

Université de POITIERS

**Faculté de Médecine et de Pharmacie**

ANNEE 2019

Thèse n°

**THESE**  
**POUR LE DIPLOME D'ETAT**  
**DE DOCTEUR EN PHARMACIE**  
(arrêté du 17 juillet 1987)

présentée et soutenue publiquement  
le 02 octobre 2019 à POITIERS  
par Monsieur CUVILLIER Philippe  
né le 13 juin 1989

Prévention par l'iode stable en cas d'accident nucléaire  
Place du pharmacien d'officine

Composition du jury :

Président : Monsieur FAUCONNEAU Bernard, Professeur des universités

Directeurs de thèse : Madame THEVENOT-AYRAUD Sarah, Maître de conférences des Universités  
Monsieur CASTEL Olivier, Maître de conférences des Universités

Membres : Monsieur MARTY Jean Eudes, Docteur en pharmacie  
Monsieur ROBERT Joël, Ingénieur du génie sanitaire  
Monsieur VÊQUE André, Docteur en pharmacie

Université de POITIERS

**Faculté de Médecine et de Pharmacie**

ANNEE 2019

Thèse n°

**THESE  
POUR LE DIPLOME D'ETAT  
DE DOCTEUR EN PHARMACIE**

(arrêté du 17 juillet 1987)

présentée et soutenue publiquement  
le 02 octobre 2019 à POITIERS  
par Monsieur CUVILLIER Philippe  
né le 13 juin 1989

Prévention par l'iode stable en cas d'accident nucléaire  
Place du pharmacien d'officine

Composition du jury :

Président : Monsieur FAUCONNEAU Bernard, Professeur des universités

Directeurs de thèse : Madame THEVENOT-AYRAUD Sarah, Maître de conférences des Universités  
Monsieur CASTEL Olivier, Maître de conférences des Universités

Membres : Monsieur MARTY Jean Eudes, Docteur en pharmacie  
Monsieur ROBERT Joël, Ingénieur du génie sanitaire  
Monsieur VÊQUE André, Docteur en pharmacie



## Faculté de Médecine et de Pharmacie

Année universitaire 2018-2019

### PHARMACIE

#### Professeurs

- CARATO Pascal, Chimie Thérapeutique
- COUET William, Pharmacie Clinique
- DUPUIS Antoine, Pharmacie Clinique
- FAUCONNEAU Bernard, Toxicologie
- GUILLARD Jérôme, Pharmaco chimie
- IMBERT Christine, Parasitologie
- MARCHAND Sandrine, Pharmacocinétique
- OLIVIER Jean Christophe, Galénique
- PAGE Guylène, Biologie Cellulaire
- RABOUAN Sylvie, Chimie Physique, Chimie Analytique
- RAGOT Stéphanie, Santé Publique
- SARROUILHE Denis, Physiologie
- SEGUIN François, Biophysique, Biomathématiques

#### Maîtres de Conférences

- BARRA Anne, Immunologie-Hématologie
- BARRIER Laurence, Biochimie
- BODET Charles, Bactériologie (HDR)
- BON Delphine, Biophysique
- BRILLAULT Julien, Pharmacologie
- BUYCK Julien, Microbiologie
- CHARVET Caroline, Physiologie
- DEBORDE Marie, Sciences Physico-Chimiques
- DELAGE Jacques, Biomathématiques, Biophysique
- FAVOT Laure, Biologie Cellulaire et Moléculaire
- GIRARDOT Marion, pharmacognosie, botanique, biodiversité végétale
- GREGOIRE Nicolas, Pharmacologie (HDR)
- HUSSAIN Didja, Pharmacie Galénique (HDR)
- INGRAND Sabrina, Toxicologie
- MARIVINGT-MOUNIR Cécile Pharmaco chimie

- PAIN Stéphanie, Toxicologie (HDR)
- RIOUX BILAN Agnès, Biochimie
- TEWES Frédéric, Chimie et Pharmaco chimie
- THEVENOT Sarah, Hygiène et Santé publique
- THOREAU Vincent, Biologie Cellulaire
- WAHL Anne, Pharmaco chimie, Produits naturels

#### AHU

- BINSON Guillaume

#### PAST - Maître de Conférences Associé

- DELOFFRE Clément, Pharmacien
- HOUNKANLIN Lydwin, Pharmacien

#### Professeur 2<sup>nd</sup> degré

- DEBAIL Didier
- GAY Julie

#### Poste de Doctorant

- FREYSSIN Aline

## Remerciements

A mon président de thèse, Mr FAUCONNEAU Bernard, merci pour l'honneur d'avoir accepté de présider ce jury de thèse.

A mon directeur de thèse, Mr CASTEL Olivier, pour avoir accepté de diriger ce travail. Merci de m'avoir encadré tout au long de cette thèse. Merci également pour votre disponibilité permanente et vos encouragements.

A mon co-directeur de thèse, Mme THEVENOT-AYRAULT Sarah, pour avoir accepté de co-diriger cette thèse.

Au membre du jury, Mr ROBERT Joël, merci pour votre transmission d'informations essentielles et de m'avoir donné votre avis pour améliorer le contenu du travail.

Au membre du jury, Mr MARTY Jean-Eudes, merci d'avoir accepté de juger ce travail. Merci aussi d'avoir été disponible pour me donner des conseils, et pour ton temps passé sur mon travail.

Au membre du jury, Mr VÊQUE André, ouais enfin JB quoi, merci pour ton temps passé à relire ma thèse, malgré l'emploi du temps de ministre que tu as en ce moment.

---

A mes parents, merci de m'avoir soutenu durant ces nombreuses et laborieuses années d'études. Nous nous approchons enfin de l'aboutissement de celles-ci. Merci de ne pas m'avoir envoyé en camp de redressement suite à mes innombrables redoublements. Merci pour votre patience et pour votre soutien au quotidien. Merci d'avoir cru en moi jusqu'au bout. Merci de m'aider à accomplir mes futurs projets. Je vous aime.

A mes amis, par ordre alphabétique bien sûr, pas par ordre de préférence sinon y'aurait « d'la bagarre », chat-b mental. Merci pour votre présence constante durant ce long, toujours très studieux et irréprochable parcours. Merci pour ces souvenirs inoubliables qui ont rythmés mes études, et pour les futurs souvenirs que nous aurons ensemble :

Alexandre, Olol. Le début d'une grande carrière chez Gifi (Gif-Phi) se profile ! Merci d'avoir été présent pour tous ces mémorables moments passés, pour ton lourd sommeil de fin de soirée, tmtc, et ces heures interminables à la BU qui finalement se terminaient toujours bien. T'sais pas faire d'ailleurs. Front flip.

Jean-Baptiste, JB, encore. Avant d'être mon jury, tu es un grand ami. On se connaît depuis le début de nos études, même s'il y a eu une confusion sur les prénoms. Entraîne toi au Wake et à MK, t'en a drôlement besoin. Après réflexion, démarrer une Scénic sans clé est bien plus facile à dire qu'à faire.

Jean-Eudes, 1<sup>er</sup> BDB que j'ai connu à la faculté, et pas des moindres. Tu as même l'honneur de participer au point final. Tu n'as jamais et tu ne sauras jamais faire. Même si t'y crois encore. Le melon, la muscu, le stétho. Back-flip base militaire.

Laurent, Lolo, souvenirs du bâtiment alpha, des pauses d'environ 6h à la BU de droit. Comme tu le sais, si t'es là, je passe ma thèse... Avant toi ☺ ! Charrette. Tous ces moments aux WEI, aux galas...

Patrick, Pat'. A ces galères de rattrapages en jogging, à ces galères post-BDM. Les nuits blanches à parler de tout ou rien, refaire le monde. Aux traces indélébiles de l'Absolut sur la table basse. A ton rythme décalé et ta pyramide de Quick. Aux multiples mètres enflammés. Toi non plus t'sais pas faire, double back flip. Et surtout, les TP (Alexis !) et quand tu as récupéré ta PS... Et bientôt une carrière chez Gifi aussi !

Thibaut, Thibal. Le plus sérieux de tous. Je crois que tu n'oublieras jamais de serrer ton frein à main maintenant. Sais-tu combien d'heures notre corps a-t-il passé en cours alors que notre esprit était sur Winamax ou 9gag ? Ah, et la raie de H gravée sur notre rétine avec Val, for ever.

Valentin, Val. Je te dois un paquet de pailles et tu me dois des paquets tout court... Superbes souvenir partagés avec toi durant ces dernières années, entre ton addiction pour les enchères, les flushs et les bouffées de chaleur en toute saison.

A Paule. Que dire. A toi qui m'apporte le bonheur et la joie. A toi avec qui je passe des moments de rêve. Ô jamais il n'y aura de « dernière fois ». Je n'oublierai pas comment ton cœur se soulève.

A Seth, et au budget que je dois mettre de côté tous les mois pour ton Anafranil et calmer ton syndrome psychotique.

Enfin, à Julie. Celle qui partage mon quotidien. Merci de me supporter et de me soutenir en toutes circonstances. Merci pour ces si bons moments passés ensemble et que nous passerons. Il nous reste tant à partager. J'attends quand même un bombers, sans que ça se finisse à 3h du mat' « mais j'veux juste finir ». Bref, juste merci d'être là, à mes côtés depuis presque 3 ans. Bourdon, love.

Merci aussi à tous ceux que je n'ai pas cité ici.

Je dédie ce travail à Mme Dejean. Mes pensées vont à son entourage et sa famille.

## TABLE DES MATIERES

<b>Glossaire.....</b>	<b>10</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>12</b>
<b>Partie I - La thyroïde et l'iode .....</b>	<b>13</b>
<b>I. La thyroïde.....</b>	<b>14</b>
<b>1. Physiologie .....</b>	<b>14</b>
<b>2. Biosynthèse et libération des hormones thyroïdiennes.....</b>	<b>15</b>
a. Transformation de l'iode.....	15
i. L'organification (ou oxydation).....	15
ii. Régulation de l'organification .....	15
b. Formation des thyronines par couplage des tyrosines .....	16
c. Thyroglobuline : mise en réserve .....	17
d. Sécrétion des hormones thyroïdiennes .....	17
e. Catabolisme des hormones.....	17
f. Actions des hormones.....	18
g. Sécrétion des hormones thyroïdiennes : régulation .....	18
<b>II. L'iode .....</b>	<b>19</b>
<b>1. Les sources d'iode.....</b>	<b>20</b>
a. Dans l'alimentation .....	20
b. Différents types d'iode .....	21
c. Les médicaments.....	22
i. Les produits de contraste iodés (PCI) .....	22
ii. Les médicaments iodés .....	23
iii. Les antidotes .....	23
d. Cutané .....	23
e. Accidentelles .....	23
<b>2. Métabolisme de l'iode dans l'organisme.....</b>	<b>24</b>
a. Absorption.....	24
i. Absorption digestive.....	24
ii. Absorption pulmonaire .....	25
b. Répartition dans l'organisme .....	25
c. Élimination .....	26
i. Élimination rénale.....	26
ii. Autres voies d'élimination .....	26
d. Facteurs de variation du captage thyroïdien de l'iode.....	26
i. Apport alimentaire d'iode .....	26
ii. Age.....	27
iii. Femme enceinte .....	28
<b>Partie II - Radioactivité et centrale nucléaire.....</b>	<b>29</b>
<b>I. Radioactivité .....</b>	<b>30</b>
<b>1. Définition .....</b>	<b>30</b>
<b>2. Rayonnement ionisant.....</b>	<b>30</b>
a. Les différents types de rayonnements.....	31
b. Mesurer la radioactivité .....	32

<b>II. Fonctionnement d'une centrale nucléaire .....</b>	<b>32</b>
<b>1. Préparation du combustible .....</b>	<b>32</b>
<b>2. Les transformations .....</b>	<b>34</b>
a. La conversion .....	34
b. L'enrichissement .....	34
<b>3. La fabrication du combustible (pastilles, crayons, assemblages) .....</b>	<b>34</b>
<b>4. Production d'électricité par fission nucléaire .....</b>	<b>34</b>
a. Le défaut de masse .....	34
b. La fission nucléaire .....	35
c. Le réacteur nucléaire .....	35
d. Les trois circuits d'une centrale nucléaire .....	36
<b>5. La sûreté nucléaire .....</b>	<b>38</b>
<b>6. La gestion du combustible utilisé .....</b>	<b>38</b>
<b>7. Le retraitement et le stockage des déchets .....</b>	<b>39</b>
<b>III. Émission radioactive d'une centrale nucléaire .....</b>	<b>40</b>
<b>1. Différentes sources d'exposition .....</b>	<b>40</b>
a. Modes de contamination de l'environnement .....	40
b. Modes de contamination de l'homme .....	42
<b>2. En fonctionnement normal : émissions de radioactivité d'une centrale par rapport à la radioactivité naturelle .....</b>	<b>42</b>
<b>3. En cas d'accident : exemple de Fukushima-Daiichi .....</b>	<b>45</b>
a. Les faits .....	45
b. Les doses reçues et les conséquences sanitaires .....	46
 <b>Partie III - Aspect médical : la prévention par l'iode stable .....</b>	 <b>50</b>
 <b>I. Tolérance du blocage thyroïdien par la prise d'iode stable .....</b>	 <b>51</b>
<b>1. Mécanismes d'action de l'iode stable .....</b>	<b>51</b>
<b>2. Saturation et dilution isotopique .....</b>	<b>51</b>
<b>3. Inhibition de l'organification de l'iode et de la synthèse hormonale .....</b>	<b>51</b>
<b>4. Inhibition de la sécrétion hormonale thyroïdienne .....</b>	<b>52</b>
<b>II. Efficacité de l'iode stable .....</b>	<b>53</b>
<b>1. Principales études sur l'action préventive de l'iode stable .....</b>	<b>53</b>
<b>2. Résultats .....</b>	<b>54</b>
a. Efficacité en fonction de la posologie d'iode stable .....	54
b. Efficacité en fonction du moment de l'administration de l'iode stable .....	55
c. Durée de la protection .....	56
d. Efficacité en fonction du mode d'administration .....	58
e. Efficacité en fonction de l'âge .....	58
<b>3. Ingestion d'iode stable chez l'adulte en cas d'accident nucléaire : une approche pour comparer les bénéfices et les risques .....</b>	<b>59</b>
a. Principes de l'administration d'iode stable à visée préventive en cas de rejet accidentel d'iode radioactif .....	59
b. Efficacité de la protection thyroïdienne par l'iode stable .....	60
c. Facteurs individuels de variation de l'efficacité de l'iode stable .....	60
d. Risques d'une prophylaxie par l'iode stable chez l'adulte en cas d'accident nucléaire .....	61
i. Iodure de potassium à dose pharmacologique .....	61
ii. Produits de contraste iodés (PCI) .....	62
iii. Prophylaxie du goitre endémique .....	63
iv. Emploi du Lipiodol® .....	63

v.	Expérience polonaise de distribution de masse d'iodure de potassium .....	64
e.	Discussion sur la quantification des risques d'effets secondaires liés à l'ingestion d'iode stable .....	64
<b>4.</b>	<b>Allergie à l'iode, un faux problème .....</b>	<b>65</b>

## **Partie IV - La mise à disposition d'iode stable en France.....66**

<b>I.</b>	<b>Historique de la mise à disposition d'iode stable en France .....</b>	<b>67</b>
1.	L'accident de Tchernobyl .....	67
2.	1987, l'accident de Tchernobyl et ses conséquences .....	67
3.	Circulaire DGS n° 1561 du 16 octobre 1989 relative à l'information sur l'administration d'iode stable à la population en cas d'accident nucléaire.....	68
4.	Suites données à la circulaire de 1989.....	68
5.	Circulaire du 18 août 1992 relative à l'administration d'iode stable en cas d'accident nucléaire.....	68
6.	Remise en cause des modalités pratiques de distribution proposées dans la circulaire du 18 août 1992 .....	69
<b>II.</b>	<b>La distribution préventive .....</b>	<b>69</b>
1.	<b>Instruction et circulaire de 1997.....</b>	<b>69</b>
a.	Instruction du Premier Ministre du 10 avril 1997 relative à la distribution préventive et au stockage d'iode stable destinés aux populations voisines des installations nucléaires.....	69
b.	Circulaire du 30 avril 1997 relative à la distribution et la mise à disposition d'iode stable aux habitants voisins des installations nucléaires .....	70
2.	<b>2000 : Renouvellement des comprimés d'iode.....</b>	<b>74</b>
a.	Circulaire interministérielle du 11 avril 2000 pour le renouvellement des comprimés d'iode aux habitants voisins des installations nucléaires.....	74
b.	Circulaire DGS du 17 mai 2000 relative aux missions des services déconcentrés du ministère de l'emploi et de la solidarité en matière de distribution de comprimés d'iode.....	74
3.	<b>Circulaire 14 novembre 2001 relative à la distribution préventive de comprimés d'iode stable et à la constitution de stocks de proximité .....</b>	<b>75</b>
4.	<b>Circulaire du 23 décembre 2002 relative à la distribution préventive et aux plans de gestion des stocks de comprimés d'iode.....</b>	<b>77</b>
a.	Plan de gestion des stocks de proximité : départements du groupe I .....	77
i.	Définir les lieux de stockage : .....	77
ii.	Définir les lieux de mise à disposition .....	78
iii.	Organiser la mobilisation des acteurs de la gestion de l'urgence et définir les modes d'alerte de la population.....	78
iv.	Définir le mode d'acheminement en urgence des comprimés depuis les stocks vers la population	78
b.	Plan de gestion des stocks de réserve : départements du groupe II.....	78
i.	Définir les lieux de stockage : .....	78
ii.	Définir les lieux de mise à disposition .....	79
iii.	Définir le schéma d'alerte .....	79
iv.	Définir le mode d'acheminement en urgence.....	79
c.	Financement de l'opération : .....	80
5.	<b>Circulaire du DGSNR/DDSC DEP-SD7 n° 2005-46 du 8 février 2005 relative à la distribution préventive des comprimés d'iode stable .....</b>	<b>80</b>
6.	<b>Les campagnes de distribution de 2009 et 2016 .....</b>	<b>81</b>
7.	<b>Circulaire 2019 - Instruction relative à l'organisation de la campagne complémentaire d'information et de distribution préventive de comprimés d'iode stable dans un rayon de 10 à 20 km autour des CNPE exploités par EDF source.....</b>	<b>82</b>

<b>III. Le dispositif d'intervention.....</b>	<b>85</b>
<b>1. Mise en place de l'intervention.....</b>	<b>85</b>
<b>2. Le système d'alerte et les conseils aux populations.....</b>	<b>85</b>
a. L'alerte .....	85
b. Les conseils aux populations .....	85
<b>3. L'administration d'iode stable .....</b>	<b>86</b>
<b>4. Les autres mesures .....</b>	<b>87</b>
<b>IV. En résumé pour la campagne iode de 2019 dans la Vienne .....</b>	<b>88</b>
<b>1. La pré-campagne et la campagne.....</b>	<b>88</b>
<b>2. Concrètement, les réflexes à adopter .....</b>	<b>89</b>
a. L'alerte .....	89
b. « Je me mets rapidement à l'abri dans un bâtiment ».....	89
c. « Je me tiens informé(e) ».....	89
d. « Je ne vais pas chercher mes enfants à l'école » .....	89
e. « Je limite mes communications téléphoniques » .....	89
f. « Je prends de l'iode dès que j'en reçois l'instruction ».....	90
g. « Je me prépare à une éventuelle évacuation » .....	90
<b>3. Le pharmacien et les autres acteurs .....</b>	<b>90</b>
a. Le préfet .....	90
b. Le maire.....	90
c. Le pharmacien .....	90
d. Le médecin .....	91
e. L'ASN .....	91
f. L'IRSN .....	91
g. EDF .....	91
h. Les CLI.....	91
i. Le ministère de l'intérieur .....	92
j. Le ministère des affaires sociales et de la santé .....	92
k. Le ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche ...	92
 <b>Conclusion .....</b>	 <b>93</b>
 <b>Liste des tableaux .....</b>	 <b>101</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>102</b>

## Glossaire

AFSSAPS – Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé

Albumine – Protéine la plus présente dans le sang, sert de moyen de transport de nombreuses substances endogènes

AMM – Autorisation de Mise sur le Marché

ARS – Agence Régionale de Santé

ASN – Autorité de Sureté Nucléaire

Bq – Becquerel, unité dérivée du Système international d'unités (SI) pour l'activité d'une certaine quantité de matière radioactive, c'est-à-dire le nombre de désintégrations qui s'y produisent par seconde.

CEA – Commissariat à l'Énergie Atomique

Ci – Curie, ancienne unité de radioactivité correspondant à  $3,7 \times 10^{10}$  désintégrations par seconde

CIPR – Commission Internationale de Protection Radiologique

CLI – Commission Locale d'Information

CROP – Conseil Régional de l'Ordre des Pharmaciens

DDASS – Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

DGESCO – Direction Générale de l'Enseignement Scolaire

DGS – Direction Générale de la Santé

DIT – DiHydroThyronine

dL – Décilitre

DRASS – Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales

EBR – Efficacité Biologique Relative

EPR – Réacteur Pressurisé Européen

ERP – Établissement Recevant du Public

Gy – Gray, unité dérivée de dose absorbée du Système International d'unités

HCTISN – Haut Comité pour la Transparence et l'Information sur la Sécurité Nucléaire

I – Iode

I<sub>2</sub> – Diiode

I<sup>-</sup> – Ion iodure

IAEA - Agence Internationale de l'Énergie Atomique

IRSN – Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire

ISL – Lixiviation in situ

Km - Kilomètre

mCi – MilliCurie

MENESR – Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

MeV – Méga ElectronVolt, unité de mesure d'énergie

mg – Milligramme  
MIT – Mono Iodi Thyrosine  
OMS – Organisation Mondiale de la Santé  
OPRI – Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants  
ORSEC - Organisation de la Réponse de Sécurité Civile  
PBq – Péta Becquerel, représente  $10^{15}$  Bq  
PCA – Pharmacie Centrale des Armées  
PCI – Produit de Contraste Iodé  
PPI – Plan Particulier d’Intervention  
SAMU – Service d’Aide Médicale d’Urgence  
SCPRI – Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants  
SFRP – Société Française de RadioProtection  
Sv – Sievert ; Unité SI de mesure d'équivalent de dose de rayonnement ionisant  
T<sub>3</sub> – Triiodothyronine, hormone thyroïdienne  
T<sub>4</sub> – Tetraiodothyronine, hormone thyroïdienne  
TBPA – Thyroxine Binding PreAlbumine  
TEPCO – Tokyo Electric Power Company  
TGB – Thyroxine Binding Globulin  
TRH – Thyrotropin-Releasing Hormone  
TSH – Thyreo-Stimulating Hormone  
<sup>235</sup>U – Uranium 235, combustible utilisé dans les centrales nucléaire  
UF<sub>6</sub> – Hexafluorure d’uranium, un composé de l’uranium utilisé lors du procédé d’enrichissement  
UNSCEAR – Comité scientifique des Nations unies pour l’étude des effets des rayonnements ionisants (en anglais : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)

## Introduction

La production d'électricité mondiale par l'énergie nucléaire représente 10,4% de la production mondiale. Devant le nucléaire se trouvent l'énergie thermique à flamme à 65,1% ainsi que l'énergie hydraulique à 16,6%.

Dans le monde, 31 pays utilisent l'énergie nucléaire comme production d'électricité. Les États-Unis sont les leaders dans ce domaine. Elle représente environ 20% de leur production totale d'électricité.

La France est le second pays producteur d'électricité par l'énergie nucléaire au monde. L'énergie nucléaire est la première source de production d'électricité française, avec 71%, bien devant l'énergie thermique à flamme à 10,3% et l'énergie hydraulique à 10,1%.

Cette source provient de 58 réacteurs de différents niveaux de puissance répartis sur l'ensemble du territoire en 19 sites. [1]

La centrale nucléaire de Civaux comporte 2 réacteurs à eau pressurisée, tout comme les 56 autres réacteurs du parc français. Ceux-ci produisent 5% de la production nucléaire française, ce qui correspond à 50% de la consommation de la région Nouvelle Aquitaine.

Le nucléaire est un circuit complexe, tant sur le plan technologique que sur le plan de l'environnement et du recyclage.

L'iode 131 est un isotope radioactif de l'iode, qui peut être libéré dans l'atmosphère en cas d'accident nucléaire. L'iode radioactif peut contaminer les personnes exposées par inhalation ou par ingestion d'aliments contaminés. Une exposition à l'iode 131 peut entraîner le développement de tumeurs de la thyroïde, particulièrement chez l'enfant.

La prophylaxie de l'irradiation de la thyroïde se fait par l'administration d'iode stable, ou iodure de potassium, sous forme de comprimé permettant de saturer la thyroïde et empêchant la concentration de l'iode radioactif au sein de la thyroïde.

En cas d'accident, ce sont les autorités françaises qui donnent l'ordre de prise des comprimés de iodure de potassium à la population, afin de protéger le plus tôt possible la population d'une possible contamination.

Une campagne d'informations a débuté en juin 2019 pour informer la population habitant dans un rayon de 20 km autour des centrales nucléaires française, de l'augmentation de 10 à 20 km du Plan Particulier d'Intervention (PPI). Les pharmaciens et médecins dans les nouveaux secteurs défini sont ainsi mis au courant qu'ils sont au premier plan pour faire savoir la conduite à tenir, rassurer et répondre aux éventuelles questions des particuliers ainsi que des établissements recevant du public (ERP).

De plus, le pharmacien, gardien du médicament, aura un rôle primordial qui est de délivrer les comprimés d'iodes nécessaires en cas d'accident nucléaire.

# Partie I

## La thyroïde et l'iode

# I. La thyroïde

## 1. Physiologie [2] [3]

La thyroïde est une glande endocrine qui se situe en avant de la trachée. Elle pèse environ 25 à 30 grammes. L'unité fonctionnelle de base est le follicule thyroïdien, elle est constituée de thyrocytes (cellules folliculaires) formant une sphère.

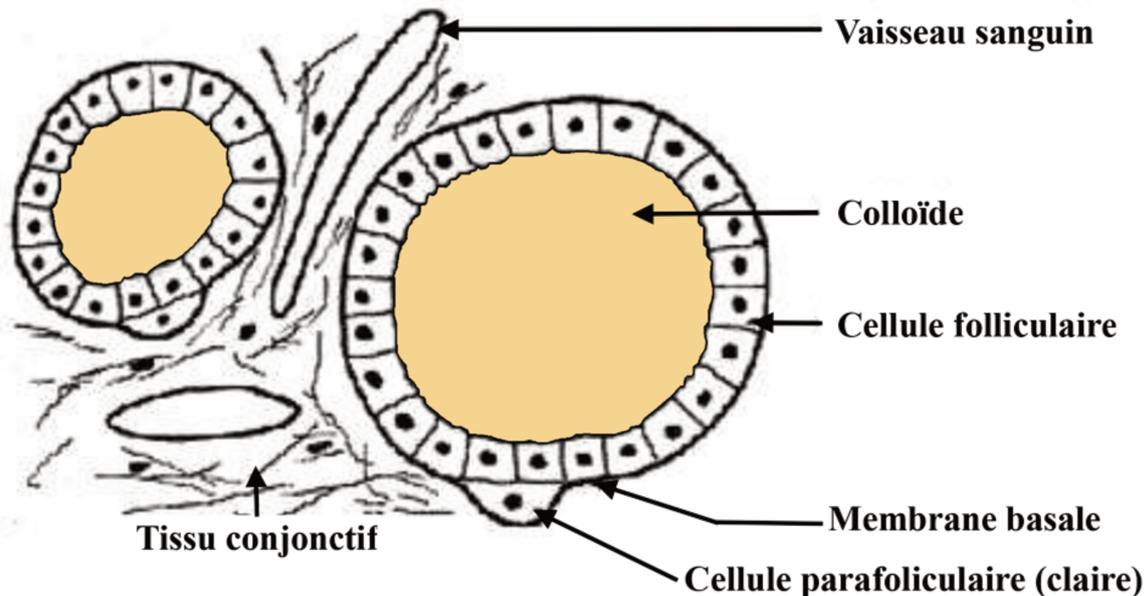


Figure 1 : Les follicules thyroïdiens [2]

Les cellules folliculaires sont les cellules sécrétrices des hormones thyroïdiennes. (Figure 1)  
La colloïde est un réservoir extracellulaire se situant dans les follicules thyroïdiens. C'est aussi le stock principal d'iode du corps sous la forme du précurseur des hormones thyroïdiennes : la thyroglobuline. La thyroglobuline (molécule de haut poids moléculaire) se situe principalement dans la colloïde. C'est une glycoprotéine iodée dans laquelle les hormones thyroïdiennes sont synthétisées à partir de l'iode apportée principalement par l'alimentation.  
Les cellules parafolliculaires ne sont jamais en contact avec la colloïde, et sont bien moins nombreuses que les cellules folliculaires.

La thyroïde produit 2 types d'hormones :

- A partir des follicules thyroïdiens : sécrétion des hormones thyroïdiennes  $T_3$  (triiodothyronine) et  $T_4$  (thyroxine). La sécrétion de ces 2 hormones est régulée par la TSH hypophysaire (Thyreo-Stimulating Hormone), elle-même sous la dépendance de la TRH hypothalamique (Thyrotropin-Releasing Hormone) ;
- A partir des cellules parafolliculaires (cellules C) : sécrétion de la calcitonine, qui joue un rôle dans le métabolisme osseux, hypocalcémiant.

## 2. Biosynthèse et libération des hormones thyroïdiennes [4]

La captation de l'iode dans la thyroïde est un mécanisme actif. (Figure 2)

C'est la TSH qui augmente cette captation. Plus la thyroïde est pauvre en iode, plus la captation est importante, et inversement : c'est une autorégulation.

Une inhibition de la captation de l'iode est possible par compétition avec certains anions (tel que le Brome par exemple : Calcibronat®, utilisé dans le traitement d'appoint des troubles légers du sommeil, de l'irritabilité et de la nervosité ; ou encore le Fluor avec les dentifrices, les antiacides ou les fluoroquinolones). Ceux-ci peuvent amener à empêcher l'exploration de la thyroïde.

Une fois que l'iodure est capté par la Thyroïde, il y a une oxydation (organification), puis il est combiné aux résidus tyrosine de la thyroglobuline (forme de réserve des hormones thyroïdiennes).

La libération des hormones thyroïdiennes se fait par protéolyse de la thyroglobuline, toujours sous l'influence de la TSH. Une fois libéré, l'iode peut être à nouveau capté par la thyroïde afin d'être recyclé (synthèse hormonale) ou éliminé.

### a. Transformation de l'iode [2]

#### i. L'organification (ou oxydation)

Apporté par l'alimentation, l'iode minéral est capté par la thyroïde. Il est ensuite transformé en iode organique. Cet iode organique peut être utilisé pour la synthèse d'hormones. La thyroperoxydase (peroxydase thyroïdienne) est indispensable à cette réaction.

L'organification commence par une oxygénation avec la production d'eau oxygénée. Par la suite, une iodation se fait sur les résidus tyrosine de la thyroglobuline.

Pour former une MIT (Mono Iodo-3-Tyrosine ou tyrosine monoiodée), l'iode se fixe sur une tyronine ; et pour former une DIT (Di Iodo-3,5-Tyrosine ou diiodotyrosine), l'iode se fixe sur une MIT.

#### ii. Régulation de l'organification

La vitesse de l'organification est augmentée par la TSH.

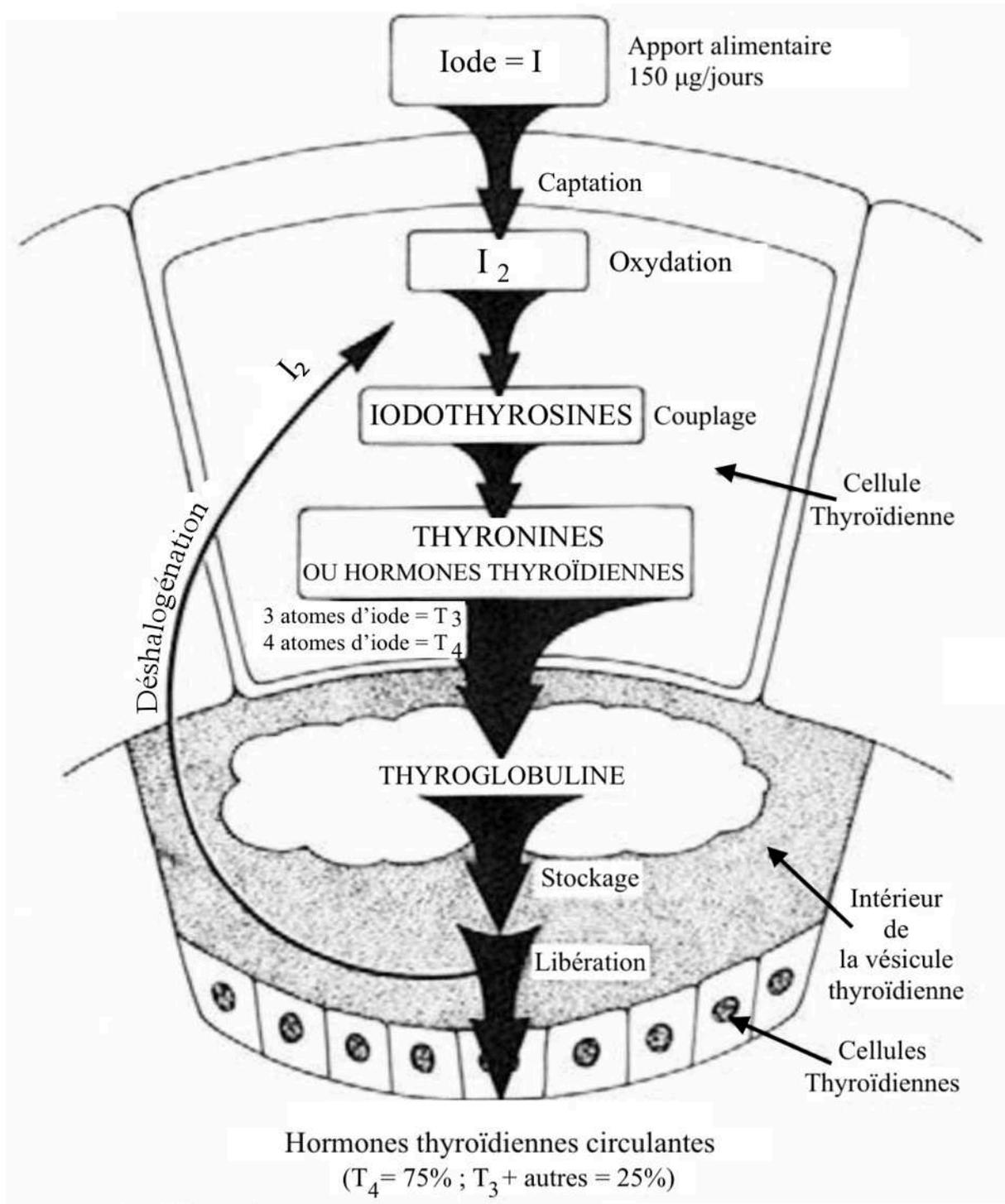


Figure 2 : Biosynthèse des hormones thyroïdiennes [2]

b. Formation des thyronines par couplage des tyrosines [2]

La formation des thyronines se passe au niveau de la colloïde.

La peroxydase thyroïdienne intervient elle aussi dans la formation des MIT et des DIT pour former les thyronines ou encore les hormones thyroïdiennes.

Le couplage MIT + DIT formera la triiodothyronine ( $T_3$ ) et le couplage DIT + DIT formera la tetraiodothyronine ou thyroxine ( $T_4$ ).

### c. Thyroglobuline : mise en réserve [2]

La thyroglobuline est la molécule majoritaire de la colloïde. C'est un dimère, qui permet de mettre en réserve les tyrosines produisant T<sub>3</sub> et T<sub>4</sub>.

Elle est dotée de nombreux groupements phénol, ceux-ci pouvant être iodés une (MIT) ou deux fois (DIT).

Une fois les hormones stockées dans les vésicules, elles sont libérées pour subvenir aux besoins de l'organisme. La sécrétion de ces vésicules sera lente.

Les cellules thyroïdiennes contiennent une infime quantité de thyroglobuline, permettant une sécrétion, à partir de cette réserve, plus rapide.

L'iode ne représente qu'1% de la thyroglobuline.

### d. Sécrétion des hormones thyroïdiennes [2]

La sécrétion des hormones thyroïdiennes se fait en plusieurs étapes :

- Pinocytose : captation des gouttelettes de colloïde par le pôle apical de la cellule ;
- Migration des lysosomes contenant les enzymes protéolytiques ;
- Dégradation de la thyroglobuline.

Les MIT et les DIT sont désiodés et l'iode est récupéré par la cellule thyroïdienne.

Les iodothyronines (T<sub>3</sub> et T<sub>4</sub>) passent dans la circulation sanguine. La plupart des hormones circulantes sont fixées sur des protéines plasmatiques : TGB (thyroxine binding globulin), TBPA (thyroxine binding préalbumine) ainsi que l'albumine.

Une petite partie des hormones est libre dans la circulation (0.03% de la T<sub>4</sub> et 0.4% de la T<sub>3</sub>). La T<sub>4</sub> circulante provient exclusivement de la glande thyroïde alors que la T<sub>3</sub> provient majoritairement de la désiodation périphérique de la T<sub>4</sub> par une désiodase.

Cette étape de libération des hormones est contrôlée par la TSH. Elle est bloquée par les antithyroïdiens de synthèse et par les sels de lithium.

### e. Catabolisme des hormones [2]

Les hormones thyroïdiennes sont dégradées au niveau du foie et du rein.

Les hormones pénètrent dans les cellules où elles exercent leurs actions.

La T<sub>4</sub> pénètre moins que T<sub>3</sub> dont l'action est également plus puissante. Elles sont fixées sur un transporteur intracellulaire et sont désaminées, décarboxylées et oxydées formant l'acide triiodothyroacétique et tetraiodothyroacétique. Ceux-ci sont désiodés et l'iode est ensuite éliminé dans les urines ou récupéré par la thyroïde.

#### f. Actions des hormones [2]

Elles se fixent sur les membranes des cellules réceptrices qui les reconnaissent puis elles pénètrent à l'intérieur des cellules.

L'hormone active est la  $T_3$ . La  $T_4$  est alors désiodée en  $T_3$  par une désiodase.

La  $T_3$  est fixée sur la cellule cible, migre vers le noyau puis se fixe sur un récepteur nucléaire.

L'hormone aura un effet sur la régulation de la synthèse protéique.

Pour l'ensemble des cellules, la  $T_3$  est l'hormone active, mais pour la cellule hypophysaire, la  $T_4$  est également très efficace, produisant une inhibition rapide et majeur de la sécrétion de TSH.

Les effets principaux de ces hormones sont les suivants :

- Influence sur la synthèse et la sécrétion de TSH : interaction de la  $T_3$  et des récepteurs codant pour des gènes qui permettent la synthèse de la TSH. La  $T_4$  inhibe la sécrétion de la TSH ;
- Régulation de l'activité métabolique : augmentation de la consommation d'oxygène, la lipolyse, la glycolyse, la gluconéogenèse, la production de chaleur ;
- Sur le fœtus et le nourrisson : rôle dans la maturation du système nerveux dans l'apparition des points d'ossification, puis dans la croissance ;
- Sur les viscères : règlent la vitesse des réactions enzymatiques. Un déficit peut être à l'origine d'hypothyroïdies et d'hyperthyroïdies.

#### g. Sécrétion des hormones thyroïdiennes : régulation (Figure 3)

Un rétrocontrôle négatif est exercé par les hormones thyroïdiennes sur l'hypophyse et sur l'hypothalamus. Ceci permet de maintenir un taux hormonal.

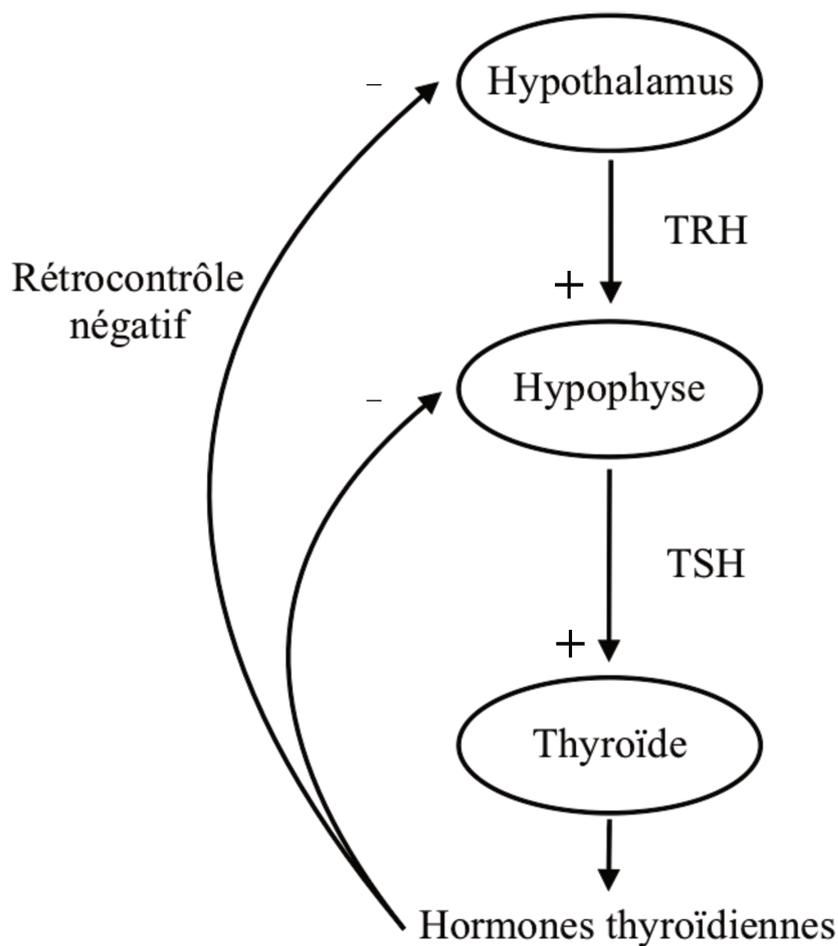


Figure 3 : Axe hypothalamo-thyroïdien : régulation de la sécrétion des hormones

L'iode est également un élément de régulation de l'hormonogénèse thyroïdienne. Lorsque la concentration d'iodure intracellulaire atteint un certain seuil, il y a une inhibition de la libération des hormones thyroïdiennes. Ceci est dû à une diminution de la synthèse de ces hormones par défaut d'organification et une diminution du transport intrathyroïdien de l'iodure. Ce processus porte le nom d'effet Wolff-Chaikoff. Il est transitoire car au bout de 48 heures il se produit un échappement malgré la persistance d'une surcharge iodée.

## II. L'iode

L'iode est un élément chimique de numéro atomique 53, de symbole I.

Il en existe plusieurs types, se différenciant avec leur substituant :

L'iode minéral est lié à des atomes comme le sodium (Na), le potassium (K) ou encore le calcium (Ca) par exemple. Dissocié, cela donne l'ion iodure I<sup>-</sup>.

L'iode organique est lié à un atome de carbone. La forme la plus courante est le Iodure de méthyl (ICH<sub>3</sub>) qui est gazeux.

L'iode particulaire est un type d'iode lié à de petites particules solides, le tout en suspension dans l'air, faisant moins de 1 µm. L'iode particulaire est généralement détecté dans la mesure

où son activité dépasse le microbecquerel (mBq) par mètre cube d'air. Il sert de référence pour la détection d'iode radioactif (Iode 131) dans l'atmosphère. Son diamètre est variable en fonction de la particule liée à l'iode, avec possibilité d'agrégation avec d'autres iodures particulaires ou d'autres particules.

L'ion iodure (I<sup>-</sup>) : atome d'iode ayant gagné un électron.

Le diiode (I<sub>2</sub>) : deux atomes d'iode liés entre eux, à l'état naturel et à l'état solide.

## 1. Les sources d'iode

L'iode existe naturellement dans les aliments, à différentes concentrations. Il est également utilisé à des fins thérapeutiques.

### a. Dans l'alimentation [6], [7]

L'apport iodé dépend des habitudes alimentaires. Les principales sources d'iode sont décrites dans le tableau I.

Origine	Quantité
Algues	45 µg/g
Sel marin	15 µg/g
Poissons marins et fruits de mer	500 à 900 µg/kg
Oeufs	500 µg/kg
Légumes verts (épinard, cresson)	30 µg/kg
Céréales	30 µg/kg
Poissons d'eau douce	30 µg/kg
Laitages	20 µg/g
Viandes	5 µg/g

*Tableau I : Exemples de sources d'iode [9]*

En fonction des habitudes alimentaires, l'apport iodé sera variable.

L'apport iodé quotidien de référence en France est de 150 µg/jour. [9] [10]

En France, il n'est en moyenne que de 126 µg/jour pour un adulte. Il peut donc exister chez certaines personnes des carences modérées en iode. Certains pays comme les Etats-Unis supplémentent systématiquement le sel de table en iode pour éviter ces carences iodées (apport de 300 à 400 µg/jour).

Les apports conseillés en iode suivant l'âge sont les suivants (Tableau II) :

<b>Population</b>	<b>Besoins</b>
Nourrisson de 0 à 6 mois	40 µg/jour
Nourrisson de 6 à 12 mois	50 µg/jour
Enfant de 1 à 3 ans	80 µg/jour
Enfant de 4 à 9 ans	120 µg/jour
Enfant de 10 à 12 ans	140 µg/jour
Adolescent de 13 à 19 ans	150 µg/jour
Adulte (>20 ans)	150 µg/jour
Femme enceinte	175 µg/jour
Femme allaitante	200 µg/jour

*Tableau II : Apports conseillés en iode dans l'alimentation en fonction de l'âge [7]*

#### b. Différents types d'iode [11]

Un atome X se note :  ${}^A_Z X$ . Il se caractérise par son numéro atomique « Z » correspondant au nombre de protons, et par son nombre de masse « A » qui correspond au nombre de protons + au nombre de neutrons (donc de nucléons).

Les isotopes sont les différents atomes qui appartiennent à un même élément : ils ont le même nombre de protons (mêmes propriétés chimiques) mais pas le même nombre de neutrons (propriétés physiques différentes).

Les isotopes de l'iode, et en particulier l'iode 131, sont présents en abondance parmi les produits de fission de l'uranium. Les explosions atomiques expérimentales et le fonctionnement des réacteurs nucléaires en produisent des quantités importantes. Ces isotopes sont volatils et en cas de libération de quantités importantes dans l'atmosphère, ils risquent de contaminer les individus. Il existe 27 isotopes de l'iode. Seul l'iode 127 est stable. Parmi les isotopes radioactifs, 12 sont produits par fission et ont des périodes de 1.5 secondes à 16 millions d'années.

Numéro de masse	Période radioactive	Produit direct de fission (%)	Produit de désintégration (%)
127	Stable	0	0,1
129	1.6 x 10 <sup>7</sup> ans	0	0,8
131	8,05 j	0	2,9
132	2,3 h	0,2	4,4
133	20,8 h	0,6	6,6
134	52,5 min	2,2	7,8
135	6,7 h	2,9	5,5
136	86 s	2,9	3,9
137	22 s	2,2	2,7
138	5,9 s	1,3	1,5
139	2,7 s	0,8	0,8
140	1,5 s	0,3	0,3

*Tableau III : Les isotopes radioactifs de l'iode [11]*

De par sa période physique, l'iode 131 est le plus dangereux pour l'organisme. Les autres isotopes ont une période radioactive soit trop courte soit trop longue pour présenter des risques toxiques pour l'homme.

Actuellement le produit utilisé en médecine nucléaire est l'iode 123 qui irradie peu la thyroïde car a une demi-vie de 13 heures.

c. Les médicaments [7], [8]

i. Les produits de contraste iodés (PCI)

Les produits de contraste utilisés en radiologie sont basés sur la non transparence aux rayons X des atomes de numéro atomique élevé. Ils ont des propriétés différentes selon les examens à pratiquer, les secteurs à opacifier et les voies d'introduction dans l'organisme.

- Produits hydrosolubles utilisés en radiologie urinaire et vasculaire : Ce sont tous des sels d'acides benzéniques triiodés. Dans cette catégorie, on trouve : Radioselectan<sup>®</sup>, Telebrix<sup>®</sup>, Isopaque<sup>®</sup>... ;

- Produits utilisés pour l'exploration de la vésicule et des voies biliaires par voie orale ou voie intra-veineuse : Biligram<sup>®</sup>, Biloptine<sup>®</sup>. Ces produits sont plus toxiques que les produits hydrosolubles.

## ii. Les médicaments iodés

Certaines spécialités contiennent de l'iode. Parmi celles-ci, on peut citer :

- Les hormones thyroïdiennes : lévothyroxine (Levothyrox<sup>®</sup>), liothyronine (Cynomel<sup>®</sup>), association de lévothyroxine et liothyronine (Euthyral<sup>®</sup>) ;
- L'amiodarone (Cordarone<sup>®</sup>) : c'est une molécule très riche en iode, responsable de nombreuses surcharges iodées car ce traitement, généralement prescrit au long cours, possède un long délai d'élimination ;
- les antiseptiques cutanés : povidone-iodée (Betadine<sup>®</sup>, Alcool iodé<sup>®</sup>).

## iii. Les antidotes

Les antidotes désignent des substances qui réduisent les effets néfastes d'un toxique ou d'un médicament pris en excès. Ce sont des antipoisons.

- Les comprimés d'iodure de potassium sont recommandés en cas de contamination par l'iode radioactif afin d'en bloquer la capture thyroïdienne ; (Cf. partie III)
- La solution de Lugol : elle contient 1 g d'iode, 2 g d'iodure de potassium dans 100g d'eau distillée. Elle peut être utilisée pour protéger la thyroïde contre l'iode radioactif ou en cas d'ablation totale de la thyroïde. Solution très amère au goût, difficile à faire avaler aux enfants ;
- La solution de Tarnier : elle contient 0.5 g d'iode, 0.30 g d'iodure de potassium dans 100 g d'eau distillée. Ces deux solutions sont aussi utilisées comme antidote des intoxications par les alcaloïdes.

## d. Cutané

Un passage cutané de l'iode est possible, notamment grâce aux antiseptiques cutanés (povidone-iodée). Cela dépend de la surface désinfectée, du degré de gravité des lésions.

## e. Accidentelles

Les sources d'expositions suite à un accident et d'un rejet de radioactivité peuvent être directes ou indirectes.

Les expositions directes se font par l'inhalation de la radioactivité, la contamination de la peau et des vêtements et les dépôts de radioactivité.

Les expositions indirectes se font par l'intermédiaire d'un dépôt sur les végétaux et les animaux, puis la contamination se fait par la nourriture et l'eau contaminées.

## 2. Métabolisme de l'iode dans l'organisme

Le métabolisme de l'iode est représenté figure 4.

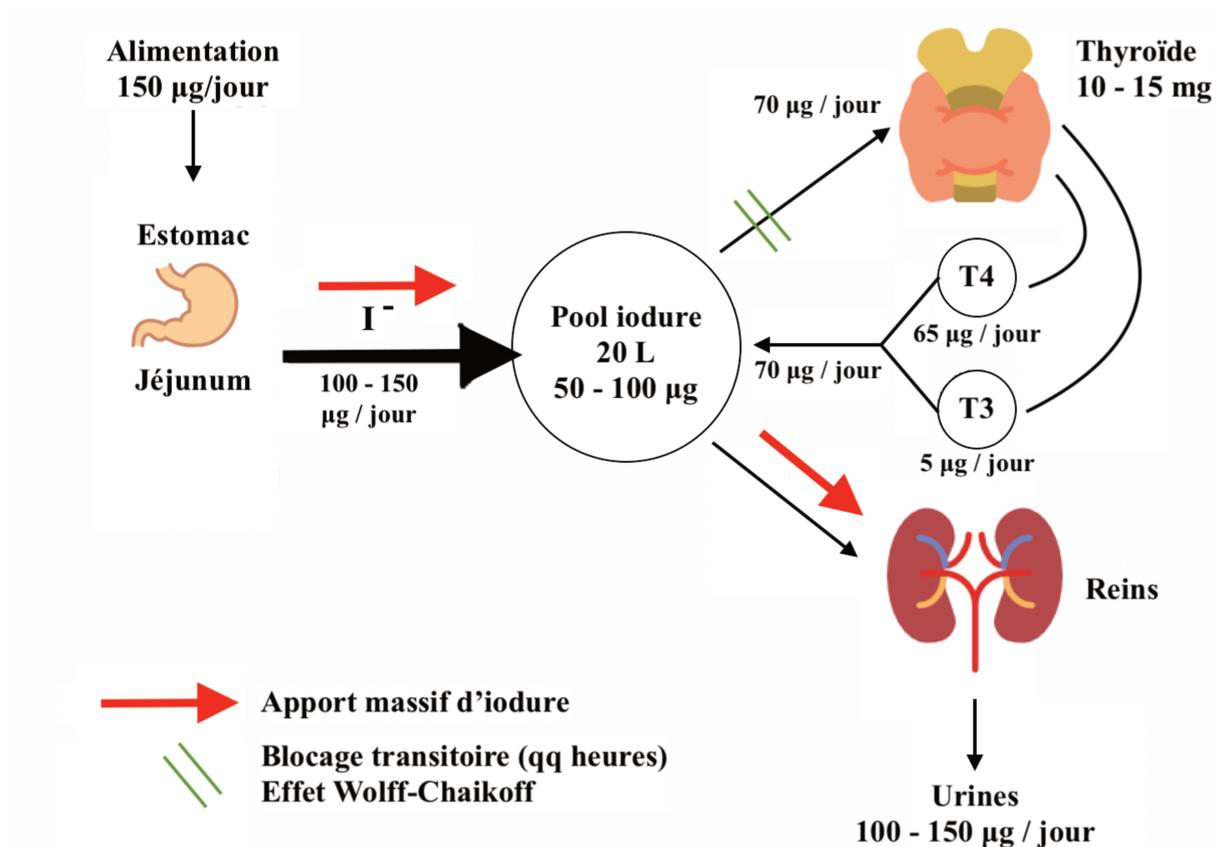


Figure 4 : Modèle métabolique de l'iode chez l'homme [4]

L'iode est d'abord absorbé par le tube digestif (au niveau de l'estomac et du jéjunum) et réduit sous forme iodure ( $I^-$ ). Une fois dans le flux sanguin, il suit 2 voies :

- Captage par la glande thyroïde et synthèse des hormones thyroïdiennes ;
- Filtration et élimination par le glomérule rénal et les urines. [5]

### a. Absorption [4]

#### i. Absorption digestive

L'iode est absorbé sous forme d'iodure très rapidement et de façon quasi complète.

La présence d'aliments dans l'estomac retarde l'absorption. Cependant, elle est complète 2 heures au maximum après l'ingestion.

## ii. Absorption pulmonaire

Elle dépend de la forme sous laquelle l'iode est inhalé et de la taille des particules de l'aérosol vecteur :

### - L'iode moléculaire (I<sub>2</sub>)

La rétention pulmonaire est d'environ 100% et peut être influencée par le rythme respiratoire. L'absorption dans le sang est rapide et complète. La majorité se dépose dans l'oropharynx ; l'iode n'atteint pas les alvéoles pulmonaires. Il est ensuite dégluti avec la salive et les sécrétions des voies aériennes supérieures et suit le métabolisme de l'iode ingéré.

### - L'iode organique (ex : iodure de méthyle)

La rétention pulmonaire est de 70% et augmente lorsque le rythme respiratoire diminue. L'absorption sanguine est très rapide.

### - L'iode particulaire

La rétention pulmonaire est la plus élevée pour les particules ayant un diamètre d'au moins d'un micromètre.

L'incorporation de l'iode est complète quelle que soit la taille des particules car ce qui ne pénètre pas dans l'arbre respiratoire est dégluti et absorbé au niveau digestif. L'absorption dans le sang est rapide.

Dans un rejet accidentel, les proportions respectives de ces différentes formes dépendent du scénario de l'accident.

## b. Répartition dans l'organisme

Normalement, le taux sanguin de l'iodure est peu élevé (environ 2 µg/L).

L'iodure absorbé diffuse largement dans les espaces extracellulaires. Mais, c'est surtout au niveau de la thyroïde que l'on retrouve principalement l'iode : elle contient 90% de l'iode de l'organisme et sa concentration iodée est 10 000 fois supérieure à celle du sang. Il est également présent dans les globules rouges, dans les sécrétions de glandes digestives (salive, suc gastrique) et, en période d'allaitement, dans les glandes mammaires (10 à 15% de l'iode peut être excrété dans le lait).

### c. Élimination [4]

#### i. Élimination rénale

C'est la principale voie d'élimination. L'iode ingéré, qui n'est pas capté par la thyroïde, est excrété dans les urines sous forme d'iodure selon un mécanisme passif. L'iode urinaire est un bon reflet des apports quotidiens en iode alimentaire.

#### ii. Autres voies d'élimination

Une faible partie de l'iode organique est éliminée dans les fèces sous forme de thyroxine conjuguée dans le foie et sécrétée dans la bile.

L'iode est également excrété dans le lait maternel dans les 48 heures suivant l'ingestion. Il est présent sous forme inorganique. Lorsque la production de lait par la mère est importante, elle représente une voie majeure d'excrétion de l'iode par l'organisme. Le transfert d'iode peut être bloqué par une surcharge iodée.

### d. Facteurs de variation du captage thyroïdien de l'iode [4]

#### i. Apport alimentaire d'iode

Le captage thyroïdien augmente lorsque les apports en iode sont plus faibles afin de maintenir une quantité d'iode suffisante pour assurer la fonction thyroïdienne. (Figure 5)

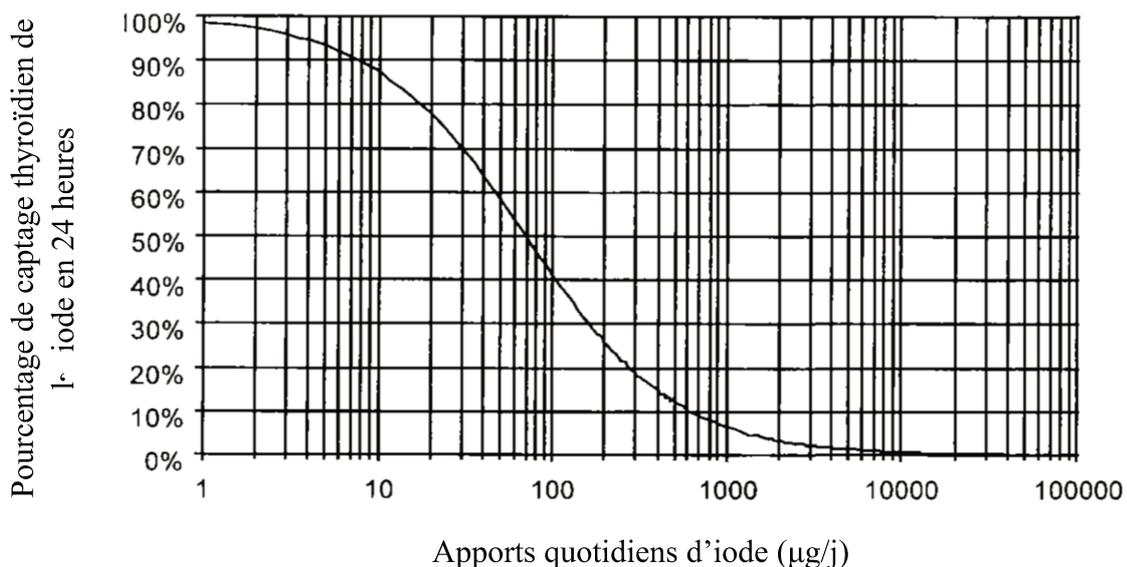


Figure 5 - Taux de captage de l'iodure plasmatique par la thyroïde en fonction des apports quotidiens d'iode (µg) [4]

Le captage thyroïdien est de 40% pour des apports quotidiens de 100 µg/jour, et de 60% pour des apports quotidiens de 50 µg/jour (situation fréquente en France)

ii. Age

- Fœtus : [12]

Au niveau du placenta, il existe un système de transport actif de l'iode. La thyroïde fœtale est capable de fixer l'iode à partir de la 10<sup>ème</sup> à la 12<sup>ème</sup> semaine de grossesse mais c'est surtout à partir de la 22<sup>ème</sup> semaine que le captage augmente rapidement jusqu'au terme. La formation des hormones thyroïdiennes est indispensable à la croissance du cerveau. Celle-ci commence à la vingtième semaine de grossesse et se termine entre 2 et 3 ans. Une insuffisance thyroïdienne durable survenant pendant cette période affecte le processus de maturation cérébrale et provoque un retard mental irréversible.

La dose s'exprime en grays (Gy) : 1 Gray correspond à une énergie absorbée de 1 Joule par kilogramme de matière.

- Nouveau-né, nourrisson, enfant :

	Nouveau-né	1 an	5 ans	10 ans	15 ans	Adulte
Dose corps entier (Gy)	10	2	1,3	0,81	0,53	0,45
Dose absorbée à la thyroïde (Gy)	320	100	43	31	17	13

*Tableau IV : Dose absorbée à la thyroïde et au corps entier en fonction de l'âge après administration d'1 mCi d'iode 131 [4]*

La dose absorbée par la thyroïde pour une même quantité d'iode radioactif pénétrant dans l'organisme est par rapport à l'adulte 25 fois plus élevée chez le nouveau-né, 8 fois plus élevée à l'âge de 1 an, 2 fois plus élevée à l'âge de 5 ans et une fois et demi plus élevée à l'âge de 10 ans.

La peau des prématurés et des nouveau-nés, étant immature, permet un passage systémique de l'iode lors de l'application de povidone-iodée (Betadine®). Cette application peut entraîner alors un dysfonctionnement de la thyroïde transitoire. C'est pour cette raison que la povidone-iodée est contre indiquée chez les nouveau-nés de moins de 1 mois. [13]

- Adolescent

Il se produit une accélération des échanges d'iode : le captage thyroïdien ainsi que l'élimination rénale sont augmentés et la demi-vie de l'iode au sein de la thyroïde est plus courte que pour l'adulte.

- Adulte

Il y a une baisse progressive du captage thyroïdien avec l'âge, quel que soit le sexe, qui correspond à une altération progressive des structures fonctionnelles de la glande.

iii. Femme enceinte

La fixation thyroïdienne d'iode est comparable à celle d'un adulte (30 à 50% de la quantité d'iode administrée).

Par contre sous l'effet des œstrogènes, on observe une fuite d'iode urinaire ce qui entraîne une carence relative en iode si les apports ne sont pas augmentés.

La réduction de la quantité d'iode disponible pour la mère s'aggrave au cours de la seconde moitié de la grossesse car une fraction de l'iode ingéré est captée par l'unité foeto-placentaire.

L'iode est un élément très important sans lequel les fonctions vitales ne peuvent être assurées normalement. Il est indispensable à la formation des hormones thyroïdiennes dont il est l'un des constituants. Comme il n'y a pas de différence entre le métabolisme de l'iode et celui de ses isotopes radioactifs, le risque, en cas de libération d'iode radioactif, est qu'il reste stocké au niveau de la thyroïde comme le serait l'iode froid.

## Partie II

### Radioactivité et centrale nucléaire

L'énergie nucléaire est l'énergie de liaison des constituants du noyau atomique. Ce noyau correspond à un assemblage de protons, de charge positive, et de neutrons.

## I. Radioactivité

### 1. Définition

Processus de désintégration spontanée ou déclenchée de nucléides naturels ou artificiels, avec un dégagement d'énergie : elle aboutit à la formation de deux nouveaux nucléides ou plus, appelés radionucléides.

Ils sont instables et cherchent à se stabiliser via un rayonnement via une émission d'énergie ou d'un faisceau de particules : ce phénomène est la radioactivité.

### 2. Rayonnement ionisant

Nous sommes exposés au quotidien par différents types de rayonnements, visibles ou non. La plupart de ces rayonnements sont non-ionisants (Figure 6).

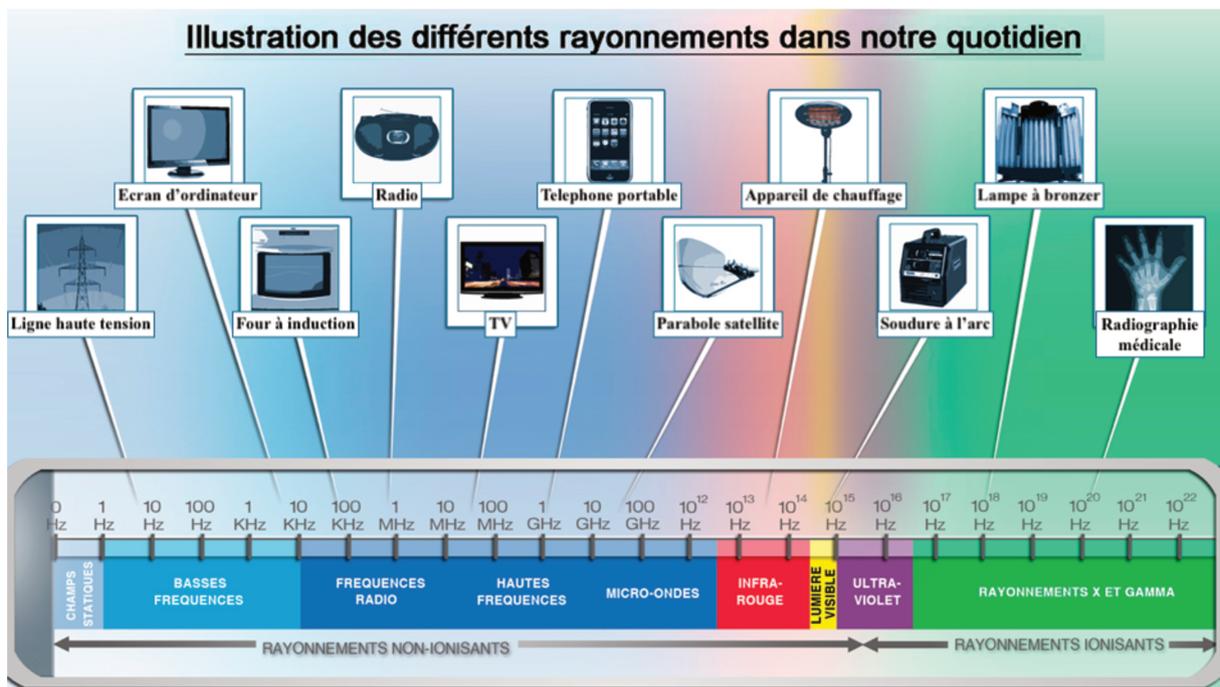


Figure 6 : Les différents types de rayonnements au quotidien d'après l'IRSN [14]

Un atome - instable de nature ou après un contact avec un rayonnement - cherche à se stabiliser en émettant différents rayonnements :

- En perdant des protons et des neutrons : rayonnement alpha ;
- En transformant un neutron en proton ou vice-versa : rayonnement beta ;
- En émettant des photons (particules composants la lumière) : rayonnements X et gamma. Une émission de rayons gamma accompagne toujours une désintégration alpha ou beta

Certains rayonnements sont dits ionisants car ils émettent des rayons d'énergies suffisantes pour transformer les atomes qu'ils traversent en ions (un atome qui a perdu ou gagné un ou plusieurs électrons). Ce qui peut rendre instable la matière.

a. Les différents types de rayonnements

Ces rayonnements (appelés également « rayons ») provoquent différents effets sur l'organisme, en fonction de la quantité et du type de rayon. Ils se propagent à travers l'espace, et peuvent être ralentis en fonction de la matière qu'ils traversent. (Tableaux V et VI)

Type de rayonnement	Particule émise	Pouvoir de pénétration dans l'air	Barrière	Pouvoir de ionisation*
Alpha	Atome d'Hélium	Faible	Feuille de papier	Fort
Bêta	Électron	Moyen	Quelques mètres d'air / feuille d'aluminium	Fort
Gamma*	Photon	Faible	Un mètre de plomb ou de béton	Fort

Tableau V : Les différents types de rayonnements ionisants

\*Les rayons gamma ne peuvent pas véritablement être arrêtés car ils n'ont pas véritablement de masse, on parle alors de coefficient d'atténuation. L'interposition d'écran (Plomb / Béton / Plexiglas) et l'éloignement de la source d'émission contribuent à augmenter le coefficient d'atténuation, et donc à réduire le rayonnement gamma.

\*\*Le pouvoir de ionisation est dû au fait d'arracher facilement ou non des électrons aux atomes du matériau traversé.

Type de rayonnement	Air	Eau	Aluminium	Plomb
Alpha	0,5 cm	8 µm	3 µm	1 µm
Bêta	2,9 m	4 mm	1,5 mm	0,35 mm
Gamma		24 cm		0,36 cm

Tableau VI : Parcours de rayonnements dans différents matériaux, avec une même énergie cinétique initiale de 1MeV

Le pouvoir de pénétration est présenté figure 7.

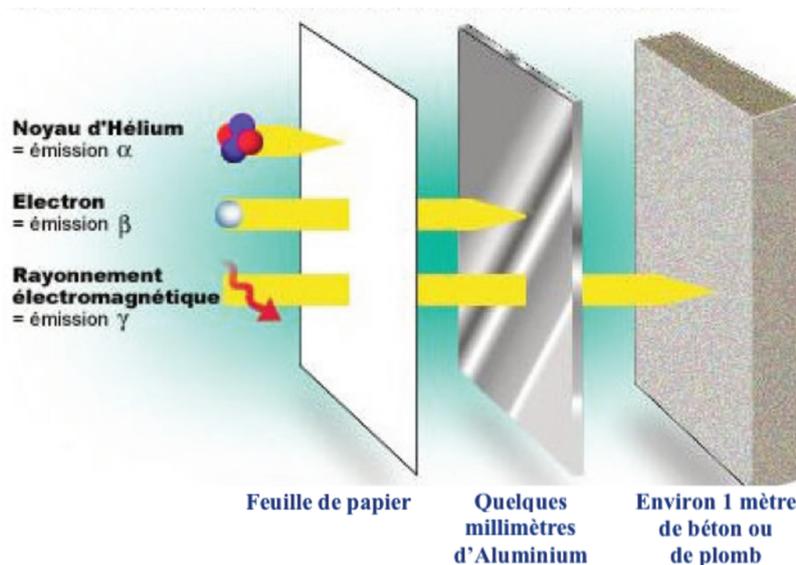


Figure 7 : Exemple du pouvoir de pénétration des rayonnements d'après l'IRSN [15]

### b. Mesurer la radioactivité

La quantité d'énergie délivrée par un rayonnement se traduit par une dose.

La dose absorbée est la quantité d'énergie absorbée en un point par unité de masse de matière. La dose absorbée à l'organe est obtenue en faisant la moyenne des doses absorbées en différents points. Le débit de dose est l'énergie absorbée par la matière par unité de masse et de temps. L'unité est le Gray par seconde.

La dose équivalente est le produit de la dose absorbée dans un tissu ou un organe par un facteur de pondération qui diffère selon les rayonnements.

Chaque rayonnement est caractérisé par un facteur appelé « Efficacité Biologique Relative » (EBR) qui traduit sa nocivité : l'EBR est de 1 pour les rayonnements bêta et gamma et de 20 pour les rayonnements alpha qui sont les plus nocifs. Une dose équivalente s'exprime en sievert (Sv).

La dose efficace est la somme des doses équivalentes reçues par les différents organes. Elle permet d'additionner des doses provenant de sources différentes, d'irradiation externe ou interne. Elle s'exprime en sievert.

## II. Fonctionnement d'une centrale nucléaire

Le fonctionnement de la centrale nucléaire est présenté Figure 8.

### 1. Préparation du combustible

L'uranium est utilisé pour préparer le « combustible ». Cet uranium est extrait de mines à ciel ouvert, ou de galeries souterraines ou encore par lixiviation in situ (ISL : injection d'une solution chimique dans un forage, puis récupération de cette solution dans laquelle l'uranium est dissous).

C'est au Canada, aux Etats-Unis, en Afrique, en Australie, au Kazakhstan et en Russie que se trouvent les principaux gisements. Les principales sources d'Uranium pour la France, sont le Nigeria et le Kazakhstan.

Le minerai extrait se présente comme des roches, qui concentrent une petite partie d'uranium : à raison de 1 à 3 kg / tonne. Cependant, cela peut aller jusqu'à 40 kg / tonne.

Une étape de concentration est nécessaire, elle est effectuée à proximité des lieux d'extractions.

À la fin de ce processus, on obtient une matière concentrée qui se présente sous la forme d'une poudre jaune : le « Yellow Cake ». Ce sera la forme de commercialisation de l'uranium. Ce Yellow Cake contient 70 à 75% d'uranium 235.

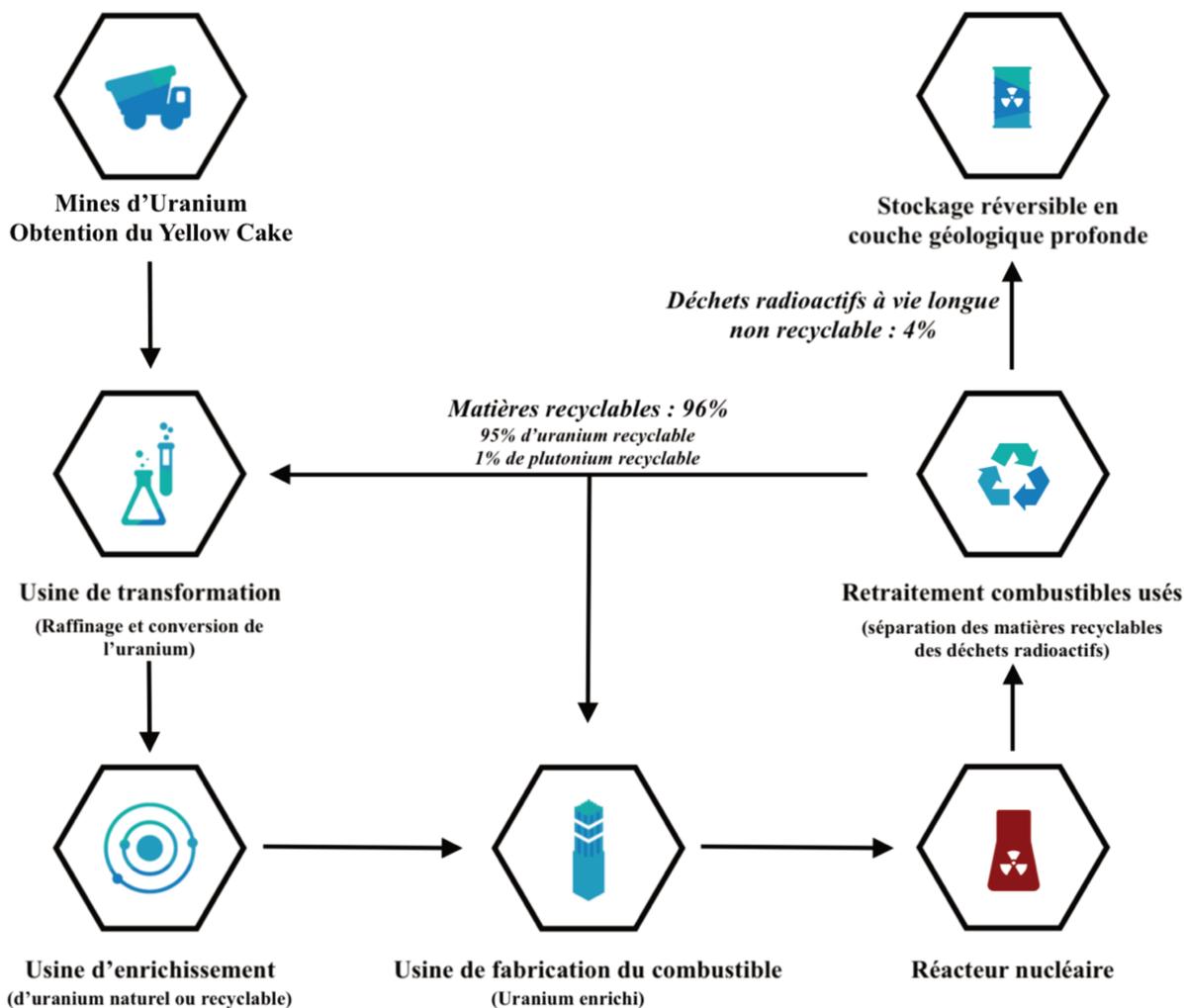


Figure 8 : Le cycle du combustible [16]

## 2. Les transformations

### a. La conversion

Le Yellow Cake a besoin d'être purifié et ne peut être utilisé directement. Une opération de fluoration est nécessaire, qui permet d'obtenir l'hexafluorure d'uranium gazeux (UF<sub>6</sub>). Sa synthèse chimique permet l'entrée au procédé d'enrichissement.

### b. L'enrichissement

L'uranium naturel (identique pour tous les minerais d'uranium) est constitué de 3 isotopes : 99,27% d'<sup>238</sup>U, 0,72% d'<sup>235</sup>U et 0,006% de traces d'uranium 234.

Un réacteur à eau sous pression a besoin d'un combustible renfermant 3 à 4% d'<sup>235</sup>U. L'uranium à l'état naturel ne peut être utilisé tel quel. Une étape d'enrichissement en <sup>235</sup>U est nécessaire.

L'enrichissement peut se faire par différents procédés :

- Diffusion gazeuse : technique basée sur la faible différence de poids entre l'<sup>235</sup>U et l'<sup>238</sup>U ;
- Enrichissement par laser : excitation avec un rayonnement laser d'une vapeur d'uranium métallique à très haute température ;
- Centrifugation : les molécules d'<sup>238</sup>U plus lourdes se retrouvent à la périphérie alors que les molécules d'<sup>235</sup>U migrent vers le milieu.

L'usine d'enrichissement encore en activité en France est celle de Georges-Besse II dans la Drôme et utilise le procédé de centrifugation.

## 3. La fabrication du combustible (pastilles, crayons, assemblages)

Une fois l'UF<sub>6</sub> enrichi en <sup>235</sup>U, il est transformé en oxyde d'uranium. Cet oxyde a alors un aspect de poudre noire, est ensuite comprimé en pastilles cylindriques pesant environ 10 grammes.

Une cuisson à très haute température de ces pastilles est nécessaire : étape de frittage. Ces pastilles sont ensuite placées dans des « crayons » (tubes à base de zirconium). Ceux-ci sont ensuite assemblés pour être introduits dans le réacteur.

## 4. Production d'électricité par fission nucléaire

### a. Le défaut de masse

La masse d'un noyau est toujours inférieure à la somme des masses de ses protons et neutrons pris isolément. La différence, appelée défaut de masse, correspond à l'énergie qu'il faudrait apporter pour assembler ces particules ou celle qu'elles libèrent dans le milieu si on les sépare.

Ce défaut de masse, ou énergie de liaison, n'est pas le même pour tous les éléments. Il est faible pour les noyaux légers (hydrogène, hélium), passe par un maximum pour les noyaux moyens, puis diminue de nouveau pour les éléments lourds comme l'uranium. Les réactions nucléaires, qui aboutissent à la formation d'éléments moyens à partir de noyaux lourds ou légers, libèrent donc de l'énergie.

### b. La fission nucléaire

La fission a pour principe de casser des noyaux atomiques lourds, comme l' $^{235}\text{U}$ , en projetant sur eux un neutron. Le noyau percuté se divise alors en deux atomes (ou plus) plus légers, ce sont les produits de fission (Figure 9). La somme des masses des atomes est inférieure à celle du noyau initial. Une libération d'énergie est émise, sous forme de chaleur. Cette chaleur est alors convertie en électricité.

La réaction de fission de l' $^{235}\text{U}$  libère deux ou trois neutrons, ainsi qu'un rayonnement. Les neutrons libérés vont à leur tour frapper d'autres noyaux d' $^{235}\text{U}$  fissionables : c'est la réaction en chaîne.

Il peut y avoir plusieurs produits de fission, engendrés par l' $^{235}\text{U}$  : l'iode 131, le césium 134 et 137, le strontium 90 et le sélénium 79 par exemple.

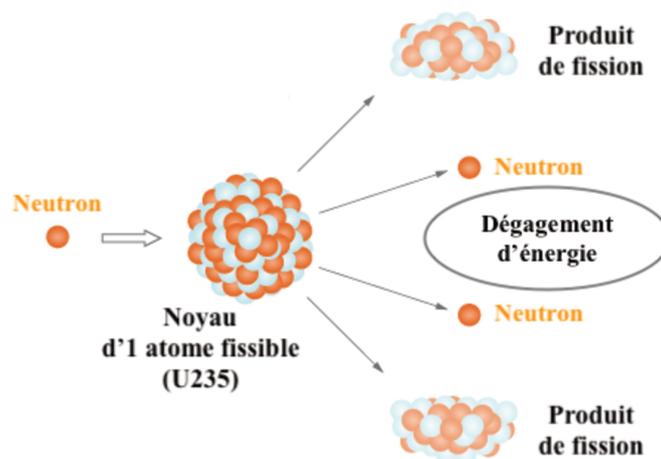


Figure 9 : Description schématique d'une fission nucléaire

### c. Le réacteur nucléaire

En France, c'est la filière à eau pressurisée qui est utilisée comme type de réacteur. Il est composé de trois éléments :

- Le combustible subissant la fission : l' $^{235}\text{U}$  ;
- Le modérateur ralentissant les neutrons émis et entretenant la réaction en chaîne : l'eau sous pression ;
- Le fluide caloporteur qui transporte la chaleur produite dans le réacteur vers le système de production de vapeur : l'eau sous pression.

La fission doit être entretenue afin de dégager de l'énergie en continue, pour produire l'électricité. Une réaction en chaîne est donc nécessaire.

Cependant, les neutrons ont une faible probabilité de rencontrer leur cible. La faible concentration de noyaux fissibles (0,7%) contenu dans l'uranium naturel est contrecarrée par un enrichissement de cet  $^{235}\text{U}$  (Cf. précédemment). Un ralentissement des neutrons est également indispensable grâce au modérateur, leur vitesse passant de 2 000 km/s à 2 km/s.

La production d'électricité suppose que la fission soit entretenue pour dégager de l'énergie en permanence. Il faut donc que la réaction en chaîne se produise (Figure 10).

Paradoxalement, il faut éviter que la réaction en chaîne ne s'emballe. Afin d'y arriver, on utilise des barres de contrôle constituées d'une matière permettant d'absorber les neutrons surnuméraires : le bore ou un alliage composé d'argent – indium – cadmium.

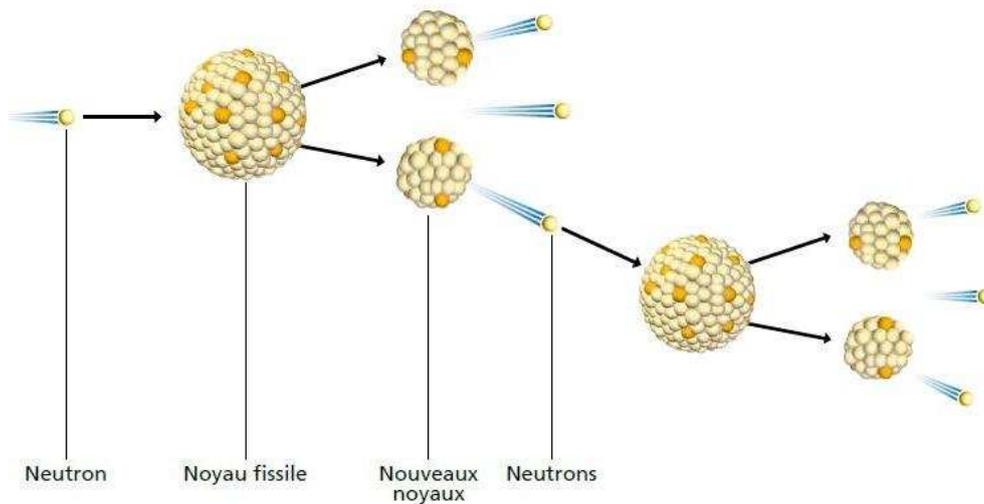


Figure 10 : Exemple de réaction en chaîne [17]

d. Les trois circuits d'une centrale nucléaire [17]

Les trois circuits d'une centrale nucléaire sont des éléments étanches les uns par rapport aux autres (Figure 11) :

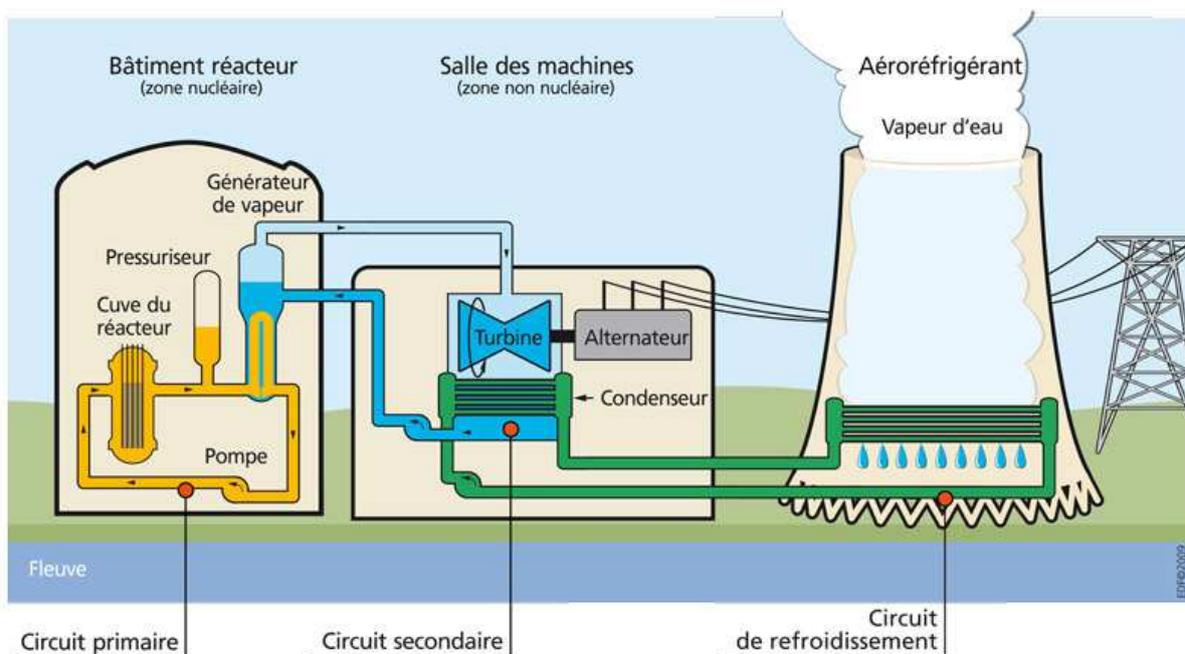


Figure 11 : Fonctionnement d'une centrale nucléaire d'après EDF [17]

- Le circuit primaire

Dans le réacteur, les milliers de crayons de combustible nucléaire produisant de la chaleur par fission, sont au contact avec l'eau sous pression. Cette eau récupère la chaleur et est dirigée vers le générateur de vapeur, et cède sa chaleur à l'eau du circuit secondaire. Puis, elle retourne dans la cuve du réacteur. Tout au long de ce circuit, l'eau est maintenue sous pression par un pressuriseur afin de l'empêcher de bouillir.

Le circuit primaire permet de contenir la radioactivité.

- Le circuit secondaire

Le circuit primaire communique avec un second circuit fermé, le circuit secondaire, par l'intermédiaire d'un générateur de vapeur. L'eau très chaude du circuit primaire, circulant dans plusieurs milliers de tubes, chauffe l'eau du circuit secondaire qui se transforme alors en vapeur.

La pression de cette vapeur fait tourner une turbine qui entraîne à son tour un alternateur. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'alternateur produit un courant électrique alternatif. Un transformateur permet d'élever la tension de ce courant électrique pour ensuite être facilement transporté par les lignes à haute tension.

Une fois que la vapeur a fait tourner la turbine, elle perd sa pression. Le condenseur intervient à ce niveau : au contact de milliers de tubes dans lesquels circule de l'eau froide, la vapeur se condense et redevient à l'état liquide. Cette eau est conduite grâce à une pompe vers le générateur de vapeur.

Il n'y a donc pas de radioactivité dans le circuit secondaire. Son rôle est de produire l'électricité.

- Le circuit tertiaire

Pour une meilleure efficacité, l'eau du circuit secondaire doit impérativement être refroidie. L'eau des milliers de tubes du condenseur du circuit secondaire se réchauffe et est conduite vers une tour aéroréfrigérante. Cette vapeur est à son tour transformée en eau refroidie grâce à un condenseur dans lequel circule de l'eau froide en provenance de la mer ou d'un fleuve.

Dans l'aéroréfrigérant, l'eau tombe en pluie. Récupérée au pied de l'aéroréfrigérant, et entraînée par une pompe, cette pluie refroidie retourne au condenseur. Elle est refroidie par un grand courant d'air provoqué par la forme aspirante de la tour. L'air se charge alors en humidité et se transforme en nuage de vapeur d'eau.

Ce 3<sup>ème</sup> circuit est appelé circuit de refroidissement. Le circuit tertiaire ne contient pas de radioactivité.

Les pertes d'eau dues à l'évaporation sont compensées en prélevant de l'eau soit d'une mer ou d'un fleuve.

## 5. La sûreté nucléaire [17]

Trois barrières étanches entourent les produits radioactifs contenus dans le cœur du réacteur (Figure 12) :

- La gaine qui entoure les pastilles d' $^{235}\text{U}$  ;
- L'enveloppe en acier qui constitue le circuit primaire de la centrale (cuve du réacteur, pompe primaire, pressuriseur, générateur de vapeur) ;
- L'enceinte de confinement qui contient le circuit primaire ; elle est constituée d'une paroi en béton épaisse d'un mètre environ.

Pour éviter la défaillance des barrières, il faut assurer en permanence 3 fonctions de sûreté :

- Maîtriser la réaction neutronique en chaîne grâce aux barres de commande qui absorbent les neutrons et permettent ainsi de régler la puissance du réacteur ;
- Refroidir le combustible par la circulation de l'eau dans le circuit primaire ;
- Confiner les matières premières radioactives pour éviter leur dispersion dans l'environnement.
- 

## 6. La gestion du combustible utilisé

Au fil du temps, le combustible s'épuise en  $^{235}\text{U}$ . Ainsi on renouvelle tous les ans un tiers ou un quart des assemblages.

Le combustible utilisé est déchargé. Cette opération se déroule sous l'eau : la cuve et le compartiment piscine du réacteur sont remplis d'eau afin d'évacuer la chaleur dégagée par les assemblages et de protéger les hommes contre les rayonnements émis par les produits de fission. Les assemblages sont retirés un à un puis dirigés vers la piscine de désactivation. Ils y sont entreposés pendant un an, laps de temps nécessaire à une décroissance de la radioactivité. Puis les assemblages partent vers l'usine de retraitement (La Hague), par voie ferrée. Les assemblages sont placés dans des containers blindés appelés « châteaux ». Cette opération se déroule toujours sous l'eau de la piscine.

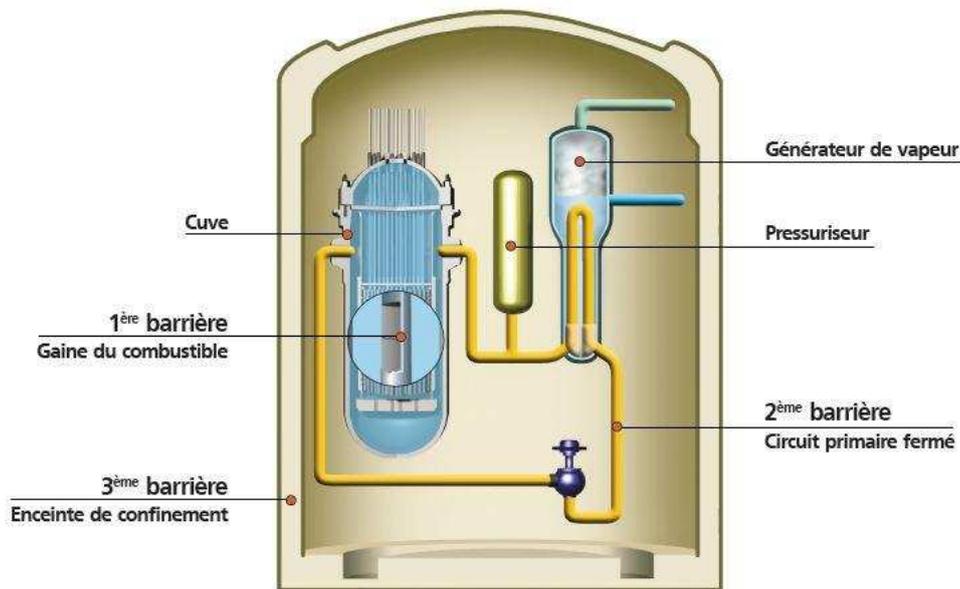


Figure 12 : Les trois barrières de sûreté nucléaire d'après EDF [17]

## 7. Le retraitement et le stockage des déchets [16]

Le retraitement consiste en un enchaînement d'opérations mécaniques et chimiques sur le combustible utilisé afin de séparer d'une part l'uranium et le plutonium qui sont réutilisables, et d'autre part les produits de fission et les éléments de structure, fortement radioactifs.

Ces étapes se passent à l'usine de traitement de La Hague en Normandie où le combustible utilisé est entreposé durant 8 ans en piscine afin que sa radioactivité et sa température diminuent.

Puis, les assemblages sont cisailés en petits morceaux et dissous dans des solutions d'acide nitrique. Cela permet de séparer les déchets de haute activité à vie longue de la matière valorisable composé de plutonium et d'uranium recyclable, soit 96% de combustible utilisé.

La solution nitrique subit alors différents traitements chimiques : les produits de fission sont séparés puis concentrés et stockés provisoirement dans des cuves en acier inoxydable. L'uranium et le plutonium peuvent alors être séparés. L'uranium est concentré sous forme de nitrates puis expédié vers les usines de raffinage et de conversion avant d'être de nouveau enrichi. Le plutonium servira à la formation du Mox (mélange d'oxyde de plutonium et d'uranium qui pourra être réutilisé dans les réacteurs).

Les produits de fission (déchets de haute activité à vie longue), sont stockés sous forme liquide dans des cuves réfrigérées par un système de circulation d'eau. Puis ils sont vitrifiés et entreposés dans des puits bétonnés sur les lieux de production. Cette opération sert à réduire le volume des produits de fission.

L'entreposage des déchets à vie longue n'est qu'une solution intermédiaire.

Un programme de recherche, a fixé un délai de quinze ans pour explorer :

- Les conditions d'un éventuel stockage souterrain (au-delà de 400 mètres) grâce à l'implantation de laboratoires de recherche fournissant toutes les informations géologiques ;
- Les autres modes de conditionnement pour un éventuel entreposage en surface ;
- Les possibilités de transformation des produits à vie longue en produits à vie plus courte.

### III. Émission radioactive d'une centrale nucléaire

#### 1. Différentes sources d'exposition

Les accidents nucléaires peuvent conduire à des rejets dans l'atmosphère sous forme de particules et de gaz radioactifs et à des rejets liquides contenant des substances radioactives. Les rejets sont définis par leur composition, leur durée et par d'autres caractéristiques influençant la dispersion de la radioactivité dans l'environnement.

Les rejets radioactifs peuvent exposer les populations directement ou par le biais de la contamination de l'environnement terrestre et aquatique notamment. C'est pourquoi il faut considérer les modes de contamination de l'environnement et les voies d'atteinte des populations par l'intermédiaire de l'environnement.

##### a. Modes de contamination de l'environnement

La contamination de l'environnement se fait par des rejets dans l'atmosphère et / ou des rejets liquides (Figure 13).

L'air ambiant est le premier milieu contaminé par les rejets dans l'atmosphère dispersés par le vent. Il se forme alors un panache radioactif (le « nuage »), dont la contamination est d'autant plus importante que l'on est proche du point de rejet et inversement si on s'éloigne deux fois plus du nuage, les rayonnements seront 4 fois moins importants. C'est la loi physique en carré inverse.

La concentration de radioactivité dans l'axe du panache diminue par décroissance radioactive et par dilution. La dispersion des rejets dépend notamment de la vitesse et de la direction du vent, ainsi que des précipitations. A la fin des rejets, en chaque point sous le vent, l'air ambiant cesse d'être contaminé une fois que le nuage s'est dilué ou lorsqu'il s'est assez éloigné sous l'action du vent.

Toutefois, l'air ambiant peut être contaminé à nouveau lorsque des particules et gaz radioactives déposées au sol sont remises en suspension par le vent.

Les surfaces quelles qu'elles soient (naturelles, agricoles, bâties, extérieures et intérieures des bâtiments) sont contaminées à des niveaux plus ou moins élevés par le dépôt de particules présentes dans le nuage. Les dépôts diminuent par décroissance radioactive et par transfert des radionucléides vers le sol, les plantes ou les eaux.

La contamination de l'environnement se fait par des rejets dans l'atmosphère et / ou des rejets liquides (Figure 13).

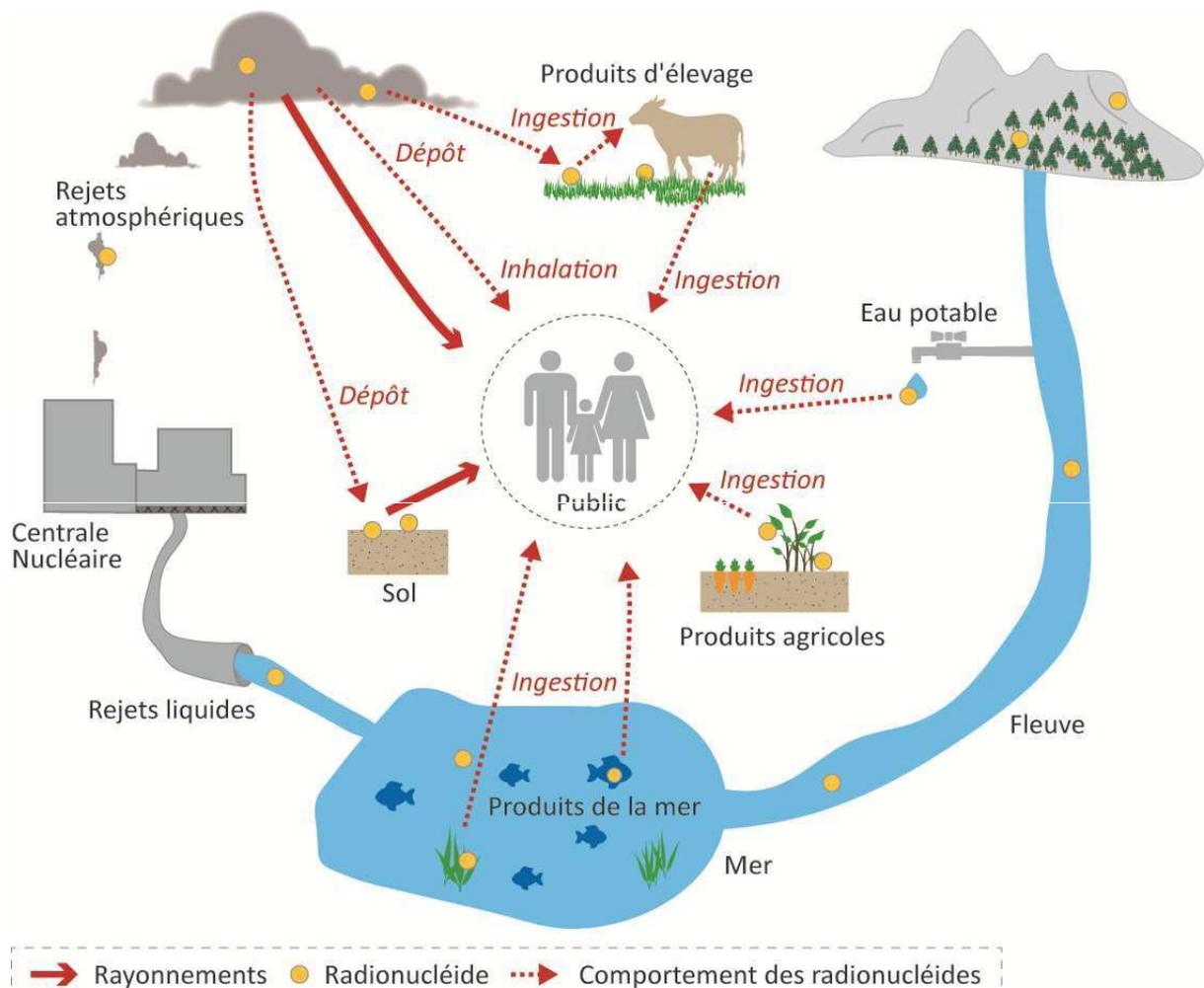


Figure 13 : Voies de contamination des populations et de l'environnement d'après EDF [18]

Les eaux superficielles sont contaminées par dépôt direct des particules présentes dans le nuage ainsi que par ruissellement et lavage par les précipitations des sols contaminés. Les eaux souterraines (nappes phréatiques) peuvent être atteintes également si elles sont en relation avec les eaux de surface contaminées et par infiltration.

Ces rejets peuvent avoir lieu dans les rivières, les lacs, les estuaires et les mers. Les substances radioactives peuvent être solubles ou insolubles. Les substances rejetées dans les rivières sont emportées par le courant et dispersées par le mouvement de l'eau et par sédimentation.

Les substances radioactives pénètrent dans tous les végétaux et en particulier ceux destinés à l'alimentation des populations et des animaux dont la viande ou le lait sont consommés. Cette pénétration a lieu selon deux modes de transfert : le dépôt sur les feuilles et le passage par les racines de la radioactivité présente dans le sol.

La faune terrestre est contaminée par inhalation d'air ambiant dans le panache radioactif, par ingestion d'eau et de nourriture végétale ou animale contaminées. La faune aquatique est contaminée par fixation des particules radioactives présentes en suspension dans l'eau et par sa nourriture à base de plantes et d'autres animaux aquatiques contaminés.

## b. Modes de contamination de l'homme

Les populations peuvent être exposées par irradiation externe, par contamination interne et par contamination cutanée. On utilise le terme d'irradiation lorsqu'il y a dépôt d'énergie provenant d'un rayonnement ionisant sur tout ou partie du corps, sans contact direct entre les matières radioactives et l'individu. Le terme de contamination est employé en cas de dépôt de matières radioactives sur un organisme vivant ou sur des structures, des surfaces des objets.

### 2. En fonctionnement normal : émissions de radioactivité d'une centrale par rapport à la radioactivité naturelle [19] [20]

La radioactivité actuelle de l'environnement résulte de radionucléides naturels, présents sur la Terre depuis son origine, et de radionucléides artificiels introduits par l'homme à partir du milieu du XXe siècle. Parmi les 340 types d'atomes qui existent dans la nature, 70 ont des noyaux instables radioactifs (radionucléides). Il ne reste aujourd'hui qu'une vingtaine de ces radionucléides « primordiaux » (ayant une période très courte comparée à l'âge de la Terre). Ces radionucléides naturels, qui constituent l'essentiel de la radioactivité de l'environnement, se retrouvent dans l'air, le sol, l'eau et les organismes vivants dont l'homme. (Figure 14)

De plus, les rayons cosmiques sont une autre source de radioactivité naturelle. Ils ont plusieurs origines avec des ions très énergétiques en provenance des galaxies et avec le soleil. Le champ magnétique terrestre et l'atmosphère constituent un écran protecteur. Ils représentent 7% de l'exposition moyenne pour l'homme.

Autre rayonnement naturel, le rayonnement tellurique (radioactivité du sol). Il est émis par les éléments radioactifs présents dans l'écorce terrestre, comme l'uranium. Ces rayonnements correspondent à 14% de l'exposition moyenne pour l'homme.

La radioactivité des eaux est dépendante du milieu géologique (eau de surface ou souterraine) et du degré de solubilité des radionucléides.

Enfin, la radioactivité de l'air est principalement due au radon  $^{222}\text{Rn}$  gazeux, issu de l' $^{238}\text{U}$ . Cette radioactivité dépend de la concentration d' $^{238}\text{U}$  du sol, de la porosité du sol, des constructions plus ou moins isolantes ou même de la ventilation de l'habitat. Cela représente 32% de l'exposition moyenne.

La radioactivité du corps humain dépend de l'ingestion d'aliments contenant des éléments radioactifs. Ces éléments peuvent se fixer sur les tissus et les os.

Tout ce qui se trouve à la surface de la terre a toujours été soumis à l'action des rayonnements ionisants provenant de sources naturelles. L'irradiation naturelle, qui représente près de 85.5% de la radioactivité totale, est due, pour plus de 71%, aux rayonnements telluriques, et pour environ 14.5%, aux rayonnements cosmiques.

Les radionucléides formés par interaction des rayonnements cosmiques issus des étoiles et du soleil avec les noyaux des éléments présents dans l'atmosphère (oxygène et azote) sont dans l'ordre d'importance des doses qu'ils engendrent pour l'homme, le carbone 14, le béryllium 7, le sodium 22 et le tritium.

Le rayonnement tellurique est constitué par les rayonnements gamma émis par des radionucléides tels que le potassium 40 (émission bêta), l'uranium 238 (émission alpha), le thorium 232 (émission alpha) qui sont présents dans les roches, les sols, les eaux de boisson, les végétaux. On rappelle que les rayonnements gamma accompagnent toujours une désintégration alpha ou gamma.

A l'irradiation naturelle, s'ajoute la composante due aux activités humaines, qui résulte des applications médicales des rayonnements ionisants et de l'industrie nucléaire.

Les applications médicales sont le radiodiagnostic et le traitement comme par exemple celui des pathologies de la thyroïde par l'iode 131. La contribution des examens en moyenne représente 35% de la dose de radioactivité reçue par l'homme.

Les contributions des anciens essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl représentent respectivement 0.2% et 0.07% de la radioactivité. Enfin, la production d'énergie d'origine nucléaire, pour l'ensemble de son cycle, ne représente qu'environ 0.007% de la radioactivité.

L'émission de radioactivité d'une centrale nucléaire en fonctionnement normal est donc faible par rapport à l'ensemble de la radioactivité naturelle et artificielle.

Cette exposition moyenne en 2016 s'élève à 4,5 mSv/an, dont 2,9 mSv/an dus aux sources naturelles et 1,6 mSv/an dus à l'exposition d'origine médicale. [21 , 22] Chaque individu étant exposé de manière différente à ces différentes sources, notamment selon son lieu d'habitation et ses habitudes de vie et de consommation alimentaire, l'IRSN a développé un outil qu'il met à disposition de chacun pour estimer sa propre exposition.

L'exposition aux rayonnements ionisants est liée à l'âge. Notamment en fin de vie, une forte augmentation de l'expositions à ces rayonnements est constatée. Le nombre d'examens médicaux (radiodiagnostic) et les traitements radiothérapeutiques en sont les principales causes.

Les différentes doses de radioactivité reçues [25] :

- A partir de 10 mSv, on préconise une mise à l'abri des populations. Cette dose représente 3 fois la dose annuelle reçue par la population française ;
- Au-delà de 50 mSv, l'évacuation est recommandée. Cela représente 15 fois la dose reçue par an par la population française ;
- On parle de fortes doses au-delà de 100 mSv pour la population, c'est-à-dire 30 fois la dose reçue par an par la population française ;
- Pour les travailleurs du nucléaire, la limite réglementaire d'exposition est en France de 20 mSv/an. Une exposition à une dose de 100 mSv/an peut être autorisée pour des interventions techniques d'urgence et de 300 mSv/an pour une intervention de secours à victimes ;
- Pour un niveau inférieur à 100 mSv, aucun effet à long terme sur la santé n'a été démontré.

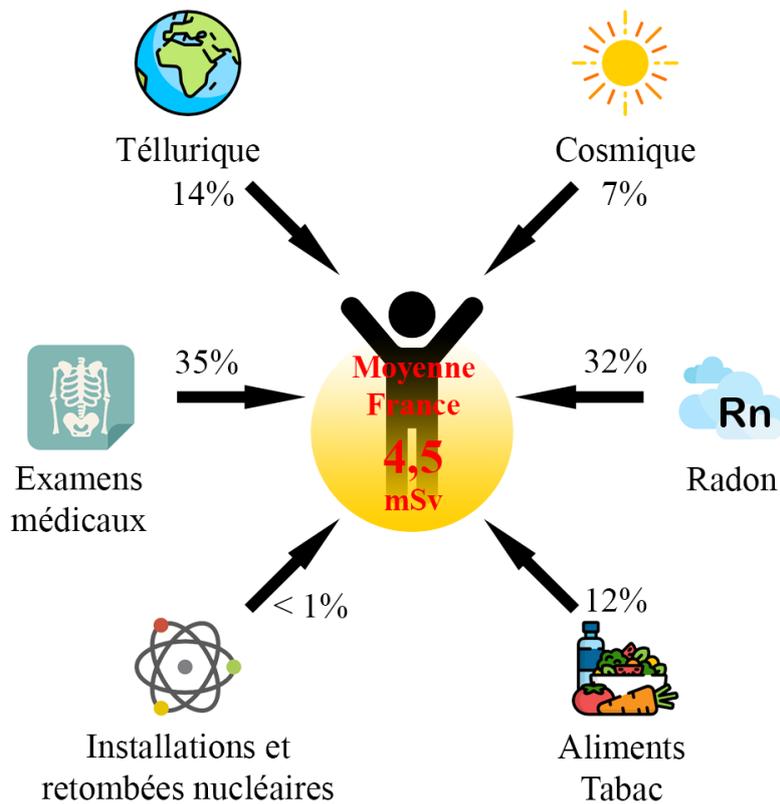


Figure 14 : Exposition moyenne de l'homme aux rayonnements ionisants d'après l'IRSN [23]

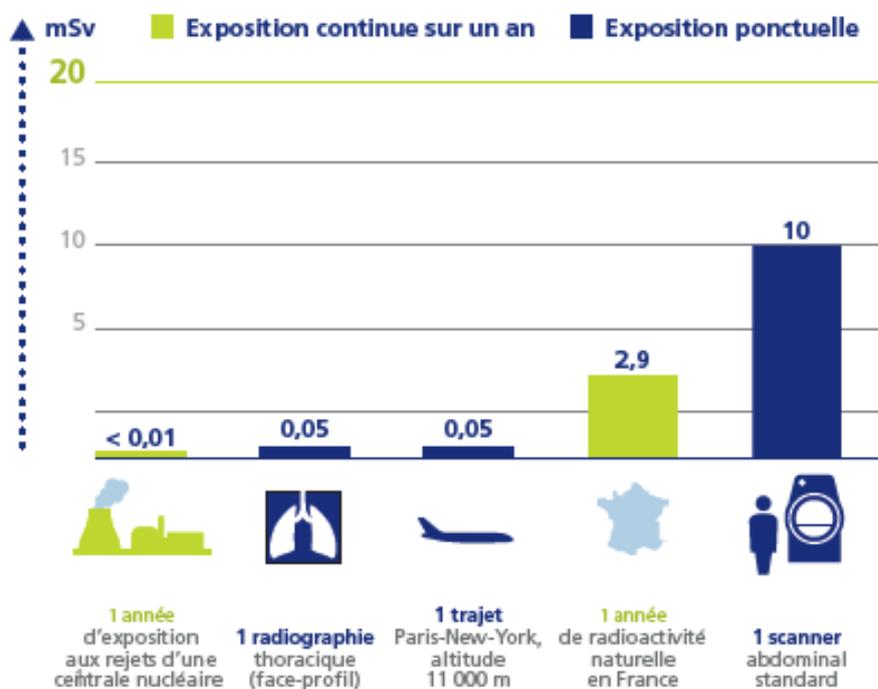


Figure 15 : Exemples de doses d'expositions d'après EDF [24]

### 3. En cas d'accident : exemple de Fukushima-Daiichi

La centrale nucléaire de Fukushima Daiichi se situe au nord-est du Japon, au bord de l'océan pacifique, sur la principale île du Japon. La centrale se trouve environ à 225 km de Tokyo, capitale du Japon. Elle a été construite et est exploitée par Tokyo Electric Power Company (TEPCO). Elle comporte 6 réacteurs : 1 à 4 regroupés en ligne, 5 et 6 un peu plus au nord des 4 premiers. La centrale est construite à une hauteur variant de 6,5 à 10 mètres au-dessus du niveau de la mer.

#### a. Les faits

Le 11 mars 2011 à 14h46 heure locale (6h46 heure française), un séisme d'une magnitude de 8,9 sur l'échelle de Richter s'est produit. Son épicentre est à 300km des côtes à l'est du Japon. [26]

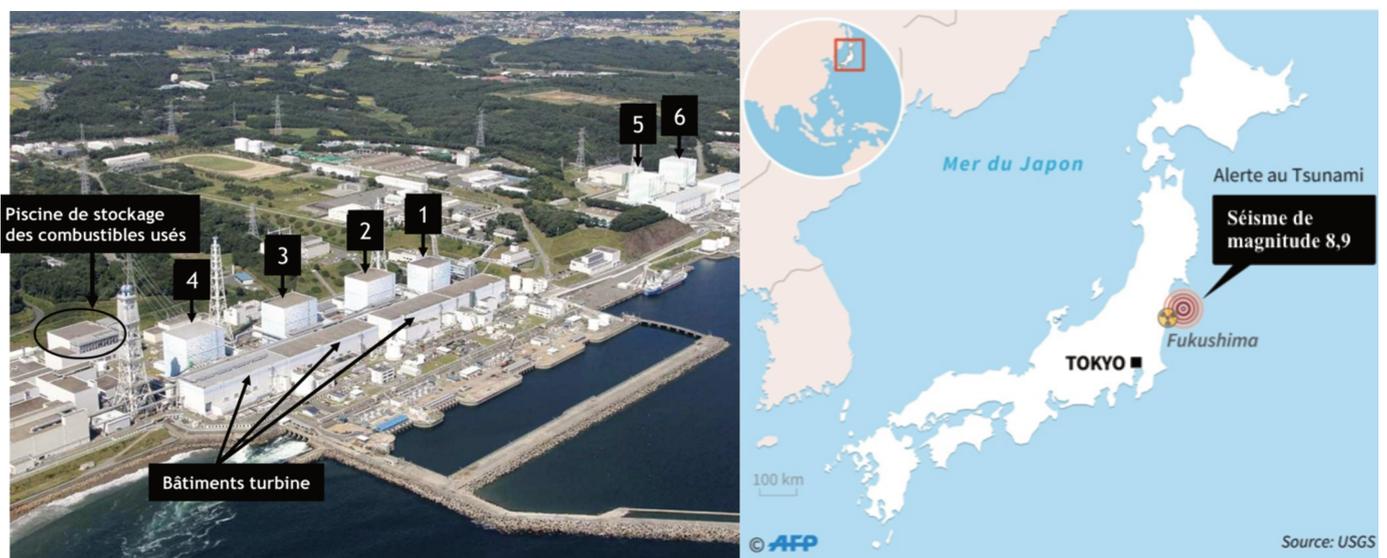


Figure 16 : Les réacteurs de la centrale nucléaire de Fukushima et l'épicentre du séisme [27]

Il y a un arrêt automatique des réacteurs. Les réactions nucléaires s'arrêtent, mais un refroidissement est nécessaire pour continuer à baisser la température du cœur.

Ce séisme a endommagé le réseau électrique, coupant les alimentations électriques externes. Un démarrage des groupes électrogènes de secours est effectué pour faire fonctionner les pompes de refroidissement. [28]

A 15h30 une vague de 15 m générée par le séisme atteint la centrale. Le mur de protection construit pouvait protéger la centrale de vague n'excédant pas 5,7 m de haut.

Les prises d'eau (sources d'eau pour le refroidissement du réacteur) et les groupes électrogènes sont alors gravement endommagés. Les moyens de refroidissements de secours ne sont également plus fonctionnels. Les cœurs des réacteurs ne sont plus refroidis. L'eau bout dans la cuve. De la vapeur d'eau est produite et le niveau d'eau diminue alors dans la cuve.

Le niveau de pression augmente de manière alarmante dans l'enceinte de confinement (qui contient le circuit primaire).

Une décision est prise de provoquer une décompression manuelle de l'enceinte de confinement pour éviter de l'endommager.

Le 12 mars 2011, explosion de l'hydrogène accumulé dans le réacteur 1. Le réacteur 3 explose le 13 mars et le réacteur 2 explose le 15 mars, dans les mêmes conditions que le réacteur 1.

Contrairement à l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl, il n'y a pas eu d'éventration complète des réacteurs. Le combustible ne s'est pas retrouvé à l'air libre. Les rejets radioactifs discontinus sont la conséquence d'explosions d'hydrogène et de fuites durant 12 à 13 jours.

#### b. Les doses reçues et les conséquences sanitaires

Entre le 12 et le 15 mars, une quinzaine d'épisodes de rejets radioactifs discontinus se sont produits dans l'atmosphère. Les rejets les plus importants sont composés de radionucléides tels que différents gaz rares (majoritairement le Xénon), l'iode, le césium, le tellure et de leurs isotopes : [29 , 30]

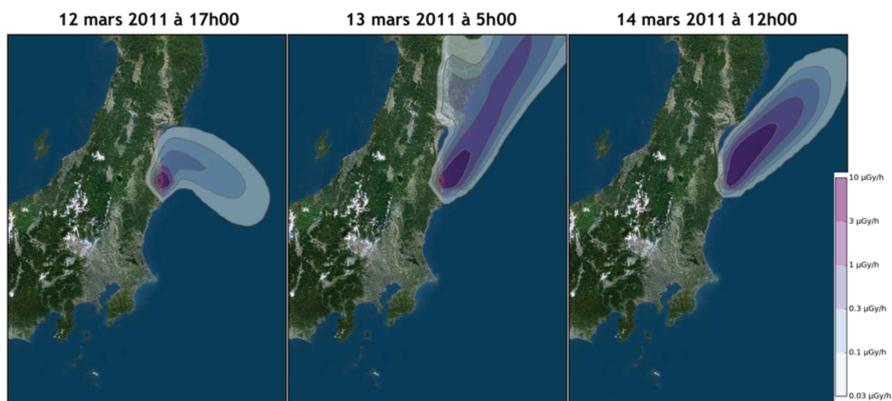
- Gaz rares : 6 550 PBq majoritairement le Xénon 133
- Iodes : 408 PBq dont 197 PBq d'iode 131
- Tellure : 145 PBq dont 108 PBq de tellure 132
- Césium : 58 PBq dont 21 PBq de césium 137

A titre de comparaison, ces valeurs représentent 10% des rejets estimés lors de l'accident de Tchernobyl.

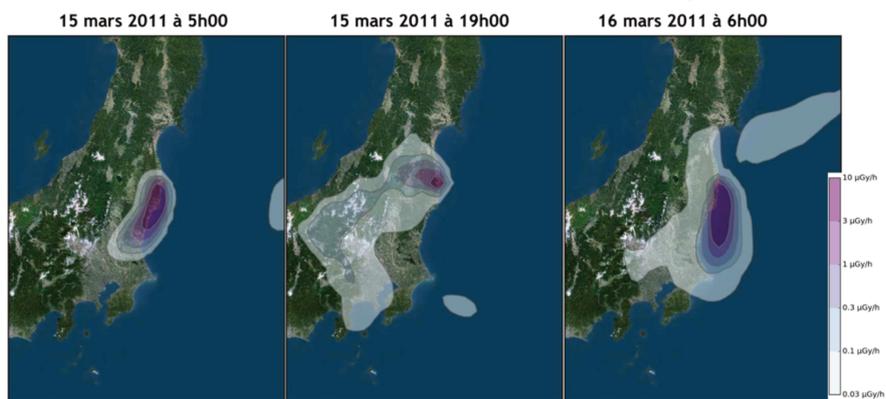
Après cet accident, plus de 150 000 personnes ont été évacuées.

Les doses reçues par la population varient en fonction de l'âge, de la localité, de la cinétique avec laquelle les doses ont été prises et les voies d'exposition. Le facteur météorologique rentre également en compte, avec le vent pour la propagation du nuage radioactif et la pluie pour les retombées possibles.

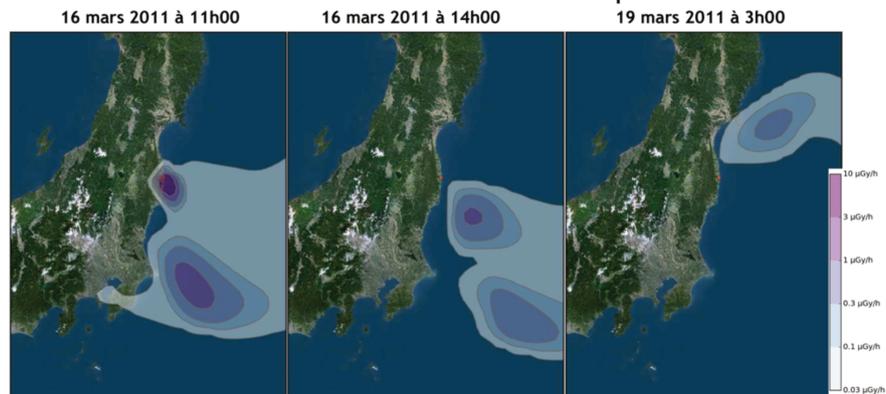
Les doses les plus élevées ont été relevées sur les territoires proches du littoral, au nord et surtout au sud de la centrale. Ceci est dû aux différentes phases de rejet. (Figure 17)



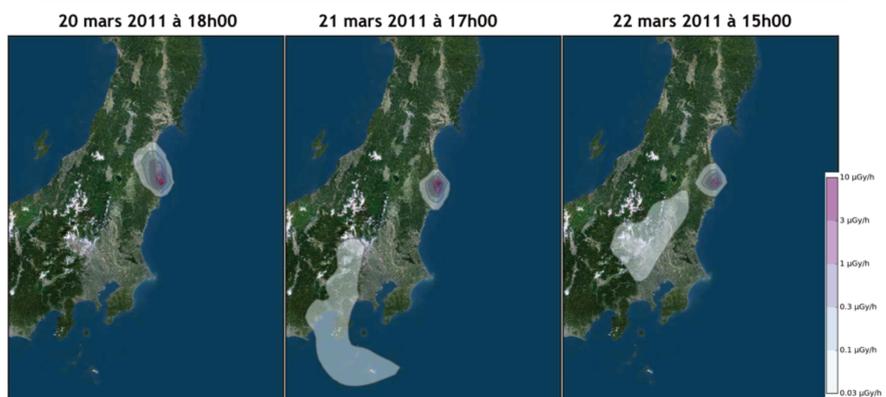
**1<sup>ère</sup> phase de rejet (du 12 au 14 mars) : vers le nord de Fukushima Dai-ichi et au-dessus du Pacifique**



**2<sup>ème</sup> phase de rejet (du 15 au 16 mars matin) : 1<sup>er</sup> épisode de contamination terrestre au Japon**



**3<sup>ème</sup> phase de rejet (du 16 mars après-midi au 19 mars) : à nouveau au-dessus du Pacifique**



**4<sup>ème</sup> phase de rejet (du 20 mars en soirée au 22 mars) : 2<sup>ème</sup> épisode de contamination terrestre au Japon**

*Figure 17 : Les 4 phases de rejet radioactif en fonction du temps [31]*

D'après la modélisation faite par l'IRSN, des doses efficaces dépassant les 50 mSv ont pu être reçues à l'intérieur d'un rayon de 20 km, correspondant à la zone évacuée en urgence le 12 mars, lendemain du séisme.

Une dose de 50 mSv en France, correspond au niveau d'intervention retenu pour l'évacuation d'urgence des populations exposées à un rejet atmosphérique accidentel, alors qu'au Japon, le niveau d'intervention est de 100 mSv. Cette dose de 50 mSv a également pu être enregistré jusqu'à 60km au sud de la centrale, correspondant au rejet du réacteur n°2 le 15 mars avec un fort vent soufflant vers le sud.

Également, des doses efficaces dépassant les 10 mSv ont pu être reçues jusqu'à une quarantaine de kilomètres au sud.

A plus grande distance, les doses reçues pendant la phase de rejet, en l'absence de protection, auraient été nettement plus faibles ; Soit, en dessous de 10 mSv pour la dose efficace au-delà de 40 km au sud, et de l'ordre de 0,1 mSv dans l'agglomération de Tokyo. [31]

Néanmoins, il ne s'agit que d'une estimation. En effet, il est difficile d'évaluer a posteriori la quantité d'iode radioactif réellement incorporée.

Le point le plus récent sur les conséquences sanitaires de l'accident de Fukushima date de mars 2018 et a été effectué par l'IRSN.

Plusieurs études ont été effectuées afin de suivre dès les premiers jours après l'accident la population aux alentours de la centrale de Fukushima.

A ce jour, aucun effet significatif sanitaire précoce dû à l'exposition aux rayonnements ne peut être attribué à l'accident, et ce ni pour la population, ni pour les travailleurs.

Certains effets sanitaires dus aux rayonnements peuvent se manifester tardivement, plusieurs décennies après. C'est pourquoi il est difficile d'estimer réellement l'apparition de tels effets sur une courte durée.

Avec les faibles niveaux de doses constatés, l'UNSCEAR (Comité Scientifique des Nations Unies sur les Effets des Rayonnements Atomiques) ne s'attend pas à une augmentation observable des effets sanitaires dus à l'expositions aux rayonnements suite à l'accident de Fukushima sur la population et leurs descendants. [32]

Cependant, un petit groupe de travailleur (174) avait reçu des doses supérieures à 100mSv lors des opérations d'urgence. Une augmentation du risque de cancer est probable pour ce groupe.

Une enquête sur la gestion de la situation sanitaire à Fukushima a été mise en place dans le but de détecter et traiter les maladies à un stade précoce, mais aussi à prévenir les maladies liées au mode de vie. Un dépistage intensif à l'aide de matériel très sensible détectant les anomalies thyroïdiennes asymptomatiques est encore effectué sur les enfants (ayant moins de 18ans au moment de l'accident).

Dans cette enquête sont détectés certains nodules thyroïdiens chez ces enfants. Mais, il est peu probable que ces anomalies détectées soient associées à une exposition aux rayonnements de l'accident de Fukushima. Celles-ci révèlent vraisemblablement de l'existence à l'état naturel d'anomalies thyroïdiennes chez les enfants de cet âge.

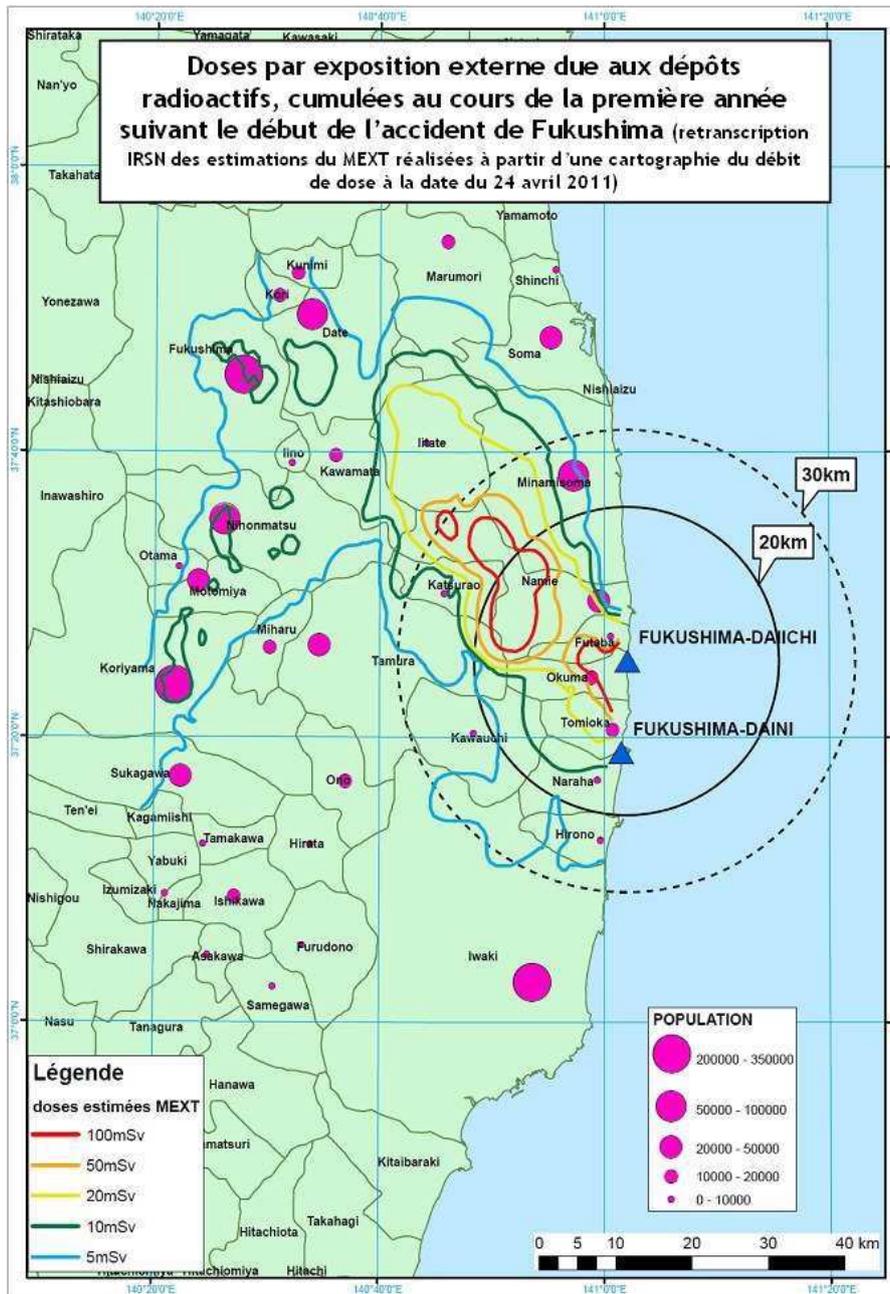


Figure 18 : Estimation des doses reçues [31]

Les doses captées par la thyroïde lors de l'accident étant faibles, une augmentation des cas de cancers de la thyroïde attribuable à cet accident est peu probable. De même, à la vue de ces doses, aucun effet des rayonnements dû à une exposition prénatale ni aucun cas d'interruption non volontaire de grossesse n'est attribuable à cet accident.

Des troubles psychologiques ont été relevés dans la région touchée par l'accident. Il est difficile d'attribuer ces troubles exclusivement à l'accident nucléaire, compte tenu du fait que cet accident a été précédé par un séisme et un tsunami. Ces troubles se manifestent par de l'anxiété, une dépression et un état de stress post-traumatique, et sont similaires à ceux trouvés lors d'autres situations catastrophiques nucléaires ou non.

## Partie III

Aspect médical : la prévention par l'iode stable

# I. Tolérance du blocage thyroïdien par la prise d'iode stable

## 1. Mécanismes d'action de l'iode stable

Aucun agent ne permet d'accélérer par un mécanisme direct l'élimination de la radioactivité concentrée au sein de la glande thyroïde (en dehors d'injections répétées de TSH qui accélèrent la sécrétion hormonale). Elle persiste plusieurs semaines et décroît au fur et à mesure de la sécrétion hormonale. [33, 34]

C'est pourquoi il est important, en cas d'exposition à l'iode radioactif, de prévenir la contamination de la glande thyroïde. [35] Divers agents antithyroïdiens empêchent le captage d'iode radioactif. Parmi eux, l'iode stable est efficace et moins susceptible d'induire des effets secondaires. Le captage et l'organification de l'iode par la thyroïde croissent proportionnellement à la concentration plasmatique, le rapport iode thyroïdien/iode plasmatique restant constant. [36, 37]

Une surcharge iodée brutale entraîne : [37]

- Un phénomène de saturation et de dilution isotopique ;
- Une inhibition aiguë de l'organification de l'iode et de la synthèse hormonale ;
- Une inhibition de la sécrétion hormonale thyroïdienne.

## 2. Saturation et dilution isotopique

Le phénomène de saturation et de dilution isotopique est le mécanisme principal sur lequel repose l'action protectrice de l'iode stable : celui-ci entre en compétition avec l'iode radioactif vis-à-vis du système de transport actif de l'iode dans la thyroïde. Cependant, l'iode peut encore pénétrer dans la glande par diffusion. [38]

La saturation par l'iode stable évite aussi le recyclage de l'iode radioactif organique au niveau de la thyroïde et diminue ainsi sa demi-vie biologique effective. [39]

## 3. Inhibition de l'organification de l'iode et de la synthèse hormonale

Au-delà d'une concentration plasmatique d'iode de 15 - 28 mg/dL, on observe une diminution rapide de l'organification de l'iode se traduisant par une diminution de la synthèse hormonale. Il s'agit de l'effet Wolff-Chaikoff, du nom des auteurs qui l'ont observé chez le rat en 1948. [40, 41]

Ce processus, non encore parfaitement élucidé, est indépendant de la TSH. Il serait déterminé par la baisse du rapport iode thyroïdien/iode libre, notamment par augmentation importante de la concentration plasmatique en iode. [40, 37]

Pour une thyroïde adulte normale, l'effet Wolff-Chaikoff est transitoire. Il apparaît quelques heures après une charge iodée et dans les 24 à 48 heures, on observe une reprise de l'organification de l'iode par la thyroïde, même si la surcharge iodée persiste (échappement). [41]

L'inhibition de l'organification pourrait jouer un rôle protecteur complémentaire en empêchant le stockage d'iode radioactif sous forme organifiée dans la thyroïde. [42] Mais l'effet bloquant de l'organification induit par l'iode peut être plus important et durable et ainsi entraîner des effets secondaires thyroïdiens. Cela peut se produire lorsque le pool iodé thyroïdien est abaissé ou lorsque le niveau préalable du captage de l'iode par la thyroïde est augmenté : situations de carence iodée, thyroïdites, hyperthyroïdie, thyroïdectomie partielle, jeune âge. [41]

Le fœtus est particulièrement sensible à l'effet Wolff-Chaikoff : le pool d'iode thyroïdien est faible et le captage élevé. Le phénomène d'échappement à l'effet Wolff-Chaikoff n'apparaît que tardivement, à partir de trente-six semaines de gestation environ. [41] Une surcharge iodée aiguë de l'ordre de 6 à 10 fois l'apport iodé normal chez le nouveau-né peut entraîner une hypothyroïdie nécessitant un traitement hormonal substitutif. [43]

Des cas d'hypothyroïdie néonatale sévère et parfois de goitres ont été décrits après application cutanée d'antiseptiques iodés (par exemple Povidone-iodée) au moment de l'accouchement, ou après des examens à l'aide de produits de contraste (amniofoetographie) durant la grossesse. [40]

Cependant, après la distribution d'iode stable en Pologne à la suite de l'accident de Tchernobyl, des tests thyroïdiens effectués à la naissance sur un échantillon de 3 214 nouveau-nés dont la mère avait bénéficié d'une prophylaxie (70 mg d'iodure de potassium) n'ont détecté une hypothyroïdie biologique que chez 12 d'entre eux (0,37 %). Ces anomalies avaient disparu entre 16 et 20 jours. [44]

#### 4. Inhibition de la sécrétion hormonale thyroïdienne

L'inhibition de la sécrétion hormonale thyroïdienne par inhibition de l'hydrolyse de la thyroglobuline s'installe rapidement à des niveaux de concentration plasmatique inférieurs à ceux qui entraînent la diminution de la synthèse hormonale. [41] Cet effet est transitoire et ne dure pas plus de 7 jours. [40] Il est utilisé dans le traitement des hyperthyroïdies aiguës.

L'inhibition de la sécrétion hormonale thyroïdienne peut favoriser l'irradiation de la thyroïde si l'iode stable est ingéré lorsque de l'iode radioactif s'est déjà concentré dans la thyroïde. [35] Cependant, l'essentiel de la dose de rayonnements étant délivré dans les premiers jours suivant l'exposition, il est peu probable que cet effet aurait un impact significatif sur la dose de rayonnement à la thyroïde. [37]

## II. Efficacité de l'iode stable

### 1. Principales études sur l'action préventive de l'iode stable

Une recherche bibliographique a été effectuée pour identifier les études sur le captage thyroïdien après administration d'iode stable.

Les principales sont présentées ci-après :

- *Le captage thyroïdien a été mesuré 2 heures et 24 heures après l'administration orale d'iode 131* ( $3,7 \times 10^5$  Bq) chez des adultes des deux sexes indemnes de toute pathologie susceptible d'interférer avec le métabolisme thyroïdien [45]; la population de l'étude comportait 10 témoins et 60 sujets répartis en dix groupes recevant différentes posologies d'iode stable (5, 10, 20, 40, 80 mg d'iodure de potassium) soit en même temps que la prise du traceur, soit 2 ou 12 heures après ;

- *Le captage thyroïdien à 24 heures a été mesuré sur 62 volontaires sains, 37 hommes et 25 femmes, âgés de 21 à 72 ans après administration d'une dose orale de 55 Bq d'iode 131* [46] ; les sujets étaient leurs propres témoins ; deux de ces sujets étaient hypothyroïdiens et ont été exclus de l'étude ; l'iode stable a été administré à 24 hommes et 17 femmes, 1 heure avant, en même temps que, ou 1 à 6 heures après l'administration du traceur ; les posologies étaient de 5, 25, 50, 100, 200, ou 1000 mg d'iodure de potassium ; chez ces sujets, une dose supplémentaire de traceur de 55 à 275 Bq a été administrée 24 à 72 heures après la prise d'iode stable pour évaluer la durée du blocage du captage thyroïdien ;

- *Dans une étude sur 22 volontaires euthyroïdiens* (12 hommes et 10 femmes) âgés de 23 à 50 ans, le captage d'iode 123 ( $3,7 \times 10^5$  Bq) a été étudié à l'état basal puis après administration simultanée d'iodure de potassium (posologie de 10, 30, 50 et 100 mg) [47] ; la prise d'iode stable a été répétée pour la plupart des sujets pendant les 11 jours suivants ; le captage a été mesuré à 3 heures, 6 heures puis 24 heures après la première prise d'iode stable puis au huitième et au douzième jour ;

- *Une étude a été réalisée en 1991 sur 29 sujets euthyroïdiens âgés de 32 à 74 ans* dont 13 femmes et 16 hommes [48] ; six heures après une injection de  $18,5 \times 10^5$  Bq d'iode 131, de l'iodure de potassium était administré à la moitié du groupe à la posologie de 100 mg et un placebo était administré à l'autre moitié ;

- *La seule étude portant sur des enfants a été effectuée en 1961* dans le Massachusetts (États-Unis) sur 63 enfants souffrant d'un retard mental sans anomalie thyroïdienne [49] ; les enfants étaient répartis selon 3 groupes d'âge (1-3 ans, 4-6 ans et 9-11 ans) et recevaient de l'iode stable chaque jour pendant plusieurs semaines (posologies de 0,1 ; 1 ; 3 et 6 mg par jour).

D'autres études ont été effectuées sur des effectifs plus faibles. [50]

Enfin, l'efficacité du blocage thyroïdien par l'iode stable a été calculée par simulation au moyen de modèles pharmacocinétiques. [51]

## 2. Résultats

### a. Efficacité en fonction de la posologie d'iode stable

Le blocage du captage thyroïdien varie en fonction de la posologie d'iodure de potassium administrée (Figure 19).

Un pourcentage de dose évitée (correspondant à la fraction de radioactivité non capté par la thyroïde) de plus de 90 % est obtenu chez l'adulte pour une posologie de l'ordre de 20 mg lorsque l'administration a lieu au même moment que l'exposition aux iodures radioactifs. [51]

Une concentration plasmatique d'iode de 10 mg/dl induit un blocage efficace du captage thyroïdien. [46]

Il convient néanmoins de souligner que la posologie minimale entraînant un blocage du captage thyroïdien dépend des caractéristiques individuelles : elle est plus importante chez les sujets ayant un captage thyroïdien élevé que chez les autres. [52]

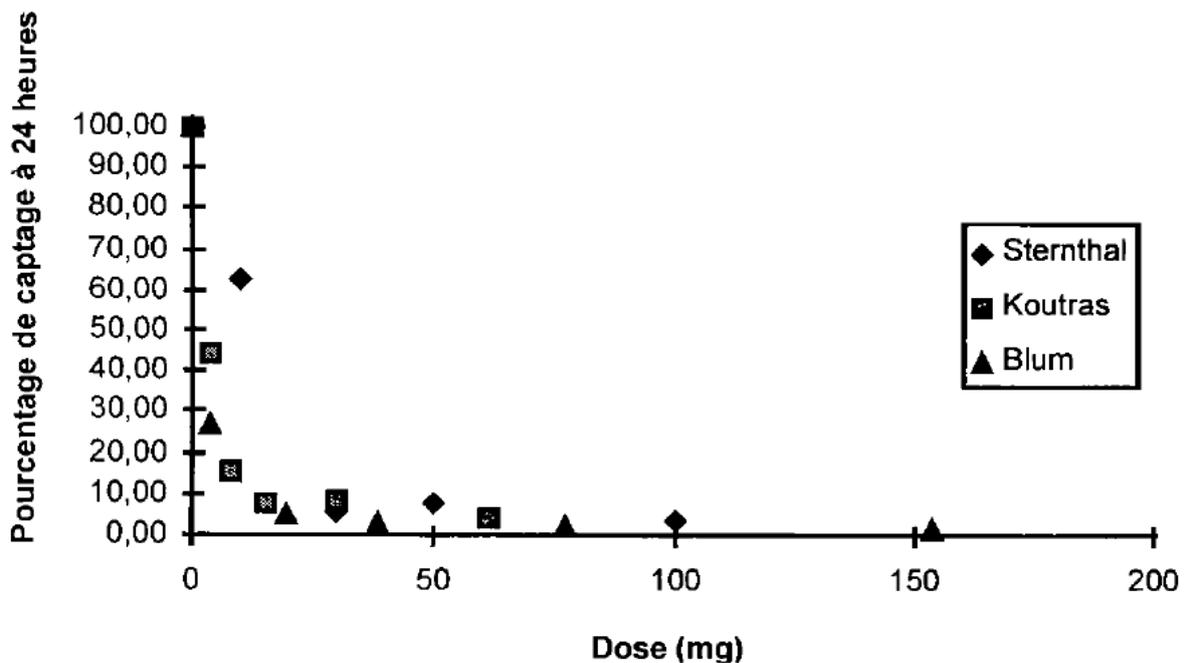


Figure 19 : Pourcentage de captage thyroïdien selon la posologie d'iode stable [33] ; Résultats des études de Sternthal [47], Koutras [45] et Blum [46]

Des variations inter-individuelles existent pour les posologies d'iodure de 100 et 200 mg administrées simultanément au traceur (Figure 20) mais le pourcentage de dose évitée à la thyroïde, 24 heures après l'ingestion du traceur, est supérieur à 95 % pour la plupart des sujets. [46] L'augmentation des posologies d'iode stable au-dessus de 100-200 mg ne semble plus améliorer la dose évitée. [45]

Des posologies d'iodure de 3 à 4 mg chez l'enfant ne permettent d'atteindre un blocage suffisant du captage thyroïdien qu'au bout de quelques jours à quelques semaines. [49]

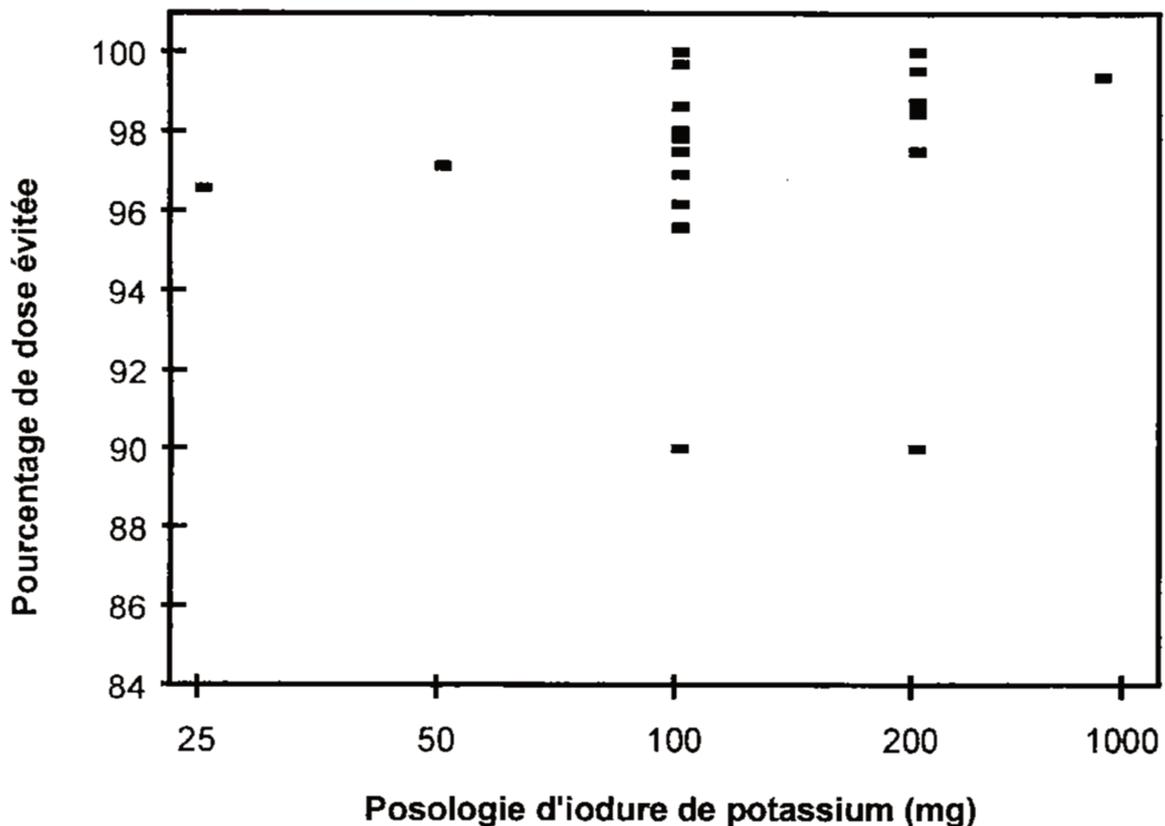


Figure 20 : Pourcentage de dose évitée à la thyroïde en fonction de la posologie d'iodure de potassium (prise simultanée de l'administration du traceur) d'après Blum et Eisenbud (1967) [33 , 46]

b. Efficacité en fonction du moment de l'administration de l'iode stable

L'efficacité de l'iodure de potassium est maximale si l'administration d'iode stable a lieu en même temps ou un peu avant l'exposition à l'iode radioactif. L'efficacité décroît ensuite quand l'iode stable est administré quelques heures après l'ingestion du traceur radioactif.

Blum *et al* observent que 100 mg d'iodure de potassium permettent d'éviter 98 % de la dose à la thyroïde lorsque la prise a lieu au même instant que le traceur, 91 % si elle a lieu 1 h plus tard, 84% 2 h plus tard et 60% 3 heures après le traceur. [46] L'augmentation de la posologie ne permet pas de corriger la diminution d'efficacité due au retard de la prise.

Une simulation, basée sur le modèle pharmacocinétique de Berman [53] fournit une estimation du pourcentage de dose évitée à la thyroïde en fonction du moment de la prise d'iode stable par rapport à l'exposition chez des sujets ayant des apports normaux en iode et chez des sujets ayant un déficit d'apport (figure 21). [51]

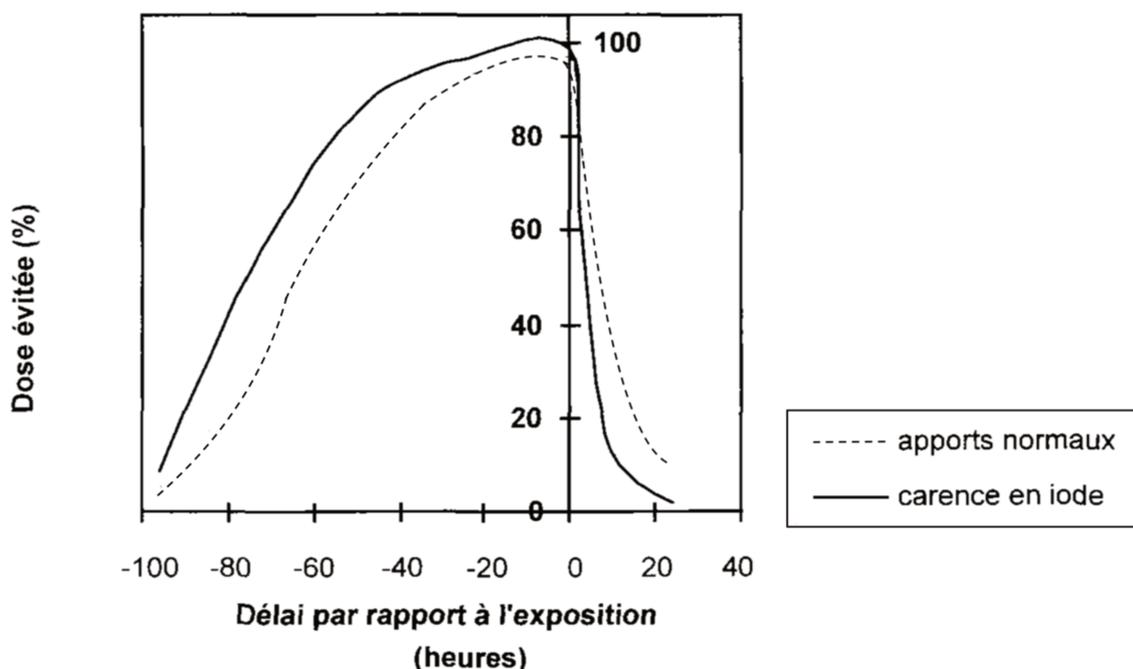


Figure 21 : Pourcentage de dose évitée en fonction du délai de la prise d'iode stable par rapport à l'exposition (simulation, prise d'iode stable unique, exposition unique) [33]

Une autre étude, basée sur le modèle compartimental de Ramsden *et al* (1967) [52] fournit des résultats très similaires et montre que le moment optimal de la prise d'iode stable se situe une heure avant l'exposition à l'iode radioactif (Tableau VI). [54]

Délai après l'exposition (heures)	0	4	5	6	10	15	20
Dose évitée (%)	98	64	57	51	34	20	12

Tableau VI : Pourcentage de dose évitée en fonction du moment de la prise de 128 mg d'iode stable [33]

### c. Durée de la protection

La durée du blocage du captage thyroïdien est d'autant plus courte que la posologie initiale est faible. [51]

Blum *et al* ont étudié la durée du blocage du captage thyroïdien 48 et 72 heures après la prise d'iode stable en réadministrant aux sujets une dose d'iode radioactif. [46]

Une posologie de 25 mg n'assurait plus de blocage après 48 heures ; des posologies de 50 mg et 100 mg d'iodure de potassium permettaient d'éviter respectivement 66% et 78 % de la dose à la thyroïde. A 72 heures, une posologie de 100 mg d'iode stable ne permettait d'éviter que 25 % environ de la dose à la thyroïde (Tableau VII).

Auteurs	Iode stable I- (en mg)	Nombre de sujets	Dose évitée (%)						
			J1	J2	J3	J4	J5	J7	
Johnson 1963 * [54]	200	10	88,3	75,8	41,4	14,8			
	247	1	100	78,9				15,8	10,7
	124	1	95,6		51,1			22,2	
Ramsden 1967 ** [52]	37	1	86,4	36,3	15,9				
	100***	3		49,2			22,7		
				+/-			+/-		
				10,5			10,5		
	19	1		0	0				
Blum 1967**** [46]	38	1		65,7	60,5				
	77	13		77,5	23,5				
	770	1		98,3	63,5				

\* captage à 3 heures.

\*\* captage à 30 heures.

\*\*\* administration de l'iode stable 1h30, 3h00, et 5h30 après le traceur pour chaque individu respectivement.

\*\*\*\* captage à 24 heures.

*Tableau VII : Durée de blocage du captage thyroïdien en fonction de la posologie d'iode stable [33]*

La durée de protection a été étudiée sur une période de 8 jours sur un échantillon de 5 femmes et 5 hommes indemnes de pathologie thyroïdienne ou rénale et hospitalisés pour ulcère gastrique ou infarctus myocardique. [55] Ces patients n'avaient pas reçu de médication contenant de l'iode. Le captage thyroïdien a été mesuré chaque jour 3 heures après prise orale d'iode 132. Une première détermination a été effectuée après administration de 200mg d'iodure de potassium.

Les résultats montrent que la dose évitée est supérieure à 75 % dans les deux premiers jours suivant la prise d'iode stable, passe en dessous de 50 % au troisième jour et à 15 % au quatrième jour (figure 22). Le captage thyroïdien retrouve sa valeur de base au bout de huit jours chez la majorité des sujets.

Ramsden et al ont mesuré le captage thyroïdien chez trois sujets ayant reçu un mélange d'iode 132 ( $444 \times 10^4$  Bq) et d'iode 131 ( $14,8 \times 10^4$  Bq) à différents moments après l'administration orale de différentes posologies d'iodure de potassium. [52]

La modélisation des données montre également que le blocage du captage thyroïdien est effectif aux environs d'une demi-heure après une prise d'iode stable de 100mg d'iodure de potassium. Ce délai n'est pas raccourci pour une posologie supérieure, mais il peut en revanche augmenter à plus de 2 heures 30 pour une posologie inférieure à 25 mg d'iode stable. [52]

Il existe enfin des données sur le prolongement de la durée de l'efficacité par l'administration quotidienne d'iode stable. L'étude de Sternthal et al montre qu'une dose évitée de plus de 90 % peut être maintenue par la prise répétée plusieurs jours de suite de 15 mg d'iodure de potassium. [47]

Cuddihy et al en 1966 a administré à 4 sujets euthyroïdiens une dose orale de 18,5 Bq d'iode 131 pendant 14 jours. [56] Deux d'entre eux, âgés de 8 et 9 ans, recevaient également, chaque jour de la même période, 1,8 mg d'iodure ; les deux autres, âgés de 22 et 23 ans, recevaient de la même façon 4,2 mg d'iodure. Le pourcentage de dose évitée était de 33 % et 48 % pour les deux premiers sujets respectivement et de 69 % et 62 % pour les deux derniers.

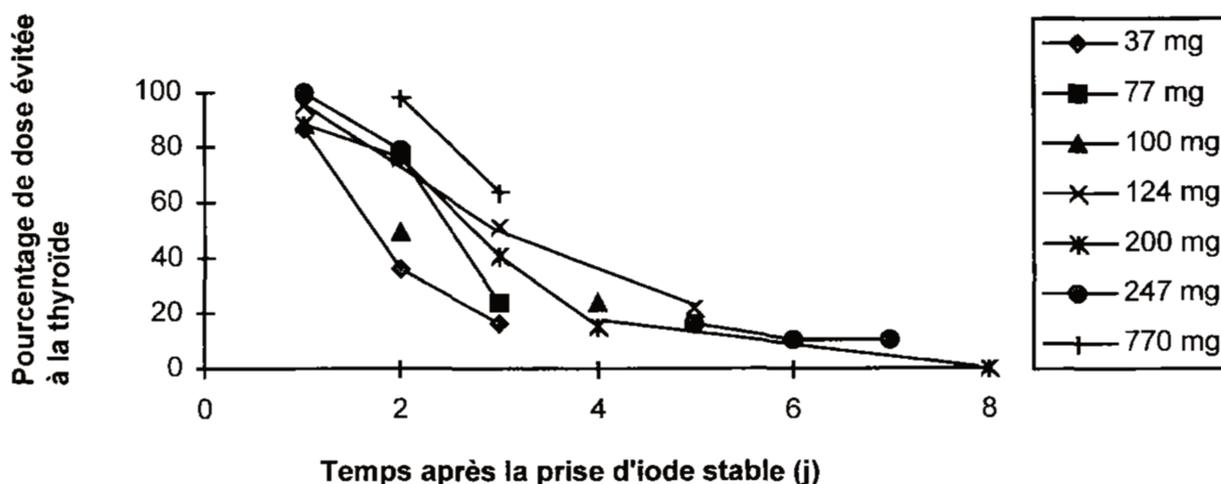


Figure 22 : Durée du blocage du captage thyroïdien en fonction de la posologie d'iodure (prise unique) [33]

#### d. Efficacité en fonction du mode d'administration

L'efficacité du blocage du captage thyroïdien par application cutanée de teinture d'iode a été montrée chez l'animal et chez l'homme. Dans une étude effectuée sur 24 hommes âgés de 24 à 51 ans, le captage thyroïdien après la prise orale d'iodure de potassium (130mg) a été comparé à celui mesuré chez des sujets chez lesquels de la teinture d'iode avait été appliquée sur l'avant-bras (4 ml à 2 % soit 80 mg) ou sur l'abdomen (8 ml à 2 % soit 160 mg). [57] Le pourcentage moyen de dose évitée était respectivement de 96,9 %, 35,8 % et 81,7 %.

#### e. Efficacité en fonction de l'âge

Les seules données dont on dispose sur l'efficacité du blocage du captage thyroïdien chez le fœtus en fonction de la posologie d'iode stable administrée à la mère proviennent d'études animales.

Une étude expérimentale a été conduite chez le chimpanzé pour évaluer l'efficacité du blocage thyroïdien par l'iode stable chez le fœtus entre 19 et 21 semaines de gestation. [58] L'iodure était administré par voie orale 1 heure avant le traceur. Les posologies étaient de 0,5 mg/kg, 1,5 mg/kg et 5,0 mg/kg. Elles correspondent, pour un sujet de 50 kg à 25 mg, 75 mg et 250 mg d'iodure. A titre de comparaison, la posologie recommandée chez la femme enceinte est de 100 mg. En tout, cinq animaux ont reçu ces posologies. Le captage thyroïdien basal a aussi été mesuré chez 13 animaux témoins.

En l'absence d'iode stable, le captage thyroïdien du traceur à 24 h chez le fœtus du chimpanzé était similaire à celui du fœtus chez l'homme.

Les résultats montrent que les trois posologies permettaient d'obtenir un pourcentage de dose évitée supérieur à 90 %. Mais, 20 heures après l'administration d'iode stable, le pourcentage de dose évitée n'était supérieur à 90% que pour les deux posologies les plus élevées alors que pour la posologie la plus faible, il était de 40 %.

### 3. Ingestion d'iode stable chez l'adulte en cas d'accident nucléaire : une approche pour comparer les bénéfices et les risques

L'épidémie de cancer de la thyroïde chez les enfants consécutive à la catastrophe de Tchernobyl (en Avril 1986) a provoqué un regain d'intérêt des autorités sanitaires de divers pays pour la prophylaxie par l'iode stable (IS) en cas d'accident nucléaire.

En France, le secrétaire d'État à la Santé annonçait, en avril 1996, la mise en œuvre d'une pré-distribution d'iode stable auprès des ménages résidant dans l'environnement proche des réacteurs nucléaires. [59, 60, 61]

Chez l'enfant de 0 à 18 ans, l'ingestion d'iode stable en cas d'exposition environnementale accidentelle aux iodes radioactifs fait consensus : lors d'une exposition aux iodes radioactifs, le risque de cancer de la thyroïde est le plus élevé dans ce groupe ; les effets secondaires de l'iode stable (surtout chez le nouveau-né) sont limités et contrôlables.

En revanche, chez l'adulte, la question du rapport entre les risques et les bénéfices de l'ingestion de l'iode stable a été posée. Aucun excès significatif de risque de cancers de la thyroïde n'a été observé dans la plupart des études épidémiologiques suite à l'exposition à des iodes radioactifs à l'âge adulte, même à doses élevées. L'innocuité d'une prise d'iode stable (IS) chez les personnes âgées, surtout, n'est pas démontrée. [59, 60, 61]

#### a. Principes de l'administration d'iode stable à visée préventive en cas de rejet accidentel d'iode radioactif

L'administration d'iode stable permet d'éviter l'irradiation de la thyroïde en cas d'exposition à des rejets accidentels d'iodes radioactifs.

Une surcharge iodée permet en effet de dépasser un certain seuil de concentration plasmatique et d'inhiber le transport de l'iode dans la thyroïde. [33]

La posologie optimale recherchée dans cette optique est celle qui permet d'obtenir un blocage rapide et maximal du captage thyroïdien (effet préventif) tout en évitant ou minimisant les risques d'effets secondaires, notamment les effets "antithyroïdiens" (effet Wolff-Chaikoff, voir partie I). [33]

Cet effet est susceptible d'entraîner une hypothyroïdie transitoire chez les sujets sensibles, notamment le nouveau-né.

## b. Efficacité de la protection thyroïdienne par l'iode stable

Dans la plupart des études sur la protection thyroïdienne par l'iode stable, les méthodes de sélection des sujets ne sont pas ou peu décrites et le nombre de sujets est limité. Si l'on peut s'interroger sur leur représentativité, les résultats semblent cependant assez convergents. [33]

L'efficacité du blocage du captage thyroïdien dépend des modalités d'administration de l'iode stable. Un blocage quasi-immédiat (30 minutes après la prise) et efficace (pourcentage de dose évitée à la thyroïde égal ou supérieur à 90%) peut être obtenu chez l'adulte euthyroïdien à partir d'une posologie d'iode stable relativement faible (20 mg) lorsque l'administration a lieu au même moment que l'exposition aux iodures radioactifs.

Une posologie plus faible permet de bloquer la thyroïde mais dans un délai plus long (plusieurs heures). Une posologie plus élevée permet d'atteindre une efficacité de 95 % et de diminuer les variations inter-individuelles. [33]

Le blocage du captage thyroïdien est transitoire et sa durée dépend de la posologie. Ce point est important pour les situations d'exposition prolongée ou retardée par rapport à la prise d'iode stable : lors d'un accident, le moment précis du rejet et sa durée ne peuvent être prédits avec certitude.

Pour une posologie voisine de 100 à 200 mg d'iodure, le pourcentage de dose évitée si une exposition a lieu 48 heures après la prise d'iode stable est compris entre 50 et 75 %.

En cas d'exposition prolongée, la répétition de la prise d'iode stable permet de maintenir un blocage efficace du captage thyroïdien au-delà de 24 à 48 heures. Une posologie plus faible (15 mg par jour) que lors de la première prise semble alors suffire pour assurer une protection satisfaisante chez l'adulte euthyroïdien. [47]

L'efficacité du blocage dépend de la date de la prise par rapport à celle de l'exposition :

- L'efficacité est maximale si la prise d'iode stable a lieu une à quelques heures avant l'exposition à l'iode radioactif ;
- Elle diminue si l'iode stable est pris quelques heures après l'exposition : la dose évitée est de 50% seulement si la prise d'iode stable a lieu 6 heures après l'exposition.

## c. Facteurs individuels de variation de l'efficacité de l'iode stable

L'efficacité du blocage et les risques d'effets secondaires thyroïdiens dépendent aussi de facteurs individuels (âge, contenu en iode et état fonctionnel de la thyroïde) et de facteurs externes (apports alimentaires). Chez l'enfant, la glande thyroïde est plus avide en iode radioactif que celle d'un adulte. Elle est également plus sensible à l'irradiation, en termes de risques de cancer, que chez l'adulte. Enfin, elle est plus sensible à l'effet Wolff-Chaikoff que la glande de l'adulte. La marge entre la posologie d'iodure permettant de protéger la thyroïde et celle risquant de provoquer des effets secondaires thyroïdiens est ainsi plus étroite que chez l'adulte. [33]

Par ailleurs, les données existantes en France suggèrent que les apports alimentaires d'iode sont inférieurs de quelques pour-cent à quelques dizaines de pour-cent aux recommandations de l'OMS dans tous les groupes d'âges. [62]

En cas d'exposition à un rejet accidentel d'iode radioactif, ceci peut, pour les individus concernés, augmenter les doses de rayonnement à la glande thyroïde et favoriser les effets secondaires thyroïdiens.

Les études présentées ici ne permettent pas toujours d'obtenir une estimation quantitative des variations de l'efficacité du blocage du captage thyroïdien en fonction de ces facteurs individuels et externes. En particulier, les données chez le fœtus, le nourrisson et l'enfant sont très limitées, pour des raisons éthiques. L'efficacité du blocage en fonction des apports alimentaires en iode n'est pas non plus bien connue.

La posologie d'iode stable doit être adaptée selon l'âge. Compte tenu de la sensibilité particulière des nouveau-nés à l'effet antithyroïdien de l'iode, il est recommandé de ne pas dépasser une posologie de 12,5 mg et de procéder à un suivi hormonal rigoureux si la posologie administrée atteint ou dépasse 25 mg. [63]

#### d. Risques d'une prophylaxie par l'iode stable chez l'adulte en cas d'accident nucléaire

La grande majorité des études épidémiologiques concernant les risques de cancer après irradiation de la glande thyroïde à l'âge adulte ne met pas en évidence d'excès de risque significatif de cancer pour la contamination interne (iodes radioactifs) ou l'irradiation externe (X ou gamma). Dans l'état actuel des connaissances, on ne dispose pas d'une estimation du risque de cancer de la thyroïde après exposition aux iodures radioactifs chez l'adulte. [64, 65]

Quelques effets secondaires ont été rapportés chez l'adulte à la suite d'apport supplémentaire d'iode stable. Parmi ceux-ci, seule l'hyperthyroïdie iodo-induite pose vraiment un problème en raison de ses répercussions cardio-vasculaires potentiellement létales. [66]

En dehors des apports alimentaires habituels, des apports supplémentaires d'iode stable peuvent provenir d'une campagne de supplémentation, de la prise de certains médicaments, de l'ingestion ou de l'injection de produits de contraste iodés à visée radiologique ou, enfin, de l'injection de Lipiodol®. Ce dernier est un produit huileux chargé en iode utilisé pour la prophylaxie du goitre en zone d'endémie de carence d'apport ; il assure un relargage long et progressif de l'iode et permet une couverture iodée d'un an au moins. Dans ces circonstances, les doses d'iode stable et la durée des apports sont très différentes. Diverses études ont été effectuées pour évaluer les effets d'apports supplémentaires d'iode stable chez l'homme.

#### i. Iodure de potassium à dose pharmacologique

Ek et al ont réalisé un test de réplétion à l'iode chez 100 personnes âgées de 17 à 72 ans, en euthyroïdie clinique, chez lesquelles une anomalie thyroïdienne était suspectée ; 87% étaient des femmes. [67] Dix milligrammes d'iodure de potassium ont été administrés par jour durant 14 à 28 jours. Trois femmes ont développé une hyperthyroïdie après une dose cumulée de 140 mg d'iodure de potassium et 4 après une dose de 280 mg, soit une incidence de 3 et 7% respectivement. Toutes étaient âgées de plus de 40 ans.

Plus récemment, la tolérance de l'iode stable moléculaire ou sous forme d'iodures a été étudiée chez 33 sujets en bonne santé âgés de 20 à 31 ans. [68]

Le statut thyroïdien de sujets ayant ingéré une dose unique d'iode stable (comprise entre 0,7 et 70mg) a été comparé à celui de témoins. Aucune différence n'a été observée entre les deux groupes.

La prise répétée d'iode durant 14 jours (doses inférieures ou égales à 70 mg par jour) conduisait à une hypothyroïdie biologique (légère baisse de la T<sub>4</sub> et augmentation de la Thyro-Stimulating-Hormone (TSH)).

## ii. Produits de contraste iodés (PCI)

L'impact des PCI sur la fonction thyroïdienne est connu depuis longtemps. [69, 70] L'iode des PCI n'est pas directement utilisable par la thyroïde car il est couplé à une molécule organique. Mais celle-ci peut être stockée puis désiodée secondairement, contribuant ainsi au pool d'iode stable. Par ailleurs, tout PCI contient une fraction libre d'iode, de l'ordre de 1,4 mg pour 150 ml. Cette dose est suffisante pour induire un blocage partiel et immédiat du captage thyroïdien en scintigraphie chez des patients sans pathologie thyroïdienne sous-jacente. [71]

Steidle et al ont réalisé une étude rétrospective à partir des dossiers de 663 patients souffrant d'hyperthyroïdie et résidant dans une zone de déficit iodé (Tübingen, Allemagne) pour en identifier les causes possibles. [72] Parmi eux, 13%, soit 89 patients dont 21 hommes et 68 femmes, avaient subi un examen radiologique par PCI qui pouvait être de manière très probable à l'origine de l'hyperthyroïdie.

Chez les femmes, l'âge de survenue de ces hyperthyroïdies potentiellement induites par les PCI se situait entre 40 et 50 ans, alors qu'il était de 50 à 60 ans chez les hommes. Dans une étude prospective sur 119 patients sans manifestation clinique d'hyperthyroïdie ayant subi un examen radiologique avec PCI, 13,9% (15 patients) d'entre eux ont exprimé une hyperthyroïdie iodo-induite clinique ou biologique à 28 jours. La distribution par sexe entre les malades et non malades n'était pas différente. [72]

Une étude réalisée en Australie chez 1 386 patients hospitalisés en gériatrie a montré une hyperthyroïdie biologique chez 28 d'entre eux, soit une prévalence de 2%. [73]

Parmi eux, 7 hyperthyroïdies (soit 25%) ont été reliées à un examen radiologique par PCI ayant eu lieu dans les semaines précédant l'étude. Ces patients, 6 femmes et 1 homme, avaient plus de 70 ans. L'incidence des hyperthyroïdies iodo-induites secondaires à l'utilisation de PCI a été estimée à 0,55% dans cette population âgée. Un des patients atteints d'hyperthyroïdie iodo-induite a développé une fibrillation auriculaire.

Nolte et al se sont intéressés à la prévention des hyperthyroïdies iodo induites chez les patients euthyroïdiens présentant des nodules thyroïdiens autonomes. [74] La TSH a été mesurée chez 1 177 patients allemands âgés de 40 à 75 ans consultant pour une coronarographie : 51 entre 46 et 75 ans présentaient une autonomie sans hyperthyroïdie (TSH basse isolée). La prévalence de l'hyperthyroïdie dans cette population était de 1,7%. Suite à la coronarographie, une hyperthyroïdie modérée est apparue chez 4 patients sur 51, dont 2 seulement avec d'autres signes cliniques, soit une incidence de 3,9%.

Une autre étude prospective a été menée en Allemagne chez 788 patients (84% d'hommes, moyenne d'âge des sujets 55 +/- 7,4 ans) devant subir une coronarographie et n'ayant pas eu un apport d'iode médicamenteux et euthyroïdien avant l'examen radiologique. [75] Dans les 28 jours suivant la coronarographie, 2 cas d'hyperthyroïdie iodo-induites ont été observés chez des hommes de 55 et 68 ans respectivement, soit une incidence de 0,25%. Par ailleurs, 8 hypothyroïdies induites (dont au moins 6 transitoires) ont été observées.

### iii. Prophylaxie du goitre endémique

L'incidence de l'hyperthyroïdie iodo-induite a été évaluée lors de campagnes de supplémentation d'iode.

En avril 1966, en Tasmanie, une iodation systématique du pain a permis d'amener les apports quotidiens en iode à 130 µg. L'année suivante, une épidémie d'hyperthyroïdies a été enregistrée. Dans le nord du pays, l'incidence brute annuelle est passée de 13 pour 100 000 avant la supplémentation à 35 après. L'augmentation d'incidence était surtout importante chez les plus de 50 ans (de 15 à 80 pour 100 000 entre 1960 et 1967) et chez les hommes. Peu de cas d'hyperthyroïdies avaient été observés. [76]

En Suisse, l'estimation de l'incidence des hyperthyroïdies a été faite sur une population de 109 000 personnes afin d'évaluer les effets d'une campagne d'iodation du sel effectuée en 1980 pour augmenter les apports de 75 µg à 150 µg par jour (environ 55 mg d'iode par an). La même année, une augmentation temporaire de l'incidence des hyperthyroïdies de l'ordre de 27 % a été observée par rapport à 1978-1979. Les années suivantes, une diminution de l'incidence des hyperthyroïdies a été constatée. [77]

L'Autriche a décidé, en 1990, de doubler la supplémentation iodée du sel de table : la dose annuelle moyenne d'iode par habitant est passée de 36,5 mg à 73 mg. L'incidence des hyperthyroïdies cliniques et subcliniques est passée de 70,1 avant l'augmentation de la supplémentation à 108 pour 100 000 en 1992, puis elle a diminué progressivement. [78] L'hyperthyroïdie iodo-induite était plus importante chez les hommes âgés de plus de 70 ans.

Au total, les résultats de ces études sont convergents et montrent qu'il existe, après l'induction d'iode dans l'alimentation, une augmentation de l'incidence des hyperthyroïdies dans l'année ou les deux années qui suivent. Elle est surtout marquée pour les personnes âgées et chez les hommes.

### iv. Emploi du Lipiodol®

Une étude a été réalisée en Nouvelle-Guinée au début des années 1960 sur 7 881 personnes âgées de moins de 50 ans et ne présentant pas de goitre ou seulement un goitre modéré. La moitié de cette population a reçu une ou plusieurs injections de Lipiodol® en intramusculaire. Ce médicament est un produit de contraste iodé non hydrosoluble utilisé dans la prévention des troubles liés à une carence en iode lorsqu'une autre méthode de supplémentation est impossible. Les autres personnes ont reçu un placebo. Un examen clinique a été effectué plusieurs mois et plusieurs années après l'injection et n'a pas montré de différence significative d'incidence des hyperthyroïdies. [79] Cependant, les méthodes d'examen n'étaient pas standardisées entre les 2 groupes.

Dans une zone d'endémie goitreuse en Malaisie, 240 personnes âgées de plus de 4 ans ont été suivies avant et après injection de Lipiodol®. [80] Le statut thyroïdien a été évalué cliniquement et biologiquement (pour 100 personnes). Au bout de deux ans, une hyperthyroïdie clinique et biologique a été détectée chez 8 personnes, 6 femmes et 2 hommes, âgés de 24 à 60 ans. L'incidence de l'hyperthyroïdie iodo-induite peut être estimée à 1,6 % dans cette étude.

Dans une autre région d'endémie goitreuse, au Brésil, 1876 personnes présentant un goitre ont été suivies durant cinq ans après une injection d'une dose de Lipiodol® contenant 475 mg d'iode. Le nombre de perdus de vue a été important. Au total, 8 hyperthyroïdies iodo-induites ont été observées chez 6 femmes et 2 hommes, âgés de 49 à 68 ans et présentant initialement un goitre multinodulaire. L'incidence de l'hyperthyroïdie iodo-induite à 6 mois peut être estimée à 4,3 ‰. [81]

Dans une région de forte endémie goitreuse (85%), au Soudan, 117 sujets porteurs d'un goitre âgés de 15 à 35 ans ont été suivis pendant 1 an après l'administration orale de Lipiodol®. [82] Trois sous-groupes ont été constitués, en fonction de la dose administrée : 200 mg pour le groupe A, 400 pour le groupe B et 800 pour le groupe C. Le statut thyroïdien de tous les sujets a été évalué avant l'administration de Lipiodol®. Une semaine après l'ingestion, une baisse de la TSH a été observée, plus rapide dans le groupe A ; dans les autres groupes, elle n'a été constatée qu'après 6 semaines. Une augmentation de la TSH a aussi été observée chez un sujet du groupe A, 3 du groupe B et 10 du groupe C, ce qui est compatible avec une hypothyroïdie iodo-induite « dose-dépendante ».

Par ailleurs, 4 femmes de 19 à 35 ans (3 du groupe 800 mg et 1 du groupe 200 mg) ont développé une hyperthyroïdie biologique sans signe clinique dans les 3 mois, soit une incidence de 3,4 %. La population de l'étude était jeune et donc à moindre risque d'hyperthyroïdie iodo-induite.

#### v. Expérience polonaise de distribution de masse d'iodure de potassium

Après la catastrophe de Tchernobyl, une distribution massive d'iode stable a été effectuée en Pologne pour éviter des doses à la thyroïde de plus de 50 mGy pour les enfants de moins de 16 ans. Cette prophylaxie n'a pas été recommandée pour les adultes, à l'exception des femmes enceintes ou qui allaitaient un nourrisson. [83]

Néanmoins, de nombreux adultes ont ingéré de l'iode stable. Une étude rétrospective conduite entre 1987 et 1990 auprès d'un échantillon d'environ 5 000 adultes n'a pas montré de troubles thyroïdiens, à l'exception de quelques cas d'hyperthyroïdie déclenchés chez des patients atteints au préalable d'une maladie de Basedow.

#### e. Discussion sur la quantification des risques d'effets secondaires liés à l'ingestion d'iode stable

Les études disponibles sur la tolérance de l'iode stable montrent de façon très cohérente qu'un apport d'iode stable, quelles que soient ses modalités, est susceptible de conduire à des hyperthyroïdies iodo-induites cliniques ou biologiques.

Ces études conduisent à une fourchette d'incidence d'hyperthyroïdie iodo-induite assez large, probablement parce que les populations sont peu comparables d'une étude à l'autre et les modalités d'apport d'iode stable très différentes (Lipiodol®, produits de contraste iodé, supplémentation alimentaire, etc.).

Le risque de cette hyperthyroïdie iodo-induite augmente avec l'âge et en présence de pathologies thyroïdiennes sous-jacentes.

L'étude mise en œuvre quelques mois après la distribution massive d'iode stable en Pologne n'a pas montré de troubles thyroïdiens iodo-induits permanents, en dehors de la réactivation d'hyperthyroïdies chez des patients porteurs d'une maladie de Basedow. En raison de son caractère rétrospectif et de sa taille limitée, cette étude reste néanmoins peu informative sur les troubles qui auraient pu se produire.

En dehors de l'étude effectuée en Pologne [83] aucune des circonstances de prise d'iode stable passées en revue précédemment ne correspond précisément à une prophylaxie par l'iode stable. Cependant, les tests de réplétion iodée et les examens par PCI s'en rapprochent car il s'agit d'une surcharge ponctuelle d'iode.

Dans ces circonstances, les études publiées indiquent des taux d'incidence d'hyperthyroïdie iodo-induite variant entre 2,5 ‰ et 13,9 %. Les taux les plus élevés ont été observés dans des populations où la prévalence de troubles thyroïdiens avant l'examen était élevée. [67, 72] L'incidence de 2,5 ‰ constatée après coronarographie de patients atteints de maladie coronarienne, est plus intéressante car elle a été observée dans une étude prospective sur une population de relativement grande taille dans laquelle la présence de troubles thyroïdiens avait été écartée. [75]

Ces études portant sur des populations sélectionnées pour raisons médicales, leurs résultats paraissent difficilement extrapolables à la population générale.

Concernant la supplémentation iodée alimentaire, les résultats de l'étude sur la population autrichienne paraissent extrapolables à la population française, les apports alimentaires d'iode de ces deux populations étant similaires. [78] Cette étude indique un excès de risque relatif d'hyperthyroïdie d'environ 50 % après supplémentation en iode.

L'étude réalisée en Tasmanie [76] fournit des estimations de risque d'hyperthyroïdie plus élevées que l'étude réalisée en Autriche [78]. Cela pourrait être lié à des apports d'iode, avant la mise en œuvre de la campagne de supplémentation, plus faibles que dans la population autrichienne.

#### 4. Allergie à l'iode, un faux problème

La question de l'allergie à l'iode est souvent soulevée à la suite d'une réaction aux produits de contraste radiologique, aux fruits de mer ou encore au désinfectants cutanés contenant de l'iode (Betadine® principalement).

Les personnes présentant une réaction suite à la consommation ou l'utilisation de ces précédent produits, puisent leur iode dans la nourriture sans réaction indésirable. L'iode étant un bioélément indispensable à la vie, ce n'est donc pas une allergie à l'iode.

Cette expression courante « allergie à l'iode » est à bannir.

Les allergènes incriminés pour les médicaments iodés sont difficilement identifiés, à l'exception de la Betadine® pour laquelle c'est la povidone qui est en cause. Pour les fruits de mer, ce sont les protéines musculaires qui sont responsables.

On sait également qu'il n'y a pas de réactivité croisée : si une allergie est connue chez un patient pour un produit de contraste radiologique iodé, il n'y aura pas de contre-indication pour l'application de Betadine® ni pour l'administration de Iodure de Potassium. Enfin, une allergie aux fruits de mer ne contre indique pas la prescription de médicaments iodés. [84]

## Partie IV

La mise à disposition d'iode stable en France

# I. Historique de la mise à disposition d'iode stable en France

## 1. L'accident de Tchernobyl

La catastrophe de Tchernobyl est un accident nucléaire qui débuta le 26 avril 1986 dans la centrale nucléaire Lénine située en Ukraine en URSS à l'époque.

C'est le réacteur n°4 qui augmenta de puissance de manière incontrôlée, provoquant un dysfonctionnement du circuit de refroidissement. S'en suit alors une explosion avec une libération importante d'éléments radioactifs dans l'atmosphère.

Le nuage radioactif a atteint la France le 29 avril 1986 soit 3 jours après le début de la catastrophe de Tchernobyl. [85]

## 2. 1987, l'accident de Tchernobyl et ses conséquences [86]

Lors du passage du nuage de Tchernobyl en France, il n'a pas été conseillé à la population française d'ingérer des comprimés d'iode stable. La radioactivité ambiante était inférieure aux limites recommandées par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR).

De plus, il n'existait pas à l'époque de stocks de comprimés d'iode suffisant pour envisager une distribution de masse. Seule la Pharmacie Centrale des Armées possédait, pour ses propres besoins, de l'iode stable sous une forme pharmaceutique facile d'emploi. Par ailleurs, les solutions de Lugol présentes sur le marché étaient elles aussi incompatibles avec une délivrance de masse quasi-immédiate.

La circulaire de la Direction Générale de la Santé (DGS) du 29 septembre 1987 relative à l'organisation des soins médicaux en cas d'accident nucléaire, précise que l'administration d'iode stable est prévue comme mesure préventive immédiate et doit être effectuée dans les heures qui suivent l'accident. Elle doit tenir compte des niveaux d'intervention en vigueur : en dessous de 50 mSv à la thyroïde, l'administration d'iode stable n'est pas justifiée ; au-dessus de 500 mSv à la thyroïde, l'administration d'iode stable est fortement recommandée ; dans l'intervalle, la décision revient aux autorités sanitaires. Elle prévoit que les stocks d'iode soient constitués dans les pharmacies hospitalières.

En 1988, un groupe de travail composé de la Direction des Hôpitaux, la CIPR, la Direction de la Pharmacie et du Médicament, la Direction Générale de la Santé, a codifié le cadre d'emploi de l'iode stable. Dans le cas d'accident survenant sur le territoire national, il s'agira de protéger la population contre le passage du nuage radioactif par une prise unique d'iode. S'il s'agit d'une protection vis-à-vis d'un nuage à l'échelon mondial, la prolongation du traitement pourra être envisagée. Les stocks seraient positionnés dans les pharmacies hospitalières civiles ou militaires, autour des installations nucléaires.

En cas d'urgence, le principe de la distribution serait décidé par les autorités sanitaires et la mise en œuvre serait assurée par les services de la protection civile, dans le cadre du Plan Particulier d'Intervention (PPI) de l'installation.

3. Circulaire DGS n° 1561 du 16 octobre 1989 relative à l'information sur l'administration d'iode stable à la population en cas d'accident nucléaire [87]

Cette circulaire reprend les idées précédentes :

- La décision de mise en œuvre de la distribution d'iode stable appartient aux autorités sanitaires et repose sur l'évaluation du risque qui incombe au Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants (SCPRI) ; cet organisme s'appelait l'Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants (OPRI) de 1994 à 2001, actuellement l'IRSN depuis 2001 ;
- Les doses d'iode stable recommandées sont de 100mg pour l'adulte, 50mg pour les enfants de moins de 13 ans et 25mg pour les nourrissons de moins de 18 mois ;
- Dans le cas du passage isolé d'un nuage radioactif, une prise unique suffirait. En cas d'exposition prolongée, l'administration d'iode stable pourrait être renouvelée à raison de une prise par jour pendant quelques jours ;
- Les effets indésirables de l'iode sont assez rares. Une surveillance de la fonction thyroïdienne devra être réalisée chez les nouveau-nés de femmes ayant reçu de l'iode au cours du dernier trimestre de grossesse, ainsi que chez les nouveau-nés ayant reçu de l'iode ;
- La forme et les modalités d'administration d'iode stable ne sont pas encore uniformisées.

4. Suites données à la circulaire de 1989

La Pharmacie Centrale des Armées fournit les comprimés nécessaires à la constitution des stocks avec un conditionnement sous forme de blisters. Le Haut Fonctionnaire de la Défense assure le financement de la fabrication.

Les stocks sont répartis dans les centrales nucléaires, dans les centres de retraitement du combustible nucléaire, dans les pharmacies militaires et enfin une réserve nationale est constituée à l'OPRI actuellement l'IRSN.

En cas d'accident, les stocks sont regroupés en un point central puis sont acheminés au porte à porte vers la population par les associations de secouristes.

5. Circulaire du 18 août 1992 relative à l'administration d'iode stable en cas d'accident nucléaire [88]

Cette circulaire précise que la décision de distribution aux populations est prise par le Préfet, après avis de l'OPRI actuellement l'IRSN. La décision repose sur l'évaluation du risque sanitaire.

## 6. Remise en cause des modalités pratiques de distribution proposées dans la circulaire du 18 août 1992

Deux points principaux sont évoqués dans cette circulaire suite à la demande de certains Préfets:

- Certains départements indiquent qu'ils ne leur seraient pas possible d'avoir recours à des secouristes pour effectuer la distribution car ils sont inexistantes ou trop peu nombreux ;
- Certains Préfets souhaitent une répartition plus délocalisée du stock d'iode pour faciliter la gestion de l'accident.

Le principe d'une distribution préalable a alors été évoqué, en avançant l'intérêt majeur de distribuer l'iode en urgence, dans les heures suivant l'accident. Or la réalisation effective de la distribution dans les délais nécessaires ne paraît pas être maîtrisée. Il est alors décidé de réaliser un exercice de distribution préalable d'iode autour de quatre sites pilotes (Fessenheim, Saint-Alban, Chooz et Golfech). Cette distribution s'est effectuée selon trois modes de distribution : envoi postal de comprimés à chaque foyer, distribution à domicile par des secouristes, retrait en pharmacie grâce à un bon envoyé par la préfecture. Ces tests ont montré qu'il était possible de procéder à une distribution préventive auprès de la population sans provoquer de nouvelles craintes vis-à-vis du risque nucléaire.

Beaucoup d'étapes restent à franchir pour pouvoir avoir les moyens de mettre en œuvre une distribution préventive généralisée :

- Les comprimés d'iode obtiennent le statut de médicament ;
- De nouveaux comprimés sont fabriqués par la Pharmacie Centrale des Armées (PCA). Comme les comprimés d'iode sont devenus des médicaments, la PCA doit obtenir le statut d'établissement pharmaceutique ;
- En 1997, une Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) est délivrée pour les comprimés d'iode, avec une durée de conservation fixée à 3 ans.

## II. La distribution préventive

EDF, en tant qu'exploitant des centrales nucléaires, est responsable de la sûreté de son installation et doit en assurer le bon fonctionnement. L'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) contrôle le respect de la réglementation par l'exploitant et procède à des inspections régulières. Si tous les moyens techniques, organisationnels et humains sont mis en œuvre pour prévenir un accident, le devoir des pouvoirs publics est néanmoins d'envisager une telle éventualité. Si un accident survient, les actions de protection, comme la prise de comprimés d'iode, sont décidées par le préfet agissant en qualité de directeur des opérations de secours.

### 1. Instruction et circulaire de 1997

- a. Instruction du Premier Ministre du 10 avril 1997 relative à la distribution préventive et au stockage d'iode stable destinés aux populations voisines des installations nucléaires [89]

Cette circulaire rappelle que la prise préventive de comprimés d'iode stable permet de saturer la glande thyroïde et prévient les risques de cancer, en cas de rejet d'iode radioactif.

Les effets indésirables liés sont peu fréquents et réversibles. Les contre-indications sont très rares.

Ces deux mentions permettent de lever les réticences des professionnels de santé quant à leur rôle dans la distribution de l'iode stable à la population.

- b. Circulaire du 30 avril 1997 relative à la distribution et la mise à disposition d'iode stable aux habitants voisins des installations nucléaires [90]

Les installations concernées par la distribution d'iode stable sont celles susceptibles de rejeter de l'iode radioactif en cas d'accident, donc faisant l'objet d'un PPI. Les installation concernée sont les centrales nucléaires EDF, les sites du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) ainsi que les installations de Orano Cycle. (Figure 23, Tableau VIII).

Orano Cycle est une entreprise française, anciennement Cogema, spécialisée dans les activités liées au cycle de l'Uranium : exploitation de mines, enrichissement, traitement et recyclage du combustible usé, assainissement et démantèlement d'installations.

Deux types d'installations ne sont pas soumises à cette circulaire : les installation militaires et la Hague.

Installation nucléaire	Département
<b>EDF</b>	
Belleville	Cher
Le Bugey	Ain
Cattenom	Moselle
Chinon	Indre-et-Loire
Chooz	Ardennes
Civaux	Vienne
Cruas	Ardènes
Dampierre	Loiret
Fessenheim	Haut-Rhin
Flamanville	Manche
Golfech	Tarn-et-Garonne
Gravelines	Nord
Le Blayais	Gironde
Nogent	Aube
Paluel	Seine Maritime
Penly	Seine Maritime
Saint Alban	Isère
Saint Laurent	Loir-et-Cher
Tricastin	Drôme
<b>CEA</b>	
Cadarache	Bouche-du-Rhône
Saclay	Essone
<b>Orano Cycle</b>	
La Hague	Manche
Marcoule	Gard

*Tableau VIII : Liste des installations nucléaires civiles autour desquelles ont été prédistribués des comprimés d'iode stable à la population sur les zones définies par les PPI [90]*



*Figure 23 : Carte des installations nucléaires autour desquelles ont été distribués des comprimés d'iode à la population dans les rayons définis par les PPI [91]*

Le principe de la distribution tient compte des périmètres définis par les PPI. Pour les centrales nucléaires, ces rayons sont de 5 et 10 km. Dans le périmètre le plus proche (5 km autour de la centrale), la distribution consiste en une remise des comprimés à chaque foyer et en la constitution de stocks complémentaires dans les établissements publics (établissements scolaires, mairies, établissements de soin) et dans les entreprises.

Les pharmaciens d'officine ont également des comprimés d'iode qui sont gratuitement mis à disposition des habitants. Dans le second périmètre (entre 5 et 10 km autour de la centrale), les habitants ont la possibilité de s'approvisionner gratuitement dans leur pharmacie de leur propre initiative.

Une campagne d'information est menée pour inviter la population à venir retirer ses comprimés. Des stocks complémentaires sont également constitués dans ce second périmètre. Au-delà des périmètres d'intervention des PPI, les comprimés sont en vente sans ordonnance dans les pharmacies. Des stocks sont aussi constitués dans les hôpitaux.

La distribution est prise en charge par un comité de pilotage créé à l'initiative du Préfet. Ce comité est composé de l'ARS (anciennement DDASS et DRASS), du Service d'Aide Médicale Urgente (SAMU), des sapeurs-pompiers, de représentants de l'Ordre des Médecins et des Pharmaciens, des représentants de l'exploitant, des maires et des représentants de la Commission Locale d'Information (CLI). Le financement de la distribution est assuré par les exploitants.

Les trois modes de distribution testés sur les sites pilotes (envoi des comprimés par la poste, distribution au porte à porte par des secouristes volontaires, envoi de bons de retraits par les préfectures invitant chaque habitant à venir retirer ses comprimés en pharmacie avec ce bon) sont repris dans cette circulaire. Il est laissé au Préfet le choix de la méthode de distribution. Cependant, l'envoi de bons de retraits est la méthode la plus conforme au Code de la Santé Publique car c'est seulement dans les pharmacies d'officine ou d'établissements que l'on procède à la dispensation des médicaments. C'est cette méthode qui a été retenue par le Préfet de la Vienne concernant la centrale nucléaire de Civaux.

La population est conviée à présenter le bon de retrait (Figure 24) dans l'une des pharmacies présente dans le PPI concerné.

La méthode d'envoi de bons de retraits est aussi une méthode qui permet à la population de retenir plus facilement sur le long terme où ont été rangés les comprimés retirés en pharmacie. Cette méthode responsabilise plus les habitants des PPI.

La méthode de la distribution par des secouristes volontaires a contrario, est moins fiable du fait que la population a plus tendance à oublier où sont rangés les comprimés.

La boîte de comprimés d'iode donnée est accompagnée d'une notice explicative, contenant les principales informations nécessaires à la bonne prise en cas d'accident. (Annexe 1)

La durée de validité des comprimés est de 3 ans. Au-delà de cette date, les personnes détenant les comprimés d'iode devront venir les échanger chez leur pharmacien par de nouveaux comprimés.

La commune de Chauvigny est concernée par le PPI de rayon 5 km. Or, la ville qui compte plus de 5 000 habitants, est située à 13 km de la centrale de Civaux. Compte tenu de cette configuration du secteur, il est décidé que toutes les communes dont une partie du territoire est coupée, fera l'objet de la redistribution.

Enfin ce sont les opérateurs (EDF, CEA ETC) qui financent les comprimés et la campagne qui va avec (rétribution des pharmaciens comprise).

Une information spécifique est donnée aux maires, pharmaciens, médecins et enseignants qui constituent un relais d'information important auprès du grand public. Une campagne d'information en direction des foyers est réalisée grâce à des affichages dans les officines, les cabinets médicaux, les bulletins municipaux afin de sensibiliser la population sur l'intérêt de la prise d'iode stable. Enfin, une campagne d'information plus générale est conduite pour l'ensemble de la population.



## 2. 2000 : Renouvellement des comprimés d'iode

En 1997, les comprimés d'iode ont acquis le statut de médicament. Leur durée de validité a été fixée à 3 ans, sur la base d'un dossier de demande d'AMM fourni par la PCA (durée réglementaire pour une première mise sur le marché). Puis, à la suite d'un nouveau dépôt de dossier par la PCA, l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé (AFSSAPS) a accepté de porter la durée de conservation à 5 ans. Les comprimés distribués en 1997 pouvaient donc être gardés 2 ans supplémentaires.

Cependant, pour prévenir des problèmes de communication auprès des populations possédant des boîtes de comprimés sur lesquelles étaient inscrites des dates de péremption dépassées, le principe de la redistribution a été maintenu. De plus, une redistribution permet de relancer une campagne nationale d'information en vue d'obtenir une couverture d'un nombre maximal de foyers.

- a. Circulaire interministérielle du 11 avril 2000 pour le renouvellement des comprimés d'iode aux habitants voisins des installations nucléaires [93]

Ce texte annonce aux Préfets qu'ils vont devoir mettre en œuvre une nouvelle campagne de distribution de comprimés d'iode selon les modalités de la circulaire du 30 avril 1997, qui restent valables.

Il rappelle que ce sont les enfants et les adolescents qui tirent le plus profit de l'absorption de comprimés d'iode et du point de vue opérationnel, il indique que les stocks dans les établissements scolaires ainsi que l'information des enseignants sont essentiels.

Enfin, il est également rappelé que des comprimés sont en vente libre dans les pharmacies pour toute la population qui en éprouverait le besoin, au-delà du périmètre de la distribution gratuite.

- b. Circulaire DGS du 17 mai 2000 relative aux missions des services déconcentrés du ministère de l'emploi et de la solidarité en matière de distribution de comprimés d'iode [94]

Elle met en avant que cette nouvelle distribution est surtout l'occasion de faire une nouvelle campagne d'information nationale sur les comprimés d'iode afin d'obtenir un taux de couverture de la population satisfaisant.

Elle indique l'attitude à avoir dans la phase transitoire où les nouveaux comprimés n'ont pas été distribués. Il doit être conseillé à la population de conserver ses anciens comprimés.

Elle rappelle les missions des différents services déconcentrés.

Trois mois après la campagne de distribution, une évaluation du taux de couverture doit être réalisée pour mesurer l'efficacité des actions entreprises : les bons reçus en pharmacie doivent être collectés et comptabilisés.

Un mois après le début de la campagne, une relance de la campagne d'information doit avoir lieu si le taux de couverture est trop faible.

Enfin, elle fixe 3 tâches pour le comité de suivi formé à la fin de la distribution : faire le bilan de la campagne de distribution, assurer le maintien de l'information des populations, faire des propositions pour la prochaine distribution des comprimés d'iode dans 5 ans.

### 3. Circulaire 14 novembre 2001 relative à la distribution préventive de comprimés d'iode stable et à la constitution de stocks de proximité [95]

Cette circulaire précise la nécessité de poursuivre la distribution préventive engagée en 2000 dans le périmètre défini par le PPI. En effet, le bilan de la distribution réalisée en 2000 indique des disparités importantes des taux de couverture selon les départements.

En complément du retrait des comprimés dans les officines (méthode de distribution retenue jusque-là), d'autres modes de distribution doivent donc être mis en œuvre :

- Une distribution directe des comprimés d'iode dans les officines, gratuitement, sans bon de retrait; ce moyen nécessite une très forte mobilisation des pharmaciens d'officine. Dans ce cas, il est difficile d'évaluer le nombre de boîtes retirées. Il faut donc photocopier des bons de retrait vierges et les faire remplir lors du retrait ;
- Une distribution au porte à porte, effectuée dans des enveloppes fermées et nominatives.

Pour améliorer l'efficacité du système de mise à disposition par bon de retrait en pharmacie, il est demandé aux pharmaciens d'enregistrer les personnes ayant retiré leur boîte de comprimés. Ils pourront ainsi proposer une boîte de comprimés d'iode aux personnes n'en n'ayant pas encore retirée lors de leur passage en officine.

Comme pour les distributions précédentes, il est nécessaire qu'une campagne d'information soit mise en œuvre.

Il est rappelé que ce sont les enfants, les jeunes adultes et les femmes enceintes qui sont les principaux bénéficiaires de l'ingestion des comprimés d'iode en cas d'exposition à de l'iode radioactif. Les boîtes d'iode déposées dans les crèches, écoles, maternités doivent être vérifiées par des services compétents (ARS, inspection de l'académie), ainsi que le niveau d'information des responsables de ces établissements.

Cette circulaire définit également deux groupes de départements au-delà des zones PPI pour la constitution de stocks ; ceci est nouveau car auparavant, les comprimés étaient essentiellement présents dans un périmètre de 10 km autour d'une centrale.

*Dans les départements du groupe I, des stocks de première proximité doivent être constitués en dehors de la zone couverte par le PPI afin de pouvoir prescrire l'ingestion de comprimés d'iode aux populations jeunes. Le niveau d'intervention pour la prise d'iode a été fixé à 100 mSv à la thyroïde mais pour les enfants et les adolescents, la prise de comprimés doit se faire pour des valeurs inférieures à 100 mSv.*

Ces stocks concernent les départements où sont installées les centrales nucléaires mais aussi les départements situés à proximité. Les préfets de ces départements doivent établir un « plan de gestion des stocks de proximité ». Pour cela, ils doivent à la fois sélectionner les établissements autorisés à détenir les médicaments, mais aussi identifier les moyens de distribution à réquisitionner en situation d'urgence pour permettre une distribution rapide vers les établissements où séjournent les populations prioritaires. Les stocks sont élaborés sur la base de la population recensée et du nombre de personnes de moins de 25 ans.

Trois types de lieux ont été retenus pour la constitution des stocks : les grossistes répartiteurs qui peuvent approvisionner rapidement les pharmacies d'officine, les établissements de soins publics, privés ou relevant du ministère de la défense et enfin les pharmacies à usage intérieur des services départementaux d'incendie et de secours.

Dans les autres départements, c'est-à-dire ceux du groupe II (départements éloignés des centrales nucléaires), des réserves doivent être constituées. Ce sont les grossistes répartiteurs qui détiendront les stocks et qui distribueront les comprimés aux officines. Les comprimés sont pris en charge financièrement pas l'État.

Les stocks sont constitués en plusieurs étapes [96]. Une première livraison de 1 million de boîtes de 10 comprimés (soit 10 millions de comprimés), concerne les départements sièges des installations nucléaires, ainsi que plusieurs départements limitrophes très proches d'une installation nucléaire soit 34 départements français. La Nouvelle Aquitaine s'est vue dotée de 92 000 boîtes de 10 comprimés d'iode. (Tableau IX)

N°	Département	Population générale	Population de 0 à 24ans	Nb de boîte de 10 comprimés
17	Charente Maritime	557 389	151 416	19 400
33	Gironde	1 287 532	391 522	47 300
47	Lot et Garonne	305 396	81 808	10 500
86	Vienne	399 130	123 305	14 800
<b>Total</b>		<b>2 549 447</b>	<b>748 051</b>	<b>92 000</b>

Tableau IX : Répartition des boîtes de comprimés pour les départements de la Nouvelle Aquitaine siège ou limitrophe d'une installation nucléaire (1<sup>ère</sup> répartition) en 2000 [96]

Par la suite, une seconde livraison de 5 millions de boîtes, (soit 50 millions de comprimés), permettra de compléter les stocks de proximité des départements sièges et limitrophes des installations nucléaires, de constituer les stocks de proximité des autres départements proches (Tableau X) puis de réaliser les stocks de réserve des départements éloignés (Tableau XI).

N°	Département groupe I	Population générale	Population de 0 à 24ans	Nb boîtes pour la 1 <sup>ère</sup> répartition	Nb boîtes pour les autres répartitions	Nb boîtes de 10 comprimés final
16	Charente	389 544	93 578	0	36 800	30 800
17	Charente Maritime	557 389	151 416	19 400	40 900	60 300
24	Dordogne	388 385	95 383	0	40 200	40 200
33	Gironde	1 287 532	391 522	47 300	99 900	147 200
40	Landes	327 443	84 979	0	34 700	34 700
47	Lot et Garonne	305 396	81 808	10 500	22 300	32 800
79	Deux Sèvres	344 390	97 701	0	38 100	38 100
86	Vienne	399 130	123 305	14 800	31 200	46 000
87	Haute-Vienne	353 828	94 797	0	38 100	38 100
<b>Total</b>		<b>4 353 037</b>	<b>1 214 489</b>	<b>92 000</b>	<b>342 000</b>	<b>468 200</b>

Tableau X : Répartition des boîtes de comprimés pour les départements de la Nouvelle Aquitaine du groupe I [96]

N°	Département du groupe II	Population générale	Nb de boîte de 10 comprimés
19	Corrèze	232 484	13 400
23	Creuse	124 482	7 200
64	Pyrénées Atlantiques	600 197	34 600
<b>Total</b>		957 163	55 200

*Tableau XI : Répartition des boîtes pour la constitution des stocks de réserve dans les départements éloignés de la Nouvelle Aquitaine (groupe II) [96]*

Pour les départements du groupe I, le nombre de boîtes est déterminé en fonction de la population générale du département par rapport à la population totale en France et du nombre de personnes de 0 à 24 ans du département par rapport au nombre total de personnes de 0 à 24 ans en France.

Les départements du groupe II voient leur nombre de boîtes déterminé par la population du département.

Ces nombres sont arrondis à la première centaine afin de faciliter la constitution des colis.

4. Circulaire du 23 décembre 2002 relative à la distribution préventive et aux plans de gestion des stocks de comprimés d'iode [97]

a. Plan de gestion des stocks de proximité : départements du groupe I

i. Définir les lieux de stockage :

L'objectif est de couvrir l'ensemble de la population du département.

Plusieurs lieux de stockage sont retenus :

- Des stocks concentrés dans les établissements autorisés à détenir des médicaments (hôpitaux, établissements sanitaires, pharmacies intérieures des Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS), grossistes) et mobilisables 24 heures sur 24 en cas de force majeure. Ils doivent accepter de détenir des comprimés d'iode mais aussi être correctement répartis sur l'ensemble de la population du département ;
- Des stocks éclatés près du lieu de séjour de la population jeune.

Pour chaque lieu de stockage, il faut :

- Identifier la personne responsable de la gestion des stocks : il s'agit du pharmacien de l'établissement quand les stocks sont hébergés dans une pharmacie à usage intérieure, ou sinon d'un pharmacien volontaire ;
- Déterminer le mode de contact en urgence de l'établissement, disponible 24 heures sur 24 à l'aide d'une fiche interne à chaque officine avec toutes les coordonnées de l'équipe officinale ;
- Affecter à chaque stock la liste des lieux de mise à disposition desservis ;
- Répartir le nombre de comprimés sur chaque lieu de stockage en fonction de la population ciblée.

ii. Définir les lieux de mise à disposition

Ils doivent être connus par la population, activables 24 heures sur 24 et facilement accessibles (lieux où sont les populations jeunes: crèches, établissements d'enseignement..., les hôpitaux, les pharmacies d'officine, les cabinets médicaux, les bureaux de votes, les mairies, les casernes de pompiers...).

Pour chacun d'eux, il faut définir la procédure d'activation, la population qu'il dessert et le nombre de comprimés qu'il doit recevoir. Une personne doit être chargée de la distribution. Dans les lieux prioritaires, ce sont les enseignants ou les personnes encadrant les enfants qui vont être chargés de la distribution. Ils doivent donc être informés des conditions d'utilisation des comprimés et des posologies. Dans les lieux de mise à disposition pour la population générale, la remise des comprimés doit être accompagnée d'une information écrite. (Exemple de notice Annexe 1)

Dans les départements du groupe I, la mise à disposition doit être réalisée dans les quelques heures (moins de 12 heures) qui suivent le début des rejets radioactifs afin de préserver l'efficacité de la prise d'iode stable.

iii. Organiser la mobilisation des acteurs de la gestion de l'urgence et définir les modes d'alerte de la population

La décision de la mobilisation des stocks est prise par le Préfet, en coordination avec une cellule d'urgence au niveau national. Les comprimés sont tout d'abord acheminés vers les lieux de mise à disposition puis distribués en fonction du délai d'arrivée des rejets. Un seul comprimé par personne est distribué pour éviter les prises multiples. Dans le plan il doit être également prévu le schéma de diffusion de l'alerte pour mobiliser les équipes de gestion et les messages pour la population. Les lieux de mise à disposition ne sont pas dévoilés à la population à l'avance car les gens oublieraient ce lieu.

iv. Définir le mode d'acheminement en urgence des comprimés depuis les stocks vers la population

Le SDIS, la gendarmerie, les militaires, les grossistes répartiteurs, les médecins, les pharmaciens... acheminent les comprimés vers les établissements qui accueillent les jeunes et vers les points de distribution pour la population générale.

b. Plan de gestion des stocks de réserve : départements du groupe II.

Pour ces départements, les plans établis sont plus là pour répondre à la demande de la population et pour éviter l'effet de panique.

i. Définir les lieux de stockage :

Un seul lieu est retenu : les grossistes répartiteurs ou un établissement hospitalier. Il faut définir la personne responsable de la gestion du stock (un pharmacien) et le mode de contact en urgence.

ii. Définir les lieux de mise à disposition

Il s'agit des hôpitaux et des pharmacies d'officine. Il faut définir la procédure pour leur activation 24 heures sur 24, la personne chargée de la distribution, la population qu'ils desservent et le nombre de comprimés qu'ils doivent recevoir en urgence.

Ici, la mise à disposition des comprimés d'iode doit pouvoir être réalisée dans un délai de 24 heures par rapport au début des rejets.

iii. Définir le schéma d'alerte

La mobilisation des stocks doit être prise par le Préfet. L'information sur la possibilité de se procurer des comprimés d'iode doit être définie (télévision, radio...).

iv. Définir le mode d'acheminement en urgence

Les grossistes répartiteurs acheminent les comprimés vers les pharmacies d'officine ou hospitalière (délai de 24 heures). En cas de besoin, d'autres intervenants peuvent venir aider. En résumé, la répartition des comprimés d'iode en France diffère selon la zone géographique des localités.

Les zones à proximité des centrales doivent suivre le PPI, qui définit 2 périmètres :

- De 0 à 5 km autour d'une centrale, il a été décidé une remise de comprimés à chaque foyer selon différentes manières décidées par les Préfets (envoi des comprimés par la poste, distribution au porte à porte par des secouristes volontaires ou envoi à chaque foyer d'une lettre avec un bon invitant la population à venir retirer les comprimés en pharmacie) ;
- De De 5 à 10 km autour d'une centrale, des campagnes d'information ont été menées invitant les habitants à s'approvisionner gratuitement en comprimés d'iode dans leur pharmacie ;
- Au-delà de ces zones, les comprimés sont en vente sans ordonnance dans les pharmacies ;
- Dans le périmètre de 10 km autour de la centrale, des stocks d'iode sont constitués dans les lieux prioritaires : crèches, établissements scolaires, centre de vacances, établissements de santé.

Au-delà des zones couvertes par les PPI, deux groupes de départements ont été définis :

- Départements du groupe I dont la Vienne : constitution de stocks de première proximité afin de pouvoir prescrire l'ingestion de comprimés d'iode aux populations jeunes. Le stockage des comprimés se fait auprès des grossistes répartiteurs, des hôpitaux, des établissements sanitaires, mais surtout au plus près des lieux de séjour de la population jeune. Des lieux de mise à disposition des comprimés sont aussi définis : hôpitaux, pharmacies, bureaux de votes, mairie, casernes de pompiers, cabinets médicaux...
- Départements du groupe II (éloignés des installations nucléaires) : constitution de stocks de réserve pour répondre à la demande de la population et éviter l'effet de panique. Un seul lieu de stockage départemental est suffisant (grossiste répartiteur).

Les lieux de mise à disposition des comprimés à la population peuvent être les hôpitaux ou les officines.

Pour les 2 groupes, une procédure est établie pour acheminer les comprimés des lieux de stockage aux lieux de mise à disposition à la population. La distribution des comprimés d'iode s'accompagne d'une notice explicative afin d'informer la population sur la manière de prendre les comprimés.

c. Financement de l'opération :

La distribution des comprimés dans les zones couvertes par les PPI est entièrement financée par l'exploitant de l'installation nucléaire concernée par le PPI (fabrication, livraison et distribution des comprimés).

Le financement des stocks de proximité et de réserve constitués dans les départements est pris en charge sur le budget du ministère de la santé. La fabrication et le conditionnement des comprimés d'iode sont assurés par la PCA qui est aussi chargée d'assurer l'expédition vers chaque département en un point unique identifié par le Préfet. La livraison est réglée par les ARS qui doivent également financer les livraisons secondaires à l'intérieur du département vers les lieux définitifs de stockage.

5. Circulaire du DGSNR/DDSC DEP-SD7 n° 2005-46 du 8 février 2005 relative à la distribution préventive des comprimés d'iode stable [98]

Cette circulaire fait un bilan des différentes campagnes de distribution d'iode stable :

- 1997 : Première campagne de distribution, avec un comprimé ayant une durée de validité de 3 ans
- 2000 : Deuxième campagne de distribution, avec une péremption portée à 5 ans pour les comprimés d'iode stable. Mais, cette campagne comporte un faible taux de couverture de 54%.
- 2002 : Campagne complémentaire permettant de porter à 73% le taux de couverture.

Cette année, certains comprimés arrivent à leur date de péremption (Février 2005 pour la distribution de 2000). Une nouvelle campagne de distribution est donc lancée.

La PCA dépose un nouveau dossier d'AMM pour l'iode stable comportant une nouvelle durée de validité des comprimés d'iode de 7 ans.

La distribution d'iode stable par l'intermédiaire d'envoi de bon de retrait est retenue pour cette campagne, avec les mêmes modalités des précédentes campagnes : associer 2 dépliants d'information. L'un portant sur les comprimés d'iode, l'autre portant sur le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection de la centrale nucléaire située dans le voisinage du domicile.

Des objectifs de 90% de couverture sont fixés dans le rayon de 5 km des centrales nucléaires, et de 80% dans le reste du PPI.

Les contre-indications, la posologie et les modalités de délivrance sont également abordées.

L'utilité de la prophylaxie par l'iode stable pour les populations jeunes, d'âge inférieur à vingt ans est particulièrement soulignée.

Les exceptionnels cas d'hyperthyroïdie induits par l'administration d'iode n'ont été décrits que chez des patients âgés de plus de quarante ans. Au-delà de cet âge, le risque de cancers thyroïdiens radio induits n'est pas démontré. En conséquence, au-delà de quarante ans, l'analyse du rapport risque/bénéfice ne plaide pas en faveur d'une administration systématique d'iode stable en cas de contamination par des isotopes radioactifs de l'iode.

Concernant les contre-indications, on rappelle qu'il n'existe pas de véritable allergie à l'iode sous forme d'iodure de potassium. (Cf. Partie III)

Par ailleurs, en dehors de quelques pathologies immunologiques préexistantes rarissimes, et dont les patients sont le plus souvent informés, il n'existe pas en l'état actuel de nos connaissances de contre-indication à l'administration d'iodure de potassium avant l'âge de vingt ans ou chez la femme enceinte.

Une adaptation de la posologie est proposée pour tenir compte de la sensibilité de l'enfant de moins d'un mois et de son immaturité thyroïdienne :

- De 0 à 1 mois, 16 mg de iodure de potassium seront conseillés (1/4 comprimé) ;
- De 1 mois à 3 ans, 32 mg de iodure de potassium (1/2 comprimé) ;
- De 3 ans à 12 ans, 65mg de iodure de potassium (1 comprimé) ;
- Pour les adultes et plus de 12 ans, 130mg de iodure de potassium (2 comprimés).

La posologie préconisée chez l'enfant de moins d'un mois (16 mg) pourrait justifier la mise au point d'une nouvelle forme galénique permettant d'obtenir facilement cette posologie.

En fonction de la cinétique de l'accident, une 2ème prise peut se justifier. Il est cependant souhaitable d'en exclure la femme enceinte et l'enfant de moins d'un mois qui devront par conséquent faire l'objet d'une évacuation prioritaire.

Pour le suivi des populations ayant bénéficié de cette prophylaxie, une surveillance clinique par le médecin traitant est recommandée. Pour le cas du nouveau-né, il est préconisé d'effectuer le dosage de TSH et de T<sub>4</sub> libre, deux semaines après l'administration de l'iodure de potassium. Pour le cas de la femme enceinte et de l'enfant à naître, il est recommandé une surveillance échographique du fœtus jusqu'à la fin de la grossesse, puis un suivi du nouveau-né avec recherche de goitre et contrôle de la fonction thyroïdienne par le dosage de TSH et de T<sub>4</sub> libre.

La section de la radioprotection du conseil supérieur d'hygiène publique de France insiste sur l'importance de la logistique en cours de mise en place, pour la mise à disposition d'iode sur l'ensemble du territoire.

Elle préconise un rapprochement avec les pays européens, notamment frontaliers de la France, afin d'harmoniser les politiques de prophylaxie iodée et de favoriser ainsi la mise en œuvre de celle-ci.

Enfin, la section de la radioprotection du conseil supérieur d'hygiène publique de France recommande qu'un protocole d'évaluation épidémiologique soit établi par l'institut de veille sanitaire pour déterminer à l'avance les modalités de surveillance des populations ayant bénéficié de cette prophylaxie.

## 6. Les campagnes de distribution de 2009 et 2016 [99]

Ces campagnes débutent avec l'envoi par courriers de bons de retrait à tous les foyers se trouvant dans les 19 PPI de France.

Environ 400 000 foyers et 2 000 établissements recevant du public (hôtels, salles des fêtes, etc.) répartis sur 500 communes sont concernés par cette 4e campagne de distribution de comprimés d'iode. Chaque foyer vivant dans un périmètre de 10 km autour de l'une des 19 centrales nucléaires françaises recevra une lettre des pouvoirs publics l'invitant à retirer sa boîte de comprimés d'iode dans une pharmacie participant à l'opération. Ces campagnes, qui démarrent courant juin, se poursuivront jusqu'à la fin de l'année, chaque foyer ayant 6 mois pour retirer ses comprimés en officine.

L'objectif de ces nouvelles campagnes est de mieux associer les citoyens en délivrant des messages clairs :

- En cas d'accident nucléaire, l'ingestion d'iode stable est un moyen simple et efficace de protéger la thyroïde contre les effets de l'iode radioactif ;
- L'ingestion d'iode stable doit être combinée à d'autres actions de protection ;
- Les jeunes de moins de 18 ans et les femmes enceintes étant les plus sensibles aux rejets d'iode radioactif, leur protection est prioritaire.

Également, ces campagnes permettent de renouveler les comprimés de iodure de potassium arrivant à la date de péremption.

La campagne de distribution de comprimés d'iode a pour objectif de mettre à disposition de chaque personne des comprimés d'iode stable (iodure de potassium) lui permettant de protéger sa thyroïde. En cas d'accident nucléaire, de l'iode radioactif pourrait être rejeté dans l'atmosphère. Inhalé ou ingéré, il pourrait accroître le risque d'apparition de cancer de la thyroïde. En saturant cet organe avant le rejet, l'iode stable évite la fixation de l'iode radioactif, limitant ainsi notablement son impact sanitaire. L'ingestion d'iode stable doit être combinée à d'autres actions de protection telles que la mise à l'abri, les restrictions alimentaires et l'évacuation.

Le retour d'expérience des précédentes campagnes de distribution préventive de comprimés d'iode stable a montré qu'il convenait d'intensifier l'information du public en impliquant les acteurs locaux et en inscrivant la communication dans la durée.

Les riverains seront notamment informés via un site Internet ([www.distribution-iode.com](http://www.distribution-iode.com)), des dépliants d'information, des affiches.

Ce dispositif d'information est soutenu et relayé par de nombreux acteurs et parties prenantes de la campagne : les préfetures, les divisions territoriales de l'ASN, les pharmacies, les centrales nucléaires EDF, les Commissions locales d'information, les mairies, les professionnels de santé, les associations.

#### 7. Circulaire 2019 - Instruction relative à l'organisation de la campagne complémentaire d'information et de distribution préventive de comprimés d'iode stable dans un rayon de 10 à 20 km autour des CNPE exploités par EDF source [100]

Cette circulaire précise l'augmentation des 19 PPI de France, passant de 10 à 20km. Une campagne complémentaire de distribution préventive et d'information est nécessaire pour la nouvelle population ciblée.

Courant avril 2019 des réunions de pré-informations ont eu lieu auprès des maires de la nouvelle zone 10-20km.

Une note d'information est envoyée aux habitants du nouveau PPI entre 10 et 20 km (Annexe 2) dès Juin 2019, pour 885 000 nouveaux foyers (soit 2 200 000 personnes) et 204 400 établissements recevant du public, dont 1 800 écoles (Annexe 2) sur 33 départements. Il y est expliqué que cet extension permet d'améliorer la réactivité des pouvoirs publics, de mieux sensibiliser et préparer la population en cas d'alerte. Dès septembre 2019, de nouvelles informations seront diffusées avec les consignes de bonne conduite en cas d'alerte nucléaire. (Annexe 2)

Fin Juin 2019, des réunions auprès des professionnels de santé (médecins et pharmacien) sont organisées par les centrales nucléaire (j'ai pu assister le 25 juin à la réunion d'information à la centrale nucléaire de Civaux). Ces réunions expliquent les modalités de prises de ces comprimés d'iode, la conduite à tenir en cas d'accident, le mode d'emploi et les démarches à suivre pour pouvoir délivrer les comprimés d'iode aux personnes se présentant à l'officine de pharmacie. Certaines questions pointues pourront être abordées, pour devancer les questions posées par la population lors de la délivrance des comprimés d'iode.

En septembre 2019, démarre la phase de campagne. Les habitants du nouveau PPI recevront un courrier les invitant à retirer leurs comprimés d'iode en pharmacie (Figure 25) à l'aide d'un bon détachable. La conférence de presse de lancement de la campagne a lieu le 18 Septembre 2019 par la préfète de la Vienne.

Ce courrier sera accompagné d'un dépliant pédagogique sur les bons réflexes à avoir en cas d'alerte nucléaire. (Annexe 3)

Durant septembre et octobre, des réunions d'information publique à l'initiative de la préfecture de la zone 10 - 20 km seront organisées. Les différentes préfectures, les divisions régionales de l'ASN, les centrales EDF et les CLI participeront à ces réunions pour répondre au mieux aux interrogations de la population. Ces réunions permettent de développer une culture de la radioprotection et de rappeler les bons réflexes en cas d'urgence et d'inciter la population à retirer leurs comprimés d'iode.

Les pharmacies concernées se verront distribuer un stock d'iode permettant de répondre aux besoins, ainsi que des dépliants pédagogiques « 6 réflexes pour bien réagir » (Annexe 3)

De janvier à mai 2020 est prévu un dispositif de relance des riverains qui ne sont pas venus chercher leurs comprimés d'iode en pharmacie. Tous les moyens de communications seront utilisés, tels que le démarchage téléphonique, les emails ou encore par courrier.



**alerte nucléaire  
je sais quoi faire !**

[www.distribution-iode.com](http://www.distribution-iode.com)

0 800 96 00 20 Service & appel gratuits

00000 CODE ROUTAGE

Civ. Prénom Nom

Raison sociale

adresse 1

adresse 2

CP VILLE

Vos références : 00codeRetirant

Paris, le 3 septembre 2019

Madame, Monsieur,

Vous êtes riverain(e) d'une centrale nucléaire. EDF, en tant qu'exploitant de cette centrale, est responsable de la sûreté de son installation et doit en assurer le bon fonctionnement. L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), pour sa part, contrôle le respect de la réglementation par EDF et procède à des inspections régulières. Si tout est mis en œuvre pour prévenir un accident, le devoir des pouvoirs publics est néanmoins d'anticiper une telle éventualité.

Si un accident survenait, des actions de protection seraient décidées par le préfet agissant en qualité de directeur des opérations de secours. Si des iodures radioactifs étaient rejetés dans l'environnement, l'ingestion de comprimés d'iode stable serait alors un des moyens simples et efficaces de protection de la thyroïde (cf. dépliant ci-joint).

En 2009, une distribution de comprimés d'iode a été organisée pour les habitants résidant dans la zone des 10 km autour de la centrale nucléaire EDF. Ces comprimés arrivant à péremption, les pouvoirs publics ont décidé d'organiser une nouvelle distribution.

**Vous êtes invité(e) à retirer, dès à présent, en pharmacie les comprimés d'iode nécessaires à l'ensemble des personnes de votre foyer. Pour ce faire, rendez-vous chez votre pharmacien en vous munissant de ce courrier et indiquez-lui le code de retrait suivant : F 0123456. Il vous remettra gratuitement vos comprimés d'iode.**

Votre pharmacien vous apportera également toutes les informations nécessaires relatives à la prise de ce médicament. Profitez de cette occasion pour lui restituer votre ancienne boîte de comprimés d'iode.

Vous trouverez joint à ce courrier, un dépliant qui vous permettra de connaître les 6 réflexes pour vous protéger en cas d'accident nucléaire. Des informations complémentaires sont disponibles sur le site [www.distribution-iode.com](http://www.distribution-iode.com)

Les pouvoirs publics font appel à votre responsabilité en vous associant à cette importante action de prévention des risques sanitaires. Nous vous remercions de contribuer à son efficacité en retirant, dès à présent, ces comprimés chez votre pharmacien.

Nous vous prions d'agréer Madame, Monsieur, l'expression de nos salutations distinguées.

**Laurent PRÉVOST**

Le Préfet, Directeur général  
de la sécurité civile  
et de la gestion des crises

**Pr Benoît VALLET**

Le Directeur Général  
de la Santé

**Pierre-Franck Chevet**

Le Président de l'Autorité  
de Sûreté Nucléaire

**Isabelle Adenot**

La Présidente du Conseil national  
de l'Ordre des Pharmaciens

Bon à détacher et à présenter en pharmacie

**alerte nucléaire  
je sais quoi faire !**

**BON DE RETRAIT**

Civ. Prénom Nom

Raison sociale

00codeRetirant



Nombre  
de boîte(s)  
remise(s)

Boîte(s)  
délivrée(s)  
le

Figure 25 : Courrier type d'information lié au bon de retrait [101]

### III. Le dispositif d'intervention

#### 1. Mise en place de l'intervention [102]

La prise en charge sanitaire d'un accident nucléaire relève de l'autorité préfectorale. Si un événement survient dans une installation nucléaire, son directeur doit mettre en œuvre le Plan d'Urgence Interne (PUI) et doit alerter immédiatement la préfecture. Le PUI précise l'organisation et les moyens à mettre en œuvre sur le site afin de ramener l'installation dans un état sûr. Son objectif est également de protéger le personnel et d'informer les pouvoirs publics et les populations. Dans la mesure où les conséquences pourraient dépasser les limites de l'installation, l'autorité préfectorale déclenche le Plan Particulier d'Intervention (PPI) établi par le préfet en concertation avec les élus et l'exploitant. Le PPI a pour objectifs de protéger les populations, de les informer et de prévoir les mesures et les moyens de secours à mettre en œuvre pour faire face au risque.

#### 2. Le système d'alerte et les conseils aux populations

##### a. L'alerte

L'alerte est donnée par une sirène qui diffuse un signal prolongé, modulé (montant et descendant) pendant une minute ; il est émis trois fois, séparé par un court intervalle. Lorsque le danger est écarté, la sirène diffuse un signal sonore continu de 30 secondes.

##### b. Les conseils aux populations [103]

En cas d'alerte, il faut rester calme et ne pas paniquer.

La première mesure la plus efficace est la mise à l'abri qui a pour but de réduire l'exposition externe et l'absorption de substances radioactives. Une mise à l'abri, c'est s'enfermer dans un local clos, en dur après avoir arrêté si possible la ventilation. Les animaux, domestiques ou d'élevage, sont également si possible mis à l'abri, ainsi que leur alimentation. La mise à l'abri dans un véhicule n'est pas une protection idéale. Il est inutile d'aller chercher ses enfants à l'école ; ils sont pris en charge par les services scolaires.

Afin de se tenir informé de la nature du risque et des consignes à appliquer, il est indispensable d'écouter la radio (France Inter, France bleue etc...), ou de regarder la télévision (France 2, France 3 etc...) On conseille aussi de ne pas téléphoner pour permettre un maximum d'efficacité des secours.

Il n'y a pas de risque immédiat de contamination de l'eau : l'eau du robinet peut donc être consommée, ainsi que les provisions entreposées à l'intérieur du domicile avant l'accident, et les conserves.

### 3. L'administration d'iode stable [42], [37], [104]

La décision d'absorption d'iode stable est déterminée par le niveau de contamination atmosphérique en iode radioactif et a été fixé à 50 mSv à la thyroïde. C'est le Préfet qui prend la décision de la prise d'iode stable. La consigne d'ingérer l'iode serait diffusée par tout moyen approprié, tel la radio. Pour avoir une efficacité maximale, le traitement doit être pris dès que l'alerte est donnée.

La posologie est la suivante :

- Adultes (y compris les femmes enceintes), enfants de plus de 12 ans : 2 comprimés de 65mg à dissoudre dans une boisson (eau, lait, jus de fruits) ;
- Enfants de 3 à 12 ans : 1 comprimé à dissoudre dans une boisson ;
- Enfants de 1 mois à 3 ans : 1/2 comprimé à dissoudre dans une boisson (eau, lait, jus de fruit) ;
- Bébés jusqu'à 1 mois : 1/4 de comprimé à dissoudre dans une boisson (dans un biberon d'eau, ou de lait).

En cas d'allaitement au sein, mère et nouveau-né doivent recevoir l'iodure avec les mêmes précautions.

Les femmes enceintes sont prioritaires et devront prendre le médicament quel que soit l'âge de la grossesse, dans le but de préserver la thyroïde de la mère et, à partir du deuxième trimestre, celle du fœtus qui commence à concentrer l'iode à partir de la 10<sup>ème</sup> – 12<sup>ème</sup> semaine.

La dissolution dans du lait ou du jus de fruit permet de diminuer le goût métallique passager qui peut être ressenti.

Le traitement consiste en une prise unique. Il ne doit être renouvelé que dans des cas exceptionnels, sur instruction formelle des autorités compétentes.

Chez l'adulte, les études sur le nombre de cancers de la thyroïde après irradiation thyroïdienne ne montrent pas une augmentation importante de ce type de cancer. De plus, il y aurait un risque d'hyperthyroïdie iodo-induite mais qui n'est pas démontré après une prise unique d'iode stable comme c'est le cas en situation d'accident nucléaire.

Il est recommandé de consulter un médecin aussitôt que possible après la prise d'iodure dans les situations suivantes :

- Personnes ayant un antécédent ou une pathologie thyroïdienne en cours ;
- Femmes enceintes ou allaitantes ;
- Nourrissons et enfants de moins de un an.

Les effets indésirables dus à l'iode sont rares et habituellement minimes :

- Goût amer, non dangereux et passager ;
- Réaction inflammatoire douloureuse des glandes salivaires, parotides et sous maxillaires ; celle-ci reste minime et disparaît deux à trois jours après l'arrêt du traitement ;
- Iodisme cutané (éruption pustuleuse acnéiforme) qui reste exceptionnel ;
- Réaction allergique qui se manifeste par un œdème de la face, un œdème de Quincke, un bronchospasme. La prise est bien sûr contre-indiquée chez les personnes allergiques à l'un des composants de l'iodure de potassium ;
- Hypothyroïdie par effet Wolff-Chaïkoff chez le nouveau-né, le petit enfant et le fœtus si l'administration est prolongée plusieurs jours.

Aucun traitement ne contre-indique la prise d'iodure de potassium, mais un bilan ultérieur de la fonction thyroïdienne peut être nécessaire en cas des coprescriptions suivantes :

- Antithyroïdiens de synthèse, traitement hormonal thyroïdien de substitution : il faut réévaluer la fonction thyroïdienne (dosage de la TSH) dans les semaines qui suivent ;
- Lithium : *idem*
- Cordarone® : l'apport de 75 mg d'iode par comprimé de Cordarone® équivaut à 3/4 de comprimé d'iodure de potassium. Les patients sous Cordarone® sont donc vraisemblablement protégés, mais la prise d'iodure n'est pas contre-indiquée ;
- Diurétiques : il n'y a pas d'interaction avec un traitement bien équilibré.

Le blocage de la fixation des iodes radioactifs par l'iodure de potassium réduit de 98 % l'irradiation de la thyroïde si l'iode stable est pris quelques heures avant la contamination, de 90 % si la prise est faite simultanément à la contamination, puis décroît dans les heures suivantes, l'efficacité étant de 50 % si la prise a lieu 6 heures après la contamination. [105]

La question du recyclage des anciennes boîtes de iodure de potassium pourra être posée au pharmacien. Les comprimés de iodure de potassium périmés, ou abîmés pourront être collectés dans toutes les pharmacies d'officine.

#### 4. Les autres mesures [82]

Les autorités peuvent décider la restriction de la consommation de certains aliments. Elle peut s'appliquer aux fruits et légumes ramassés dans la région concernée par l'accident, mais aussi le lait ou l'eau.

En cas de rejets massifs pour lesquels la mise à l'abri de deux jours serait insuffisant, l'évacuation peut être mise en œuvre. Elle ne s'appliquera que ponctuellement, à des zones limitées proches et pour une assez courte durée.

En cas de catastrophe hors du PPI, le plan ORSEC (Organisation de la Réponse de Sécurité Civile) est mis en place. C'est un dispositif mis en place en cas de situation d'urgence de tout type, prévisibles ou non, permettant de mettre en œuvre rapidement et efficacement tous les moyens nécessaires, sous l'autorité du préfet.

## IV. En résumé pour la campagne iode de 2019 dans la Vienne

En 2019 est prévu au niveau national, un élargissement du PPI autour de chaque centrale nucléaire de France, passant de 10 à 20km (Figure 26). Une nouvelle campagne d'informations et de distribution est donc nécessaire.

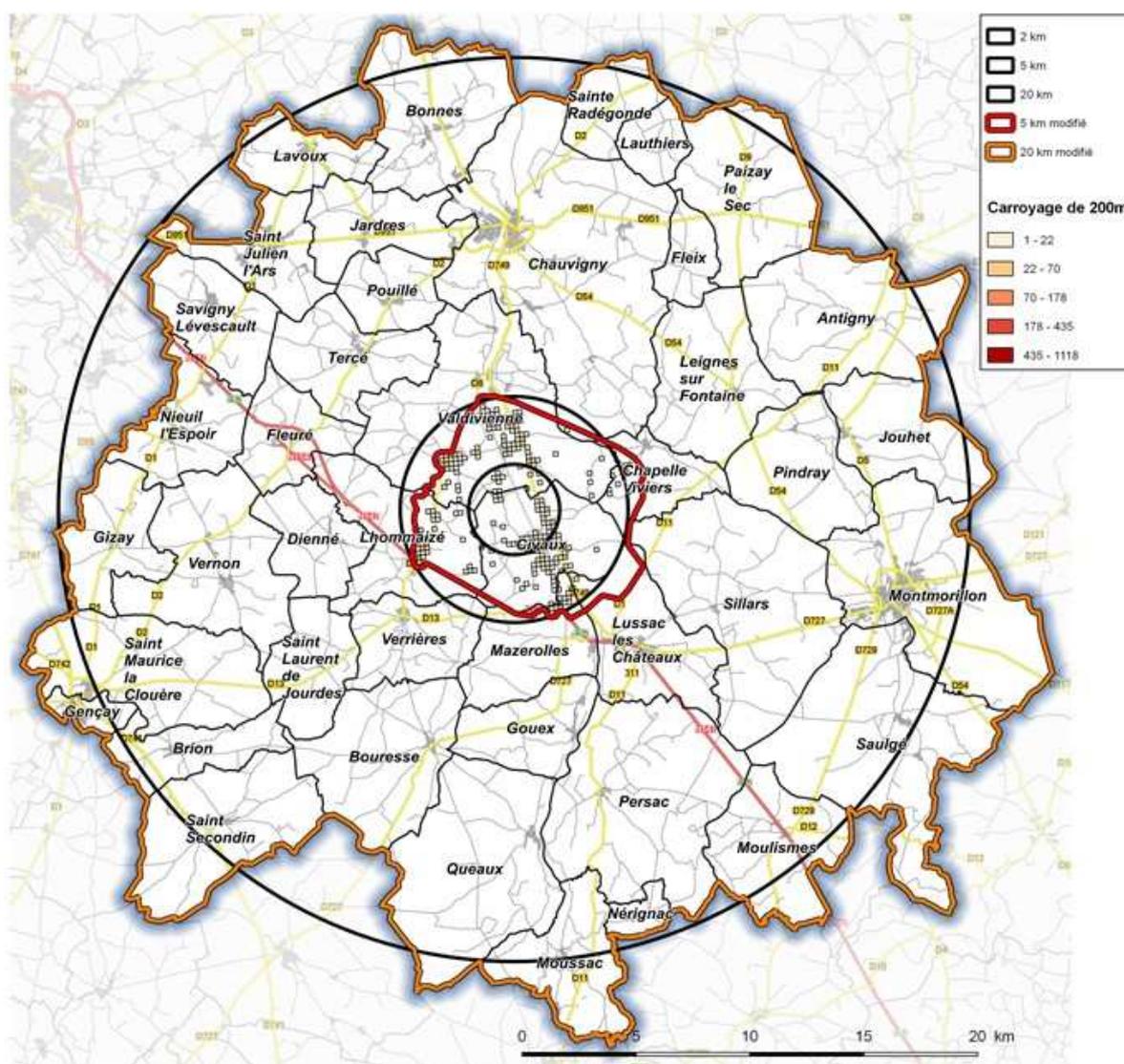


Figure 26 : Élargissement du PPI autour de la centrale de Civaux [106]

### 1. La pré-campagne et la campagne

La pré-campagne s'étale d'avril à juin 2019 avec l'envoi du courrier à l'ensemble des riverains (Lettre d'information ainsi qu'un dépliant pédagogique de pré-campagne Annexe 2). La campagne commence de septembre à mai 2020. Celle-ci débute par l'envoi d'une lettre d'information ainsi qu'un dépliant rappelant les bons réflexes à avoir lors d'un accident nucléaire (Annexe 3).

## 2. Concrètement, les réflexes à adopter [107]

### a. L'alerte

La sirène diffuse un signal (figure 27) montant et descendant composé de 3 séquences d'1 minutes et 41 secondes, séparée par un intervalle de 5 secondes.

Cette alerte signale un danger imminent.

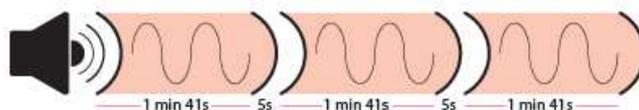


Figure 27 : Signal national d'alerte [108]

Notamment en cas d'alerte nucléaire, en plus de la sirène, un message vocal est envoyé par un automate aux habitants situés à proximité immédiate de la centrale.

### b. « Je me mets rapidement à l'abri dans un bâtiment »

Suite à l'alerte, il faut rejoindre au plus vite un bâtiment en dur.

Une fois dans le bâtiment, fermer les portes et fenêtres, couper la ventilation.

Si les enfants sont à l'école, ils seront mis à l'abri par l'équipe d'enseignants.

### c. « Je me tiens informé(e) »

Les sources d'informations officielles sont :

- La radio (France Bleu, France info, etc...)
- La télévision (France télévisions : France 2 et France 3)
- Internet (Site de la préfecture).

Penser à s'équiper d'une radio fonctionnant avec des piles, ainsi que des piles de rechange.

### d. « Je ne vais pas chercher mes enfants à l'école »

Rester à l'abri.

Les enfants sont protégés par les enseignants.

### e. « Je limite mes communications téléphoniques »

Pour ne pas saturer les réseaux de communication pour participer à la bonne organisation des secours ainsi qu'à la transmission rapide d'informations.

f. « Je prends de l'iode dès que j'en reçois l'instruction »

La dose d'iode stable doit être prise uniquement et immédiatement à la demande du préfet. Les posologies sont précisées sur la notice de la boîte de iodure de potassium, ainsi que sur « les 6 réflexes pour bien réagir » (Annexe 3) fourni avec l'iode stable.

g. « Je me prépare à une éventuelle évacuation »

Un kit d'urgence devra être préparé avant l'évacuation. Il comprendra les papiers personnels, les traitements médicaux éventuels, des vêtements, de la nourriture ainsi que de la boisson. Des consignes de circulation seront également données.

3. Le pharmacien et les autres acteurs [107]

a. Le préfet

Le préfet est le directeur des opérations de secours. En cas de crise nucléaire, il décide dans le cadre du PPI, des actions de protection de la population (mise à l'abri, évacuation, ingestion de comprimés d'iode, interdictions alimentaires). Le préfet est un acteur important de la campagne de distribution d'iode 2019.

b. Le maire

Le maire est le premier responsable de la sécurité civile dans sa commune. En cas de crise nucléaire, il agit sous la direction du préfet. Il est un relais important de la campagne de distribution d'iode 2019 auprès de ses concitoyens.

c. Le pharmacien

Les pharmaciens participant à l'opération dispensent gratuitement les boîtes de comprimés d'iode nécessaires aux familles et / ou aux établissements concernés sur remise du coupon de retrait. En l'absence du coupon, une délivrance sera possible sous présentation d'un justificatif de domicile.

Le pharmacien aura également un rôle de bienveillance auprès des personnes venant retirer les comprimés d'iode, en répondant aux questions, en rassurant mais aussi en donnant quelques conseils associés. De par sa proximité avec les patients, il pourra même anticiper certaines questions, ou des inquiétudes.

Une indemnisation financière est prévue pour le pharmacien. Celle-ci sera calculée selon le nombre de boîtes que le pharmacien aura à disposition.

Cette indemnisation permettra de compenser la mobilisation du pharmacien et de l'équipe officinale, le temps passé avec le patient pour la délivrance de l'iodure de potassium et de l'espace mobilisé pour le stockage.

L'indemnisation sera donnée seulement durant la période de campagne, car c'est seulement durant cette période qu'il y a un pic d'affluence. Mais cette indemnisation intègre la compensation post-campagne (nouveaux arrivants). Après cette période, très peu de personnes solliciteront le pharmacien, c'est pourquoi cette compensation ne sera plus effective.

d. Le médecin

Le médecin généraliste est, au même titre que le pharmacien, informé de l'organisation des campagnes de distribution d'iode. Il peut donc répondre aux interrogations de ses patients sur la modalités de retrait, ainsi que les conditions de prise.

e. L'ASN

Autorité administrative indépendante qui assure, au nom de l'État, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection pour protéger les travailleurs, les patients, le public et l'environnement des risques liés aux activités nucléaires.

Elle contribue à l'information des citoyens.  
L'ASN s'appuie sur l'expertise de l'IRSN.

f. L'IRSN

L'IRSN est l'expert public national des risques nucléaire et radiologiques. Il concourt aux politiques publiques en matière de sûreté nucléaire et de protection de la santé et de l'environnement au regard des rayonnements ionisants.

C'est un organisme de recherche et d'expertise, il agit en concertation avec les acteurs concernés par ces politiques, tout en veillant à son indépendance de jugement.

g. EDF

EDF est le premier responsable de la sûreté de ses centrales nucléaires. De la conception à l'exploitation de ses centrales, EDF met en œuvre toutes les dispositions techniques, humaines et organisationnelles pour prévenir les accidents et ainsi protéger, en toutes circonstances, la population et l'environnement.

h. Les CLI

Ce sont des instances de débat et d'expression pluralistes qui ont une mission de suivi, d'information et de concertation en matière de sûreté, de radioprotection et d'impact des activités nucléaires sur les personnes et l'environnement. 34 CLI existent autour des installations nucléaires en France.

i. Le ministère de l'intérieur

Le ministère de l'Intérieur est chargé de la sécurité intérieure, de l'administration du territoire des libertés publiques. À ce titre, il est notamment responsable de la protection des populations riveraines, des centrales nucléaires françaises.

j. Le ministère des affaires sociales et de la santé

La DGS du ministère chargé de la santé prépare et met en œuvre la politique de santé publique en particulier afin de protéger la population des menaces sanitaires. Elle veille notamment à garantir la capacité du système de santé à détecter, analyser et gérer les alertes et les situations sanitaires exceptionnelles.

k. Le ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche

Au sein du ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche (MENESR), la direction générale de l'enseignement scolaire (DGESCO) élabore la politique éducative et pédagogique et assure la mise en œuvre des programmes d'enseignement des écoles, des collèges, des lycées et des lycées professionnels.

## Conclusion

Le comprimé d'iode stable (figure 28) reste le moyen le plus sûr de protection de la thyroïde, en cas d'accident nucléaire, et ainsi d'éviter le développement d'un cancer thyroïdien. La France a choisi de mettre en place une distribution des comprimés d'iode stable dans les foyers se trouvant dans un rayon de 20 km autour des 19 centrales nucléaires françaises via des bons de retrait.



Figure 28 : Boîte de Iodure de Potassium 65 mg [109]

En 2017 une enquête [110], effectuée sur 1 030 personnes de plus de 18 ans ainsi que 571 représentants d'ERP se situant dans les 19 PPI de 10 km de l'hexagone, compare les résultats de la campagne de distribution de 2016 avec la précédente campagne de 2009. L'échantillon observé est pertinent, tant en terme de nombre de PPI étudié, mais également en étudiant les particuliers et les ERP.

L'étude montre une progression de 12% du nombre total de retraits d'iode en pharmacie pour les particuliers. Les retraits se chiffrent à 190 507, soit 51% de la population visée.

Il est décidé de lancer un dispositif de relance auprès des riverains, afin d'augmenter le taux de retrait des comprimés d'iode. Un envoi postal des comprimés est décidé, vers les foyers n'ayant pas retiré les leurs en pharmacie.

Concernant les ERP, le nombre de retrait en pharmacie est en moyenne de 38%.

Enfin pour les établissements scolaires, leur taux de retrait moyen est de 96%. Taux élevé, rassurant pour la population la plus sensible aux radiations et aux conséquences d'une exposition.

Concernant le PPI de Civaux, les taux de retrait sont de :

- 67,4% pour les particuliers ;
- 37,1% pour les ERP ;
- 96,2% pour les établissements scolaire.

Comparé à la moyenne nationale, le PPI de Civaux est plutôt bien situé en terme de retrait des comprimés d'iode.

La communication au sujet du nucléaire est majoritairement faite par les exploitants et les pouvoirs public en prenant soin de ne pas affoler la population.

Cette enquête montre la difficulté de diffuser un message clair. C'est pourquoi l'implication du professionnel de santé, en particulier le pharmacien d'officine, est primordiale pour informer et rassurer la population.

Les campagnes de distribution (ou de redistribution) permettent à la population de se sensibiliser aux risques et de se rappeler l'endroit où la boîte d'iode stable a été rangée dans la maison. C'est également l'occasion rappeler les consignes à suivre en cas d'accident.

Il existe certains cas particuliers comme l'arrivée d'une nouvelle famille au sein d'une commune incluse dans un PPI. C'est au maire de la commune concernée d'informer la famille de leur entrée au sein de ce périmètre, ainsi que de l'orienter vers la pharmacie de la commune.

La campagne iode de 2016, lancée par les autorités Françaises et EDF, montre que la « culture de la radioprotection » fonctionne bien, avec un taux de connaissance et de mémorisation de 93% (contre 88% en 2009).

Les campagnes de distribution et de sensibilisation sont efficaces sur le long terme. Il ne faut pas pour autant les stopper ou ralentir leur rythme. Ces campagnes permettent de maintenir une culture du risque, de rappeler où se trouvent les comprimés d'iode précédemment distribués ainsi que la conduite à tenir en cas d'accident.

Le PPI de Civaux, avec ses 33 communes, compte 50 849 habitants [111]. Pour avoir une couverture optimale, une distribution du même nombre de comprimés serait l'idéal. Il faudrait cependant intégrer également une marge d'erreur anticipant par exemple : les réunions de famille (jour de fête, réunissant plus de personnes que le foyer normal), les jours d'affluences dans les ERP de personnes extérieures au PPI... Le nombre de boîtes d'iode stable disponible dans le PPI doit donc être supérieur au nombre d'habitants ou de personnes travaillant dans le PPI.

Les boîtes de iodure de potassium à disposition comprennent de 10 comprimés. Ce nombre correspond à une prise en charge de 5 adultes (à raison de 2 comprimés par prise par adulte).

La question de la distribution à l'unité est à soulever sachant qu'en moyenne les foyers français comportent 2,2 personnes. [112]

Par exemple, si le foyer ne comprend qu'une personne seule, il y a un surplus conséquent de 8 comprimés. Par contre, si le foyer comporte 6 ou plus de 6 adultes, avec une seule boîte tout le monde ne peut pas prendre la dose recommandée en cas d'accident.

La question de la distribution à l'unité pourrait être intéressante. Elle répondrait à la problématique du nombre de personnes par foyer. Mais il faut prendre en compte le risque augmenté de perte associé à l'absence de boîte (sans compter que la date de péremption ne figure que sur les boîtes).

Si le particulier, qui se présente à la pharmacie pour le retrait des comprimés d'iode, dit être le représentant d'une famille nombreuse, le pharmacien devra adapter le nombre de boîtes à délivrer pour couvrir les besoins de la famille.

Également, concernant les enfants qui grandissent, la dose recommandée augmentera avec l'âge. Aussi, lorsque les enfants partent du foyer parental, il y a un surplus de dose. L'évolution de la famille est prise en compte.

Pour toutes les variations possibles du nombre ou de l'âge des personnes au sein du foyer, le pharmacien pourra donner le nombre de boîte d'iode stable correspondant.

Si les comprimés venaient à manquer pour une famille, la solidarité serait le premier réflexe du voisinage. Un foyer avec 2 personnes donnera volontiers quelques comprimés à une famille nombreuse pour qui il manque la dose des enfants.

Les comprimés de iodure de potassium sont distribués gratuitement dans les différents PPI de l'hexagone contre un bon de retrait. Mais, en dehors de ces PPI, les comprimés d'iode restent accessibles. La boîte de 10 comprimés d'iode stable à 65 mg de la Pharmacie Centrale des Armées (figure 28) reste un médicament, avec une fixation du prix qui est libre. On peut ainsi par exemple en acheter une pour un prix compris entre 3 et 7 euros, via certaines pharmacies qui les vendent sur internet. La boîte n'est pas remboursée par la sécurité sociale.

Concernant les autres pays, les politiques sont toutes différentes :

- La Belgique compte 2 centrales nucléaires. Les comprimés d'iode sont mis à disposition des belges dans un rayon de 100 km de ces centrales, ce qui couvre tout le pays ; [113]
- Le Luxembourg est proche de la centrale française de Cattenom. Il a été décidé de distribuer des comprimés d'iode à l'ensemble de la population ; [114]
- La Suisse a décidé en 2014 de distribuer les comprimés d'iode dans une périmètre de 50 km autour des 4 centrales nucléaires du pays, ce qui représente 25% du pays ; [115]
- La Norvège ne produit pas d'électricité via le nucléaire. Néanmoins, une distribution dans tout le pays a été décidée, en prévention d'accident nucléaire dans un pays voisin ; [116]
- L'Allemagne quant à elle a décidé de sortir du nucléaire civile en 2022. Les autorités allemandes prévoient une fin du nucléaire en 2022. Pour le moment, il existe encore 7 centrales nucléaires en fonctionnement avec 7 réacteurs en marche et 29 autres sont à l'arrêt définitivement. Le périmètre de sécurité autour de ces centrales est variable, entre 25 et 100 km. [117]
- Les États-Unis préconisent une distribution dans un rayon de 16 km (10 miles) autour de ses 62 centrales nucléaires ; [118]
- Concernant la Russie, aucune information n'a été trouvée.

La Suisse, la Belgique ainsi que le Luxembourg fixent une durée de validité des comprimés d'iode de 10 ans. En France elle est fixée à 7 ans.

La prise de comprimés, dont la date de péremption est dépassée, est tout de même conseillée en cas d'accident.

L'État a constitué des stocks de comprimés d'iode pour être en mesure de protéger la population se trouvant en dehors des PPI définis et de couvrir les besoins de la population française en cas de risque d'exposition à l'iode radioactif. Il s'agit des plans ORSEC [108] iode départementaux. Si, au vu de la situation, les préfets considèrent que la prise de comprimés d'iode stable est nécessaire, les stocks seraient à disposition dans certains lieux publics, dont la liste est déterminée par le préfet.

Le rôle de conseils est bien attaché au pharmacien, et non seulement à la distribution des comprimés d'iode. Dans certains cas, la distribution peut être effectuée dans les mairies (cas du plan ORSEC), pouvant accueillir la population en nombre. Une mobilisation de pharmaciens pourra être envisagée en parallèle afin de conseiller la population dans le cadre d'une activation d'un plan ORSEC, hors PPI.

Le pharmacien doit tenir au courant son équipe de préparateurs et de pharmaciens assistants. S'il est absent de son officine, il doit transmettre toutes les informations nécessaires à son remplaçant, devenant à son tour responsable durant la durée d'absence du pharmacien titulaire.

Le pharmacien tient un rôle central et capital durant les campagnes de distribution d'iode.

### Comment serait-on prévenu ?

Pour ordonner la prise d'un comprimé d'iode, les pouvoirs publics utilisent tous les moyens d'information (radio, télévision, pompiers, gendarmerie...).

### Les moyens d'alerte



#### LES SIRÈNES

La sirène diffuse 3 signaux sonores prolongés et modulés, d'une minute chacun et séparés d'un intervalle de 5 secondes. Il faut alors sans délai se mettre à l'abri et écouter la radio.



#### LES VÉHICULES AVEC HAUT-PARLEUR

L'alerte est donnée par les pompiers et les gendarmes au moyen de véhicules équipés de haut-parleurs. Ces véhicules sont également utilisés pour transmettre les consignes du préfet dans les zones concernées.



#### LES RADIOS

Dès l'alerte, les radios locales diffusent les consignes du préfet et donnent des informations sur l'évolution de la situation.

Des informations complémentaires sur les comprimés d'iode sont disponibles sur :

[www.distribution-iode.com](http://www.distribution-iode.com)

### Les autres actions de protection

#### LA MISE À L'ABRI

La mise à l'abri est une protection efficace contre les effets des radioéléments qui sont rejetés en cas d'accident nucléaire. Dès l'alerte, il faut rentrer chez soi ou rester à l'intérieur d'un bâtiment en dur, fermer les portes et fenêtres et écouter la radio. Celle-ci diffusera régulièrement des informations sur la conduite à tenir. Il n'est pas nécessaire de boucher les aérations mais il faut arrêter les ventilations mécaniques. Il est important d'avoir ses comprimés d'iode à portée de main.

#### L'ÉVACUATION

Selon l'importance des rejets, l'évacuation peut être nécessaire. Elle est décidée par le préfet.

### Recommandations pratiques

Ce comprimé d'iode est destiné à être utilisé dans des circonstances exceptionnelles. Il est impératif de le conserver dans un endroit accessible, hors de portée des enfants et facile à mémoriser, dans son emballage d'origine, à une température ne dépassant pas 25°C et à l'abri de l'humidité. Il ne doit être pris qu'à la demande du préfet.

### À quoi servent les comprimés d'iode ?

Associée à la mise à l'abri, la prise d'un comprimé d'iode est un moyen de protéger efficacement la thyroïde contre les effets des rejets d'iode radioactif qui pourraient se produire en cas d'accident nucléaire. De la conception des centrales nucléaires à leur exploitation, tout est mis en œuvre pour garantir une sécurité maximale. Mais le risque d'accident nucléaire ne doit pas être négligé, même s'il est peu probable.



CAMPAGNE 2009

## INFO IODE

En savoir plus sur la protection par l'iode en cas d'accident nucléaire



[www.distribution-iode.com](http://www.distribution-iode.com)



MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR,  
DE L'ÉTRANGER  
ET DES COLLECTIVITÉS  
TERRITORIALES

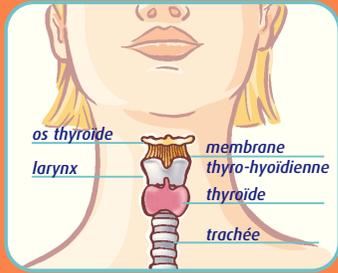


MINISTÈRE DE LA SANTÉ  
ET DES SPORTS

## LE COMPRIMÉ D'IODE, UNE PROTECTION EFFICACE

### Qu'est-ce que la **thyroïde** ?

C'est une petite glande (environ 5 cm chez l'adulte) située sur le devant du cou. La thyroïde fabrique des hormones qui jouent un rôle essentiel chez l'homme : croissance, développement intellectuel... Elle a un rôle particulièrement important chez l'enfant, et ce, dès la vie intra-utérine. Quel que soit l'âge, ces hormones contrôlent le fonctionnement de l'organisme.



### Qu'est-ce que **l'iode** ?

L'iode est un oligo-élément naturel, indispensable au fonctionnement de la thyroïde. On le trouve dans l'eau et les aliments que nous consommons (poissons, viandes, fruits, lait...).

En cas d'accident, de l'iode provenant d'une réaction physique qui a lieu à l'intérieur du réacteur peut être rejeté dans l'environnement. Il s'agit d'iode radioactif.

Les comprimés d'iode sont des médicaments fabriqués avec de l'iode tout à fait comparable à celui qui se trouve dans la nature et dans l'alimentation. On l'appelle l'iode stable.

### Comment un comprimé d'iode protège la thyroïde de l'iode radioactif ?

Respiré ou avalé, l'iode radioactif se fixe sur la glande thyroïde et peut ainsi augmenter le risque de cancer de cet organe, surtout chez les enfants. Prendre un comprimé d'iode stable avant les rejets d'iode radioactif protège efficacement la thyroïde en empêchant l'iode radioactif de s'y concentrer. La thyroïde est alors préservée.

### Quand doit-on prendre un comprimé d'iode ?

Le comprimé d'iode doit être pris uniquement et immédiatement à la demande du préfet. Son efficacité est maximale s'il est ingéré 2 heures avant le rejet d'iode radioactif.

### Qui peut prendre un comprimé d'iode ?

Dans la zone des 10 km autour de la centrale nucléaire, l'ensemble de la population bénéficie de cette protection. Les femmes enceintes et les jeunes de moins de 18 ans doivent être protégés en priorité.

#### POSOLOGIE

	Personne de plus de 12 ans <b>2 comprimés</b> à dissoudre dans une boisson (eau, lait)
	Enfant de 3 à 12 ans <b>1 comprimé</b> à dissoudre dans une boisson (eau, lait)
	Enfant de 1 mois à 3 ans <b>1/2 comprimé</b> à dissoudre dans une boisson (eau, lait)
	Enfant jusqu'à 1 mois <b>1/4 de comprimé</b> à dissoudre dans une boisson (eau, lait)

Les contre-indications et les effets secondaires sont rares. Les personnes ayant une allergie à l'iode et les personnes traitées pour leur glande thyroïde doivent dès à présent prendre conseil auprès de leur médecin.

*Lire attentivement la notice accompagnant ce médicament et ne pas hésiter à interroger son médecin traitant ou son pharmacien.*

**Vous résidez dans un rayon de 20 km autour d'une centrale nucléaire.**



**Vous bénéficiez désormais d'un dispositif de prévention spécifique.**

**Dès septembre 2019, vous allez être informé des bons réflexes à avoir en cas d'alerte nucléaire.**



**2 outils dédiés à l'opération pour mieux vous informer**



**www.distribution-iode.com**  
Un site Internet présentant les 6 bons réflexes à adopter, des vidéos pédagogiques et une foire aux questions (FAQ).

**0 800 96 00 20**  
(appel gratuit)  
Des conseillers à votre écoute pour répondre à toutes vos questions, du lundi au vendredi, de 10h00 à 18h30, le samedi de 10h00 à 12h00.

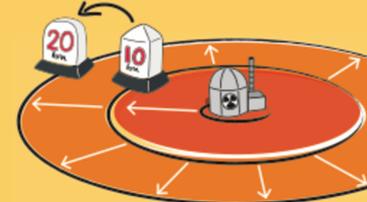
→ [www.asn.fr](http://www.asn.fr) → [www.anccli.fr](http://www.anccli.fr)  
→ [www.edf.fr](http://www.edf.fr) → [www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)



**INFORMATION IMPORTANTE**

**EXTENSION DU PLAN PARTICULIER D'INTERVENTION**

**Vous êtes concerné !**



**En 2019, la couverture des Plans particuliers d'intervention (PPI) autour des centrales nucléaires est étendue de 10 à 20 km. Vous recevez cette documentation parce que vous habitez dans une aire concernée par cette extension.**



**Qu'est-ce que le PPI ?**

Le Plan particulier d'intervention (PPI) est un dispositif établi par l'État pour protéger les personnes, les biens et l'environnement et pour faire face aux risques particuliers liés à l'existence d'une installation industrielle.

Si un événement nucléaire se produisait et qu'il était susceptible d'avoir des conséquences à l'extérieur du site, le préfet prendrait la direction des opérations et s'appuierait sur ce plan, qui est une des dispositions spécifiques du plan ORSEC départemental.

**Pourquoi l'aire du PPI est-elle étendue ?**

L'accident nucléaire de Fukushima en 2011 au Japon a conduit les pouvoirs publics à réviser le dispositif de protection des personnes.

L'extension du rayon du PPI de 10 km à 20 km permet d'améliorer la réactivité des pouvoirs publics (communes, préfectures, etc.) et de mieux sensibiliser et préparer la population à réagir en cas d'alerte nucléaire.

**Quelles sont les conséquences concrètes de cette extension ?**

Votre commune fait désormais partie du PPI. Dans ce cadre, elle doit rédiger un Plan communal de sauvegarde (PCS) visant à organiser la protection des personnes et des biens.

De manière préventive, dans les pharmacies, des comprimés d'iode vont être mis à disposition des habitants, des établissements recevant du public et des établissements scolaires de votre commune.

**Vous allez être informé prochainement de la conduite à tenir en cas d'alerte nucléaire et des modalités de retrait des comprimés d'iode.**

**Qui est concerné par l'extension ?**

**Les habitants et les établissements recevant du public (ERP) : écoles, commerces, entreprises, administrations, etc. des communes situées dans le rayon de 10 à 20 kilomètres autour des 19 centrales nucléaires françaises, soit environ 2 200 000 personnes, 204 400 ERP dont 1 800 écoles, répartis sur près de 1 100 communes et 33 départements.**



**Localisation des 19 centrales nucléaires françaises**

**QUI SONT LES ACTEURS DE LA PROTECTION ET DE L'INFORMATION DES PERSONNES ?**

**EDF** est le premier responsable de la sûreté de ses centrales nucléaires. De la conception à l'exploitation de ses installations, EDF met en œuvre toutes les dispositions techniques, humaines et organisationnelles pour prévenir les accidents.

L'**Autorité de sûreté nucléaire (ASN)**, autorité administrative indépendante, assure, au nom de l'État, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection. Elle informe le public et contribue à des choix de société éclairés. En situation d'urgence, l'ASN conseille les pouvoirs publics en matière de protection des personnes et de l'environnement. L'ASN s'appuie sur l'expertise de l'**Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)**.

Le **préfet** est le représentant de l'État dans le département. En cas d'alerte nucléaire, en tant que directeur des opérations, il décide des actions de protection de la population (mise à l'abri, évacuation, ingestion de comprimés d'iode, interdictions alimentaires, etc.).

Le **maire** est le premier responsable de la sécurité civile dans sa commune. En cas d'alerte nucléaire, il agit sous la direction du préfet dans le cadre de son Plan communal de sauvegarde (PCS).

Les **commissions locales d'information (CLI)** sont des assemblées pluralistes qui ont une mission de suivi, d'information et de concertation en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection. Elles assurent une large diffusion des résultats de leurs travaux auprès du public. Une CLI est établie auprès de chaque centrale nucléaire.

**QUE SE PASSE-T-IL AU-DELÀ DE 20 KM ?**

En France, la protection des populations s'appuie sur une organisation qui couvre l'ensemble du territoire, notamment les plans ORSEC. Ils concernent notamment la distribution de comprimés d'iode, la mise à l'abri, l'évacuation ou les restrictions de consommation afin de soustraire les populations à l'ensemble des risques liés à des rejets radioactifs.

## alerte nucléaire je sais quoi faire !

Vous entendez  
le signal d'alerte de la sirène,  
vous recevez une alerte  
sur votre téléphone

# 6 RÉFLEXES POUR BIEN RÉAGIR

**1**  
Je me mets  
rapidement à l'abri  
dans un bâtiment



**2**  
Je me tiens  
informé(e)



**3**  
Je ne vais pas  
chercher mes enfants  
à l'école



**4**  
Je limite mes  
communications  
téléphoniques



**5**  
Je prends de l'iode  
dès que j'en reçois  
l'instruction



**6**  
Je me prépare à une  
éventuelle évacuation



[www.distribution-iode.com](http://www.distribution-iode.com)

0 800 96 00 20 Service à appel gratuit



## alerte nucléaire je sais quoi faire !

### Quel comportement adopter ?

#### Pourquoi une alerte nucléaire ?

L'alerte est déclenchée quand un événement dans une centrale nucléaire est susceptible d'entraîner des rejets radioactifs et d'avoir des conséquences sur la population présente à proximité.

**1**  
Je me mets  
rapidement à l'abri  
dans un bâtiment



Rejoignez sans délai un bâtiment en dur.  
Si vous êtes déjà dans un bâtiment,  
isolez-vous de l'extérieur : fermez portes  
et fenêtres et coupez la ventilation.  
Si vos enfants sont à l'école au moment  
de l'alerte, ils seront mis à l'abri  
par les enseignants.

**2**  
Je me tiens  
informé(e)



Respectez les consignes de protection  
des pouvoirs publics (prise d'iode par  
exemple) diffusées par la radio (France  
Bleu, France Info, etc.), la télévision  
(France Télévisions) et le site internet  
de votre préfecture. Pensez à vous doter,  
en amont, d'une radio à pile et de piles  
de rechange.

#### L'ALERTE PAR LA SIRÈNE

La sirène diffuse le signal national d'alerte  
commun à tous les types de risques : un son  
montant et descendant composé de trois  
séquences d'1 minute et 41 secondes séparées  
par un intervalle de 5 secondes.  
Elle vous signale un danger imminent, il faut  
alors se mettre à l'abri dans un bâtiment en dur  
et se tenir informé du comportement à adopter.

#### Signal d'alerte



### QUI SONT LES ACTEURS DE LA PROTECTION ET DE L'INFORMATION DES PERSONNES ?

**EDF** est le premier responsable de la sûreté de ses centrales nucléaires. De la conception à l'exploitation de ses installations, EDF met en œuvre toutes les dispositions techniques, humaines et organisationnelles pour prévenir les accidents.

**L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN)**, autorité administrative indépendante, assure, au nom de l'État, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection. Elle informe le public et contribue à des choix de société éclairés. En situation d'urgence, l'ASN conseille les pouvoirs publics en matière de protection des personnes et de l'environnement. L'ASN s'appuie sur l'expertise de l'**Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)**.

**Le préfet** est le représentant de l'État dans le département. En cas d'alerte nucléaire, en tant que directeur des opérations, il décide des actions de protection de la population (mise à l'abri, évacuation, ingestion de comprimés d'iode, interdictions alimentaires, etc.).

**Le maire** est le premier responsable de la sécurité civile dans sa commune. En cas d'alerte nucléaire, il agit sous la direction du préfet dans le cadre de son Plan communal de sauvegarde (PCS).

**Les commissions locales d'information (CLI)** sont des assemblées pluralistes qui ont une mission de suivi, d'information et de concertation en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection. Elles assurent une large diffusion des résultats de leurs travaux auprès du public. Une CLI est établie auprès de chaque centrale nucléaire.

#### POUR EN SAVOIR PLUS

→ [www.asn.fr](http://www.asn.fr) → [www.anccti.fr](http://www.anccti.fr)  
→ [www.edf.fr](http://www.edf.fr) → [www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)

[www.distribution-iode.com](http://www.distribution-iode.com)

0 800 96 00 20 Service à appel gratuit



**3**  
Je ne vais pas  
chercher mes enfants  
à l'école



Restez à l'abri.  
À l'école, vos enfants sont protégés  
par les enseignants.

Ne saturez pas les réseaux de  
communication. Ils sont nécessaires  
à l'organisation des secours et  
à la transmission d'informations.

**4**  
Je limite mes  
communications  
téléphoniques



**5**  
Je prends de l'iode  
dès que j'en reçois  
l'instruction



La dose d'iode stable doit  
être prise uniquement et  
immédiatement à la demande  
du préfet (suivez la posologie,  
voir page intérieure).

Munissez-vous du kit d'urgence que vous  
aurez préparé au préalable : il comprend  
en particulier vos papiers personnels,  
vos éventuels traitements médicaux, des  
vêtements, de la nourriture et de la boisson.  
Lors de l'évacuation, respectez les consignes  
de circulation.

**6**  
Je me prépare à  
une éventuelle évacuation



#### L'ALERTE PAR AUTOMATE D'APPELS TÉLÉPHONIQUES

En cas d'alerte nucléaire, en plus de  
la sirène, un message vocal est envoyé  
par un automate d'appel aux habitants  
situés à proximité immédiate de la centrale  
nucléaire. Il faut alors se mettre à l'abri  
et se tenir informé.



En savoir plus  
sur la préparation  
du kit d'urgence  
et le plan familial  
de mise en sûreté :

[www.risques.gouv.fr](http://www.risques.gouv.fr)  
et site internet  
de votre préfecture

## alerte nucléaire je sais quoi faire !



## POURQUOI des comprimés d'iode ?

La prise d'iode stable est un moyen de protéger efficacement la thyroïde contre les effets des rejets d'iode radioactif qui pourraient se produire en cas d'accident nucléaire. De la conception des centrales nucléaires à leur exploitation, tout est mis en œuvre pour garantir une sécurité maximale. Le risque d'accident ne doit pas être négligé même s'il est très peu probable.



## QU'EST-CE QUE L'IODE ?

L'iode est un oligo-élément naturel, indispensable au fonctionnement de la thyroïde. On le trouve dans l'eau et les aliments que nous consommons (poisson, viande, fruit, lait...). En cas d'accident, de l'iode provenant d'une réaction physique qui a lieu à l'intérieur du réacteur peut être rejeté dans l'environnement : il s'agit d'iode radioactif. Les comprimés d'iode sont des médicaments fabriqués avec de l'iode comparable à celui qui se trouve dans la nature et dans l'alimentation. On l'appelle l'iode stable.

## RECOMMANDATIONS PRATIQUES

Il est impératif de conserver les comprimés d'iode :  
- dans l'emballage d'origine,  
- de les ranger dans un endroit accessible et facile à mémoriser, par exemple dans votre kit d'urgence.

## LE RISQUE THYROÏDE limité efficacement

### Comment un comprimé d'iode protège la thyroïde de l'iode radioactif ?

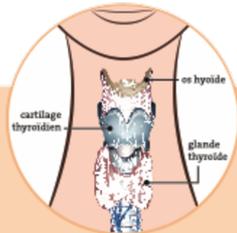
Respiré ou avalé, l'iode radioactif se fixe sur la glande thyroïde et peut ainsi augmenter le risque de cancer de cet organe, surtout chez les jeunes.

**Prendre la dose d'iode stable avant les rejets d'iode radioactif protège efficacement la thyroïde en la saturant et en empêchant l'iode radioactif de s'y concentrer.**

La thyroïde est alors préservée.

- à une température ne dépassant pas 25°C et à l'abri de l'humidité,  
- hors de portée des enfants.  
Ces comprimés d'iode sont destinés à être utilisés dans des circonstances exceptionnelles.  
Ils ne doivent être pris qu'à la demande du préfet.

LA THYROÏDE :  
une petite glande  
juste essentielle !



## QUAND DOIT-ON PRENDRE UN COMPRIMÉ D'IODE ?

L'iode stable doit être pris uniquement et immédiatement à la demande du préfet. Son message sera diffusé à la radio (France Bleu, France Info, etc.), la télévision (France Télévisions) et sur le site internet de votre préfecture.



La thyroïde est une petite glande (environ 5 cm chez l'adulte) située sur le devant du cou. La thyroïde fabrique des hormones qui jouent un rôle essentiel chez l'humain : croissance, développement intellectuel... Elle a un rôle particulièrement important chez l'enfant, et ce, dès la vie intra-utérine. Quel que soit l'âge, ces hormones contrôlent le fonctionnement de l'organisme.

## Des comprimés d'iode POUR QUI ?

L'ensemble de la population peut être appelé à prendre de l'iode stable. Les femmes enceintes et les jeunes de moins de 18 ans doivent être protégés en priorité car la thyroïde des fœtus et des jeunes est plus sensible que celle des adultes.



## POSOLOGIE

- Personne de plus de 12 ans  
2 comprimés à dissoudre dans une boisson (eau, lait)
- Enfant de 3 à 12 ans  
1 comprimé à dissoudre dans une boisson (eau, lait)
- Enfant de 1 mois à 3 ans  
1/2 comprimé à dissoudre dans une boisson (eau, lait)
- Enfant jusqu'à 1 mois  
1/4 de comprimé à dissoudre dans une boisson (eau, lait)

### Les contre-indications de la prise d'iode stable

Les maladies thyroïdiennes présentes ou passées (les goitres compressifs), les hypersensibilités connues à l'iode : les dermatites herpétiformes ; les vascularites avec hypocomplémentémie. Dans ces situations, il est nécessaire de se renseigner auprès de son médecin traitant. La grossesse et l'allaitement ne sont pas des contre-indications.

## Liste des tableaux

Tableau I : Exemples de sources d'iode

Tableau II : Apports conseillés en iode dans l'alimentation en fonction de l'âge

Tableau III : Les isotopes radioactifs de l'iode

Tableau IV : Dose absorbée à la thyroïde et au corps entier en fonction de l'âge après administration d'1 mCi d'iode 131

Tableau V : Les différents types de rayonnements ionisants

Tableau VI : Parcours de rayonnements dans différents matériaux, avec une même énergie cinétique initiale de 1MeV

Tableau V : Pourcentage de dose évitée en fonction du moment de la prise de 128 mg d'iode stable

Tableau VIII : Durée de blocage du captage thyroïdien en fonction de la posologie d'iode stable

Tableau IX : Liste des installations nucléaires civiles autour desquelles ont été pré-distribués des comprimés d'iode stable à la population sur les zones définies par les PPI

Tableau X : Répartition des boîtes de comprimés pour les départements de la Nouvelle Aquitaine siège ou limitrophe d'une installation nucléaire (1ère répartition) en 2000

Tableau XI : Répartition des boîtes de comprimés pour les départements de la Nouvelle Aquitaine du groupe I

Tableau XII : Répartition des boîtes pour la constitution des stocks de réserve dans les départements éloignés de la Nouvelle Aquitaine (groupe II)

## Liste des figures

Figure 1 : Les follicules thyroïdiens

Figure 2 : Biosynthèse des hormones thyroïdiennes

Figure 3 : Axe hypothalamo-thyroïdien : régulation de la sécrétion des hormones

Figure 4 : Modèle métabolique de l'iode chez l'homme

Figure 5 - Taux de captage de l'iodure plasmatique par la thyroïde en fonction des apports quotidiens d'iode ( $\mu\text{g}$ )

Figure 6 : Les différents types de rayonnements au quotidien

Figure 7 : Exemple du pouvoir de pénétration des différents rayonnements

Figure 8 : Le cycle du combustible

Figure 9 : Description schématique d'une fission nucléaire

Figure 10 : Exemple de réaction en chaîne

Figure 11 : Fonctionnement d'une centrale nucléaire

Figure 12 : Les trois barrières de sûreté nucléaire

Figure 13 : Les voies de contamination des populations et de l'environnement

Figure 14 : Exposition moyenne de l'homme aux rayonnements ionisants

Figure 15 : Exemples de doses d'expositions

Figure 16 : Les réacteurs de la centrale nucléaire de Fukushima et l'épicentre du séisme

Figure 17 : Les 4 phases de rejet radioactif en fonction du temps

Figure 18 : Estimation des doses reçues

Figure 19 : Pourcentage de captage thyroïdien selon la posologie d'iode stable ; Résultats des études de Sternthal, Koutras et Blum

Figure 20 : Pourcentage de dose évitée à la thyroïde en fonction de la posologie d'iodure de potassium (prise simultanée de l'administration du traceur) d'après Blum et Eisenbud (1967)

Figure 21 : Pourcentage de dose évitée en fonction du délai de la prise d'iode stable par rapport à l'exposition (simulation, prise d'iode stable unique, exposition unique)

Figure 22 : Durée du blocage du captage thyroïdien en fonction de la posologie d'iodure (prise unique)

Figure 23 : Carte des installations nucléaires autour desquelles ont été distribués des comprimés d'iode à la population dans les rayons définis par les PPI

Figure 24 : Exemple de bon de retrait des comprimés d'iode

Figure 25 : Courrier type d'information lié au bon de retrait

Figure 26 : Élargissement du PPI autour de la centrale de Civaux

Figure 27 : Signal national d'alerte

Figure 28 : Boite de Iodure de Potassium 65 mg

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] Le nucléaire en chiffres ; EDF ; 2017 ; <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> ; Dernière consultation le 12/09/19
- [2] Hazard J, Perlemuter L. ; Endocrinologie abrégé. 2 éd. Paris : Masson, 1990
- [3] Fischer-Ghanassia P, Ghanassia E. ; KB endocrinologie nutrition. 6<sup>ème</sup> éd. Editions Vernazobres-Grago ; 2012
- [4] Geoffroy B., Verger P., Le Guen B. ; Pharmacocinétique de l'iode : revue des connaissances utiles en radioprotection accidentelle, Radioprotection Vol n°35 ; 2000
- [5] Ralph R. Cavalieri ; Iodine Metabolism and Thyroid Physiology: Current Concepts ; 1997
- [6] Schlienger JL., Goichot B., Grunenberger F. ; Iode et fonction thyroïdienne ; 1997
- [7] Vital Durand D., Le Jeune C. ; Dorosz guide pratique des médicaments, édition Maloine ; 2018
- [8] Vidal 94<sup>ème</sup> édition ; Paris : Edition du Vidal ; 2018
- [9] Scientific Opinion on Dietary Reference Values for iodine EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) ; European Food Safety Authority (EFSA) ; 2014 ; <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2014.3660> ; Dernière consultation le 12/09/19
- [10] Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail : <https://www.anses.fr/fr/content/iode> ; Dernière consultation le 12/09/19
- [11] Vernis M., Hindie E, Galle P. ; La protection de la thyroïde de l'enfant et du fœtus en cas d'accident nucléaire ; 1997
- [12] Schlumberger M. ; L'iodure et la protection de la thyroïde contre l'irradiation par l'iode radioactif ; 1986
- [13] Guide des bonnes pratiques de l'antisepsie chez l'enfant ; Société Française d'Hygiène Hospitalière ; 2007 ; [https://sf2h.net/wp-content/uploads/2007/05/SF2H\\_bonnes-pratiques-antisepsie-enfant-2007.pdf](https://sf2h.net/wp-content/uploads/2007/05/SF2H_bonnes-pratiques-antisepsie-enfant-2007.pdf) ; Dernière consultation le 12/09/19
- [14] « La radioactivité et ses effets Un rayonnement ionisant, c'est quoi ? Comment s'en protéger ? » ; IRSN ; <https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Sante/rayonnements-ionisants-effets-radioprotection-sante/effets-rayonnements-ionisants/Pages/1-rayonnement-ionisant.aspx> ; Dernière consultation le 12/09/19
- [15] Les bases de la radioactivité ; IRNS ; [https://www.irsn.fr/fr/connaissances/nucleaire\\_et\\_societe/education-](https://www.irsn.fr/fr/connaissances/nucleaire_et_societe/education-)

radioprotection/bases\_radioactivite/documents/irsn\_comprendre-les-bases-de-la-radioactivite.pdf ; Dernière consultation le 12/09/19

[16] Le cycle du combustible nucléaire utilisé dans les centrales ; EDF ; 2015 ; <https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/producteur-industriel/nucleaire/Notes%20d%27information/NOTE%20CYCLE%20COMBUSTIBLE%202015.pdf> ; Dernière consultation le 12/09/19

[17] La production d'électricité d'origine nucléaire ; EDF ; 2018 ; [https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/producteur-industriel/nucleaire/Notes%20d%27information/note\\_production\\_nucleaire\\_2018.pdf](https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/producteur-industriel/nucleaire/Notes%20d%27information/note_production_nucleaire_2018.pdf) ; Dernière consultation le 12/09/19

[18] L'accident de Fukushima Daichii – Rapport du directeur général ; IAEA ; 2015 ; p140 ; <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/SupplementaryMaterials/P1710/Languages/French.pdf> ; Dernière consultation le 12/09/19

[19] La radioactivité naturelle en 10 épisodes ; Livret de la SFRP ; 1998 ; [https://www.sfmn.org/images/pdf/GroupesDeTravail/GT\\_Radioprotection/Irradiation\\_naturel\\_le\\_en\\_10\\_episodes.pdf](https://www.sfmn.org/images/pdf/GroupesDeTravail/GT_Radioprotection/Irradiation_naturel_le_en_10_episodes.pdf) ; Dernière consultation le 12/09/19

[20] Origines de la radioactivité : la radioactivité naturelle et artificielle en France ; IRSN ; 2014 ; <https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/radioactivite-environnement/sources-radioactivite/Pages/sommaire.aspx> ; Dernière consultation le 12/09/19

[21] Exposition de la population aux rayonnements ionisants ; Ph. Renaud ; IRSN ; 2017 ; [http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/5-a-IRSN\\_RP\\_exp\\_pop\\_cle8b32be.pdf](http://www.hctisn.fr/IMG/pdf/5-a-IRSN_RP_exp_pop_cle8b32be.pdf) ; Dernière consultation le 12/09/19

[22] Exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France : bilan 2017 ; IRSN ; 2017 ; [https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_expertise/Documents/radioprotection/IRSN\\_Rapport-Exposition-travailleurs-2017.pdf](https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/radioprotection/IRSN_Rapport-Exposition-travailleurs-2017.pdf) ; Dernière consultation le 12/09/19

[23] L'exposition à la radioactivité en France – Infographie ; IRSN ; 2016 ; [https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Sante/exposition-population/exposition-population-france-metropole/Documents/IRSN\\_Infographie-Exposition-population\\_201609.pdf](https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Sante/exposition-population/exposition-population-france-metropole/Documents/IRSN_Infographie-Exposition-population_201609.pdf) ; Dernière consultation le 12/09/19

[24] La prévention des risques dans les centrales nucléaires d'EDF ; EDF ; 2018 ; [https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/producteur-industriel/nucleaire/Notes%20d%27information/prevention\\_et\\_gestion\\_des\\_risques\\_2018.pdf](https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/producteur-industriel/nucleaire/Notes%20d%27information/prevention_et_gestion_des_risques_2018.pdf) ; Dernière consultation le 12/09/19

[25] Quelle est la dose de radioactivité dangereuse pour la santé ? ; IRSN ; [https://www.irsn.fr/FR/connaissances/faq/Pages/Quelle\\_est\\_la\\_dose\\_de\\_radioactivite\\_danger\\_euse\\_pour\\_la\\_sante.aspx](https://www.irsn.fr/FR/connaissances/faq/Pages/Quelle_est_la_dose_de_radioactivite_danger_euse_pour_la_sante.aspx) ; Dernière consultation le 12/09/19

[26] Prévenir et comprendre l'accident de Fukushima, Chronologie de l'accident ; ASN ; 2017 ; <https://www.asn.fr/Prevenir-et-comprendre-l-accident/Accident-de-Fukushima/Chronologie-de-l-accident> ; Dernière consultation le 12/09/19

- [27] Situation des installations nucléaires de Fukushima Dai-ichi – Point presse ; IRSN ; 2012 ; [https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations\\_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/fukushima-1-an/Documents/IRSN\\_Fukushima\\_Prez-Surete\\_28022012.pdf](https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/fukushima-1-an/Documents/IRSN_Fukushima_Prez-Surete_28022012.pdf) ; Dernière consultation le 12/09/19
- [28] L'impact du séisme sur les installations nucléaires de Fukushima-Daiichi ; IRSN ; 2011 ; [https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations\\_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/crise-2011/impact-japon/Pages/1-impact-seisme-installations.aspx](https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/crise-2011/impact-japon/Pages/1-impact-seisme-installations.aspx) ; Dernière consultation le 12/09/19
- [29] Évaluation de la radioactivité rejetée par la centrale de Fukushima Daiichi ; IRSN ; 2011 ; [https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations\\_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/crise-2011/impact-japon/Documents/IRSN\\_NI-Evaluation-radioactivite-rejets\\_22032011.pdf](https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/crise-2011/impact-japon/Documents/IRSN_NI-Evaluation-radioactivite-rejets_22032011.pdf) ; Dernière consultation le 12/09/19
- [30] L'accident de Fukushima 1 an après : bilan des conséquences environnementales au Japon ; IRSN ; 2012 ; [https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations\\_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/fukushima-1-an/Documents/IRSN\\_Fukushima\\_Prez-Environnement\\_28022012.pdf](https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-fukushima-2011/fukushima-1-an/Documents/IRSN_Fukushima_Prez-Environnement_28022012.pdf) ; Dernière consultation le 12/09/19
- [31] Fukushima, un an après – Premières analyses de l'accident et de ses conséquences ; IRSN ; 2012 ; [https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_expertise/surete/Documents/IRSN\\_Rapport\\_Fukushima-1-an-apres\\_032012.pdf](https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/surete/Documents/IRSN_Rapport_Fukushima-1-an-apres_032012.pdf) ; Dernière consultation le 12/09/19
- [32] L'accident de Fukushima Daiichi – Rapport du directeur général ; IAEA ; <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/SupplementaryMaterials/P1710/Languages/French.pdf> ; Dernière consultation le 12/09/19
- [33] B. Geoffroy, P. Verger, B. Le gGuen ; Pharmacocinétique de l'iode : revue des connaissances utiles en radioprotection accidentelle ; Radioprotection vol 35 n°2 ; 2000
- [34] ICRP Publication 71 (1995) Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides : part 4. Inhalation dose coefficients, Ann. ICRP 25 (3-4)
- [35] Crocker D.G. (1984) Nuclear reactor accidents - the use of KI as a blocking agent against radioiodine uptake in the thyroid - a review, Health. Phys. 46
- [36] Tubiana M., Schlumberger M. (1997) In : Toxiques nucléaires (P. Gale and R. Paulin, Eds.) pp. 59-82. Masson, Paris
- [37] Stanbury J.B. (1990) The physiological basis for blockade of radioiodine retention by iodine. In: Iodine prophylaxis following nuclear accidents (E. Rubery and E. Smales, Eds.) pp. 57-64 Proceedings of a joint WHO/CEC Workshop July 1988. Pergamon Press, Oxford
- [38] National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP Publication 55 (1997) Protection of the thyroid gland in the event of releases of radioiodine. Washington: National Council on Radiation Protection and Measurements

- [39] Lengemann F.W., Thompson J.C. (1963) Prophylactic and therapeutic measures for radioiodine contamination, a review, *Health Physics* 1391 - 1397
- [40] Delange F. (1990) The Wolff-Chaikoff Effect in Pediatrics. In: Iodine prophylaxis following nuclear accidents, (E. Rubery and E. Smales, Eds.) Proceedings of a joint WHO/CEC Workshop July 1988. pp. 83-92, Pergamon Press, Oxford
- [41] Wolff J. ; Iodide goiter and the pharmacologic effects of excess iodide. *Am. J. Med.*, 1969
- [42] Orgiazzi J. (1996) L'iode stable et la prévention des expositions a l'iode radioactif, *Energies-Santé* 7
- [43] Delange F. (1991) Blocage de l'activité thyroïdienne par l'iode stable. Cas particuliers de l'enfant et du fœtus. In: Irradiation par l'iode radioactif : Journée organisée par le comité de radioprotection d'Electricité de France, Paris, le 25 Octobre 1991, pp. 15-18. Jouve, Paris
- [44] Nauman J., Wolff J. (1993) Iodide prophylaxis in Poland after the Chernobyl reactor accident: benefits and risks. *Am. J. Med.* 94, 524-532
- [45] Koutras D., Livadas D. (1966) The minimum dose of potassium iodide which inhibits the thyroidal radioiodine uptake, *Nucl. Med.* 5, 256-61
- [46] Blum M., Eisenbud M. (1967) Reduction of thyroid irradiation from I131 by potassium iodide, *JAMA.* 200. 1036-1040
- [47] Sternthal E., Lipworth L., Stanley B., Abreau C., Fang S.L., Braverman L.E. (1980) Suppression of thyroid radioiodine uptake by various doses of stable iodide, *N.Engl J. Med.* 303, 1083-1088
- [48] Pupi A., Becciolini A., Signorini C. (1991) Preventive Measures. Improvement of Practical Countermeasures Post-Chernobyl Actions. Luxembourg: CECEUR 12556
- [49] Saxena K.M., Chapman E.M., Pryles C.V. (1962) Minimal dosage of iodide required to suppress uptake of iodine 131 by normal thyroid, *Science* 138, 430-431
- [50] Cronquist A., Pochin E.E., Thompson B.D. (1971) The speed of suppression by iodate of thyroid iodine uptake, *Health. Phys.* 21, 393-394
- [51] Zanonino P.B., Becker D.V. (1993) Use of potassium iodide to minimize thyroid radiation from radioactive fall-out. In: Iodine deficiency in Europe, (F. Delange et al. Eds.). Plenum Press, New York
- [52] Ramsden D., Passant F.H., Peabody C.O., Speight R.G. (1967) Radioiodine uptakes in the thyroid. Studies of the blocking and subsequent recovery of the gland following the administration of stable iodine, *Health Phys.* 13, 633-646
- [53] Berman M., Hoff E., Barandes M., Becker D.B., Sonenherg M., Benua R., Koutras D.A (1968); Iodine kinetics in man-a model, *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 28, 1-14
- [54] Wootton R., Hammond B.J. (1978) A computer simulation study of optimal thyroid radiation protection during investigations involving the administration of radioiodine- labeled pharmaceuticals, *Br. J. Radiol.* 51, 265-272

- [55] Johnson A.E. (1963) The rate of return of radioiodine uptake by the normal thyroid after suppression by pharmacological doses of stable iodide, *Health Physics* 9, 537- 538
- [56] Cuddihy R.G. (1966) Thyroidal iodine-131 uptake, turnover and blocking in adults and adolescents, *Health. Phys.* 12, 1021-5
- [57] Miller K.L., Coen P.E., White W.J., Hurst W.J., Achey B.E., Lang C.M. (1989) Effectiveness of skin absorption of tincture of I in blocking radioiodine from the human thyroid gland, *Health Phvs.* 56, 91 1-914
- [58] Noteboom J.L., Hummel W.A., Broerse J.J., de Vijlder J.J., Vulsma T., Jansen J.T., van Bekkum D.W.(1997) Protection of the maternal and fetal thyroid from radioactive contamination by the administration of stable iodide during pregnancy. An experimental evaluation in chimpanzees, *Radiat. Res* 147, 691-697
- [59] Baverstock K, Blomqvist L, Klein G, Paile W, Repacholi M. Guidelines for iodine prophylaxis following nuclear accidents. Geneva : World Health Organization, 1999 ; 39 p.
- [60] CSHPF (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France). Prévention des conséquences d'une contamination par les isotopes radioactifs de l'iode au moyen d'iode stable. Bulletin officiel du ministère de la Santé, 12 décembre 1998 : 155-6
- [61] Verger P, Aurengo A, Geoffroy B, Le Guen B. Iodine kinetics and effectiveness of stable iodine prophylaxis after intake of radioactive iodine: a review. *Thyroid* 2001 ; 11 : 353-60.
- [62] Valeix P., Hercberg S. (1992) La déficience en iode : un problème de santé publique en France et dans les pays européens ?, *Cah. Nutr. Diét.* 27, 24-31.
- [63] 63.WHO/CEC. (1990) Report on the joint WHO/CEC Workshop on iodine prophylaxis following nuclear accidents. In: Iodine prophylaxis following nuclear accidents (E. Rubery and E. Smales, Eds.) pp. 151-169 Proceedings of a joint WHO/CEC Workshop July 1988. Pergamon Press, Oxford.
- [64] Schlumberger M. Tumeurs de la thyroïde après irradiation. *Ann Endocrinol* 1995 ; 56 : 133-9
- [65] Holm LE, Hall P, Wiklund K, et al. Cancer risk after iodine-131 therapy for hyperthyroidism. *J Natl Cancer Inst* 1991 ; 83 : 1072-7
- [66] Delange F, de Benoist B, Alnwick D. Risks of iodine-induced hyperthyroidism after correction of iodine deficiency by iodized salt. *Thyroid* 1999 ; 9 : 545-56
- [67] Ek B, Johnsson S, Von Porat B. Iodide repletion test in an endemic goitre area. Risk of iodine-induced hyperthyroidism. *Acta Medica Scand* 1963 ; 173 : 341-8
- [68] Robison LM, Sylvester PW, Birkenfeld P, Lang JP, Bull RJ. Comparison of the effects of iodine and iodide on thyroid function in humans. *J Toxicol Environ Health* 1998 ; 55 : 93-106
- [69] Blum M, Weinberg U, Shenkman L, Hollander CS. Hyperthyroidism after iodinated contrast medium. *N Engl J Med* 1974 ; 291 : 24-5

- [70] Reinwein D, Benker G, König MP, Pinchera A, Schatz H, Schleusener H. Hyperthyroidism in Europe: clinical and laboratory data of a prospective multicentric survey. *J Endocrinol Invest*, 1986 ; 9 : 1-36
- [71] Laurie AJ, Lyon SG, Lasser EC. Contrast material iodides: potential effects on radioactive iodine thyroid uptake. *J Nucl Med* 1992 ; 33 : 237-8
- [72] Steidle B. Iodine-induced hyperthyroidism after contrast media: animal experimental and clinical studies. *Fortschr Geb Rontgenstrahlen Nuklearmed Ergänzungsbd* 1989 ; 128 : 6-14
- [73] Martin FI, Tress BW, Colman PG, Deam DR. Iodine-induced hyperthyroidism due to nonionic contrast radiography in the elderly. *Am J Med* 1993 ; 95 : 78-82
- [74] Nolte W, Müller R, Siggelkow H, Emrich D, Hufner M. Prophylactic application of thyrostatic drugs during excessive iodine exposure in euthyroid patients with thyroid autonomy: a randomized study. *Eur J Endocrinol* 1996 ; 134 : 337-41
- [75] Hintze G, Blombach O, Fink H, Burkhardt U, Kobberling J. Risk of iodine-induced thyrotoxicosis after coronary angiography: an investigation in 788 unselected subjects. *Eur J Endocrinol* 1999 ; 140 : 264-7
- [76] Vidor GI, Stewart JC, Wall JR, Wangel A, Hetzel BS. Pathogenesis of iodine-induced thyrotoxicosis: studies in northern Tasmania. *J Clin Endocrinol Metab* 1973 ; 37 : 901-9
- [77] Burgi H, Kohler M, Morselli B. Thyrotoxicosis incidence in Switzerland and benefit of improved iodine supply. *Lancet* 1998 ; 352 : 1034
- [78] Mostbeck A, Galvan G, Bauer P, et al. The incidence of hyperthyroidism in Austria from 1987 to 1995 before and after an increase in salt iodization in 1990. *Eur J Nucl Med* 1998 ; 25 : 367-74
- [79] Butfield IH, Hetzel BS. Endemic goitre in eastern New Guinea, with special reference to the use of iodized oil in prophylaxis and treatment. *Bull WHO* 1967 ; 36 : 243-62
- [80] Maberly GF, Corcoran JM, Eastman CJ. The effect of iodized oil on goitre size, thyroid function and the development of the Jod Basedow phenomenon. *Clin Endocrinol (Oxford)* 1982 ; 17 : 253-9
- [81] Martins MC, Lima N, Knobel M, Medeiros-Neto G. Natural course of iodine-induced thyrotoxicosis (Jodbasedow) in endemic goiter area: a 5-year follow-up. *J Endocrinol Invest* 1989 ; 12 : 239-44
- [82] Elnagar B, Eltom M, Karlsson FA, Ermans AM, Gebre-Medhin M, Bourdoux P. The effects of different doses of oral iodized oil on goiter size, urinary iodine, and thyroid-related hormones. *J Clin Endocrinol Metab* 1995 ; 80 : 891-7
- [83] Nauman J, Wolff J. Iodide prophylaxis in Poland after the Chernobyl reactor accident: benefits and risks. *Am J Med* 1993 ; 94 : 524-32
- [84] Pascale Dewachter , Claudie Mouton-Faivre. Allergie aux médicaments et aliments iodés : la séquence allergénique n'est pas l'iode ; *Presse Médicale* tome 44 n° 11 - Novembre 2015

[85] La gestion des conséquences de l'accident de Tchernobyl. Perspective historique ; ASN ; <https://www.asn.fr/Prevenir-et-comprendre-l-accident/Accident-de-Tchernobyl/Perspective-historique/Chronologie-generale> ; Dernière consultation le 12/09/19

[86] Circulaire DGS/3 A/3 E n° 1102 du 29 septembre 1987 relative à l'organisation des soins médicaux le premier jour en cas d'accident radiologique ou nucléaire

[87] Circulaire DGS/PGE/1B n°1561 du 16 octobre 1989 relative à l'information sur l'administration d'iode stable à la population en cas d'accident nucléaire

[88] Circulaire du 18 aout 1992 relative à l'administration d'iode stable en cas d'accident nucléaire

[89] Instruction du Premier Ministre du 10 avril 1997 relative à la distribution préventive et au stockage d'iode stable destiné aux populations voisines des installations nucléaires

[90] Circulaire interministérielle du 30 avril 1997 relative à la distribution et mise à disposition d'iode stable aux habitants voisins des installations nucléaires

[91] Distribution de l'iode, Alerte nucléaire je sais quoi faire ! ; <http://www.distribution-iode.com/wp-content/uploads/2016/01/france.png> ; Dernière consultation le 12/09/19

[92] Préfecture du Cher, de la Nièvre et du Loiret

[93] Circulaire interministérielle du 11 avril 2000 relative au renouvellement des comprimés d'iode aux habitants voisins des installations nucléaires

[94] Circulaire DGS n° 2000/262 du 17 mai 2000 relative aux missions des services déconcentrés du ministère de l'emploi et de la solidarité en matière de distribution de comprimé d'iode

[95] Circulaire DGS/SGCISN/DDSC n° 2001/549 du 14 novembre 2001 relative à la distribution préventive de comprimés d'iode stable et à la constitution de stocks de proximité

[96] Circulaire DGS/7D n° 01-996 du 19 décembre 2001. Tableaux de répartition des boîtes de comprimés d'iode par département pour la constitution des stocks de proximité et des stocks de réserve

[97] Circulaire du 23 décembre 2002 relative à la distribution préventive et aux plans de gestion des stocks de comprimés d'iode

[98] Circulaire du DGSNR/DDSC DEP-SD7 n° 2005-46 du 8 février 2005 relative à la distribution préventive des comprimés d'iode stable

[99] Lancement de la 4ème campagne de distribution de comprimés d'iode pour les populations situées autour des centrales nucléaires EDF ; ASN ; <https://www.asn.fr/Informer/Actualites/Campagne-de-distribution-de-comprimes-d-iode-2009> ; Dernière consultation le 12/09/19

[100] Circulaire 2019 - Instruction relative à l'organisation de la campagne complémentaire d'information et de distribution préventive de comprimés d'iode stable dans un rayon de 10 à 20 km autour des CNPE exploités par EDF

- [101] Document interne EDF à destination des professionnels de santé ; 2019
- [102] MARCHANDISE X, MOREL P. Risques liés à un accident nucléaire civil. Mesures de protection à mettre en œuvre à court terme. Dispensation d'iode stable. CESSPF octobre 1999
- [103] Pharmaciens et nucléaire : conduite pratique en cas d'accident.1 éd. Paris : Sodel, 1995
- [104] MARCHANDISE X, MOREL P, WEMEAU JL. Nouvelle distribution de comprimés d'iode : prévention des expositions à l'iode radioactif liées à un accident nucléaire civil. Supplément Santé et Rayonnements Ionisants n°20-2000/05
- [105] Schlumberger M et al. Cancer de la thyroïde après exposition aux rayonnements ionisants. Cancer /radiothérapie 2011
- [106] Carte interne ARS
- [107] Distribution de l'iode, Alerte nucléaire je sais quoi faire ! ; [distribution-iode.com](http://distribution-iode.com) ; Dernière consultation le 12/09/19
- [108] Comment réagir au signal national d'alerte ; <https://www.interieur.gouv.fr/Alerte/Alerte-ORSEC/Comment-reagir-au-signal-national-d-alerte> ; Dernière consultation le 12/09/19
- [109] Pharmacie Centrale des Armées ; Ministère des Armées ; 2010 ; <https://www.defense.gouv.fr/sante/mediatheque/photos/pharmacie-centrale-des-armees/pharmacie-centrale-des-armees> ; Dernière consultation le 12/09/19
- [110] Campagne 2016 d'information et de distribution de comprimés d'iode aux populations riveraines des centrales nucléaires EDF ; ASN ; 2016 ; <https://www.asn.fr/Informer/Actualites/Campagne-iode-une-progression-notable-de-la-mobilisation-citoyenne> ; Dernière consultation le 12/09/19
- [111] Populations légales 2016 ; INSEE ; 2016 ; <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3677855> ; Dernière consultation le 12/09/19
- [112] Taille des ménages 2016 ; INSEE ; 2016 ; <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2381486> ; Dernière consultation le 12/09/19
- [113] Arrêté royal organisant la distribution d'iodure de potassium ; ETAAMB ; 2018 ; [http://www.etaamb.be/fr/arrete-royal-du-06-mars-2018\\_n2018011190.html](http://www.etaamb.be/fr/arrete-royal-du-06-mars-2018_n2018011190.html) ; Dernière consultation le 12/09/19
- [114] Présentation du nouveau plan d'intervention d'urgence (PIU) en cas d'accident nucléaire ; Ministère de l'Intérieur de Belgique ; 2014 ; [https://mint.gouvernement.lu/fr/actualites.gouv\\_hcpn%2Bfr%2Bactualites%2Barticles%2B2014%2B21-piu.html](https://mint.gouvernement.lu/fr/actualites.gouv_hcpn%2Bfr%2Bactualites%2Barticles%2B2014%2B21-piu.html) ; Dernière consultation le 12/09/19
- [115] Ordonnance sur la distribution de comprimés d'iode à la population ; Conseil fédéral Suisse ; 2014 ; <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/20131043/201804010000/814.52.pdf> ; Dernière consultation le 12/09/19

[116] Taking iodine tablets in the event of a nuclear accident ; Norwegian Radiation Protection Authority ; 2019 ; <https://www.dsa.no/filer/a0e290047b.pdf> ; Dernière consultation le 12/09/19

[117] Intake of iodine tablets ; Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety ; <https://www.joblockade.de/en/iodine-tablets/> ; Dernière consultation le 12/09/19

[118] Frequently Asked Questions About Potassium Iodide ; United States Nuclear Regulatory Commission ; 2016 ; <https://www.nrc.gov/about-nrc/emerg-preparedness/about-emerg-preparedness/potassium-iodide/ki-faq.html> ; Dernière consultation le 12/09/19

# **SERMENT DE GALIEN**

~~~~~

Je jure, en présence des maîtres de la faculté et de mes condisciples :

**D'**honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.

**D'**exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.

**De** ne jamais oublier ma responsabilité, mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine, de respecter le secret professionnel.

**En** aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

**Que** les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

**Que** je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

Titre :

Prévention par l'iode stable en cas d'accident nucléaire - Place du pharmacien d'officine

Résumé :

En 2019, selon l'International Atomic Energy Agency, un total de 450 réacteurs nucléaires sont en fonctionnement répartis sur 4 continents.

Le risque d'accident nucléaire est donc présent partout dans le monde. La protection universelle contre une émission de radioactivité accidentelle reste la prise de iodure de potassium. Plus précisément, il protège la thyroïde de l'iode radioactif.

À partir de Juin 2019, La France augmente, le périmètre de sécurité, appelé Plan Particulier d'Intervention (PPI), autour des 19 centrales nucléaires de l'hexagone, passant de 10 à 20 km. Par la même occasion, une campagne de distribution de iodure de potassium et de sensibilisation de la population est lancée.

Les campagnes régulières permettent de rappeler les bons gestes les bons réflexes en cas de situation d'urgence.

Les comprimés de iodure de potassium sont des médicaments. Le pharmacien, gardien du médicament en est donc principalement responsable. C'est lui qui délivrera aux particuliers et représentant des établissements recevant du public les comprimés d'iode, et est en mesure de répondre à toutes les questions, de rassurer et de conseiller.

Mots-clés :

Centrale Nucléaire ; Iode ; Iodure de potassium ; Radioactivité ; Prophylaxie ; Pharmacie ; Plan Particulier d'Intervention ; Civaux ; Thyroïde

Title :

Stable iodine prevention in case of a nuclear accident – What the pharmacist has to do

Summary :

In 2019, according to the IAEA, a total of 450 nuclear reactors are operating over 4 continents.

The risk of nuclear accident is therefore present all over the world. Universal protection against an accidental release of radioactivity remains the intake of potassium iodide, because, it protects the thyroid from radioactive iodine.

Since June 2019, France increases the safety areas, called PPI, around the 19 nuclear power plants, from 10 to 20 kilometers. At the same time, a potassium iodide delivery and public awareness campaign is conducted.

Regular campaigns help to recall the right reflexes in case of such an emergency.

Potassium iodide pills are drugs. So, the pharmacist, watchman for the medicines, is the primarily responsible. He will give iodine tablets to everybody, and managers of establishments receiving public. He will also be able to answer questions, reassure and advise each person.

Keywords :

Nuclear Power Plant ; Iodine ; Potassium iodide ; Radioactivity ; Prophylaxis ; Pharmacy ; Specific response plan ; Civaux ; Thyroid gland