (92).

Comme évoqué précédemment, les CLI sont exclusivement présentes auprès des installations nucléaires de base, et selon Jean-Claude Delalande, président de l'ANCCLI, « *La sûreté nucléaire n'est pas un sujet tabou. Que l'on soit pour ou contre le nucléaire, à partir du moment où celui-ci existe et existera encore pendant plusieurs années, avec des enjeux de sûreté de plus en plus importants, avec le vieillissement du parc... la population doit être informée sur ce qui est fait pour que cette sûreté soit assurée et sur la conduite à tenir si, malgré tout, un accident se produisait. Et il n'y a aucune raison que cette information soit limitée à un rayon de 10 ou 20 km autour des centrales. C'est tout le monde qu'il faut informer.* » (93). En effet, au-delà des 20km, les territoires hors des zones PPI ne bénéficient pas d'une distribution préventive de comprimés. Celle-ci se déroule exclusivement en cas d'urgence et dépend du plan ORSEC iode. Pour cette partie de la population, l'information n'est pas homogène. Des sites internet comme celui de l'IRSN et de l'ASN partagent une information claire et complète mais celle-ci n'est pas adaptée à un public non initié. Il n'existe pas ou

peu de campagne d'information pour la population générale quel que soit l'échelon (communal, départemental, gouvernemental). Pourtant, dans sa thèse, Suchet (2015) démontre bien que la population est à la recherche d'informations. Une plateforme sur le site de l'IRSN a été ouverte à la suite de l'accident de Fukushima pour répertorier les interrogations de la population. Les interrogations de la population française après l'accident de Fukushima concernaient à 60% le risque sanitaire avec 42% d'interrogation tournée sur le risque sanitaire à l'étranger et 13% sur le risque sanitaire en France. Outre les interrogations sur les effets sanitaires causés par l'accident, les Français ont cherché à s'informer sur la distribution d'iode. Pourquoi était-elle limitée à un rayon de 10 km autour des centrales ? Pourquoi la population entière n'a pas de comprimés d'iode chez elle ? Y a-t-il des allergies à l'iode ? (94)

2. La planification en sécurité civile

Des plans sont élaborés pour pouvoir faire face à un accident majeur. Ils sont souvent initiés à la suite d'un accident comme la création du PPI en 1988 après l'accident de Tchernobyl ou la création du plan national de réponse à un accident nucléaire ou radiologique majeur en 2014 après l'accident de Fukushima.

En France, on retrouve des plans spécifiques au risque nucléaire aux différents échelons.

- Tout d'abord, au niveau du site, l'exploitant a l'obligation d'élaborer son Plan d'Urgence Interne (PUI). Il vise à ramener l'installation dans un état sûr, assurer la protection du personnel et limiter les conséquences de l'accident. Il décrit l'organisation et les moyens qu'il doit mettre en œuvre et il comprend les dispositions permettant d'informer rapidement les pouvoirs publics. Le déclenchement du plan entraîne la mobilisation de la cellule de crise d'EDF, de l'ASN et de l'IRSN (95).
- Au niveau départemental, on retrouve le PPI, il est élaboré par le service de la préfecture chargé de la planification. Il présente la réponse des pouvoirs publics en cas d'accident nucléaire sous la responsabilité du préfet du département. Il vise à assurer la protection de la population habitant autour du site. Les PPI font partie des dispositions spécifiques ORSEC. Le plan décrit les mesures de protection des populations : mise à l'abri et à l'écoute des instructions des autorités, évacuation et ingestion d'iode stable. En France, le périmètre PPI, a

été élargi en 2016 à 20 km, contre 10 km auparavant (96). Ce périmètre est discuté par l'ANCCLI qui préconise un périmètre de 80 km voire de 100 km autour des centrales. En Europe et dans le monde, les périmètres des plans d'urgence équivalent s'étendent à 25 km pour l'Allemagne, 30 km pour le Japon et 50 km en Suisse (97). Toujours au niveau départemental on retrouve la disposition ORSEC de distribution d'iode stable en cas d'urgence hors zone PPI.

- Au niveau national, le plan national de réponse à un accident nucléaire ou radiologique majeur est publié en 2014 à la suite de l'accident de Fukushima. Les pouvoirs publics ont voulu renforcer la sécurité des populations. Ce plan a pour objectif de répondre à des situations d'urgence de toute nature, y compris les accidents ayant des conséquences en dehors des périmètres PPI. Ce plan vient compléter les dispositifs de planification généraux ou spécifiques existants au niveau local (98).

Malgré tout, la planification a ses limites, un accident nucléaire est un événement complexe et imprévisible. Il est essentiel de garder une part de flexibilité dans la rédaction des plans d'urgence.

B. Phase d'urgence

Après Tchernobyl, en 1986, deux conventions sont adoptées, l'une sur la notification rapide d'un accident nucléaire et l'autre sur l'assistance en cas d'accident nucléaire ou de situations d'urgence radiologiques.

Au niveau des INB, l'exploitant active son PUI pour remédier au dysfonctionnement à l'origine du risque de rejet et protéger les personnes présentes sur le site. Si l'accident s'étend au-delà du site, c'est le préfet du département concerné qui assure la responsabilité de directeur des opérations et de la gestion de crise (99).

Au niveau gouvernemental, les acteurs s'appuient sur le plan national de réponse à l'accident nucléaire ou radiologique majeur pour ce qui est de l'organisation de crise et de la stratégie à appliquer. Étant une crise majeure, la gestion d'un accident nucléaire s'organise en plusieurs échelons. Pour garantir une réponse rapide et efficace, l'État s'appuie sur une structure organisationnelle bien établie. Cette structure de gestion de crise comprend des rôles et des tâches clairement définis et est régie

par le principe de subsidiarité. Les acteurs en première ligne de cette gestion de crise sont EDF, le préfet du département concerné, le ministre de l'Intérieur, l'ASN et l'IRSN. Pour un événement nucléaire, le ministre chargé de la conduite de la crise s'appuie sur l'ensemble du gouvernement mais tout particulièrement sur les ministres chargés de la santé, de l'énergie et de l'environnement.

Au niveau territorial, les actions de maintien de l'ordre et de sécurité publique sont mises en œuvre. L'objectif principal de gestion d'un accident nucléaire est la protection des populations. Les mesures prises pendant ou immédiatement après un accident sont la mise à l'abri, l'écoute des consignes, la prise d'iode stable, voire l'évacuation, la restriction d'activité et de consommation de denrées alimentaires. Concernant la mise à l'abri et l'évacuation, celles-ci sont décidées par le préfet conformément au plan national de réponse à un accident nucléaire ou radiologique majeur. La décision se fonde essentiellement sur les évaluations prévisionnelles effectuées par l'IRSN et par l'exploitant puis d'une recommandation émise par l'ASN (98).

Une étape essentielle de la gestion de crise d'un accident nucléaire est l'alerte et la communication auprès des populations. La directive européenne du 11 décembre 2018 impose aux 27 États membres de l'UE de se doter d'un système d'alerte des populations via le téléphone. En France, il s'agit de FR alert. Non spécifique au risque nucléaire, ce système sera l'un des canaux de communication probablement utilisé en cas d'accident nucléaire. Depuis fin juin 2022, FR alert est le nouveau dispositif d'alerte et d'information des populations. Il permet de prévenir de façon immédiate une personne détenant un téléphone portable de sa présence en zone de danger et informe sur les bons comportements à adopter (100).

Au niveau préfectoral, la Cellule d'Information du Public (CIP) est mise en place et les moyens d'informations des pouvoirs publics diffusent les informations (radio, télévision) sur l'évolution de l'évènement ainsi que les consignes éventuelles. Au niveau national, des conventions ont été passées avec France Bleu et France Télévisions permettant de relayer les messages des autorités en situation de crise (consignes de mise à l'abri, les gestes qui sauvent). De plus, le dispositif Beauvau Alerte diffuse les messages d'alerte et de prévention provenant du ministère de l'intérieur directement sur le compte X (ex Twitter) @Beauvau_Alerte.

La phase d'urgence se termine lorsque l'installation a retrouvé un état stable et maîtrisé (fin des rejets radioactifs, absence de nouvelle menace de rejet) (88).

C. Phase post-accidentelle

Lors de la phase post-accidentelle, le risque change de nature. En effet, en phase d'urgence, la population subit une exposition externe et un risque d'inhalation des particules radioactives en suspension dans l'air. A contrario, en phase post-accidentelle, le risque d'exposition est principalement lié à l'ingestion d'aliments contaminés.

La phase post accidentelle comprend la période de transition (quelques semaines ou mois) après l'accident et la période à long terme (mois ou année). En France, les principes et actions de la gestion post-accidentelle sont inscrits dans la doctrine du Comité directeur pour la gestion post-accidentelle d'un accident nucléaire (CODIRPA). Les recommandations expriment le besoin de mettre à disposition dans un temps court les mesures de la radioactivité dans l'environnement en cas d'accident pour permettre de prendre les dispositions nécessaires à la protection, d'impliquer au plus tôt la population et les élus dans la gestion de la phase post-accidentelle pour permettre la compréhension des enjeux et de la reprise rapide des activités dans les zones touchées, de renforcer lors de la phase de préparation la formation, l'information et la sensibilisation des habitants résidant à proximité des installations nucléaires. (88).

D'un point de vue sanitaire, en phase post-accidentelle, en fonction de la situation un suivi médical et épidémiologique s'installe dans la durée. Il est rapidement mis en place un recueil d'informations concernant les actions de protection et les déplacements des personnes mis en place pendant la phase d'urgence tels que la mise à l'abri, les déplacements et la prise d'iode stable. Si nécessaire, des mesures de contamination interne sont également effectuées. Ces données permettront une évaluation rétrospective des doses reçues par les intervenants ou par la population exposée. Cette évaluation contribue à estimer les éventuelles conséquences sanitaires de l'accident.

Après la phase d'urgence, il est nécessaire d'évaluer la situation radiologique de l'environnement et de la projection de son évolution. Un programme de mesures radiologiques devra être mis en place incluant les ressources en eau potable. Celui-ci

permettra de garantir la pertinence des mesures de protection engagées et constitue une étape essentielle pour la réévaluation du zonage post-accidentel.

QUATRIÈME PARTIE : EXEMPLE DE L'IMPLICATION DU PHARMACIEN DANS LA MISE A JOUR DE LA PLANIFICATION DU PLAN ORSEC IODE DU DÉPARTEMENT DE L'EURE

I. La disposition ORSEC « dispositif de stockage et de distribution des comprimés d'iode hors zone PPI »

A. Le plan

Concernant la distribution d'iode, deux dispositions ORSEC existent. La première concerne le plan ORSEC « *Dispositif de stockage et de distribution des comprimés d'iode hors zone PPI* » que l'on pourra appeler plus communément « plan ORSEC iode », retrouvé dans les dispositions générales du guide ORSEC. Tandis que le plan ORSEC « *Dispositif de distributions préventive de comprimés d'iode en zone PPI* » se retrouve dans les dispositions spécifiques dans la partie « Risques technologiques /PPI » (annexe 1). La différence réside dans le fait que la distribution des zones PPI est une distribution préventive et que la distribution hors des zones PPI est une distribution d'urgence en cas d'accident nucléaire.

Règlementairement, le plan est notamment encadré par :

- La circulaire interministérielle N°DGS/DUS/DGSCGC/2013/327 du 21 août 2013 relative au dispositif de stockage et de distribution des produits de santé des stocks stratégiques de l'État pour répondre à une situation sanitaire exceptionnelle ;
- La circulaire interministérielle DGS/DUS n° 2011-340 et DSC n° 2011-64 du 11/07/11 relative au dispositif de stockage et de distribution des comprimés d'iodure de potassium hors des zones couvertes par un plan particulier d'intervention (PPI) (101).

Pour garantir une mise à disposition rapide des comprimés d'iode à la population, une convention de prestations logistiques dans le cadre du déploiement du plan iode a été signée entre Santé Publique France (SPF) et les grossiste-répartiteurs. Ils s'engagent à rendre disponible le stock de comprimés qu'ils leur ont été attribués ainsi que leurs moyens logistiques et techniques.

Dans le cadre du dispositif de distribution d'iode en cas d'urgence nucléaire, un stock de 110 millions de comprimés d'iode stable a été constitué par l'État. La dotation pour chaque département a été calculée proportionnellement au nombre d'habitants de chaque département. Un seul site de stockage par département a été établi et un stock zonal de sécurité est conservé en cas de besoin.

B. Les comprimés d'iode stable

Ce médicament détient une autorisation de mise sur le marché en prévention de l'accumulation d'iode radioactif au niveau de la thyroïde en cas de possibilité de contamination par des radioéléments émis accidentellement par une installation nucléaire. L'AMM est détenue par la pharmacie centrale des armées qui le conditionne en boîte de 10 ou de 30 comprimés de 65 mg, leur durée de conservation est de 10 ans. Depuis novembre 2021 le laboratoire Serb dispose de l'AMM (102).

Son principe actif est l'iodure de potassium (KI), sa prise orale permet d'éviter ou de réduire l'irradiation de la glande thyroïde et ainsi d'éviter un dysfonctionnement thyroïdien. La posologie optimale est celle qui permet une surcharge de la thyroïde pour bloquer rapidement le captage thyroïdien tout en évitant les risques d'effets secondaire notamment nommé effet « antithyroïdien » ou effet de Wolff-Chaikoff correspondant à la réduction de la production d'hormones thyroïdiennes à la suite d'une majoration de l'apport en iode (103).

Les comprimés d'iode sont distribués à la population lorsqu'une dose de 50 mSv est susceptible d'atteindre la thyroïde. S'ils sont ingérés à temps et en quantité suffisante pour saturer la thyroïde, les molécules d'iode stable se fixent sur la thyroïde à la place de l'iode radioactive et permettent de réduire notablement le risque de cancer de la thyroïde. Pour être efficaces, les comprimés sont ingérés idéalement dans les quelques heures précédant l'exposition ou dans les premières heures après. S'ils sont ingérés trop longtemps après l'exposition, il perd toute son efficacité de protection.

Les posologies recommandées par l'organisation mondiale de la santé (OMS) sont décrites dans le tableau ci-dessous (104) :

Tableau 4 : posologie de l'iodure de potassium

Posologie	
ENFANTS > 12 ANS ET ADULTES	130 mg Soit 2 comprimés à dissoudre dans une boisson (eau, lait)
ENFANTS (de 36 mois à 12 ans)	65 mg Soit 1 comprimé à dissoudre dans une boisson (eau, lait)
NOURRISSONS (1 à 36 mois)	32,5 mg Soit ½ comprimé à dissoudre dans une boisson (eau, lait)
NOUVEAU-NÉS (< 1 mois)	16 mg Soit ¼ de comprimé à dissoudre dans une boisson (eau, lait)

Les contre-indications et les effets secondaires sont rares. Les personnes traitées pour leur glande thyroïde doivent prendre conseil auprès d'un professionnel de santé. L'hypersensibilité à l'iode est très rare. L'hypersensibilité due à la prise de médicaments iodés est davantage due aux excipients (105).

L'utilisation de cette mesure en cas d'urgence nucléaire est rare dans l'histoire, les seules informations et recommandations sont issues des retours d'expérience des accidents de Tchernobyl et de Fukushima (104). Lors de l'accident de Tchernobyl, la prophylaxie par comprimé d'iode stable n'a été appliquée qu'à la Pologne. Les réserves contenaient 90 millions de doses de 100 mg d'iodure de potassium qui ont été distribuées de la façon suivante : 15 mg pour les nouveau-nés, 50mg pour les enfants de 5 ans ou moins, 70 mg pour les adultes. La prophylaxie n'était pas recommandée chez les adultes mais recommandée pour les femmes enceintes et allaitantes. Au total, 10,5 millions de doses ont été administrées aux enfants et 7 millions de doses aux adultes. (106). En 2011, lors de l'accident de Fukushima des comprimés d'iode stable ont été distribués à près d'un million de personnes mais celle-

ci n'a pas été organisée de façon uniforme, essentiellement en raison de l'absence de dispositions détaillées. De plus, très peu de personnes les ont effectivement ingérés compte tenu du faible niveau de doses à la thyroïde et de l'évacuation d'une partie de la population (107,108).

C. L'avis du Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) du 6 juillet 2021

Saisi en 2020 par la Direction Générale de la santé, le HCSP a publié le 6 juillet 2021 un avis relatif à l'actualisation des recommandations concernant la protection des populations par l'iode stable en cas d'accident nucléaire. Cet avis a été publié pour faire suite à l'évolution du périmètre des zones PPI mais également pour donner suite aux modifications de l'Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) du médicament. Cette dernière a été étendue en mars 2020 par l'Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé (ANSM). Elle prévoit une prise de 130 mg par jour pendant 7 jours pour les adultes et enfants de plus de 12 ans. Des travaux sont encore en cours pour intégrer les enfants de moins de 12 ans et les femmes enceintes. Il était également demandé de revoir les recommandations suite à leur avis du 7 décembre 2004 indiquant que l'analyse du rapport bénéfice-risque ne plaidait pas en faveur d'une administration systématique d'iode en cas de contamination au-delà de 40 ans (104). Vingt recommandations ont pu être formulées par le HCSP, elles sont répertoriées dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5 : les 20 recommandations du HCSP de l'avis relatif à l'actualisation des recommandations concernant la protection des populations par l'iode stable en cas d'accident nucléaire

Thèmes	Recommandations	
S'agissant de la protection de la population par prise d'iode stable selon l'âge de la population	Populations prioritaires	R1 : Identifier et communiquer largement de manière précise et officielle les tranches de population prioritaires.
	Enfants de plus de 12 ans et adultes	R2 : Maintenir le schéma de prophylaxie proposé actuellement.
	Cas particulier de la population de plus de 40 ans	R3 : Ne pas dissocier la prise en charge des personnes de plus de 40 ans de celle appliquée aux enfants de plus de 12 ans et adultes, mais prévoir des précautions particulières éventuelles
		R4 : Poursuivre les travaux scientifiques et politiques afin d'harmoniser au niveau international, dans un 1 ^{er} temps à l'échelle européenne, les décisions de mise en place ou non d'une prophylaxie pour la population de plus de 40 ans, ainsi que les précautions particulières éventuelles.
	Enfants de moins de 12 ans	R5 : Maintenir le schéma prophylactique proposé actuellement, en attendant les futurs résultats de l'étude PRIODAC.
	Femmes enceintes et femmes allaitantes	R6 : Maintenir le schéma prophylactique proposé actuellement, en attendant les futurs résultats de l'étude PRIODAC.
	Populations souffrant de pathologies particulières	R7 : Identifier et communiquer de manière précise et officielle, en amont de l'accident, les pathologies et situations cliniques, notamment les dysthyroïdies, nécessitant des précautions particulières, par exemple pas de doses répétées

	sur 7 jours, voire des contre-indications à la prise d'iode stable en cas d'accident nucléaire.
S'agissant des traitements à base d'iodure de potassium disponibles	R8 : Poursuivre les travaux sur les formes galéniques, l'emballage, le conditionnement de l'iodure de potassium afin de faciliter son utilisation en situation d'urgence. R9 : Ne pas augmenter de manière significative le stock actuel de comprimés d'iodure de potassium suite aux recommandations récentes de prises répétées éventuelles sur 7 jours mais s'assurer d'une capacité réelle à mobiliser de grandes quantités de comprimés et à les déplacer rapidement sur les zones concernées en cas d'accident.
S'agissant de l'organisation de la distribution des comprimés d'iodure de potassium	R10 : Intégrer dans le comité de pilotage national des campagnes le ministère du travail ainsi que des membres ayant des compétences à profil « sociologique » Ces membres pourront apporter une vision intégrant les perceptions des populations au risque nucléaire et à la place qu'ils accordent aux comprimés d'iode stable dans leur conception de la sûreté nucléaire. R11 : Étudier des organisations alternatives des campagnes de distribution d'iode, par exemple, associant des campagnes d'informations annuelles et une mise à disposition continue des comprimés d'iode stable, ainsi que des distributions directes R12 : Identifier précisément les périmètres échappant aux campagnes actuelles de distribution d'iode stable et élaborer des procédures spécifiques afin de les réduire au maximum

	R13 : Tout en gardant une structuration nationale unique prédéfinie des campagnes de distribution, rendre plus flexible, créative et proactive leur déploiement au niveau local, notamment en termes d'informations, en s'appuyant davantage sur les acteurs locaux (maires, CLI, associations locales).
	R14 : Réfléchir à la faisabilité réglementaire d'élaboration d'un listing postal respectant le droit, étant le plus actualisé possible en intégrant les changements de domicile, destiné à l'envoi des bons de retrait des comprimés d'iode. Ce listing pourrait être dédié plus largement à d'autres envois de messages de santé publique.
	R15 : Réaliser une étude indépendante approfondie de coût- efficacité de la stratégie d'envoi postal des comprimés d'iode aux foyers afin de valider ou non son maintien pour les campagnes ultérieures, et rechercher des stratégies complémentaires ou alternatives.
	R16 : Renforcer le rôle des autres professionnels de santé (médecins, sage-femmes, infirmiers) tout en maintenant le rôle central du pharmacien d'officine.
	R17 : Évaluer par des exercices de simulation la connaissance, la faisabilité et la performance des procédures existantes concernant la mobilisation et l'utilisation des comprimés d'iode stable.
S'agissant de la perception du risque et des comportements	R18 : Impliquer l'ensemble des acteurs, notamment les acteurs locaux, avec ou sans responsabilité particulière, dans l'analyse des risques et la future analyse d'impact en prenant en compte leurs perceptions ainsi que leur niveau de littératie en santé.

R19 : Adapter les communications en prenant en compte les perceptions recueillies et le niveau de littératie en santé observé

R20 : Poursuivre et renforcer de manière réelle et intense le développement de nouvelles approches d'analyse et pédagogiques innovantes visant les comportements pour favoriser l'engagement des citoyens, notamment ceux correspondant aux populations prioritaires ou défavorisées, dans les actions de prévention vis-à-vis des risques nucléaires, dont les traitements prophylactiques à base d'iode de potassium.

Ces recommandations, notamment, R1, R3, R9 et R17 sont en lien avec la rédaction du plan ORSEC iode.

II. Exemple de la place du pharmacien dans la mise à jour du plan ORSEC « dispositif de stockage et de distribution des comprimés d'iode hors zone PPI » dans le département de l'Eure

A. Contexte

Le département de l'Eure n'accueille pas d'installation nucléaire sur son territoire mais certaines sont à proximité des frontières départementales, notamment (figure 1) :

- La centrale de Paluel en Seine-Maritime : à 42 km de la frontière euroise ;
- La centrale de Penly en Seine-Maritime : à 59 km de la frontière euroise ;
- La centrale de Saint-Laurent-des-Eaux dans le Loir-et-Cher : à 118 km de la frontière euroise. Cette centrale est totalement à l'arrêt depuis 1992, celle-ci ayant subi le plus grave accident nucléaire français (niveau 4 sur l'échelle INES) ;
- La centrale de Dampierre dans le Loiret : à 143 km de la frontière euroise.

Chaque département a l'obligation d'élaborer et de mettre à jour le plan ORSEC iode. La dernière mise à jour du plan du département de l'Eure datait de 2012. Ce dernier organisait la distribution des comprimés par chefs-lieux de canton, 23 au total pour

l'Eure. Pour la mise à jour 2023, il a été décidé de revoir toute la partie opérationnelle du schéma de distribution et de mettre en évidence les problématiques en lien avec celles-ci, non traitées dans l'ancien plan.

1. Le département de l'Eure

Le département de l'Eure appartient à la région Normandie, il porte le numéro 27. Sa préfecture est Évreux et ses sous-préfectures sont Bernay et les Andelys. Le dernier recensement datant de 2020 comptabilise 599 668 habitants. Le département se divise en 585 communes réparties en 12 intercommunalités du département et 3 intercommunalités de départements voisins. La moitié de ces communes compte moins de 500 habitants.

Il est bordé par les départements du Calvados, de la Seine-Maritime, de l'Orne, de l'Eure-et-Loir, de l'Oise et des Yvelines (figure 13).

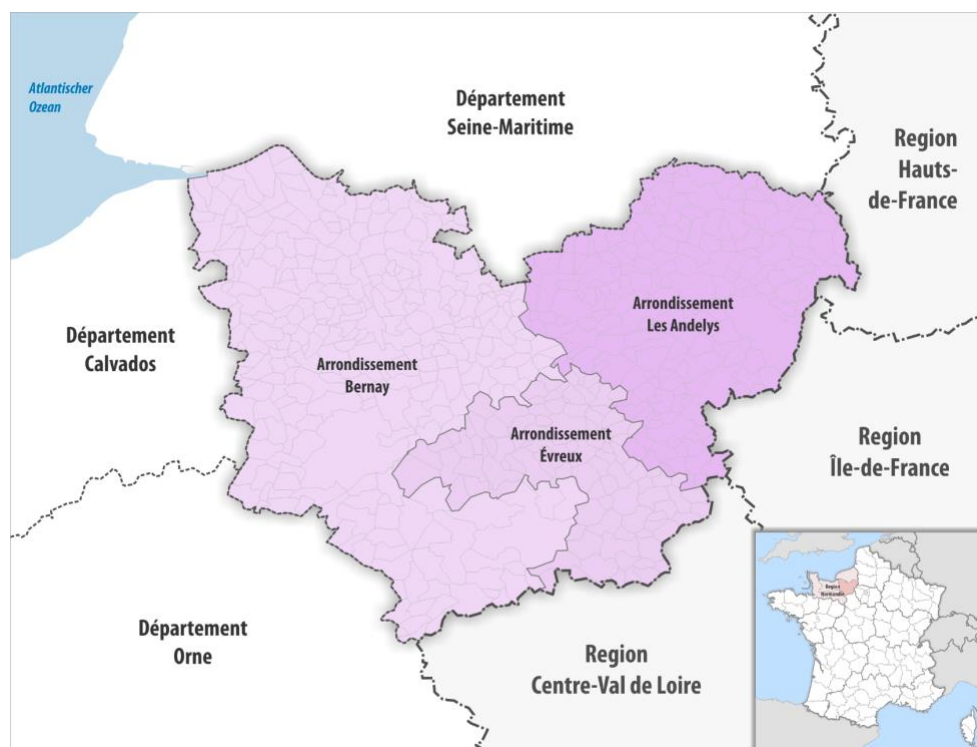


Figure 13 : le département de l'Eure (109)

Le département fait partie de la zone de défense ouest, la plus vaste et la plus peuplée du pays. Elle comptabilise 20 départements et son siège est à Rennes.

2. La préfecture

a. Organisation

L'échelon départemental est un échelon de droit commun pour la mise en œuvre de l'ensemble de la politique gouvernementale. Les préfets décident de l'organisation interne de la préfecture afin d'accomplir les missions qui leur sont dévolues et en tenant compte des orientations nationales.

La préfecture de l'Eure ayant pour préfet depuis le 20 juillet 2022 Monsieur Simon BABRE, se compose d'un secrétariat général, d'un cabinet du préfet, de deux sous-préfectures et d'un secrétariat général commun.

b. *Le Service interministériel de défense et de protection civile (SIDPC)*

Le SIDPC se trouve au sein de la direction des sécurités. Celle-ci étant sous la responsabilité du directeur de cabinet.

Le service se compose de 8 agents, dont un chef de service et une cheffe adjointe.

Les missions du service portent sur les sujets suivants :

- Prévention des risques et de l'information préventive : suivi des établissements recevant du public, suivi des campings à risque, organisation de la Commission Consultative Départementale de Sécurité et d'Accessibilité (CCDSA), pilotage des actions de prévention et d'information préventive ;
- Planification : Plan Communal de Sauvegarde (PCS), ORSEC, Plan Particulier d'Intervention (PPI) ;
- Exercices de sécurité civile ;
- Gestion de crise : veiller quotidiennement aux événements départementaux, animer le centre opérationnel départemental (COD) quand celui-ci est activé, assurer un rôle de conseil auprès du corps préfectoral, organiser les astreintes (sécurité civile - cabinet) de la préfecture, piloter le suivi des dossiers de catastrophe naturelle ;
- Défense : plan Vigipirate, suivi des établissements sensibles, habilitations.

B. Méthode de travail

Après une première lecture de l'ancien plan pour prendre connaissance du sujet et comprendre les enjeux, une réunion en interne a été organisée pour répartir la charge

de travail et évoquer les premières pistes d'amélioration à apporter au plan. A mon arrivée à la préfecture, la mise à jour du plan m'a été confiée en collaboration avec un autre agent du SIDPC. Celle-ci a débuté en novembre 2022 avec comme objectif de mettre le plan en signature début 2023.

Le SIDPC est le service en charge de la mise à jour mais d'autres acteurs ont été sollicités tels que l'ARS, la Coopérative d'exploitation et de Répartition Pharmaceutique des Établissements (CERP), les forces de l'ordre et les pompiers pour effectuer ce travail.

Chaque semaine, des points ont été tenus pour évoquer l'avancée du projet et deux réunions avec les services de l'État et acteurs concernés ont été organisées :

- Le 14 décembre 2022, en présence de la CERP et de l'ARS pour évoquer les apports logistiques de la CERP et les apports sur les risques sanitaires pour l'ARS ;
- Le 4 avril 2023, en présence de la Gendarmerie Nationale, de la Police Nationale, la Délégation Militaire Départementale (DMD), du Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) et l'ARS. Les sujets évoqués concernaient la finalisation des aspects logistiques de transport des comprimés ainsi que la sécurisation des centres logistiques de distribution des comprimés.

En raison de l'activité intensive du service et du départ du deuxième agent en charge de la mise à jour, celle-ci a dû être repoussée à plusieurs reprises. En août 2023, la rédaction du plan était terminée et en attente de relecture pour signature.

C. La rédaction du plan

Le nouveau plan s'articule en plusieurs parties :

- Introduction : textes juridiques (arrêtés...) ;
- Généralités : l'iode et la thyroïde, les risques sanitaires, les comprimés d'iode (posologies, contre-indication), le stockage départemental ;
- Le dispositif opérationnel : répartition du territoire, organisation de la distribution au niveau des centres logistiques, organisation de la distribution au niveau des centres communaux, schéma de livraison, quantités attribuées, déclenchement du plan et schéma d'alerte ;

- Les annexes : qui se veulent pratiques avec, les annuaires et les fiches acteurs, les fiches pour chaque centre logistique (plan, répartition des communes par centre, répartition des comprimés par commune, bon de livraison, référent du centre logistique).

Ce type d'articulation est commune à un grand nombre de plans ORSEC et adaptée à chaque thématique et à chaque département. Cette articulation permet d'avoir en annexe les fiches des actions dédiées à la gestion de crise, facilement utilisables et opérationnelles.

1. Répartition du territoire et organisation opérationnelle

Pour répartir au mieux le département, nous avons identifié 12 secteurs. Ils correspondent aux frontières actuelles des EPCI (Établissement Public de Coopération Intercommunale) eurois, à l'exception de 18 communes affiliées à 3 EPCI de départements voisins. Ces communes sont réparties de la manière suivante :

- La commune euroise de Bouchevilliers, qui dépend de la Communauté de Commune (CC) des 4 Rivières (département de la Seine-Maritime) serait rattachée au secteur correspondant à la Communauté de Commune du Vexin Normand ;
- Les 6 communes de l'Eure qui dépendent de la Communauté d'agglomération de Dreux (département d'Eure-et-Loir) seraient rattachées au secteur correspondant à la Communauté d'Agglomération Évreux porte de Normandie ;
- Les 11 communes de l'Eure qui dépendent de la Communauté de Commune du pays de Honfleur-Beuzeville (département du Calvados) seraient rattachées au secteur correspondant à la Communauté de Commune de Pont-Audemer/ Val de Risle.

Nous utiliserons le terme de « centre logistique » qui définit une commune identifiée en raison de son implantation dans le territoire et dont l'ampleur logistique a été jugée suffisante pour distribuer les comprimés. Afin de respecter une couverture homogène du territoire, ainsi qu'un délai d'acheminement raisonnable permettant à chaque commune d'un secteur donné de percevoir son stock en moins d'une heure de route, un à deux centres logistiques par secteur ont été identifiés, soit un total de 17 centres

logistiques implantés sur 12 secteurs. À noter que deux centres logistiques ont été attribués à 5 des 12 secteurs identifiés du fait de leur emprise géographique importante.

En ce sens, nous avons dans un premier temps contacté les EPCI où nous avons identifié deux centres logistiques pour qu'ils puissent répartir les communes au centre le plus proche. Ensuite, nous avons contacté chaque mairie identifiée comme centre logistique en leur demandant d'identifier un « référent iode » et un lieu pouvant faire office de centre logistique à indiquer dans une fiche de liaison (annexe 2). Le plus souvent la salle communale était choisie.

Ce référent iode devra, au moment du déclenchement, mettre en place la salle pour faciliter la distribution, recevoir la livraison, signer le bon de livraison (annexe 3) et encadrer la distribution aux communes qui lui sont affiliées.

La distribution des comprimés se fait en trois temps :

- Le grossiste répartiteur distribue aux 17 centres logistiques sa dotation de comprimés ;
- Les centres logistiques distribuent aux communes leur dotation ;
- Les communes distribuent aux habitants leur dotation par foyer.

Pour faciliter la livraison et la distribution, en annexe de ce plan se trouve pour chacun des centres logistiques :

- Sa fiche de liaison avec l'adresse du centre logistique et les coordonnées du référent iode ;
- La liste des communes qui lui sont affiliées avec la dotation de comprimés pour chacune d'elle ;
- Une capture d'écran de la localisation du centre logistique avec les données GPS pour faciliter la livraison.

De plus, pour aider à la mise en place de la distribution, que ce soit au niveau des centres logistiques ou au niveau de chaque commune, nous avons inclus dans le plan deux fiches opérationnelles pour les aider à organiser la distribution en indiquant les moyens humains et matériels nécessaires.

Chaque commune est tenue de venir chercher sa dotation de comprimés et de les distribuer à ses habitants, soit sous la forme d'un centre de distribution dans la salle communale ou soit par du porte-à-porte si des habitants sont en incapacité de se déplacer. Les personnes vulnérables sont recensées dans le plan communal de sauvegarde (PCS) de chaque commune.

Pour comprendre la logique de distribution, celle-ci est schématisée en 3 étapes à l'annexe 4. Ces schémas se retrouvent également dans le plan ORSEC iode.

2. Le stockage

Les comprimés sont produits par la Pharmacie Centrale des Armées (PCA) et la gestion des stocks confiée à Santé Publique France (SPF). SPF a signé une convention avec les grossistes-répartiteurs qui est la CERP pour le département de l'Eure.

Il existe deux stocks de comprimés destinés au département de l'Eure :

- Départemental : 600 000 comprimés stockés chez le grossiste répartiteur ;
- Zonal : 600 000 comprimés stockés à Orléans.



Figure 14 : stockage départemental des comprimés d'iode

Une palette (figure 14) contient 100 000 comprimés contenu dans des boîtes de 10 comprimés (200 boîtes par carton et 50 cartons par palette). Il a été déterminé, si les conditions de circulation sont normales, que le stock zonal arriverait dans les 2h30 au grossiste-répartiteur après le déclenchement du plan. Ce temps est à prendre en compte dans l'organisation de la distribution en plus du temps de déconditionnement et de répartition par camion.

La distribution se fera sur la base d'un ou deux comprimés par personne en fonction de l'âge et aucune distribution par demi ou quart de comprimés ne sera réalisée.

3. L'alerte et la communication

L'alerte des services (direction départementale, mairie, conseil départemental...) passe par l'application GALA, un système d'envoi automatique de message sous forme d'appel, mail ou SMS envoyé aux services sélectionnés. Pour le plan ORSEC iode, les messages ont été préparés en amont, ils sont de plusieurs ordres :

- L'un à destination des maires : pour les informer de l'activation du plan ;

- L'autre à destination des services du département pour se rendre au Centre Opérationnel Départemental (COD). Les services invités à se présenter aux COD sont l'ARS, le SDIS, la police nationale, la gendarmerie nationale, la Direction Départementale des Territoire et de la Mer (DDTM), la DMD, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), la Direction Départementale de l'Emploi, du Travail et des Solidarités (DDETS), la Direction des Services Départementaux de l'Éducation Nationale (DSDEN) et le Service d'Aide Médicale Urgente (SAMU).

Quant à elle, la population sera alertée par FR alert et elle sera invitée par les circuits de communication classiques (radio, télévision, réseaux sociaux) à se rendre aux points de distribution prévus dans le plan. Des affiches pour relayer les bons réflexes pourront être partagées comme présenté en figure 15.

Un complément d'information relatif à la prise du médicament sera également dispensé par le personnel chargé de la distribution grâce à une fiche réflexe de l'ARS. Dans l'Eure, il est prévu que des pharmaciens soient disponibles par téléphone grâce à un numéro mis en place par l'ARS. Au niveau de la préfecture, la population pourra contacter la Cellule d'Information du Public (CIP) mise en place en préfecture.



Figure 15 : affiche "alerte nucléaire, je sais quoi faire" (91)

D. Difficultés rencontrées

1. Le nombre de comprimés

Le scénario majeur est la distribution des comprimés à l'ensemble de la population Euroise. Pour simplifier la logistique nous aurions souhaité organiser la distribution en préparant les lots destinés aux centres logistiques avec 2 comprimés par habitant. Or, nous sommes confrontés à deux problématiques :

- Un nombre d'habitant estimé à 612 785 à partir du tableau du nombre d'habitant commune par commune, représenterait un nombre de 1 225 570 comprimés à distribuer en théorie. Le département de l'Eure n'en possède que 1 200 000.
- Un stock destiné aux forces de l'ordre et aux pompiers restant chez le grossiste-répartiteur, qui réduit notre nombre de comprimés initial, à un nombre de 1 192 558.

La différence est donc d'environ 2,70% entre le nombre de comprimés à distribuer en théorie et le nombre de comprimés effectivement disponible. C'est le pourcentage de différence que nous avons appliqué à chaque centre logistique pour la distribution.

Il était trop complexe d'adapter la distribution aux tranches d'âge de la population, celle-ci évoluant dans le temps (vieillessement, déménagement) et il n'existe aucune base de données nominatives de suivi car non autorisée juridiquement.

En période estivale, des zones du département sont plus visitées que d'autre notamment la commune de Giverny qu'il faudra prendre en compte si le plan doit être déclenché à cette période. De plus, la population sans abris et sans papier n'est pas prise en compte dans le calcul de l'INSEE.

Un stock national existe et peut venir compléter le nombre de comprimés manquant si nécessaire.

2. La logistique du stock zonal

Le stock zonal vient compléter le stock départemental mais celui-ci mettrait théoriquement 2h30 à arriver au grossiste-répartiteur avec, de surcroît, la nécessité de le déconditionner et de le répartir dans les camions. Le préfet aura la responsabilité

de trancher entre démarrer la distribution avec le stock départemental sans attendre la partie zonale ou de commencer la distribution que lorsque le stock zonal sera arrivé.

Cette décision dépendra de l'orientation du nuage radiologique. En effet, si une partie de la population de l'Eure est exposée en premier, il faudra les privilégier.

3. Les personnes prioritaires

Selon l'avis du HCSP du 6 juillet 2021, des catégories de la population ont été considérées comme prioritaires à savoir : les femmes enceintes et allaitantes, les enfants et les adolescents.

En revanche, une partie de la population âgée de plus de 40 ans n'est pas jugée prioritaire. En effet, le ratio bénéfice-risque est moins favorable pour cette tranche d'âge car le risque de développer un cancer de la thyroïde est plus faible que le risque de présenter des troubles cardiovasculaires à la suite de la prise d'iode stable. C'est pour cette raison que certains pays de l'Union Européenne (UE) ne distribuent pas de comprimés aux personnes âgées de plus de 40 ans. Quant à elle, la France suit la « doctrine iode » qui prévoit de distribuer de l'iode à toute la population tout en veillant à distribuer en priorité aux catégories citées ci-dessus (104).

De plus, en cas d'exclusion de la tranche d'âge « plus de 40 », des facteurs autres que sanitaires doivent être pris en compte selon le HCSP :

- Le facteur sociologique : une partie de la population risque de se sentir discriminée ;
- Psychologique : stress subi par la population en cas d'accident sans mise à disposition d'iode stable ;
- Opérationnel : complexité apportée aux volets pédagogique, communication et logistique s'il faut faire une différenciation de la distribution d'iode stable entre les moins de 40 ans et les plus de 40 ans. Le volet communication sera important en amont comme déjà évoqué dans les recommandations de l'avis du HCSP et il faudra donc « *Identifier et communiquer largement de manière précise et officielle les tranches de population prioritaires.* »

4. L'aspect sécuritaire

L'opération se déroule dans un contexte instable et stressant. Il faudra à tout prix éviter les vols et les émeutes et même en testant ce plan lors d'un exercice, cet aspect est imprévisible.

Il faudra prévoir l'escorte des camions de livraison aux centres logistiques mais également prévoir de sécuriser les centres logistiques. Les forces de l'ordre ne seront pas assez nombreuses pour sécuriser les centres communaux. Il faudra donc prioriser ceux des plus grosses communes du département. L'intervention de l'armée est possible dans une organisation de la distribution de cette ampleur.

Les personnes devant se rendre aux centres logistiques doivent être exclusivement les responsables des communes affiliées. Il faut éviter la diffusion des adresses des centres logistiques afin d'éviter les attroupements de la population.

E. Le pharmacien

En phase de préparation, les actions principales sont la prévention auprès des populations et la planification. Les pharmaciens d'officine jouent un rôle primordial d'information et d'acculturation de la population. Ils sont le premier maillon de la chaîne de distribution préventive et ils seront directement impactés par une distribution urgente. Déjà sollicités par la population lors des attaques russes sur les centrales nucléaires en Ukraine, ils le seront également si un accident se produisait en France que cela soit en phase urgente concernant la distribution des comprimés ou en phase post-accidentelle concernant les effets sanitaires et environnementaux. Pour rappel, en mars 2022 le ministère de la Santé communiquait des éléments de langage destinés aux pharmaciens pour qu'ils puissent répondre aux sollicitations de la population concernant la distribution des comprimés d'iode. Dans ces éléments de langage, le plan ORSEC iode y est évoqué. Cet événement montre l'importance du pharmacien comme professionnel de santé de proximité. Le rapport du HCSP soulignait en 2021 l'importance de communiquer largement sur le risque nucléaire mais aussi spécifiquement sur les tranches d'âge prioritaire qui n'ont pas été évoquées dans la communication de mars 2022.

Sur la partie planification, il est possible d'observer la place du pharmacien sur la planification ORSEC iode du département de l'Eure. En effet, lors de la rédaction de ce plan on observe la place du pharmacien dans un premier temps lors de la participation aux réunions sur la mise en place de la distribution et de sa faisabilité (nombre de tournées, centre logistique, moyens disponibles). Et dans un second temps, un pharmacien de l'ARS Normandie a été sollicité pour communiquer les éléments de langage du volet sanitaire à introduire dans le plan.

En gestion de crise départementale, la possibilité de contacter un pharmacien de l'ARS Normandie sera rendue possible. De plus, il est possible d'imaginer qu'en cas d'accident les pharmaciens d'officine ou les pharmaciens des sapeurs-pompiers des zones touchées viennent en aide aux centres de distribution communaux et répondent aux sollicitations de la population.

F. Forces et vulnérabilités

La France, qui suit la doctrine « iode », se doit de distribuer des comprimés à l'ensemble de la population malgré les catégories prioritaires. Il est peu probable que l'ensemble de la population doive se doter au même moment de sa dose de comprimés et, si tel était le cas, le stock zonal viendrait compléter le manque de comprimés. Ce dispositif de distribution souffre d'une méconnaissance entourant les comprimés d'iodure de potassium notamment concernant les catégories prioritaires. Pourtant, l'information qui entoure la protection des populations est disponible mais celle-ci n'est pas suffisamment communiquée et partagée. Ceci réside dans « la peur de faire peur » car le nucléaire est un sujet tabou en France. Ce manque de sensibilisation a pu être observé lors de la ruée de la population vers les officines lors des attaques des centrales nucléaires en Ukraine. Mais, en cas d'accident, la communication sera essentielle et celle-ci commence par une sensibilisation en amont. Comme évoqué dans l'avis du HCSP, il est conseillé d'évaluer la perception du risque et des comportements des populations pour mieux appréhender la façon de communiquer (tableau 5).

Il faudra porter une attention particulière à l'évolution des doctrines. En effet, en cas de changement de posologie, soit une prise quotidienne pendant 7 jours en cas d'exposition, l'HCSP recommande de « *Ne pas augmenter de manière significative le*

stock actuel de comprimés d'iodure de potassium suite aux recommandations récentes de prises répétées éventuelles sur 7 jours mais s'assurer d'une capacité réelle à mobiliser de grandes quantités de comprimés et à les déplacer rapidement sur les zones concernées en cas d'accident. ». Ceci impliquera une nouvelle mise à jour du plan, il faudra réimaginer l'implication des services de l'État et de la disponibilité des moyens humains et matériels. Dans le plan actuel, seuls deux camions de la CERP seront nécessaires. Mais qu'en sera-t-il lorsqu'il faudra distribuer rapidement de plus grandes quantités : faire une seule distribution de tous les comprimés ou une distribution fractionnée. Il faudra également s'assurer que les personnes distribuant les comprimés ne prennent pas de risque pour leur santé.

Ce plan est pratique pour une utilisation en cas de crise. Les fiches réflexes mises à disposition en annexe du plan pour chaque centre logistique sont pratiques et le détail des moyens humains et matériels aidera les centres logistiques et les communes à se mettre en place en phase d'urgence. Il permet de répondre au scénario d'un accident nucléaire nécessitant la distribution des comprimés à l'ensemble de la population. Il est donc adaptable à une distribution d'un nombre de comprimés moins conséquent. Ce plan permettra aussi d'organiser d'autres distributions sanitaires telles que celles des masques ou d'autres traitements en période de crise sanitaire. Pour tester l'opérationnalité de ce plan il devra être testé lors d'un exercice de crise.

Les périmètres PPI ayant évolué en 2016, il n'est pas impossible qu'il évolue à nouveau dans les prochaines années. De plus, l'ANCCLI recommande un périmètre de sécurité de 80km voire 100km. Si cela était amené à évoluer au-delà de 40km, une partie du département de l'Eure serait incluse dans la distribution préventive.

CONCLUSION

Le sujet du nucléaire n'est pas nouveau et divise depuis plusieurs années. Aujourd'hui, de nombreux sujets animent les médias français tels que le vieillissement des centrales, la guerre en Ukraine et le stockage des déchets nucléaires.

Les accidents nucléaires passés ont amené les régulateurs gouvernementaux à imposer des normes strictes et à effectuer des inspections régulièrement car la sécurité et la sûreté des centrales nucléaires est d'une importance cruciale pour assurer la protection des populations et de l'environnement. Malgré tout, le risque d'un nouvel accident nucléaire est perçu comme plus probable depuis les attaques russes en Ukraine et ceci affecte les populations d'une manière ou d'une autre.

Le sujet des effets sanitaires à la suite des accidents passés est toujours source de désaccord mais leurs retours d'expérience ont permis de voir des mesures de protection de la population adoptées dans plusieurs pays, notamment la prise d'iode stable en cas d'exposition à l'iode radioactif. En effet, l'accident de Tchernobyl a entraîné de nombreux cas de cancer de la thyroïde dans la population de moins de 18 ans en 1986 exposée à l'iode radioactif, mais il a également permis de prouver que la distribution urgente de comprimés d'iodure de potassium à une partie de la population pouvait éviter des cas de cancer (106).

Les pharmaciens d'officine ont d'ailleurs été sollicités par la population en recherche d'information sur la distribution de comprimés d'iode. En France, la distribution préventive est organisée depuis 1997 autour des centrales nucléaires. D'abord effectuée dans un rayon de 10 km, elle a été étendue en 2016 à un rayon de 20 km autour des centrales. Cette distribution est effectuée par les pharmaciens d'officine qui jouent également un rôle de relais de l'information auprès des populations concernées. Pour le reste de la population, la distribution se déroule selon le plan ORSEC de distribution d'iode stable hors zone PPI de chaque département. Ce plan ORSEC met en évidence de véritables enjeux non seulement sanitaires, car les comprimés doivent être distribués assez rapidement et en assez grande quantité pour que leur utilisation soit efficace afin d'éviter l'exposition de la thyroïde à des iodes radioactifs, mais aussi sécuritaires car s'il est activé, son schéma opérationnel dépend des forces de l'ordre qui devront assurer la sécurité de la population, éviter les émeutes aux niveaux des

centres de distribution et assurer le bon acheminement des comprimés. Ce plan ORSEC met de surcroît en évidence la nécessité d'informer et d'acculturer les populations sur le risque nucléaire et les mesures de protection existantes.

Le travail de mise à jour du plan ORSEC iode du département de l'Eure a permis de répondre pour le mieux à ces différents enjeux et d'apprécier la place du pharmacien dans la planification et la gestion d'un accident nucléaire. La perspective d'un changement de doctrine sur la posologie ou d'une nouvelle évolution du périmètre des PPI impliquera de nouveaux enjeux pour le département et la mise à jour de son plan. Dans l'Eure, le pharmacien a une place importante dans la mise à jour de certains plans. Or, le pharmacien est inégalement présent dans la planification de chaque département. En effet, en plus d'une méconnaissance du métier de pharmacien, aucune doctrine nationale ne précise son rôle de façon claire. De plus, il n'est pas toujours informé de celle-ci ou n'y a parfois pas accès, ce qui rend sa compréhension et son appropriation difficiles.

Pourtant, le pharmacien en gestion de crise nucléaire est essentiel pour la protection de la santé publique. Il joue un rôle dans la coordination et la mise en œuvre des mesures visant à réduire les risques liés à l'exposition des substances radioactives. En collaboration avec d'autres experts, le pharmacien en gestion de crise nucléaire, évalue les besoins en produits de santé, surveille les niveaux de contamination et conseille les autorités sur les protocoles appropriés. Ainsi, il assure une réponse rapide et coordonnée face à une situation d'urgence.

Plus généralement, la crise du COVID-19 a mis en lumière la place centrale du pharmacien d'officine dans la gestion des crises sanitaires et comme professionnel de santé de proximité (vaccination élargie, premiers recours). Pourtant, la filière pharmaceutique souffre de la méconnaissance du grand public, méconnaissance probablement à l'origine des places non pourvues en deuxième année du cursus. Il sera essentiel d'informer sur les perspectives du métier et communiquer plus largement sur les filières de « l'ombre » telles que la filière industrie, de la recherche et du monde hospitalier. Le pharmacien est un acteur majeur de la santé publique dans un monde où le réchauffement climatique, les maladies émergentes et les accidents industriels pourront impacter la santé des populations.

BIBLIOGRAPHIE :

1. Ordre national des pharmaciens. CNOP. 2022. Demande en comprimés d'iode : quelles réponses apporter à la population ? Disponible sur: <https://www.ordre.pharmacien.fr/les-communications/focus-sur/les-actualites/demande-en-comprimes-d-iode-queelles-reponses-apporter-a-la-population>
2. EDF. Électricité : le fonctionnement d'une centrale nucléaire [Internet]. 2021. Disponible sur: <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-fonctionnement-d-une-centrale-nucleaire>
3. EDF. Le nucléaire en chiffres [Internet]. 2023. Disponible sur: <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-nucleaire-en-chiffres>
4. EDF. Le nucléaire en chiffres [Internet]. 2021. Disponible sur: <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-nucleaire-en-chiffres>
5. EDF. Les différents types de réacteurs nucléaires | EDF FR [Internet]. 2024. Disponible sur: <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/jeunes-enseignants/pour-les-jeunes/lenergie-de-a-a-z/produire-de-lelectricite/les-differents-types-de-reacteurs-nucleaires>
6. ASN. Décision n° 2024-DC-0780 de l'ASN du 7 mai 2024 [Internet]. Disponible sur: <https://www.asn.fr/l-asn-reglemente/bulletin-officiel-de-l-asn/installations-nucleaires/decisions-individuelles/decision-n-2024-dc-0780-de-l-asn-du-7-mai-2024>
7. IRSN. Le réacteur nucléaire EPR de Flamanville | IRSN [Internet]. 2017. Disponible sur: <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/surete/reacteur-nucleaire-epr-flamanville>
8. IRSN. Le parc des réacteurs nucléaires français | IRSN [Internet]. 2022. Disponible sur: <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/surete/parc-reacteurs-nucleaires-francais>
9. IRSN. Fonctionnement d'un réacteur nucléaire [Internet]. 2017. Disponible sur: https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-centrales-nucleaires/reacteurs-nucleaires-France/Pages/1-reacteurs-nucleaires-France-Fonctionnement.aspx#.Y_lfB7SZNrK
10. Le risque nucléaire - L'information préventive - Sécurité civile - Sécurité et protection des personnes - Actions de l'État - Les services de l'État en Indre-et-Loire [Internet]. [cité 7 déc 2023]. Disponible sur: <https://www.indre-et-loire.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Securite-et-protection-des-personnes/Securite-civile/L-information-preventive/Le-risque-nucleaire>
11. Sûreté nucléaire : prévention et gestion des risques | vie-publique.fr [Internet]. 2023 [cité 7 déc 2023]. Disponible sur: <http://www.vie-publique.fr/eclairage/272644-surete-nucleaire-prevention-et-gestion-des-risques>
12. Sénat. Sénat. 2014. Survol de centrales nucléaires par des drones. Disponible sur:

<https://www.senat.fr/questions/base/2014/qSEQ141113881.html>

13. IRSN. Intrusion à la centrale nucléaire de Cruas-Meysses (Ardèche): l'IRSN a activé son centre de crise [Internet]. 2017. Disponible sur: <https://www.irsn.fr/actualites/intrusion-centrale-nucleaire-cruas-meysses-ardeche-irs-n-active-son-centre-crise>
14. AFCN. AFCN - Agence fédérale de Contrôle nucléaire. 2017. Sûreté et sécurité : deux termes à distinguer. Disponible sur: <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers-dinformation/le-transport-de-matieres-radioactives/surete-et-securite-du-transport-de-4>
15. Flory D. Coopération internationale et sûreté nucléaire. Politique étrangère [Internet]. 2011 [cité 26 févr 2023];Hiver(4):865-78. Disponible sur: <https://www.cairn.info/revue-politique-etrangere-2011-4-page-865.htm>
16. Vie publique. vie publique.fr. 2022. Sécurité nucléaire : sept questions sur la coopération internationale. Disponible sur: <http://www.vie-publique.fr/questions-reponses/284287-securite-nucleaire-7-questions-sur-la-cooperation-internationale>
17. Ministère de la transition écologique. Acteurs et gouvernance du nucléaire [Internet]. 2021. Disponible sur: <https://www.ecologie.gouv.fr/acteurs-et-gouvernance-du-nucleaire>
18. Lewandowski C. Chapitre IV. La sûreté nucléaire. In Paris cedex 14: Presses Universitaires de France; 2021. p. 43-53. (Que sais-je ?). Disponible sur: <https://www.cairn.info/le-nucleaire--9782715406230-p-43.htm>
19. WENRA. Home [Internet]. 2023. Disponible sur: <https://www.wenra.eu/>
20. HERCA. HERCA. 2023. HERCA : Heads of the European Radiological protection Competent Authorities. Disponible sur: <https://www.herca.org/>
21. IRSN. Les acteurs de la sûreté nucléaire [Internet]. 2012. Disponible sur: https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/La_surete_Nucleaire/organisation_surete_nucleaire/Pages/acteurs_surete_nucleaire.aspx#.Y_IsmLSZNrk
22. Franceinfo. Franceinfo. 2023. EDF, Orano, Andra, CEA, IRSN, ASN... Qui sont les acteurs industriels et scientifiques du nucléaire en France ? Disponible sur: https://www.francetvinfo.fr/societe/nucleaire/edf-orano-andra-cea-irs-n-asn-qui-sont-les-acteurs-industriels-et-scientifiques-du-nucleaire-en-france_5669420.html
23. ASN. Présentation de l'ASN [Internet]. 2023 [cité 19 févr 2023]. Disponible sur: <https://www.asn.fr/tout-sur-l-asn/presentation-de-l-asn>
24. IRSN. Le CPN confirme la volonté du gouvernement d'avancer dans le sens de la création d'une grande autorité indépendante de la sûreté et de la radioprotection | [Internet]. 2023. Disponible sur: <https://www.irsn.fr/actualites/cpn-confirme-volonte-gouvernement-davancer-dans-sens-creation-dune-grande-autorite>
25. Vie Publique. Projet de loi sûreté nucléaire, fusion ASN et IRSN | vie-publique.fr [Internet]. 2024. Disponible sur: <https://www.vie-publique.fr/loi/292470-projet-de-loi-surete-nucleaire-fusion-asn-et-irs-n>

26. Greenpeace. Nucléaire [Internet]. Greenpeace France. 2023 [cité 11 mars 2023]. Disponible sur: <https://www.greenpeace.fr/sortir-du-nucleaire/>
27. Réseau Sortir du nucléaire. Réseau Sortir du nucléaire. Réseau Sortir du nucléaire. Disponible sur: <https://www.sortirdunucleaire.org/>
28. ASN. Les documents d'accompagnement [Internet]. Disponible sur: <https://www.asn.fr/l-asn-informe/post-accident/les-documents-d-accompagnement>
29. ASN. Les échelles de classement des incidents et accidents nucléaires et des événements en radioprotection [Internet]. 2023. Disponible sur: <https://www.asn.fr/l-asn-contrôle/ines-et-asn-sfro>
30. Incidents et accidents | IRSN [Internet]. [cité 6 déc 2023]. Disponible sur: <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/surete/incidents-accidents>
31. IRSN. Présentation de l'expo « RADIOACTIVITÉ - Découvrir & comprendre » [Internet]. 2022. Disponible sur: <https://www.irsn.fr/page/presentation-lexpo-radioactivite-decouvrir-comprendre>
32. Reporterre. Reporterre, le média de l'écologie. 2021. Trente ans avant Tchernobyl, la catastrophe nucléaire de Kychtym. Disponible sur: <https://reporterre.net/Trente-ans-avant-Tchernobyl-la-catastrophe-nucleaire-de-Kychtym>
33. ASN. Accidents en France dans les anciens réacteurs A1 et A2 de Saint-Laurent [Internet]. 2021. Disponible sur: <https://www.asn.fr/l-asn-informe/situations-d-urgence/accidents-en-france-dans-les-anciens-reacteurs-a1-et-a2-de-saint-laurent>
34. Guinard P, Catoire S. Les incidents et accidents nucléaires dans la centrale de Saint-Laurent- | vie-publique.fr [Internet]. 2016 [cité 5 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.vie-publique.fr/rapport/35745-les-incidents-et-accidents-nucleaires-dans-la-centrale-de-saint-laurent>
35. Houts PS, Cleary PD, Hu TW. The Three Mile Island crisis. United States: Pennsylvania State University; 1988.
36. IRSN. Les conséquences sanitaires [Internet]. 2012. Disponible sur: https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-tchernobyl-1986/consequences-homme-environnement/Pages/8-Les_consequences_sanitaires.aspx?dId=257bc933-f16a-4c99-819e-ca843037559c&dwId=45d76c24-3232-45e5-9089-89cf5d3e2b35#.ZAS5GrSZM38
37. Cléro E, Leuraud K, Laurier D, Tsubokura M. Conséquences sanitaires 35 ans et 10 ans après les accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima. Environnement, Risques Sante [Internet]. 2021 [cité 10 avr 2023];20(6):525-34. Disponible sur: <https://www.cairn.info/revue-environnement-risques-et-sante-2021-6-page-525.htm>
38. Commission canadienne de sûreté nucléaire. Effets biologiques du rayonnement [Internet]. Date published (YYYY-MM-DD) / Date de publication (AAAA-MM-JJ). Disponible sur: <http://nuclearsafety.gc.ca/fra/resources/radiation/introduction-to-radiation/radiation->

health-effects.cfm

39. IRSN. La contamination des denrées alimentaires en Ukraine, Biélorussie et Russie | IRSN [Internet]. 2018. Disponible sur: <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/crise/contamination-denrees-alimentaires-ukraine-bielorussie-russie>
40. IRSN. Etat du site de la centrale depuis l'accident. 2018.
41. Hasegawa A, Ohira T, Maeda M, Yasumura S, Tanigawa K. Emergency Responses and Health Consequences after the Fukushima Accident; Evacuation and Relocation. Clinical Oncology [Internet]. 1 avr 2016 [cité 31 août 2023];28(4):237-44. Disponible sur: [https://www.clinicaloncologyonline.net/article/S0936-6555\(16\)00005-4/fulltext](https://www.clinicaloncologyonline.net/article/S0936-6555(16)00005-4/fulltext)
42. IRSN. Conséquences de l'accident à l'échelle mondiale | IRSN [Internet]. 2012. Disponible sur: <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/crise/consequences-laccident-lechelle-mondiale>
43. IRSN. Impact du séisme et du tsunami sur la centrale nucléaire de Fukushima-Daiichi | [Internet]. 2012. Disponible sur: <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/crise/impact-seisme-tsunami-sur-centrale-nucleaire-fukushima-daiichi>
44. France 24. France 24. 2023. Le Japon a commencé le rejet en mer des eaux usées de Fukushima. Disponible sur: <https://www.france24.com/fr/info-en-continu/20230824-eaux-de-fukushima-jour-j-pour-le-rejet-en-mer-controvers%C3%A9>
45. Jerrold T. Bushberg. Exposition aux rayonnements et contamination radioactive - Blessures; empoisonnement. Édition professionnelle du Manuel MSD [Internet]. 2020 [cité 16 avr 2023]; Disponible sur: <https://www.msdmanuals.com/fr/professional/blessures-empoisonnement/exposition-aux-rayonnements-et-contamination-radioactive/exposition-aux-rayonnements-et-contamination-radioactive>
46. Parlons sciences. Quels sont les différents types de rayonnement? [Internet]. 2023. Disponible sur: <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/quels-sont-les-differents-types-de-rayonnement>
47. Cordoliani YS, Foehrenbach H. 1 - Nature et origine des rayons ionisants. In: Cordoliani YS, Foehrenbach H, éditeurs. Radioprotection en milieu médical (Troisième Édition) [Internet]. Paris: Elsevier Masson; 2014 [cité 19 mars 2023]. p. 9-19. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9782294739828000013>
48. IRSN. Les différents rayonnements ionisants : alpha, beta, gamma... | IRSN [Internet]. 2012 [cité 5 mai 2024]. Disponible sur: <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/sante/differents-rayonnements-ionisants-alpha-beta-gamma>
49. CEA. Les grandeurs et unités de la radioactivité [Internet]. CEA; 2016. Disponible sur: <https://www.cea.fr/comprendre/Pages/radioactivite/essentiel-sur-grandeur-unites-radioactivite.aspx>
50. Rarnol,. Quelles sont les différentes unités pour mesurer la radioactivité ? [Internet].

Sfen. 2020. Disponible sur: <https://www.sfen.org/energie-nucleaire/surete-nucleaire/radioactivite>

51. Cordoliani YS, Foehrenbach H. 4 - Exposition naturelle et artificielle. In: Cordoliani YS, Foehrenbach H, éditeurs. Radioprotection en milieu médical (Troisième Édition) [Internet]. Paris: Elsevier Masson; 2014 [cité 19 mars 2023]. p. 41-53. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9782294739828000049>

52. ASN. Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France [Internet]. 2020. Disponible sur: https://www.asn.fr/annual_report/2020fr/12/

53. Caroline Prouillac. ResearchGate. 2006. Représentation schématique des lésions de l'ADN induites par les rayonnements ionisant. Disponible sur: https://www.researchgate.net/figure/Representation-schematique-des-lesions-de-lADN-induites-par-les-effets-directs-et_fig3_30518809

54. INRS. Rayonnements ionisants : Exposition aux risques. [Internet]. 2022. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/risques/rayonnements-ionisants/exposition-aux-risques.html>

55. GLOBOCAN. Estimated Cancer Incidence, Mortality and Prevalence Worldwide in 2012 – IARC. 2012;

56. Hopitaux universitaire Est Parisien. Les pathologies de la thyroïde et des glandes parathyroïdes [Internet]. Endocrinologie, Diabétologie et Médecine de la reproduction. Disponible sur: <https://endocrino-sat.aphp.fr/les-pathologies-en-endocrinologie/les-pathologies-de-la-thyroide-et-des-glandes-parathyroides/>

57. Françoise Borson-Chazot, Florent De Vathaire. Département Prévention Cancer Environnement, Centre Léon Bérard. 2022. Cancer de la thyroïde et facteurs de risque. Disponible sur: <https://www.cancer-environnement.fr/fiches/cancers/cancer-de-la-thyroide/>

58. Drozdovitch V, Minenko V, Khrouch V, Leshcheva S, Gavrilin Y, Khutchinsky A, et al. Thyroid Dose Estimates for a Cohort of Belarusian Children Exposed to Radiation from the Chernobyl Accident. Radiat Res [Internet]. mai 2013;179(5):597-609. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3682838/>

59. UNSCEAR. SOURCES AND EFFECTS OF IONIZING RADIATION. 2008.

60. Moysich KB, Menezes RJ, Michalek AM. Chernobyl-related ionising radiation exposure and cancer risk: an epidemiological review. The Lancet Oncology [Internet]. 1 mai 2002;3(5):269-79. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470204502007271>

61. Ivanov VK, Chekin SY, Kashcheev VV, Maksoutov MA, Tumanov KA. Risk of thyroid cancer among Chernobyl emergency workers of Russia. Radiat Environ Biophys [Internet]. 1 nov 2008 [cité 30 avr 2023];47(4):463-7. Disponible sur: <https://doi.org/10.1007/s00411-008-0177-9>

62. Rahu K, Hakulinen T, Smalyte G, Stengrevics A, Auvinen A, Inskip PD, et al. Site-

- specific cancer risk in the Baltic cohort of Chernobyl cleanup workers, 1986–2007. *Eur J Cancer* [Internet]. sept 2013 [cité 30 avr 2023];49(13):2926-33. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3739289/>
63. Fuzik M, Prysyazhnyuk A, Shibata Y, Romanenko A, Fedorenko Z, Gulak L, et al. Thyroid cancer incidence in Ukraine: trends with reference to the Chernobyl accident. *Radiat Environ Biophys.* mars 2011;50(1):47-55.
 64. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2021 Report: Report to the General Assembly, with Scientific Annexes A and B [Internet]. UN; 2015 [cité 11 avr 2023]. (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) Reports). Disponible sur: <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210577984>
 65. IRSN. Conséquences sanitaires de l'accident - Point de la situation en mars 2022 | IRSN [Internet]. 2022. Disponible sur: <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/crise/consequences-sanitaires-laccident-point-situation-mars-2022>
 66. Hayashida N, Imaizumi M, Shimura H, Furuya F, Okubo N, Asari Y, et al. Thyroid ultrasound findings in a follow-up survey of children from three Japanese prefectures: Aomori, Yamanashi, and Nagasaki. *Sci Rep.* 12 mars 2015;5:9046.
 67. Hayashida N, Imaizumi M, Shimura H, Okubo N, Asari Y, Nigawara T, et al. Thyroid Ultrasound Findings in Children from Three Japanese Prefectures: Aomori, Yamanashi and Nagasaki. *PLOS ONE* [Internet]. 23 déc 2013 [cité 1 mai 2023];8(12):e83220. Disponible sur: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0083220>
 68. IRSN. Les cancers de la thyroïde après un accident nucléaire | IRSN [Internet]. 2021. Disponible sur: <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/sante/cancers-thyroide-apres-accident-nucleaire>
 69. Bebeshko VG, Kovalenko AN, Belyi DA, Bazyka DA, Chumak AA, Sushko VA, et al. Medical monitoring results of survivors with acute radiation syndrome after Chernobyl disaster. *International Congress Series* [Internet]. 1 nov 2003;1258:115-22. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0531513103012196>
 70. Zablotska LB, Bazyka D, Lubin JH, Gudzenko N, Little MP, Hatch M, et al. Radiation and the risk of chronic lymphocytic and other leukemias among chornobyl cleanup workers. *Environ Health Perspect.* janv 2013;121(1):59-65.
 71. Kesminiene A, Evrard AS, Ivanov VK, Malakhova IV, Kurtinaitis J, Stengrevics A, et al. Risk of hematological malignancies among Chernobyl liquidators. *Radiat Res* [Internet]. déc 2008;170(6):721-35. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2904977/>
 72. International Atomic Energy Agency. Chernobyl's legacy: Health, environmental and socio-economic impacts and recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine The Chernobyl Forum 2003-2005 Second revised version.

International Atomic Energy Agency (IAEA); 2006 p. 55.

73. Bromet EJ, Havenaar JM, Guey LT. A 25 Year Retrospective Review of the Psychological Consequences of the Chernobyl Accident. Clinical Oncology [Internet]. 1 mai 2011;23(4):297-305. Disponible sur:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0936655511005334>

74. Radiation Medical Science Center. Radiation Medical Science Center for the Fukushima Health Management Survey. 2021. The Survey Report | The Fukushima Health Management Survey | Radiation Medical Science Center for the Fukushima Health Management Survey. Disponible sur: <https://fhms.jp/en/fhms/outline/report/>

75. Yablokov AV, Nesterenko VB, Nesterenko AV. 15. Consequences of the Chernobyl catastrophe for public health and the environment 23 years later. Ann N Y Acad Sci. nov 2009;1181:318-26.

76. Lochard J. Rehabilitation of living conditions in territories contaminated by the Chernobyl accident: the ETHOS project. Health Phys. nov 2007;93(5):522-6.

77. Liutsko L, Oughton D, Sarukhan A, Cardis E. The SHAMISEN Recommendations on preparedness and health surveillance of populations affected by a radiation accident. Environment International [Internet]. 1 janv 2021 [cité 1 mai 2023];146:106278. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020322339>

78. IRSN. Baromètre IRSN 2023 sur la perception des risques et de la sécurité par les Français [Internet]. 2023. Disponible sur: <https://www.irsn.fr/actualites/barometre-irsn-2023-sur-perception-risques-securite-par-francais>

79. KOWALSKI. Risques Infos n°22, avril 2009 : L'organisation médicale des secours en cas de catastrophe [Internet]. 2009 [cité 31 juill 2023]. Disponible sur: http://www.irma-grenoble.com/06publications/01publications_risquesinfos_sommaire.php?id_risquesinfos=22

80. Ministère de la Santé et de la Prévention. La préparation du système de santé aux situations sanitaires exceptionnelles [Internet]. 2023. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/prevention-en-sante/securite-sanitaire/article/la-preparation-du-systeme-de-sante-aux-situations-sanitaires-exceptionnelles>

81. Ministère du travail, de la santé et des solidarités. Le dispositif ORSAN : cadre intégré de préparation et de réponse du système de santé aux situations sanitaires exceptionnelles [Internet]. 2024. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/prevention-en-sante/securite-sanitaire/article/le-dispositif-orsan-cadre-integre-de-preparation-et-de-reponse-du-systeme-de>

82. Direction générale de la santé. Aide à l'organisation de l'offre de soins en situations sanitaires exceptionnelles: guide méthodologique. 2014.

83. Mekkedem N. L'implication du pharmacien d'officine dans la prévention et la gestion des situations sanitaires exceptionnelles en France. 6 juill 2021 [cité 10 nov 2023];140.

Disponible sur: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03280549>

84. GABRIEL O. Les pharmaciens sapeurs-pompiers [Internet]. 2022. Disponible sur: <https://www.netpompiers.fr/les-pharmaciens-sapeurs-pompiers/>
85. Légifrance - Droit national en vigueur - Circulaires et instructions - CIRCULAIRE INTERMINISTERIELLE relative au dispositif de stockage et de distribution des produits de santé des stocks stratégiques de l'Etat pour répondre à une situation sanitaire exceptionnelle. [Internet]. [cité 13 nov 2023]. Disponible sur: <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf/circ?id=37394>
86. DGS. Ministère du travail, de la santé et des solidarités. Le plan de gestion des tensions hospitalières et des situations sanitaires exceptionnelles des établissements de santé. Disponible sur: <https://sante.gouv.fr/prevention-en-sante/securite-sanitaire/guide-gestion-tensions-hospitalieres-SSE>
87. Pioud V, Théveniaud L, Malbranche C, Lebouvier M, Guignard MH. Les plans d'urgence : état des lieux et implication du pharmacien hospitalier dans leur mise en œuvre. Le Pharmacien Hospitalier [Internet]. 1 mars 2009 [cité 5 mai 2024];44(1):27-35. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0768917909000042>
88. ASN. Recommandations pour la gestion post-accidentelle [Internet]. 2022. Disponible sur: <https://www.asn.fr/publications/2022/Recommandations-pour-la-gestion-post-accidentelle/8/>
89. ASN. CLI [Internet]. 2023. Disponible sur: <https://www.asn.fr/tout-sur-l-asn/cli>
90. ASN. Extension des plans particuliers d'intervention autour des centrales nucléaires françaises [Internet]. 2019. Disponible sur: <https://www.asn.fr/l-asn-informe/actualites/extension-des-plans-particuliers-d-intervention-autour-des-centrales-nucleaires-francaises>
91. Ordre national des pharmaciens. CNOP. 2022. Campagne de distribution d'iode. Disponible sur: <https://www.ordre.pharmacien.fr/je-suis/pharmacien/pharmacien/mon-exercice-professionnel/les-foires-aux-questions/campagne-de-distribution-d-iode>
92. CLIN - Paluel - Penly. La campagne complémentaire de distribution des comprimés d'iode - CLIN [Internet]. 2019. Disponible sur: <https://www.clin76.fr/la-campagne-complementaire-de-distribution-des-comprimes-diode/>
93. Jean-Claude DELALONDE. Contrôle n°201 [Internet]. 2016. Disponible sur: <https://www.asn.fr/publications/2017/Controle201/23/>
94. Suchet R. La gestion du nucléaire en crise : une étude à travers les représentations des gestionnaires de crise [Internet] [These de doctorat]. Montpellier; 2015 [cité 31 juill 2023]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2015MONTD016>
95. EDF. Centrales nucléaires : prévenir les accidents et crises | EDF FR [Internet]. 2022. Disponible sur: [93](https://www.edf.fr/groupe-edf/produire-une-energie-respectueuse-du-climat/lenergie-nucleaire/notre-vision/garantir-la-surete-des-installations/prevenir-et-gerer-</div><div data-bbox=)

les-risques

96. Légifrance. Instruction relative à la réponse à un accident nucléaire ou radiologique majeur - Evolution de la doctrine nationale pour l'élaboration ou la modification des PPI autour des CNPE exploités par EDF. - Légifrance [Internet]. 2016 [cité 1 mai 2024]. Disponible sur: https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/41351?fonds=CIRC&page=1&pageSize=10&query=iode&searchField=ALL&searchType=ALL&tab_selection=all&typePaging=DEFAULT
97. Vuillier-Devillers F, Monchâtre V. Fiche 2 - La population du Grand Est parmi les plus exposées au risque nucléaire – Population exposée aux risques dans le Grand Est | Insee [Internet]. 2022. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6444943?sommaire=6445902>
98. SGDSN. Bibliothèque de l'Institut des Risques Majeurs - Plan national de réponse Accident nucléaire ou radiologique majeur [Internet]. 2014. Disponible sur: http://www.irma-grenoble.com/05documentation/00bibliotheque_document_afficher.php?idDocument=2804
99. Lopez L, Saurel S, Domeneghetti B. L'évacuation des populations dans le cadre d'un accident nucléaire : le rôle des sapeurs-pompiers et des cellules mobiles d'interventions radiologiques, notamment dans le cadre de la phase d'évacuation immédiate établie par la nouvelle doctrine des plans particuliers d'intervention des centrales nucléaires de production d'électricité. Aix-en-Provence: École Nationale Supérieure des Officiers Sapeurs-Pompiers (ENSOSP); 2017. 1 vol. (56 p.).
100. Accueil | FR-Alert [Internet]. [cité 1 mai 2024]. Disponible sur: <https://fr-alert.gouv.fr/>
101. BO Santé - Protection sociale. Circulaire interministérielle DGS/DUS n° 2011-340 et DSC n° 2011-64 du 11/07/11 relative au dispositif de stockage et de distribution des comprimés d'iodure de potassium hors des zones couvertes par un plan particulier d'intervention (PPI) | AIDA [Internet]. 2011 [cité 29 août 2023]. Disponible sur: <https://aida.ineris.fr/reglementation/circulaire-interministerielle-dgsdus-ndeg-2011-340-dsc-ndeg-2011-64-110711-relative>
102. Paitraud D. VIDAL. 2022. Menace nucléaire en Ukraine : que répondre aux Français qui demandent de l'iode ? Disponible sur: <https://www.vidal.fr/actualites/28841-menace-nucleaire-en-ukraine-que-repondre-aux-francais-qui-demandent-de-l-iode.html>
103. Geoffroy B, Verger P, Le Guen B. Pharmacocinétique de l'iode : revue des connaissances utiles en radioprotection accidentelle. Radioprotection [Internet]. avr 2000 [cité 5 déc 2023];35(2):151-74. Disponible sur: <http://www.radioprotection.org/10.1051/radiopro:2000100>
104. HCSP. Protection des populations par l'iode stable en cas d'accident nucléaire [Internet]. Rapport de l'HCSP. Paris: Haut Conseil de la Santé Publique; 2021 juill. Disponible sur: <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1083>
105. Pasquier C. Les allergies à l'iode existent-elles? 2001;
106. Lebsir D. Toxicologie de l'iode stable: Etude in vivo des effets biologiques associés à

une prophylaxie répétée par l'iodure de potassium. 2018;

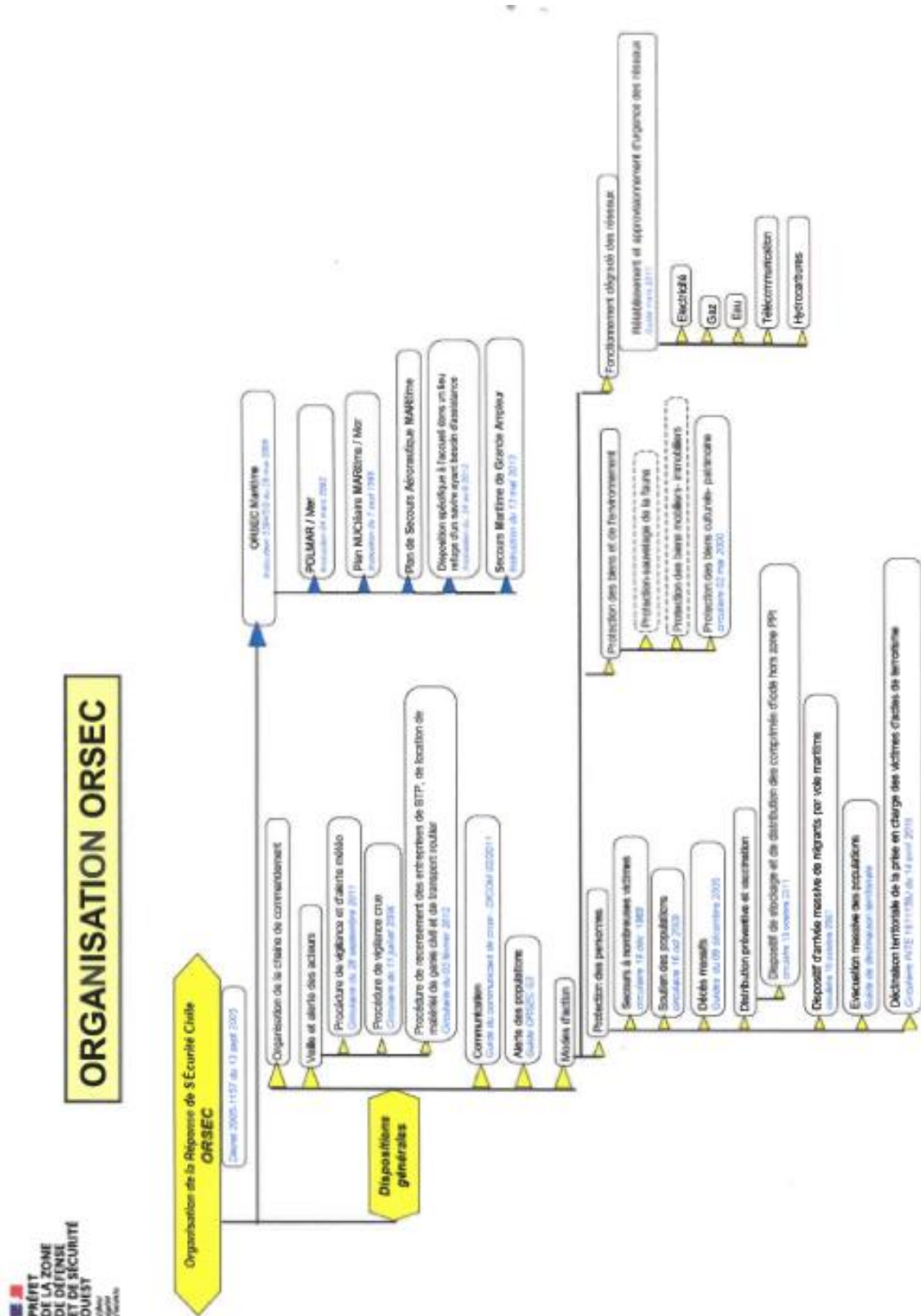
107. AIEA. The Fukushima Daiichi Accident [Internet]. The Fukushima Daiichi Accident. International Atomic Energy Agency; 2015 p. 1-1254. Disponible sur: <https://www.iaea.org/publications/10962/the-fukushima-daiichi-accident>

108. Elhanbali O. Prophylaxie des conséquences thyroïdiennes des accidents des centrales nucléaires [Internet] [other]. Université de Lorraine; 2016 [cité 29 août 2023]. p. non renseigné. Disponible sur: <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01770744>

109. Wikipédia. Arrondissements de l'Eure. In: Wikipédia [Internet]. 2020. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Arrondissements_de_l%27Eure&oldid=172070668

ANNEXES

ANNEXE 1 : dispositions ORSEC générales et spécifiques

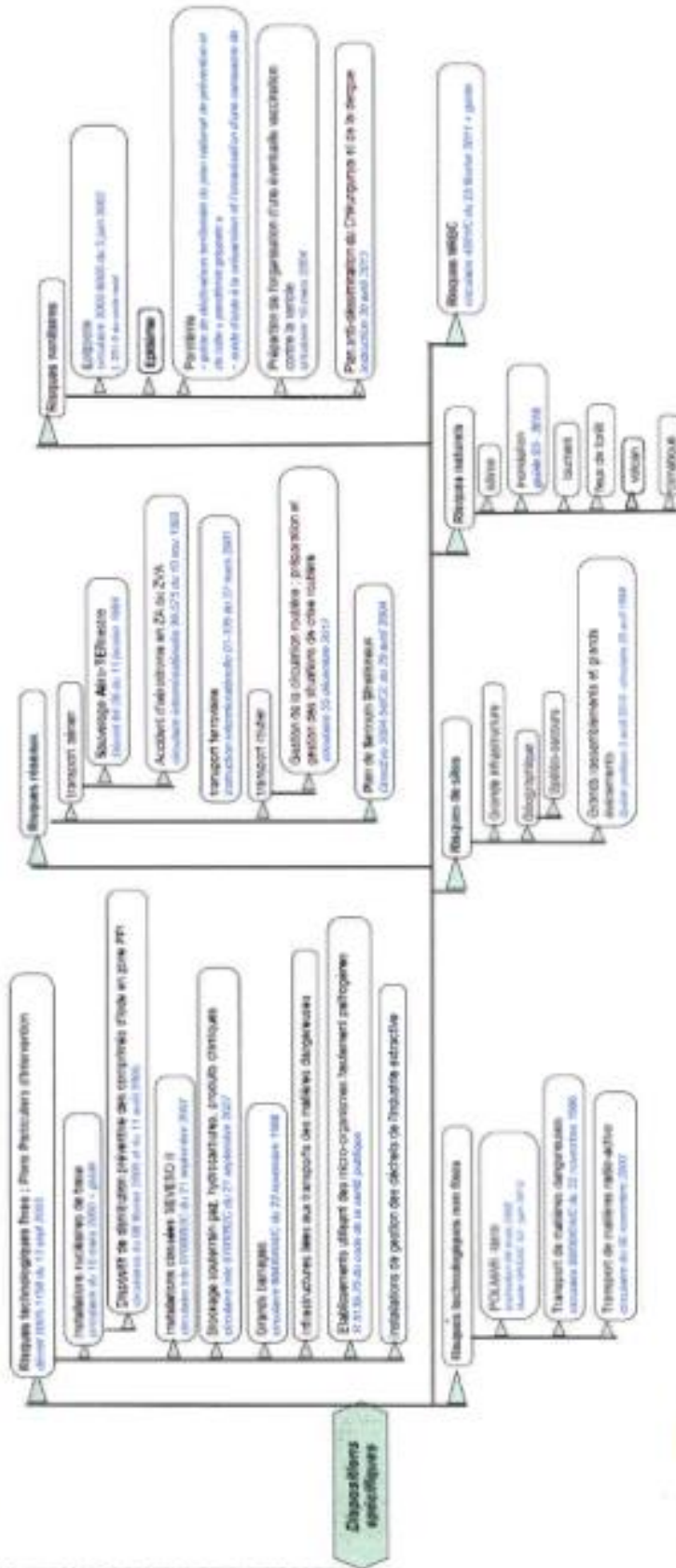


ORGANISATION ORSEC

Organisation de la Riposte de 8 Escadrons Chiffre

ORSEC

Orsec 2000 1157 du 03 sept 2000





PLAN ORSEC – IODE

FICHE LIAISON

Contact centre logistique de secteur: mise à disposition des stocks « Etat » des comprimés

A retourner à la préfecture de l'Eure, Service Interministériel de la Défense et de la Protection Civile :

pref-defense-protection-civile@eure.gouv.fr

Permanence préfecture du lundi au vendredi : de 8h à 18h au 02.32.78.26.26
et de 18h à 8h au 06.80.21.04.51

CENTRE LOGISTIQUE DE :

COORDONNEES DES RESPONSABLES

Maire :

Numéro de téléphone 24h/24 et 7j/7:

Adresse mail :

Nom du référent iode :

Numéro de téléphone 24h/24 et 7j/7:

Adresse mail :

LIEU DE LIVRAISON DES COMPRIMÉS

Adresse du lieu :

Type de lieu (mairie, gymnase, salle des fêtes, etc.) :

Contact (si gardien) :

Téléphone :

Adresse mail :

ANNEXE 3 : le bon de livraison



Bon de livraison

Plan ORSEC IODE

Préfecture de l'Eure

9 boulevard George Chauvin

27000 EVREUX

Du lundi au vendredi de 8h à 18h : 06.xx.xx.xx.xx

Du lundi au vendredi de 18h à 8h, le week-end et jour férié : 06.xx.xx.xx.xx

Centre logistique de [nom de la commune]
Secteur [numéro secteur]

[adresse du centre logistique]

Référent iode : [nom référent iode], [numéro référent iode]

Produit	Quantité
Nombre de palettes	
Nombre de cartons	
Nombre de boîtes	
Nombre total de comprimés à distribuer	

Signature livreur

Signature responsable centre logistique

NB : 50 cartons par palette / 200 boîtes par carton / 2000 comprimés par carton

ANNEXE 4 : les 3 étapes de la distribution

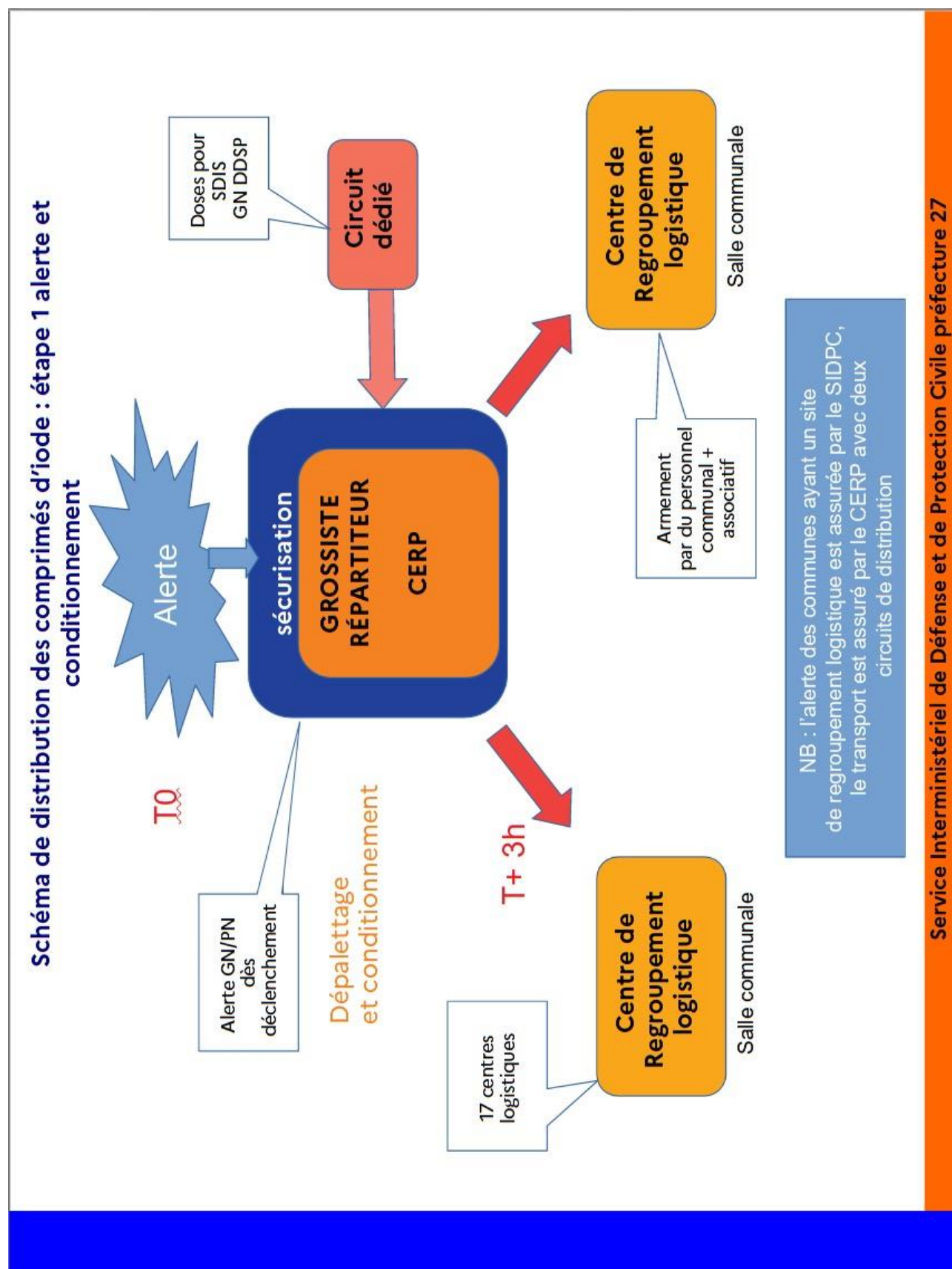


Schéma de distribution des comprimés d'iode : étape 2

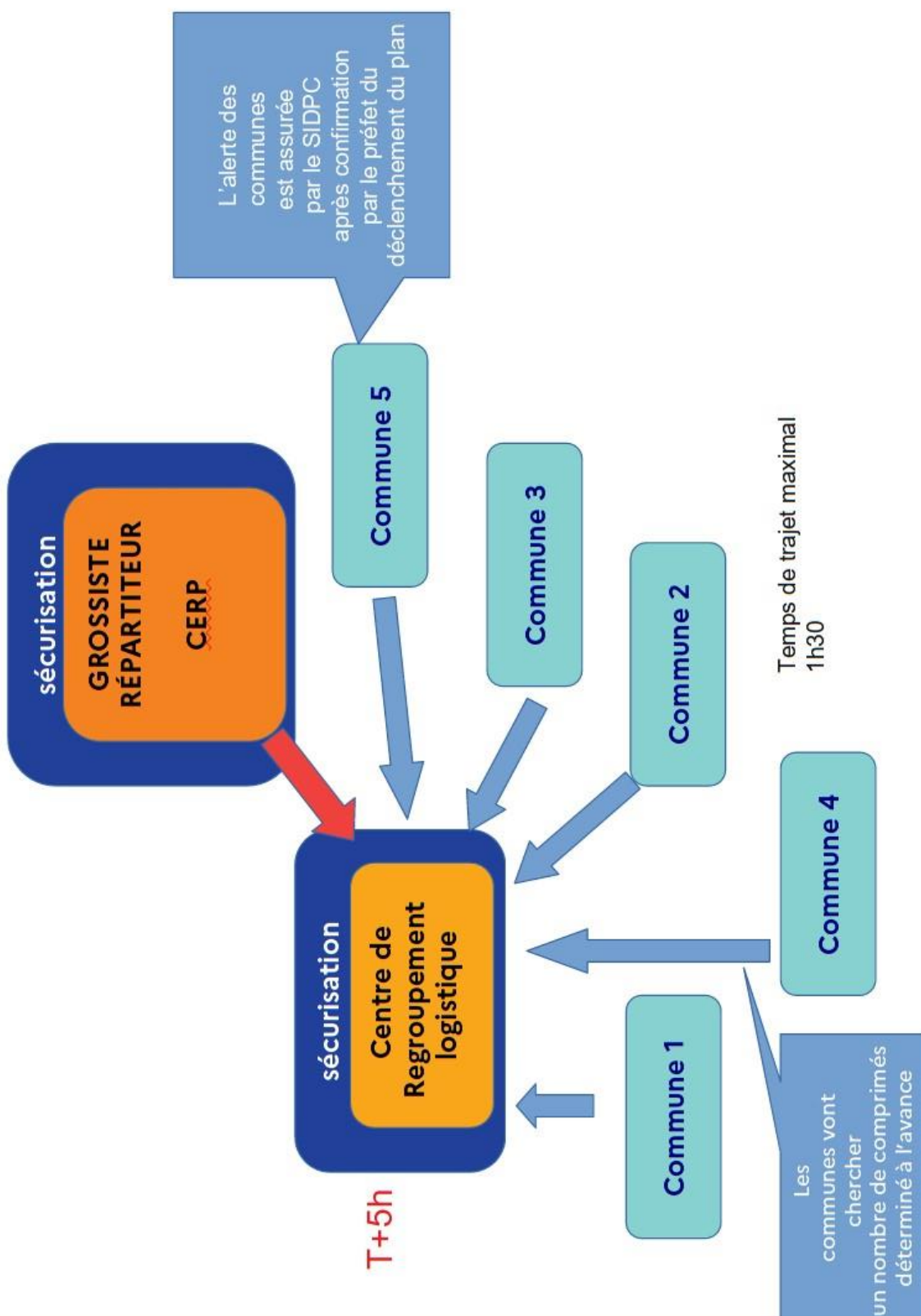
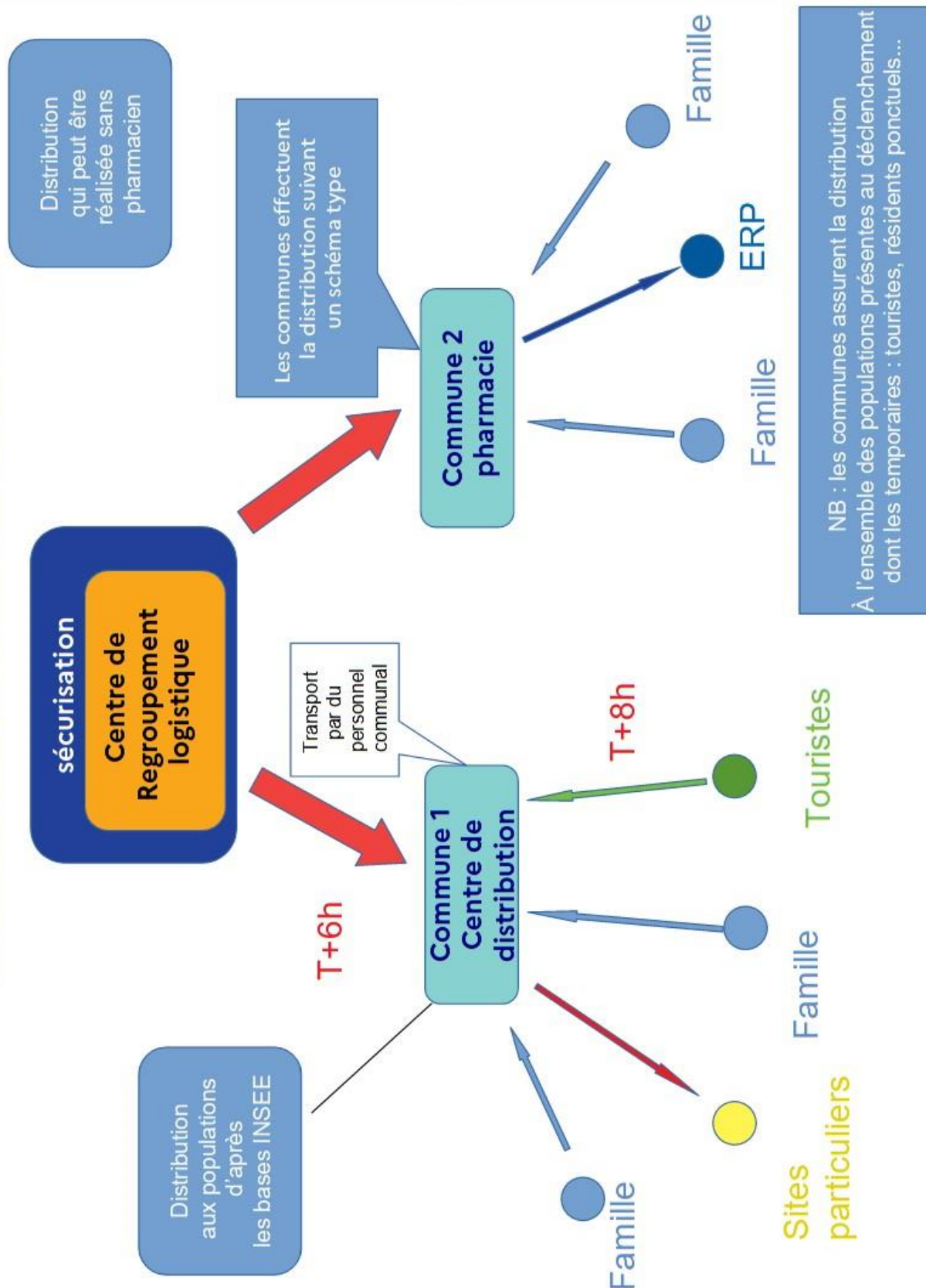


Schéma de distribution des comprimés d'iode : étape 3



RÉSUMÉ :

Les accidents passés ont permis de développer une réelle culture du risque ce qui a initié de nouvelles réglementations en matière de nucléaire. La France est le deuxième pays le plus nucléarisé au monde et l'État français se doit d'assurer la sûreté et la sécurité de la population et de l'environnement. Pour protéger sa population des effets sanitaires liés aux rejets d'iodes radioactifs lors d'un accident nucléaire, l'État français dispose d'un stock de comprimés d'iodure de potassium. Ces comprimés sont essentiels pour protéger la thyroïde des personnes les plus vulnérables et leur éviter un cancer de la thyroïde. La distribution de ces comprimés est prévue dans un plan ORSEC intitulé « dispositif de stockage et de distribution des comprimés d'iode hors zone PPI », plus communément appelé « ORSEC iode ». Il est possible d'observer le rôle du pharmacien dans la mise à jour de ce plan jusqu'à sa mise en œuvre. Plus généralement, en planification et gestion de crise nucléaire le pharmacien comme tous professionnels de santé est un acteur essentiel pour protéger la santé de la population. De plus, il joue un rôle dans l'information et l'acculturation de la population au risque nucléaire pour qu'elle puisse connaître les bons réflexes en cas d'accident.

Past accidents have led to the development of a real risk culture, which in turn has led to the introduction of new nuclear regulations. France is the second most nuclear-armed country in the world, and the French government has a duty to ensure the safety and security of the population and the environment. To protect its population from the health effects of radioactive iodine releases in the event of a nuclear accident, the French government has a stock of potassium iodide tablets. These tablets are essential for protecting the thyroid glands of the most vulnerable people and preventing them from developing thyroid cancer. The distribution of these tablets is provided for in an ORSEC plan entitled "Storage and distribution of iodine tablets outside PPI zones", more commonly known as "ORSEC iodine". It is possible to observe the role of the pharmacist in updating this plan until it is implemented. More generally, in nuclear crisis planning and management, pharmacists, like all healthcare professionals, play an essential role in protecting the health of the population. Pharmacists also have a role to play in informing and educating the public about nuclear risk, so that they know what to do in the event of an accident.

Mots clés : iode – accident nucléaire – pharmacien – plan ORSEC – effets sanitaires – rayonnements ionisants – gestion de crise – planification – SIDPC

