HAL
open science

# Evaluation des connaissances des habitants de la zone du PPI de Cattenom concernant les réflexes à adopter en cas d'accident nucléaire

Marie-Laure Schweitzer

## To cite this version:

Marie-Laure Schweitzer. Evaluation des connaissances des habitants de la zone du PPI de Cattenom concernant les réflexes à adopter en cas d'accident nucléaire. Médecine humaine et pathologie. 2019. hal-03298398

**HAL Id: hal-03298398**

**https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03298398v1**

Submitted on 18 Oct 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

FACULTÉ DE MÉDECINE UNIVERSITÉ DE LORRAINE

2019

# Thèse

Pour l'obtention du grade de

## Docteur en Médecine

Présentée et soutenue publiquement

Dans le cadre du Troisième Cycle de Médecine Spécialisée

Par

Marie-Laure SCHWEITZER

Le 19/12/2019

# Evaluation des connaissances des habitants de la zone du PPI de Cattenom concernant les réflexes à adopter en cas d'accident nucléaire.

Membres du Jury

| | |
|---|---|
| Monsieur le Professeur Marc KLEIN | Président et Directeur |
| Monsieur le Professeur Luc FRIMAT | Juge |
| Monsieur le Professeur Francis GUILLEMIN | Juge |
| Monsieur le Professeur Bruno GUERCI | Juge |
| Madame le Docteur Carole AYAV | Juge |

**Président de l'Université de Lorraine :**
**Professeur Pierre MUTZENHARDT**

**Doyen de la Faculté de Médecine**
**Professeur Marc BRAUN**

**Vice-doyenne**
Pr Laure JOLY

**Assesseurs :**
*Premier cycle* : Dr Nicolas GAMBIER
*Deuxième cycle* : Dr Antoine KIMMOUN
*Troisième cycle* : Pr Laure JOLY
*Formation à la recherche* : Pr Nelly AGRINIER
*Relations Grande Région* : Pr Thomas FUCHS-BUDER
*CUESIM* : Pr Stéphane ZUILY
*SIDES* : Dr Julien BROSEUS
*Vie Facultaire* : Dr Philippe GUERCI
*Etudiant* : Mme Audrey MOUGEL

**Chargés de mission**
*Docimologie* : Dr Jacques JONAS
*Orthophonie* : Pr Cécile PARIETTI-WINKLER
*PACES* : Pr Mathias POUSSEL
*Relations internationales* : Pr Jacques HUBERT

*Présidente du Conseil de la Pédagogie* : Pr Louise TYVAERT
*Président du Conseil Scientifique* : Pr Jean-Michel HASCOET

==========

## DOYENS HONORAIRES

Professeur Jean-Bernard DUREUX - Professeur Jacques ROLAND - Professeur Patrick NETTER - Professeur Henry COUDANE

==========

## PROFESSEURS HONORAIRES

Etienne ALIOT - Jean-Marie ANDRE - Alain AUBREGE - Gérard BARROCHE - Alain BERTRAND - Pierre BEY - Marc-André BIGARD - Patrick BOISSEL – Pierre BORDIGONI - Jacques BORRELLY - Michel BOULANGE - Jean-Louis BOUTROY – Serge BRIANÇON - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET - Daniel BURNEL - Claude CHARDOT Jean-François CHASSAGNE - François CHERRIER – Henry COUDANE - Jean-Pierre CRANCE - Jean-Pierre DESCHAMPS - Jean-Bernard DUREUX - Gilbert FAURE - Gérard FIEVE - Bernard FOLIGUET - Jean FLOQUET - Robert FRISCH -- Alain GAUCHER - Pierre GAUCHER - Jean-Luc GEORGE - Alain GERARD - Hubert GERARD - Jean-Marie GILGENKRANTZ - Simone GILGENKRANTZ -Gilles GROSDIDIER - François GUILLEMIN - Philippe HARTEMANN - Gérard HUBERT - Claude HURIET - Michèle KESSLER - François KOHLER - Henri LAMBERT - Pierre LANDES - Pierre LASCOMBES - - Marie-Claire LAXENAIRE - Michel LAXENAIRE - Alain LE FAOU - Jacques LECLERE - Pierre LEDERLIN - Bernard LEGRAS - Jean-Pierre MALLIÉ - Philippe MANGIN - François MARCHAL - Jean-Claude MARCHAL – Yves MARTINET - Pierre MATHIEU - Michel MERLE - Daniel MOLÉ - Pierre MONIN - Pierre NABET – Patrick NETTER - Jean-Pierre NICOLAS - Francis PENIN - Claude PERRIN - Luc PICARD - François PLENAT - Jean-Marie POLU - Jacques POUREL - Francis RAPHAEL - Antoine RASPILLER - Denis REGENT - Jacques ROLAND - Daniel SCHMITT - Michel SCHMITT - Michel SCHWEITZER - - Daniel SIBERTIN-BLANC - Claude SIMON - Danièle SOMMELET - Jean-François STOLTZ - Michel STRICKER - Gilbert THIBAUT - Paul VERT - Hervé VESPIGNANI - Colette VIDAILHET - Michel VIDAILHET - Jean-Pierre VILLEMOT -
Michel WEBER – Denis ZMIROU - Faïez ZANNAD

==========

## PROFESSEURS ÉMÉRITES

Etienne ALIOT - Pierre BEY - Henry COUDANE - Serge BRIANÇON - Jean-Marie GILGENKRANTZ - Simone GILGENKRANTZ - Michèle KESSLER - Alain LE FAOU - Patrick NETTER - Jean-Pierre NICOLAS - Luc PICARD - François PLENAT -
Jean-Pierre VILLEMOT - Faiez ZANNAD

==========

## PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

*(Disciplines du Conseil National des Universités)*

### 42e Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

**1re sous-section : *(Anatomie)***
Professeur Marc BRAUN – Professeure Manuela PEREZ
**2e sous-section : *(Histologie, embryologie et cytogénétique)***
Professeur Christo CHRISTOV
**3e sous-section : *(Anatomie et cytologie pathologiques)***
Professeur Guillaume GAUCHOTTE

### 43e Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

**1re sous-section : *(Biophysique et médecine nucléaire)***
Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER - Professeur Antoine VERGER
**2e sous-section : *(Radiologie et imagerie médicale)***
Professeur René ANXIONNAT - Professeur Alain BLUM - Professeur Serge BRACARD - Professeure Valérie CROISÉ - Professeur Jacques FELBLINGER - Professeur Benjamin GORY - Professeur Damien MANDRY - Professeur Pedro GONDIM TEIXEIRA

### 44e Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

**1re sous-section : *(Biochimie et biologie moléculaire)***
Professeur Jean-Louis GUEANT - Professeur Bernard NAMOUR - Professeur Jean-Luc OLIVIER
**2e sous-section : *(Physiologie)***
Professeur Christian BEYAERT - Professeur Bruno CHENUEL - Professeur Mathias POUSSEL
**3e sous-section *(Biologie cellulaire)***
Professeure Véronique DECOT-MAILLERET
**4e sous-section : *(Nutrition)***
Professeur Didier QUILLIOT - Professeure Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT - Professeur Olivier ZIEGLER

### 45e Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

**1re sous-section : *(Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière)***
Professeur Alain LOZNIEWSKI – Professeure Evelyne SCHVOERER
**2e sous-section : *(Parasitologie et Mycologie)***
Professeure Marie MACHOUART
**3e sous-section : *(Maladies infectieuses ; maladies tropicales)***
Professeur Bruno HOEN - Professeur Thierry MAY - Professeure Céline PULCINI - Professeur Christian RABAUD

### 46e Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

**1re sous-section : *(Épidémiologie, économie de la santé et prévention)***
Professeure Nelly AGRINIER - Professeur Francis GUILLEMIN
**4e sous-section : *(Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication)***
Professeure Eliane ALBUISSON - Professeur Nicolas JAY

### 47e Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

**1re sous-section : *(Hématologie ; transfusion)***
Professeur Pierre FEUGIER
**2e sous-section : *(Cancérologie ; radiothérapie)***
Professeur Thierry CONROY - Professeur Frédéric MARCHAL - Professeur Didier PEIFFERT - Professeur Guillaume VOGIN
**3e sous-section : *(Immunologie)***
Professeur Marcelo DE CARVALHO-BITTENCOURT - Professeure Marie-Thérèse RUBIO
**4e sous-section : *(Génétique)***
Professeur Philippe JONVEAUX - Professeur Bruno LEHEUP

**48e Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**

**1re sous-section : *(Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)***
Professeur Gérard AUDIBERT - Professeur Hervé BOUAZIZ - Professeur Thomas FUCHS-BUDER
Professeure Marie-Reine LOSSER - Professeur Claude MEISTELMAN

**2e sous-section : *(Médecine intensive-réanimation)***
Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT - Professeur Sébastien GIBOT - Professeur Bruno LÉVY

**3e sous-section : *(Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie)***
Professeur Pierre GILLET - Professeur Jean-Yves JOUZEAU

**4e sous-section : *(Thérapeutique-médecine de la douleur ; addictologie)***
Professeur Nicolas GIRERD - Professeur François PAILLE - Professeur Patrick ROSSIGNOL

**49e Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION**

**1re sous-section : *(Neurologie)***
Professeur Marc DEBOUVERIE - Professeur Louis MAILLARD - Professeur Sébastien RICHARD - Professeur Luc TAILLANDIER Professeure Louise TYVAERT

**2e sous-section : *(Neurochirurgie)***
Professeur Thierry CIVIT - Professeure Sophie COLNAT-COULBOIS - Professeur Olivier KLEIN

**3e sous-section : *(Psychiatrie d'adultes ; addictologie)***
Professeur Jean-Pierre KAHN – Professeur Vincent LAPREVOTE - Professeur Raymund SCHWAN

**4e sous-section : *(Pédopsychiatrie ; addictologie)***
Professeur Bernard KABUTH

**5e sous-section : *(Médecine physique et de réadaptation)***
Professeur Jean PAYSANT

**50e Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE**

**1re sous-section : *(Rhumatologie)***
Professeure Isabelle CHARY-VALCKENAERE - Professeur Damien LOEUILLE

**2e sous-section : *(Chirurgie orthopédique et traumatologique)***
Professeur Laurent GALOIS - Professeur Didier MAINARD - Professeur François SIRVEAUX

**3e sous-section : *(Dermato-vénéréologie)***
Professeure Anne-Claire BURSZTEJN - Professeur Jean-Luc SCHMUTZ

**4e sous-section : *(Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)***
Professeur François DAP - Professeur Gilles DAUTEL - Professeur Etienne SIMON

**51e Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE**

**1re sous-section : *(Pneumologie ; addictologie)***
Professeur Jean-François CHABOT - Professeur Ari CHAOUAT

**2e sous-section : *(Cardiologie)***
Professeur Edoardo CAMENZIND - Professeur Christian de CHILLOU DE CHURET - Professeur Yves JUILLIERE
Professeur Nicolas SADOUL

**3e sous-section : *(Chirurgie thoracique et cardiovasculaire)***
Professeur Juan-Pablo MAUREIRA - Professeur Stéphane RENAUD

**4e sous-section : *(Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)***
Professeur Sergueï MALIKOV - Professeur Denis WAHL – Professeur Stéphane ZUILY

**52e Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE**

**1re sous-section : *(Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)***
Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI - Professeur Laurent PEYRIN-BIROULET

**2e sous-section : *(Chirurgie viscérale et digestive)***
Professeur Ahmet AYAV - Professeur Laurent BRESLER - Professeur Laurent BRUNAUD – Professeure Adeline GERMAIN

**3e sous-section : *(Néphrologie)***
Professeur Luc FRIMAT - Professeure Dominique HESTIN

**4e sous-section : *(Urologie)***
Professeur Pascal ESCHWEGE - Professeur Jacques HUBERT

**53e Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE ET MÉDECINE GÉNÉRALE**

**1re sous-section : *(Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie)***
Professeur Athanase BENETOS - Professeur Jean-Dominique DE KORWIN - Professeure Gisèle KANNY
Professeure Christine PERRET-GUILLAUME – Professeur Roland JAUSSAUD – Professeure Laure JOLY

**3e sous-section : *(Médecine générale)***
Professeur Jean-Marc BOIVIN – Professeur Paolo DI PATRIZIO

**54e Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION**

**1re sous-section : *(Pédiatrie)***
Professeur Pascal CHASTAGNER - Professeur François FEILLET - Professeur Jean-Michel HASCOET
Professeur Emmanuel RAFFO - Professeur Cyril SCHWEITZER
**2e sous-section : *(Chirurgie infantile)***
Professeur Pierre JOURNEAU - Professeur Jean-Louis LEMELLE
**3e sous-section : *(Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)***
Professeur Philippe JUDLIN - Professeur Olivier MOREL
**4e sous-section : *(Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale)***
Professeur Bruno GUERCI - Professeur Marc KLEIN - Professeur Georges WERYHA

**55e Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU**

**1re sous-section : *(Oto-rhino-laryngologie)***
Professeur Roger JANKOWSKI - Professeure Cécile PARIETTI-WINKLER
**2e sous-section : *(Ophtalmologie)***
Professeure Karine ANGIOI - Professeur Jean-Paul BERROD
**3e sous-section : *(Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)***
Professeure Muriel BRIX

==========

## PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

**61e Section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL**
Professeur Walter BLONDEL

**64e Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE**
Professeure Sandrine BOSCHI-MULLER - Professeur Pascal REBOUL

**65e Section : BIOLOGIE CELLULAIRE**
Professeure Céline HUSELSTEIN

==========

## PROFESSEUR ASSOCIÉ DE MÉDECINE GÉNÉRALE

Professeure associée Sophie SIEGRIST
Professeur associé Olivier BOUCHY

==========

## MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

**42e Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE**

**1re sous-section : *(Anatomie)***
Docteur Bruno GRIGNON
**2e sous-section : *(Histologie, embryologie, et cytogénétique*)**
Docteure Isabelle KOSCINSKI

**44e Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION**

**1re sous-section : *(Biochimie et biologie moléculaire)***
Docteure Shyue-Fang BATTAGLIA - Docteure Sophie FREMONT - Docteure Catherine MALAPLATE - Docteur Marc MERTEN - Docteur Abderrahim OUSSALAH
**2e sous-section** : ***(Physiologie)***
Docteure Silvia DEMOULIN-ALEXIKOVA - Docteur Jacques JONAS

**45e Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE**

**1re sous-section : *(Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière)***
Docteure Corentine ALAUZET - Docteure Hélène JEULIN - Docteure Véronique VENARD
***2e sous-section : (Parasitologie et mycologie)***
Docteure Anne DEBOURGOGNE

**46e Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ**
**1re sous-section : *(Epidémiologie, économie de la santé et prévention)***
Docteur Cédric BAUMANN - Docteure Frédérique CLAUDOT - Docteur Alexis HAUTEMANIÈRE
Docteur Arnaud FLORENTIN (stagiaire)
**2e sous-section *(Médecine et Santé au Travail)***
Docteure Isabelle THAON
**3e sous-section *(Médecine légale et droit de la santé)***
Docteur Laurent MARTRILLE

**47e Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE**
**1re sous-section : *(Hématologie ; transfusion)***
Docteur Julien BROSEUS – Docteure Maud D'AVENI
**2e sous-section : *(Cancérologie ; radiothérapie)***
Docteure Lina BOLOTINE
**3e sous-section : *(Immunologie)***
Docteure Alice AARNINK (stagiaire)
**4e sous-section : *(Génétique)***
Docteure Céline BONNET

**48e Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE**
**1e sous-section : *(Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)***
Docteur Philippe GUERCI
**2e sous-section : *(Médecine intensive-réanimation)***
Docteur Antoine KIMMOUN
**3e sous-section : *(Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie)***
Docteur Nicolas GAMBIER - Docteure Françoise LAPICQUE - Docteur Julien SCALA-BERTOLA

**49e Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP ET RÉÉDUCATION**
**2e sous-section : *(Neurochirurgie)***
Docteur Fabien RECH (stagiaire)
**3e sous-section : *(*Psychiatrie d'adultes ; addictologie)**
Docteur Thomas SCHWITZER (stagiaire)

**50e Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE ET CHIRURGIE PLASTIQUE**
**4e sous-section** : ***(Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)***
Docteure Laetitia GOFFINET-PLEUTRET

**51e Section : PATHOLOGIE CARDIO-RESPIRATOIRE ET VASCULAIRE**
**3e sous-section : *(Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire)***
Docteur Fabrice VANHUYSE
**4e sous-section : *(Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire)***
Docteure Nicla SETTEMBRE

**52e Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF ET URINAIRE**
**1re sous-section : *(Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)***
Docteur Anthony LOPEZ
**2e sous-section : (Chirurgie viscérale et digestive)**
Docteur Cyril PERRENOT

**53e Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE ET MÉDECINE GÉNÉRALE**
**3e sous-section : *(Médecine générale)***
Docteure Kénora CHAU (stagiaire)

**54e Section : DEVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNECOLOGIE-OBSTETRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION**
**4e sous-section : *(Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; Gynécologie médicale)***
Docteure Eva FEIGERLOVA
**5e sous-section : *(Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale)***
Docteur Mikaël AGOPIANTZ (stagiaire)

**55e Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU**
**1re sous-section : *(Oto-Rhino-Laryngologie)***
Docteur Patrice GALLET

**==========**

## MAÎTRES DE CONFÉRENCES

**5e Section : SCIENCES ÉCONOMIQUES**
Monsieur Vincent LHUILLIER

**7e Section : SCIENCES DU LANGAGE : LINGUISTIQUE ET PHONETIQUE GENERALES**
Madame Christine DA SILVA-GENEST

**19e Section : SOCIOLOGIE, DÉMOGRAPHIE**
Madame Joëlle KIVITS

**64e Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE**
Madame Marie-Claire LANHERS - Monsieur Nick RAMALANJAONA

**65e Section : BIOLOGIE CELLULAIRE**
Madame Nathalie AUCHET - Madame Natalia DE ISLA-MARTINEZ - Monsieur Christophe NEMOS

**66e Section : PHYSIOLOGIE**
Monsieur Nguyen TRAN

**69e Section : NEUROSCIENCES**
Madame Sylvie MULTON
**==========**

## MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS DE MÉDECINE GÉNÉRALE

Docteur Cédric BERBE
**==========**

## DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Charles A. BERRY (1982)
*Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)*
Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)
*Brown University, Providence (U.S.A)*
Professeure Mildred T. STAHLMAN (1982)
*Vanderbilt University, Nashville (U.S.A)*
Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)
*Institut d'Anatomie de Würtzburg (R.F.A)*
Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)
*Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)*
Professeure Maria DELIVORIA-PAPADOPOULOS (1996) *Université de Pennsylvanie (U.S.A)*
Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)
*Université d'Helsinki (FINLANDE)*
Professeur Duong Quang TRUNG (1997)
*Université d'Hô Chi Minh-Ville (VIÊTNAM)*
Professeur Daniel G. BICHET (2001)
*Université de Montréal (Canada)*
Professeur Marc LEVENSTON (2005)
*Institute of Technology, Atlanta (USA)*
Professeur Brian BURCHELL (2007)
*Université de Dundee (Royaume-Uni)*
Professeur Yunfeng ZHOU (2009)
*Université de Wuhan (CHINE)*
Professeur David ALPERS (2011)
*Université de Washington (U.S.A)*
Professeur Martin EXNER (2012)
*Université de Bonn (ALLEMAGNE)*

# REMERCIEMENTS

A notre Président du Jury et Directeur de Thèse,

**Monsieur le Professeur Marc KLEIN,**

**Professeur des Universités et Praticien Hospitalier,**

Nous vous remercions de nous avoir fait confiance pour la réalisation de cette thèse ainsi que pour tout l'enseignement précieux que nous avons reçu de votre part. Vous nous avez transmis la fibre de l'endocrinologie. Nous vous remercions pour votre disponibilité, votre soutien, votre humanité tout au long de notre internat. Nous sommes honorées que vous soyez notre Président de Thèse.

Veuillez trouver ici l'expression de notre reconnaissance et de notre profond respect.

À notre Juge,

**Monsieur le Professeur Luc FRIMAT,**

**Professeur des Universités et Praticien Hospitalier,**

Nous vous remercions pour votre bienveillance, votre disponibilité et votre soutien. Nous sommes reconnaissants de la confiance que vous nous avez témoignée durant le master 2. Nous sommes honorées que vous soyez membre de notre jury en dépit de la charge de travail qui vous incombe.

Veuillez trouver ici l'expression de notre profond respect.

À notre Juge,

**Monsieur le Professeur Francis GUILLEMIN,**

**Professeur des Universités et Praticien Hospitalier,**

Nous sommes honorés de vous compter parmi les membres de notre jury. Nous vous remercions pour le soutien apporté dans le cadre de notre formation de chercheur ainsi que pour votre pédagogie.

Nous sommes honorées que vous soyez membre de notre jury en dépit de la charge de travail qui vous incombe.

Veuillez trouver ici l'expression de notre profond respect.

À notre Juge,

**Monsieur le Professeur Bruno GUERCI,**

**Professeur des Universités et Praticien Hospitalier,**

Nous vous remercions pour votre soutien, votre disponibilité et votre écoute. Nous vous remercions pour la confiance que vous nous portez et toute l'expertise que vous nous avez transmise dans le domaine de la diabétologie. Nous sommes honorées que vous soyez membre de notre jury.

Veuillez trouver ici l'expression de notre profond respect.

À notre Juge,

**Madame le Docteur Carole AYAV**

Nous vous remercions pour l'encadrement, la bienveillance, la confiance que vous nous avez portée pendant notre internat. Nous vous remercions pour vos précieux conseils professionnels et personnels. Nous sommes honorés de vous compter parmi les membres de notre Jury.

Veuillez trouver ici l'expression de notre profond respect.

**A ma formidable famille,**

A mes Parents, Mes piliers, Merci d'avoir toujours étaient là pour moi. Votre écoute, votre soutien indéfectible, votre bon sens m'ont été indispensables tout au long de ces années difficiles. Vous m'avez donné des valeurs et m'avez transmis des qualités humaines qui font ce que je suis aujourd'hui. Je suis fière d'être votre fille.

A ma petite famille. À mon fils, Gabriel, mon étoile. Mon Amour pour toi est inconditionnel. Nous avons traversé des années difficiles mais tu m'as donné la force de tout surmonter. Pour toi je ne cesserai jamais de repenser le monde. A mon chéri Joffrey, mon partenaire, ma moitié. J'ai retrouvé un équilibre grâce à toi. Merci pour ton soutien, ta présence, ta protection.

A mon frère, ma belle-sœur Sandrine et mon neveu Mathis. Un grand Merci pour votre soutien. Je serai toujours là pour vous.

A ma belle-famille, Merci pour votre soutien et de votre bonne humeur. Un remerciement particulier à Laurence et Stephan que j'adore.

A mes grands-parents, je vous dédie ma thèse.

**A mes amis,**

A mon amie d'enfance, Delphine, peu importe la distance notre amitié traverse les kilomètres et les années. Merci d'avoir toujours été là pour moi. Tu pourras toujours compter sur moi.

A mon ami, Maël alias l'interne de charme. Merci de ton soutien et de ton amitié depuis notre rencontre. J'ai passé mon meilleur semestre avec toi.

Un grand merci à la Team CIC Marilou, Camille, Ngoc-ha et Yoann. La Team de choc. Merci de votre bonne humeur, de votre soutien, de votre folie et des bons moments passés et à venir ! L'année recherche a été une excellente année grâce à vous.

A Sonia et Antoine rencontrés tardivement dans mon internat mais quelle rencontre ! Merci pour votre soutien et les séances de psychothérapie de groupe ! Vous êtes des amis en or.

A mes amis de faculté, Alex, Sarah, Yannick, Agathe, Chloé et Lucille. Nous y sommes arrivés !

A mes co-internes devenues mes chefs, Léa et Julie. Merci pour votre bonne humeur et votre dynamisme. Vous êtes des wonderwomen.

Aux assistants et praticiens hospitaliers, Merci pour votre soutien et votre pédagogie. Je remercie tout particulièrement le Dr Ludovic Coupez et le Dr Carole LEGAGNEUR qui sont des modèles aux qualités humaines et à l'investissement exemplaires.

A toutes les équipes paramédicales rencontrées. J'ai appris énormément de chose grâce à vous notamment le travail en équipe. Je tenais à remercier spécialement Patricia, Céline, Sophie, Nathalie et Marie-Agnès les supers infirmières d'endocrinologie.

A tous les patients rencontrés, Merci d'avoir participé à ma formation. La relation médecin-patient ne s'apprend pas dans les livres.

A tous les habitants de la zone du PPI de Cattenom, Merci de votre aide pour la réalisation de ma thèse.

# SERMENT

« Au moment d'être admise à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçue à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonorée et méprisée si j'y manque ».

# Table des matières

**Liste des abréviations** ..... 18

**I Contexte** ..... 19

1- Principe de la radioactivité ..... 19
2- Principes de fonctionnement d'une centrale électrique nucléaire ..... 20
3- La production électrique nucléaire en quelques chiffres ..... 22
4- Les menaces planant sur les centrales nucléaires ..... 23
4.1. Le vieillissement des installations ..... 23
4.2. Le risque naturel ..... 24
4.3. Le risque terroriste ..... 27
4.4. Les erreurs humaines et les pannes ..... 29
5- Trois exemples emblématiques d'accident nucléaire ..... 29
5.1. Three Miles Island ..... 30
5.2. Tchernobyl ..... 30
5.3. Fukushima ..... 33
6- La prévention ..... 34
6.1. Maitriser les risques ..... 34
6.2. Procédure en cas d'accident nucléaire en France ..... 35
6.3. Les réflexes à adopter en cas d'accident nucléaire ..... 37
6.4. Zone du Plan Particulier d'Intervention et campagne d'information ..... 40
6.5. Etude précédente ..... 41

**II- Article** ..... 42

Nuclear power plant: state of knowledge of the population living in the area of the Cattenom special intervention plan. A cross sectional study. ..... 42

**III- Conclusion** : ..... 58

1. Résultats principaux ..... 58
2. Propositions ..... 59
3. Evolution de la législation ..... 60
4. Dans les autres pays ..... 60

**IV-Bibliographie :** ..... 62

**V- ANNEXES** ..... 66

Annexe 1 : brochure « campagne iode » 2016-2017. .....66

Annexe 2 : Questionnaire administré .....68

Annexe 3 : Lettre informative déposée avec le questionnaire en cas d'absence au domicile .....74

# Liste des abréviations

| | |
|---|---|
| AIEA | Agence internationale de l'énergie atomique |
| ASN | Agence de Sureté Nucléaire |
| CIC | Cellule Interministérielle de Crise |
| COD | Centre Opérationnel Département |
| EDF | Électricité de France |
| INES | International Nuclear Event Scale = Échelle Internationale des Évènements Nucléaires |
| IPSN | Institut de protection et de sûreté nucléaire |
| IRSN | Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire |
| KI | Iodure de Potassium |
| mSv | Millisievert |
| ONG | Organisation Non Gouvernementale |
| PPI | Plan Particulier d'Intervention |
| PSPG | Peloton Spécialisé de Protection de la Gendarmerie |
| SMHV | Séisme Maximal Historiquement Vraisemblable |
| SMS | Séisme Majoré de Sécurité |
| TEP FDG | Tomographie Par Emission de Positons marqué au Fluorodesoxyglucose |

# I Contexte

## 1- Principe de la radioactivité

La radioactivité a été découverte par Henri Becquerel en 1896. La radioactivité est avant tout un phénomène naturel par lequel les noyaux atomiques instables se transforment en atomes plus stables en émettant des particules (proton, noyau d'hélium, électron, neutron) et de l'énergie. Les rayons alpha correspondent à l'émission d'un noyau d'hélium, les rayons beta à l'émission d'électrons et les rayons gamma à l'émission de photons. Ces rayonnements ont la capacité d'entrainer l'ionisation de la matière traversée d'où le terme de rayonnements ionisants. En fonction du type de rayonnement, la pénétrance n'est pas la même. Ainsi les rayonnements alpha ont une faible pénétrance mais l'énergie délivrée par unité de longueur est élevée. Les rayonnements gamma ont une forte pénétrance mais délivrent peu d'énergie par unité de longueur. Les rayonnements beta ont une pénétrance intermédiaire entre les rayons alpha et gamma. Les effets des rayonnements sur un organisme dépendent de l'intensité et de la durée de l'exposition, de la nature du rayonnement et de la distance par rapport à la source radioactive.

Depuis sa découverte, les propriétés de la radioactivité, dite radioactivité artificielle, se sont appliquées à de nombreux domaines :

- La défense nationale, historiquement. Les pays industrialisés se sont dotés d'armes nucléaires.
- La médecine. La radioactivité est utilisée à des fins diagnostiques (scintigraphie, TEP FDG…) et thérapeutiques (Radiothérapie externe ou radiothérapie interne vectorisée)
- Énergétique avec la production d'électricité.
- En agriculture et dans l'industrie. La radioactivité est utilisée pour la protection des cultures ou pour la conservation des aliments.
- En histoire et géologie. La radioactivité permet de réaliser une datation d'objet ancien, surveillance des courants océaniques, histoire du climat, prédiction d'éruption volcanique.

L'exposition d'un organisme aux rayonnements ionisants peut être de deux types : l'irradiation externe et la contamination. On parle d'irradiation externe lorsque la source de radioactivité est située à l'extérieur du corps. Dans ce cas plus la source d'irradiation est loin du corps plus l'irradiation est faible. Ainsi la mise à l'abri dans un bâtiment en dur est efficace. On parle de contamination lorsque la source de radioactivité pénètre dans l'organisme par inhalation, ingestion ou par blessure avec des objets contaminés. Lorsque les particules radioactives sont déposées sur la peau ou sur les vêtements sans avoir pénétré dans le corps, on parle de contamination externe.

## 2- Principes de fonctionnement d'une centrale électrique nucléaire

Comme dans les centrales thermiques ou hydrauliques, la production d'électricité provient de la mise en mouvement d'une turbine reliée à un alternateur.

Dans les centrales nucléaires il existe trois circuits.

Un circuit primaire en contact direct avec le réacteur. L'énergie produite par la fission d'un atome d'uranium dans le réacteur produit de la chaleur qui se transmet au circuit primaire. L'eau de ce circuit est maintenue à l'état liquide par un pressuriseur. Ce circuit primaire est en contact indirect avec un circuit secondaire. Dans ce circuit secondaire la chaleur transmise par le circuit primaire entraine la formation de vapeur. La vapeur va ensuite entrainer la mise en mouvement de la turbine et la production d'électricité via l'alternateur. La vapeur va ensuite retourner à l'état liquide grâce à un condensateur. Enfin le circuit de refroidissement, dont l'eau provient directement d'un cours d'eau à proximité de la centrale, alimente le condensateur en eau froide.

Selon le modèle de centrale nucléaire, l'eau du circuit de refroidissement peut être directement rejeté dans le cours d'eau à une température plus élevée ou être refroidie dans un aéroréfrigérant. L'air circule librement dans l'aéroréfrigérant entrant par le bas et sortant par le haut. L'air refroidit l'eau du circuit de refroidissement et disperse la chaleur sous forme de vapeur d'eau. Cette perte d'eau est compensée par un prélèvement équivalent dans un cours d'eau voisin (Figure 1 et 2).

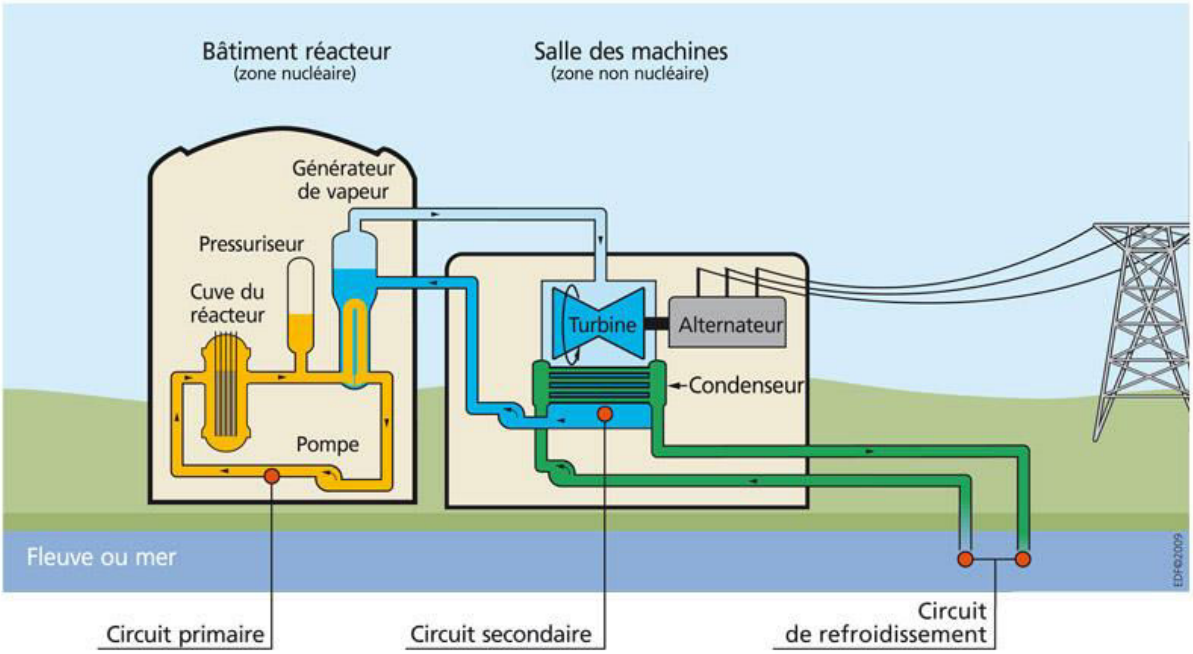



Figure 1 **:** Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire sans aéroréfrigérant (source : IRSN)

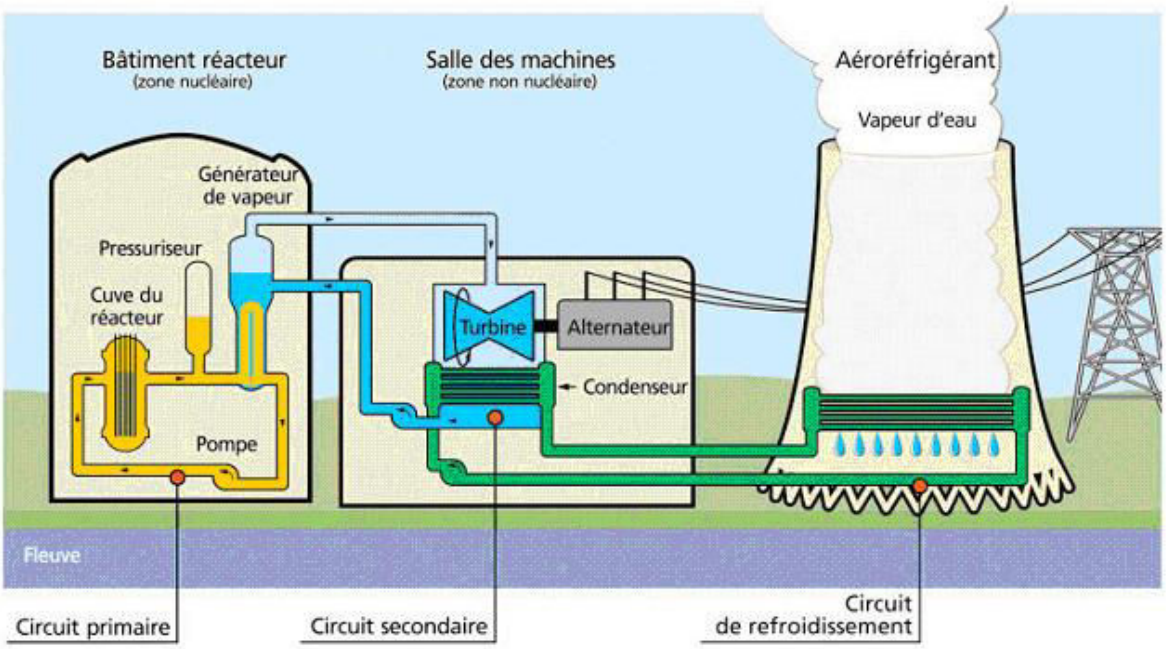



Figure 2 : Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire avec aéroréfrigérant (source : IRSN)

Le réacteur nucléaire se situe dans la cuve du circuit primaire. Il est composé de plusieurs dispositifs de combustible nucléaire appelés cœur du réacteur et de systèmes de contrôle. Les réacteurs nucléaires utilisent le principe de fission des

atomes instables. Dans le cœur du réacteur, la réaction en chaine est produite par la collision d'un neutron avec un atome instable d'uranium 236 ou de plutonium 239. Le neutron est capturé par l'atome dont l'instabilité augmente. Il se produit alors une fission de l'atome d'uranium qui libère de l'énergie sous forme de chaleur et deux ou trois neutrons qui a leur tour vont entrer en collision avec des atomes d'uranium instables.

Pour piloter la réaction en chaine, il faut maintenir une masse critique de combustible nucléaire dans le réacteur. Pour contrôler la réaction en chaine, on utilise des modérateurs dont le but est de ralentir les neutrons ainsi que des barres de contrôle constituées de matériaux absorbant les neutrons (cadmium, gadolinium et le bore) pour que la réaction en chaine ne s'amplifie pas indéfiniment.

La fusion du cœur du réacteur correspond à la surchauffe des crayons de combustibles nucléaires qui fondent et coulent au fond du réacteur. Elle se produit essentiellement lorsque la température du cœur du réacteur augmente par dysfonctionnement du système de refroidissement.

## 3- La production électrique nucléaire en quelques chiffres

Dans le monde, 10% de l'électricité produite est issue du nucléaire. Actuellement 415 réacteurs sont en fonctionnement et 46 réacteurs en construction. La moyenne d'âge de ces réacteurs est de 30.3 ans. Les principaux pays utilisant cette source d'énergie sont les États Unis, le Japon et la France. La Chine est en cours de développement de son parc nucléaire.

En France, les centrales nucléaires produisent plus de 70% de l'électricité du pays. Le développement de l'énergie nucléaire s'explique par les faibles ressources énergétiques (charbon, pétrole ou gaz) dont dispose la France et du choc pétrolier des années 1970 (1). Le parc nucléaire français est composé de 58 réacteurs répartis dans 19 centrales. Les centrales initialement construites pour une durée de vie de 30 ans se sont vues prolongées par l'Agence de Sureté Nucléaire (ASN) à 40 ans. Actuellement la moyenne d'âge des centrales est de 31 ans (2,3). La centrale la plus ancienne est la centrale de Fessenheim âgée de 41 ans dont la fermeture est prévue pour l'été 2020.

## 4- Les menaces planant sur les centrales nucléaires

### 4.1. Le vieillissement des installations

À leur construction, la durée d'exploitation prévue des centrales nucléaires était de 30 ans. L'âge moyen des centrales a actuellement dépassé cette limite (figure 1). La législation française ne prévoit pas de date limite d'exploitation. Électricité de France (EDF) a pour projet de prolonger l'exploitation des centrales jusqu'à 50 voire 60 ans. L'accord de prolongation de l'exploitation pour chaque centrale est délivré par l'Agence de Sureté Nucléaire (ASN) lors de la visite décennale. Un plan d'investissement estimé à 55 milliards d'euros est annoncé par EDF afin d'assurer la maintenance des centrales et leurs modernisations. Sur cette somme, 10 milliards d'euros concernent des investissements de mise aux normes des centrales après la catastrophe de Fukushima, 20 milliards pour améliorer la sûreté des réacteurs, 15 milliards pour la maintenance et 10 milliards pour des projets patrimoniaux(4,5).

Les matériaux constituant les centrales nucléaires sont soumis à rude épreuve d'une part par les rayonnements ionisants mais également par les contraintes thermiques et mécaniques qui engendrent des processus corrosifs, abrasifs et érosifs. Les centrales nucléaires renferment des kilomètres de tuyauterie qu'il est impossible de vérifier. Certaines pièces ne sont pas accessibles à la maintenance comme par exemple les cuves des réacteurs qui ne sont ni réparables ni remplaçables. Une étude en Belgique a mis en évidence des imperfections dans la construction des cuves de certains réacteurs. Il s'agit de bulles d'hydrogène dans la paroi de la cuve. Jusqu'à présent les expertises françaises ne vérifiaient les cuves que sur 25 mm d'épaisseur. Depuis l'étude belge, une expertise de quelques réacteurs a été réalisée cette fois sur 80 mm d'épaisseur. Il a été également retrouvé des malfaçons dans la paroi de 8 cuves en France toujours en exploitation. Selon les experts, les fissures causées par l'hydrogène ne sont pas uniquement liées à l'hydrogène piégé lors de la construction de la cuve. Elles seraient également en lien avec l'hydrogène présent dans l'eau de la cuve lors de son exploitation ce qui risque d'aggraver les anomalies de la paroi de la cuve et la fragiliser(6,7).

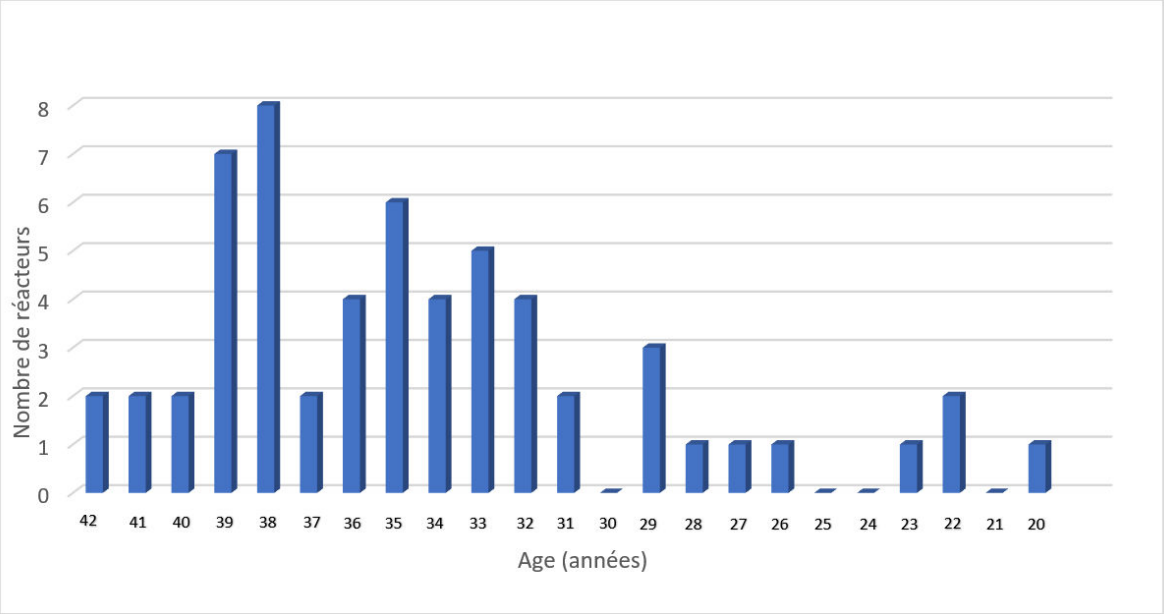



*Figure 1 Age des réacteurs nucléaires français en 2019.*

(Source : Rapport sur la durée de vie des centrales nucléaires et les nouveaux types de réacteurs, 2003)(8)

### 4.2. Le risque naturel

Depuis l'accident de la centrale de Fukushima Daichii, le risque naturel est appréhendé avec plus de réalisme. Bien que la France ne soit pas un pays à haut risque de catastrophe naturel, la localisation des centrales aux abords de cours d'eau et les modifications climatiques doivent faire discuter ce risque qui pèse sur les installations nucléaires du pays.

#### a. Risque sismique

L'aléa sismique est la probabilité qu'un séisme destructeur se produise dans une région donnée pendant une période donnée. C'est sur l'estimation de l'aléa sismique que les mesures parasismiques sont prises.

Un groupe de travail piloté par l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) a élaboré les nouvelles règles d'évaluation de l'aléa sismique en novembre 2000. Cette nouvelle règle a été adoptée par la Direction de la sûreté des installations nucléaires (DSIN, ex ASN) le 16 mai 2001, sous la dénomination RFS 2001-01. Cette règle fixe quatre étapes : la caractérisation géologique et sismique de la région étudiée, la détermination du séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV), puis celle du séisme majoré de sécurité (SMS), qui correspond au SMHV majoré

d'un demi-point, et enfin le calcul des mouvements de sol en prenant en compte d'éventuelles relations d'atténuation(9).

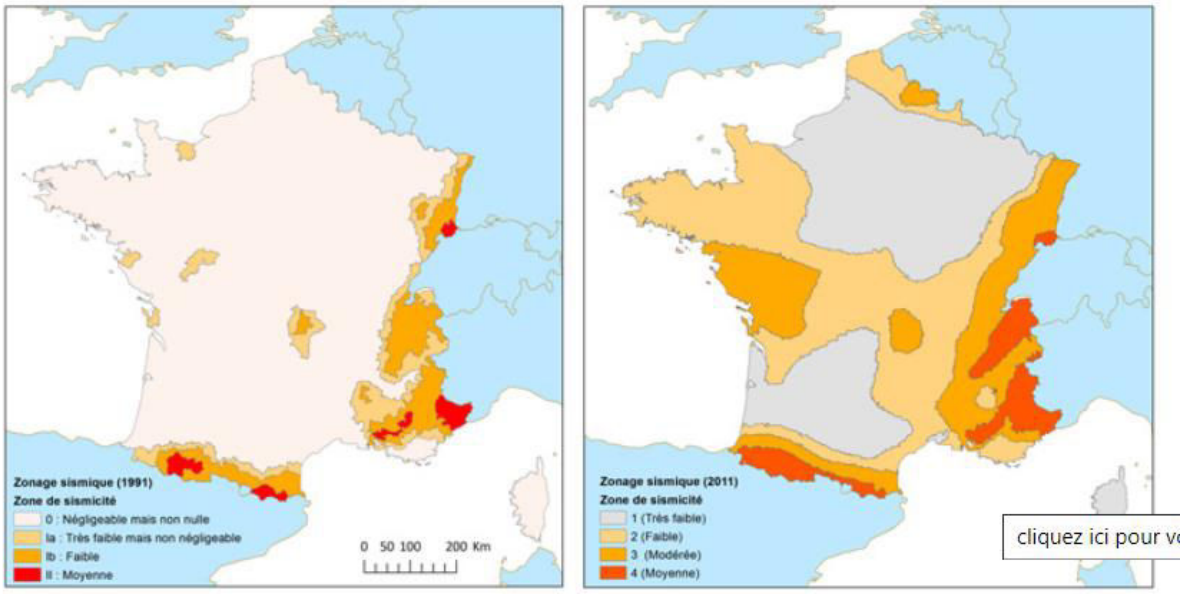
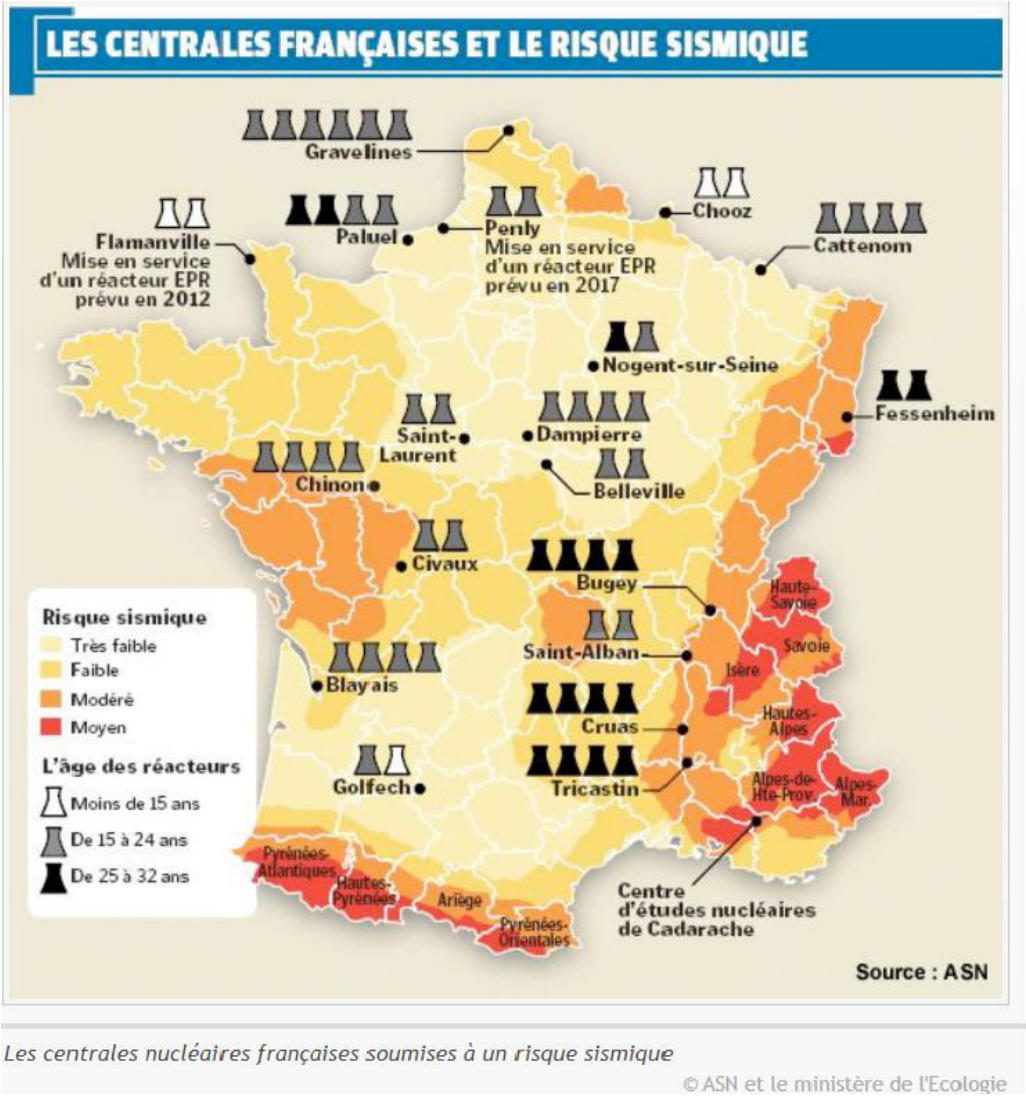



Figure 2 : Évolution du zonage sismique de la France métropolitaine établi en 1991 (démarche déterministe) et 2011 (démarche probabiliste) suivant l'évolution de la réglementation et des connaissances en sismologie. (Source IRSN)

La résistance des installations nucléaire aux séismes est pensée dès leur conception et fait l'objet d'une réévaluation tous les dix ans afin de prendre en compte d'une part l'évolution des connaissances en matière de séismes et d'autre part l'évolution des méthodes de dimensionnement des ouvrages. Ainsi des travaux de consolidation peuvent être réalisés comme par exemple en 2009 pour la centrale de Fessenheim(10).

A partir du nouveau zonage élaboré en 2011, on dénombre cinq centrales françaises situées dans des zones à risque sismique modéré, plus précisément celles situées dans la vallée du Rhône (Burgey, Saint-Alban, Cruas et Tricastin) et celle de Fessenheim (Figure 3).




*Les centrales nucléaires françaises soumises à un risque sismique*

© ASN et le ministère de l'Ecologie

Figure 3 : Localisation des centrales nucléaires françaises en fonction du zonage sismique.

b.Risque d'inondation

Depuis l'accident de Fukushima Daichii, des études se sont intéressées à l'évaluation du risque d'accident nucléaire consécutif à un tsunami. Une étude internationale met en évidence la présence de 23 centrales, soit 74 réacteurs nucléaires, situées le long de côtes à risque de tsunami. Il s'agit de 13 centrales en activité, quatre en cours d'extension et sept centrales en cours de construction (11).

Les centrales nucléaires sont très vulnérables face au risque d'inondation. Des rapports montrent que la centrale de Tricastin en est un bel exemple. En septembre 2017, ses 4 réacteurs ont été mis à l'arrêt pour risque d'inondation en lien avec un mauvais état de la digue séparant le canal jouxtant la centrale (12). D'autre part,

dans l'Ain, des centrales sont situées en aval de la 3ème plus grosse retenue d'eau artificielle de France avec 600 millions de m3 d'eau. Si le barrage de Voulgans venait à rompre la centrale du Burgey serait la première submergée puis les centrales de Saint-Alban et Cruas (6).

#### c. Le changement climatique

Avec le réchauffement climatique, la fréquence des catastrophes naturelles va augmenter. En France, 3 tempêtes d'envergures ont traversé le pays depuis 1999. Lors de crues, l'arrêt du système d'alimentation et les débris peuvent obstruer le système de refroidissement et mettre à mal le fonctionnement de la centrale. C'est ainsi qu'en 1999 est survenu un accident de niveau 2 sur l'échelle INES à la centrale de Blayais (13).

D'autre part, la sècheresse est délétère au fonctionnement du système de refroidissement des centrales. Les centrales ont besoin d'un cours d'eau pour assurer leur fonctionnement et pour assurer la sécurité de l'installation. En cas de sécheresse, le niveau des cours d'eau diminue et le pompage de l'eau peut devenir un problème. L'augmentation de la température de l'eau est également problématique pour le système de refroidissement de la centrale nucléaire.

### 4.3. Le risque terroriste

Depuis les attentats du 11 septembre 2001, le risque terroriste est une menace inquiétante pour les infrastructures nucléaires. Les centrales ont été conçues pour résister à une attaque directe des réacteurs. La sécurité est assurée par le peloton spécialisé de Protection de la gendarmerie (PSPG). Différentes zones de sécurité sont définies comme décrites sur la figure 4.

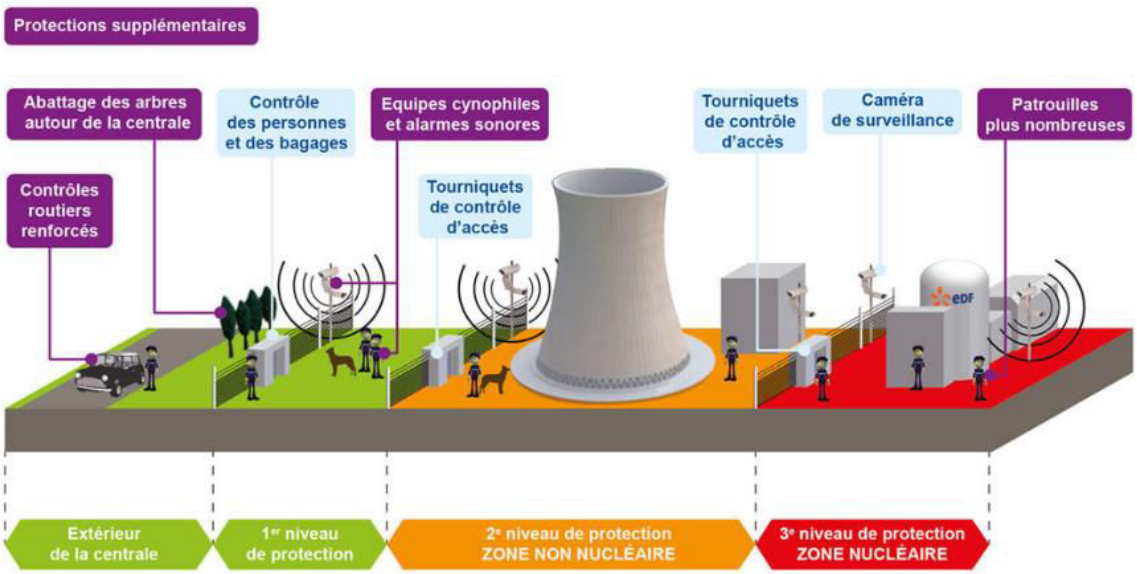



Figure 4 : Mesures de sécurité autour des centrales nucléaire. (Source EDF)

Les ONG anti nucléaires jugent ce dispositif insuffisant au regard de la menace. C'est ainsi que les activistes réalisent des survols voir des crashs de drone dans les enceintes des centrales ou encore des intrusions dans les différents périmètres de sécurité. Le 18 mars 2014, 55 activistes de 18 nationalités de L'ONG Greenpeace ont réalisé un coup de force de type commando, en forçant la première clôture d'enceinte de l'entrée sud de la centrale de Fessenheim, avant d'utiliser une échelle comme passerelle pour franchir les autres enceintes. Une quinzaine de militants a réussi à escalader le réacteur n°1 et à déployer une banderole avec le slogan « Stop risking Europe » (14). Actuellement, les principales cibles de l'ONG Green peace sont les piscines nucléaires qui sont des compartiments de stockage du combustible usagé. Ce combustible usagé est très chaud et ne peut être transporté en l'état. Il est alors refroidi pendant de nombreuses années dans des piscines avant son acheminement vers les usines de traitement des déchets nucléaires. En octobre 2017, des activistes ont pénétré dans l'enceinte de la centrale de Cattenom en Moselle et ont allumé un feu d'artifice près de l'enceinte des piscines nucléaires (15).

Il existe un périmètre de sécurité aérien. Le survol des centrales est formellement interdit dans un périmètre de cinq mille mètres et ce, jusqu'à mille mètres d'altitude. En cas d'effraction, des avions de chasse et des batteries de missiles peuvent être déployés. Fin 2014, une trentaine de vols de drones non identifiés ont été recensés

au total autour de multiples centrales. Le risque est principalement l'espionnage en vue d'un acte malveillant organisé (16).

### 4.4. Les erreurs humaines et les pannes

Des milliers de personnes travaillent dans les centrales nucléaires. Par exemple, pour la centrale de Fessenheim 1100 employés travaillent dans la centrale (850 employés d'EDF et 250 employés permanent d'entreprises extérieures)(17). Les principaux accidents survenus par le passé sont un enchainement d'erreurs humaines et de défaillances techniques. L'ASN a rappelé en 2013 que la moitié des quelque 700 événements significatifs pour la sûreté déclarés à l'ASN par l'exploitant des centrales nucléaires sont liés à la maintenance des installations(18).

## 5- Trois exemples emblématiques d'accident nucléaire

Les accidents survenant au sein de structure nucléaire sont classés selon leurs gravités par l'échelle International Nuclear and radiological Event Scale (INES) en 7 grades.

<u>Tableau 1 :</u> Echelle INES

| APPLICATION DE L'ÉCHELLE INES | CONSÉQUENCES À L'EXTÉRIEUR DU SITE | CONSÉQUENCES À L'INTÉRIEUR DU SITE | DÉGRADATION DE LA DÉFENSE EN PROFONDEUR |
|---|---|---|---|
| 7 ACCIDENT MAJEUR | Rejet majeur : effets considérables sur la santé et l'environnement | | |
| 6 ACCIDENT GRAVE | Rejet important susceptible d'exiger l'application intégrale des contre-mesures prévues | | |
| 5 ACCIDENT | Rejet limité susceptible d'exiger l'application partielle des contre-mesures prévues | Endommagement grave du cœur du réacteur / des barrières radiologiques | |
| 4 ACCIDENT | Rejet mineur : exposition du public de l'ordre des limites prescrites | Endommagement important du cœur du réacteur / des barrières radiologiques / exposition mortelle d'un travailleur | |
| 3 INCIDENT GRAVE | Très faible rejet : exposition du public représentant au moins un pourcentage des limites fixées par le guide AIEA* | Contamination grave / effets aigus sur la santé d'un travailleur | Accident évité de peu / perte des barrières |
| 2 INCIDENT | | Contamination importante / surexposition d'un travailleur | Incidents assortis de défaillances importantes des dispositions de sécurité |
| 1 ANOMALIE | | | Anomalie sortant du régime de fonctionnement autorisé |
| 0 ÉCART | | Aucune importance du point de vue de la sûreté | |
| ÉVÉNEMENT HORS ÉCHELLE | Aucune importance du point de vue de la sûreté | | |

### 5.1. Three Miles Island

Le 28 mars 1979 s'est produit le premier accident nucléaire majeur de niveau 5 à la centrale nucléaire de Three Mile Island en Pennsylvanie. Cet accident a été causé par un réchauffement du circuit primaire en lien avec un dysfonctionnement mineur du circuit secondaire. Une partie du combustible a fondu entrainant avec lui des éléments de structure du réacteur et formant ce que l'on appelle le corium au fond du réacteur. Une succession de défaillances humaines et du système de sécurité s'est révélée être à l'origine de cet accident. Cet accident a occasionné un rejet dans l'environnement d'une importante quantité de radionucléides estimée à plus de 43000 Curies pour le Krypton 85 mais inférieur à 20 Curies pour l'Iode 131.
Les études actuellement disponibles sur cet accident sont discordantes. Concernant le risque de cancer thyroïdien, certaines études ne retrouvent pas d'augmentation du risque attribuable à la radioactivité notamment par l'absence de gradient (19) alors que d'autre études retrouvent une augmentation de l'incidence dans la population comparativement à l'incidence attendue (une incidence 23,4% plus importante que celle attendue)(20). Certaines études retrouvent une augmentation du risque de leucémie et de cancer du poumon pour les personnes les plus fortement exposées en revanche il n'y avait pas d'augmentation du risque de ces cancers pour la population environnante.(21,22)

### 5.2. Tchernobyl

Le deuxième accident nucléaire majeur est survenu en Ukraine le 26 avril 1986. A la suite d'une succession d'erreurs humaines et d'un défaut de conception du réacteur, le cœur du réacteur est entré en fusion. Un corium s'est formé au fond de la cuve du réacteur. Une accumulation d'hydrogène et d'oxygène issu de la radiolyse de l'eau a entrainé une explosion du réacteur numéro 4 de la centrale. Cette explosion a mis à nu le cœur du réacteur et a projeté à plusieurs kilomètres d'altitude des quantités considérables de radionucléides. Les régions voisines du sud de la Biélorussie, du nord de l'Ukraine et de la Russie ont été rapidement contaminées. Le panache radioactif a ensuite traversé la Pologne, les pays scandinaves et l'Ouest de l'Europe (Figures 5 et 6). Les principaux isotopes libérés ont été le césium 137, dont la demi vie est de 30 ans avec une estimation de 85 000 TBq relargués, et l'iode 131, d'une demi vie de 8 jours avec une estimation de 1 800 000 TBq relargués(23).

**Titre :** Carte des dépôts de césium 137 à l'échelle de l'Europe suite à l'accident de Tchernobyl

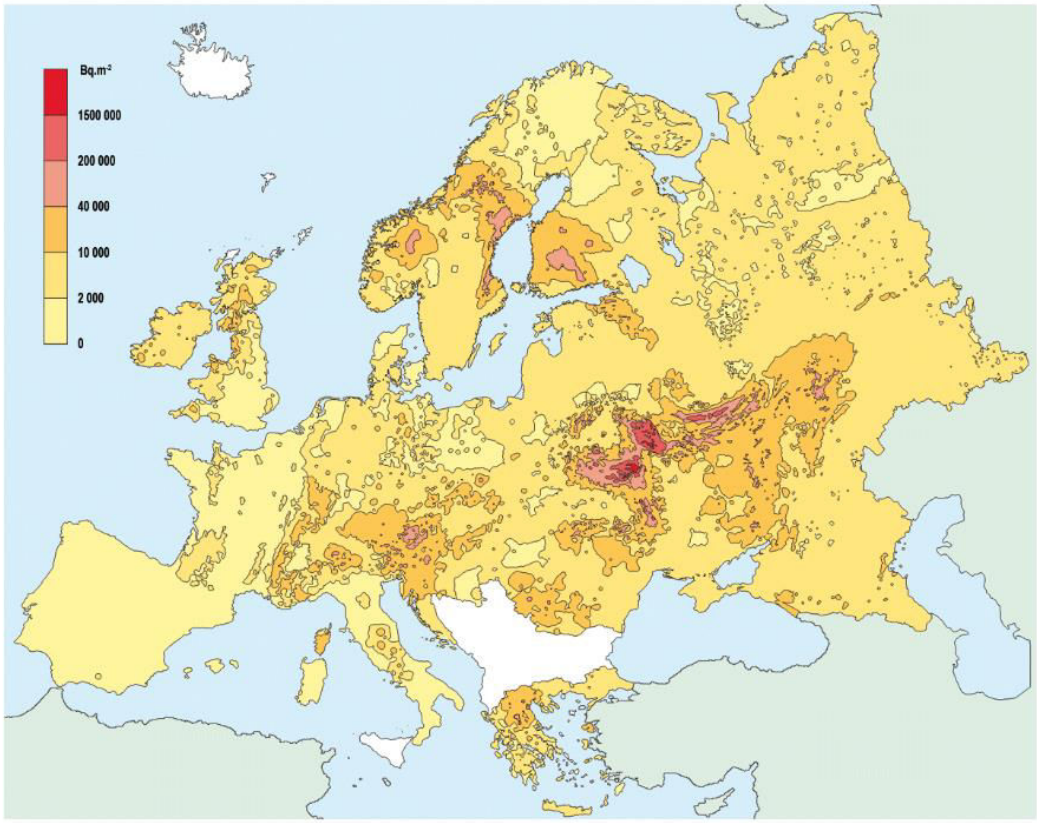
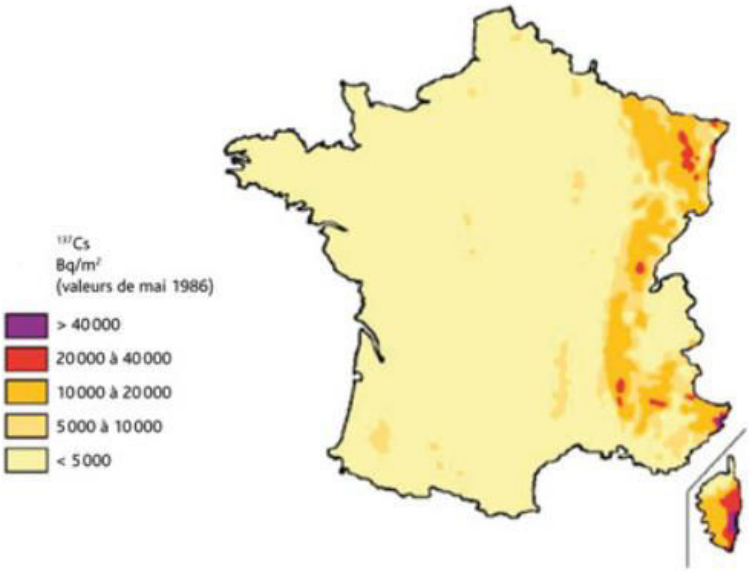



Figure 5 : Cartographie des dépôts de césium 137 en Europe après l'accident de Tchernobyl.

**Carte des retombées de césium 137 en France en mai 1986**




Source : modélisation IRSN fondée sur l'intensité des pluies tombées début mai 1986.

Figure 6 : Cartographie des dépôts de césium 137 en France en mai 1986.

Sur le plan sanitaire, le bilan est difficile a déterminé. D'une part l'accident est survenu en Union soviétique en pleine guerre froide avec des informations

transmises erronées et une gestion de crise catastrophique. Dans les suites, la chute de l'URSS a entrainé une paupérisation et des mouvements de populations ne favorisant pas le suivi médical. D'autre part, les études menées ont des méthodologies et des populations d'étude très différentes. L'évaluation de l'exposition aux radiations est issue principalement d'estimation et non de véritables mesures réalisées immédiatement après l'accident.

Les personnes les plus gravement atteintes ont été les 600 travailleurs et pompiers de la centrale, les 1125 pilotes et membres d'équipages d'hélicoptères et les 530 000 liquidateurs. Parmi les 600 travailleurs, 237 ont été hospitalisés pour un syndrome d'irradiation aigue. La dose reçue estimée est de 1 à 16 Sv. Quarante-sept travailleurs sont décédés de 1986 à 2006. Les causes de leurs morts ne sont pas connues. Il a été noté un excès de cataracte chez les travailleurs de la centrale. Pour les liquidateurs, il a été montré une augmentation du risque de cancers notamment thyroïdiens (24,25), cérébraux, hématologiques (leucémie), aérodigestifs et du sein (26–28).

Dans la population, seulement 4 ans après l'accident, il a été mis en évidence une forte augmentation du risque de cancer thyroïdien chez les enfants et adolescents exposés(29–32). Depuis l'accident environ 7000 personnes âgées de moins de 18 ans lors de l'accident ont développé un cancer thyroïdien. Le risque est d'autant plus important que la personne a été exposée tôt dans sa vie. Cette augmentation du risque disparait chez les enfants nés 1 an après l'accident car les iodes radioactifs ont disparu de l'environnement. Pour la population adulte exposée, une discrète augmentation du risque a été noté mais elle est attribuée à la mise en place du dépistage(26).

Tableau 2 : Incidence du cancer de la thyroïde en Biélorussie après l'accident de Tchernobyl.(33)

| Âge en 1986 (années) | 1971-1985 | 1986-2000 | Facteur de RR | Sex ratio (F/M) |
|---|---|---|---|---|
| 0-14 | 8 | 703 | 87,8 | 1,6 |
| 15-18 | 21 | 267 | 12,7 | 1,8 |
| > 19 | 1465 | 6 719 | 4,5 | 5,2 |
| Ensemble de la population | 1494 | 7 689 | 5,1 | |

La période analysée (1986-2000) a été comparée à la période 1971-1985 en fonction de l'âge en 1986. Le risque est fonction de l'âge lors de l'exposition : il est maximal chez les sujets qui avaient moins de 14 ans en 1986 et diminue avec l'âge. L'augmentation de l'incidence observée pour les sujets de plus de 19 ans dans la période 1986-2000 peut être liée à un meilleur dépistage. Les chiffres indiquent le nombre total de cas pour la période indiquée.

Il n'a pas été noté d'augmentation du risque de tératogénicité mais il existe peu de données fiables(34). En revanche, il a été noté une morbi mortalité importante en lien avec l'impact psychologique de l'accident et de l'évacuation des populations(35).

### 5.3. Fukushima

Le 11 mars 2011, à la suite d'un tremblement de terre de magnitude 8,9 sur l'échelle de Richter et dont l'épicentre se situait à 145 km de Fukushima, la centrale de Fukushima Daiichi a été submergée par un tsunami. Les groupes électriques de secours ont été également submergés et détruits. Le système de refroidissement devint rapidement défectueux et l'eau du circuit primaire se vaporisa entrainant un découvrement du cœur du réacteur et une fusion de celui-ci. Sous l'effet de la chaleur, le cœur fusionna avec les éléments de structure et forma un corium. La défaillance électrique priva également l'opérateur d'information (niveau d'eau dans les cuves, pression dans l'enceinte). Malgré la libération volontaire de gaz radioactifs pour éviter l'explosion de l'enceinte de confinement, l'hydrogène entraina plusieurs explosions lors de sa mise en contact avec l'air dans les réacteurs 1,2 et 3. Du 15 au 21 mars, d'importante quantités de radionucléide ont été émis sous forme d'aérosols dans l'atmosphère. De plus, la présence d'une brèche dans l'enceinte entraina le déversement dans l'océan Pacifique d'une importante quantité d'eau hautement

radioactive. La brèche a été en partie colmatée mais il persiste de faible fuite d'eau radioactive. L'accident est classé niveau 7 sur l'échelle INES. Concernant la gestion du risque sanitaire, les autorités japonaises ont retenu un seuil de 20mSv qui est le seuil le plus bas recommandé pour la gestion de situations d'urgence. Ceci a conduit à l'évacuation de 85 000 personnes dès les premiers jours de l'accident. L'ordre d'évacuation a été ensuite étendue à une zone de 20-30 km au nord-ouest de la centrale.

Sur le plan sanitaire, les autorités ont mis en place un programme de suivi médical intitulé « Fukushima health management survey ». Il a été noté une augmentation du risque de cancer thyroïdien mais qui est attribué actuellement au dépistage systématique mis en place(36,37). Il a été noté également une augmentation des troubles psychologiques comme observé après l'accident de Tchernobyl.

## 6- La prévention

### 6.1. Maitriser les risques

Le principal risque de l'exploitation de l'énergie nucléaire est la dissémination dans l'environnement d'éléments radioactifs. L'objectif de la prévention des risques est donc d'empêcher en toutes circonstances l'exposition de l'Homme et de l'environnement à la radioactivité artificielle. Ceci passe par la prévention des accidents et la limitation au maximum de leurs conséquences dans le cas où ils surviendraient malgré tout.

La première ligne de prévention est la conception du réacteur et du bâtiment. Il existe 3 remparts à la radioactivité. Le premier est la gaine du combustible qui entoure l'uranium. Le second est la cuve du réacteur en acier dont l'épaisseur est de 25 cm. Le troisième est l'enceinte en béton qui peut être doublée.

La deuxième ligne de prévention est l'anticipation des risques. Les risques matériels, humains ou externes (inondations, séisme, acte malveillant) auxquels sont exposés les centrales nucléaires sont pris en compte dès leurs conceptions. Les dispositifs et équipements pour faire face à ces risques sont doublés voir triplés.

La troisième ligne est la surveillance constante. La maintenance et les contrôles périodiques des installations permettant d'assurer un niveau de sécurité nécessaire.

En France, les équipes travaillant dans les centrales nucléaires sont qualifiées. En 2012 chez EDF, pas moins de 2 720 000 heures de formations ont été dispensées, soit environ 6 semaines par an par pilote de réacteur. Des essais périodiques sont également effectués pour s'assurer du bon fonctionnement des matériels.

### 6.2. Procédure en cas d'accident nucléaire en France

En cas d'accident nucléaire majeur avec échappement d'éléments radioactifs et risque sanitaire, le premier ministre, en liaison avec le Président de la République, assure la direction politique et stratégique de la crise. Il délègue à un autre Ministre, le ministre de l'Intérieur en cas d'accident survenant sur le territoire national, le pilotage de la Cellule Interministérielle de Crise (CIC). La CIC est composée des Ministres impliqués dans la gestion de l'accident (Ministre de l'Energie, de l'Environnement et de la Santé), des experts, de l'autorité de sureté nucléaire et des représentants de l'exploitant. L'activation du CIC prenant du temps au niveau national et l'accident nucléaire devant être géré rapidement, les premiers maillons de la chaine de gestion de la crise sur lesquels vont s'appuyer le CIC sont locaux. Ce premier niveau de réponse est fondé sur le double chainage territorial (préfet de région et de département) et nucléaire (Agence de Sureté Nucléaire (ASN), Institut nationale de sureté nucléaire (IRSN) et l'exploitant).

L'organisation générique de l'État s'appuie sur le préfet de département qui assure la direction de la conduite de crise au niveau local. Il active le centre opérationnel département (COD) qui par une chaine ascendante active le CIC. Au niveau de la chaine nucléaire, l'exploitant alerte directement l'ASN qui a son tour alerte les organismes d'expertises. L'ASN informe l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'Unions Européenne. Ces deux chaines sont liées à deux niveaux, le premier au niveau local avec des audioconférences et visioconférence entre le préfet de département, l'ASN et l'exploitant et au niveau national par des échanges entre le CIC, l'ASN et l'exploitant.

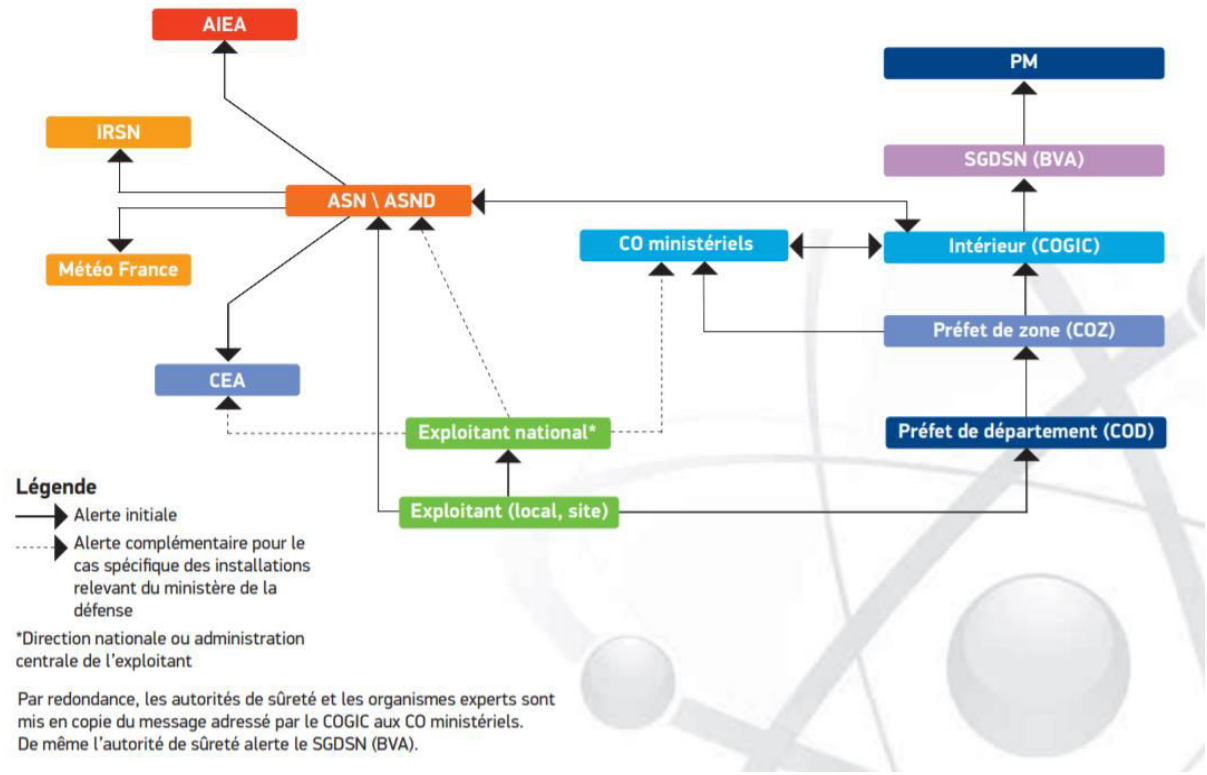



Figure 7 : Schéma d'alerte initiale. (Source : gouvernement.fr)

La stratégie de réponse repose sur une synergie d'action. Tout d'abord il faut activer sans délai l'organisation de crise. Ensuite ramener l'installation a un état maitrisé et stable. En cas d'accident l'exploitant est responsable de l'intervention sur son site et du retour à un état maitrisé. Il existe des protocoles sous forme de plan d'urgence interne que doit appliquer l'exploitant. Dans le même temps, il faut s'inquiéter de la protection des personnes. En cas d'urgence, l'exploitant déclenche l'alerte des populations. En cas de rejet radioactif, le préfet met en œuvre le plan particulier d'intervention (PPI). Il donne l'alerte aux populations, prescrit les mesures de protection et s'occupe de soustraire les personnes des zones radioactives par une évacuation préventive. La zone du PPI (soit un rayon de 10 km autour des centrales nucléaires) vise à couvrir avec un maximum d'efficacité les premières 24h de la crise. Dans ces zones PPI une préparation de l'urgence radiologique, qui correspond à des réflexes à appliquer immédiatement par les populations, est réalisée. Les principales mesures sont le confinement, la prise de comprimés d'iode sous les instructions du préfet et l'évacuation. Ces mesures sont décidées en fonction de l'exposition prévisionnelle des personnes et peuvent évoluer au cours du temps.

Dans l'urgence, la prise en charge sanitaire et psychologique des personnes devra être assurée. Elle comporte 4 points : les soins aux blessés, la prise en charge des personnes contaminées, le soutien psychologique et l'identification des personnes dans la zone PPI à des fins de suivi épidémiologique.

Tout au long de la crise, les pouvoirs publics doivent délivrer une information aux populations. La dimension internationale doit également être prise en compte avec l'information voire la gestion de l'accident avec les pays voisins de l'installation accidentée. Après l'urgence une phase de gestion post accidentelle débute avec la mise en place d'action visant à traiter la contamination durable de l'environnement et les impacts dans le domaine de la vie des populations et de l'économie du territoire (38).

### 6.3. Les réflexes à adopter en cas d'accident nucléaire

#### a. Les mesures passives :

La principale mesure passive est le confinement dans un bâtiment en dur et l'arrêt de toute activité extérieure. Il est préconisé dès que la dose efficace estimée au corps entier est de 10 mSv(39). La ventilation doit être coupée, les aérations calfeutrées.

Il faut ensuite être à l'écoute des communications des autorités sur la situation extérieure par le biais de la radio ou de la télévision. Les réflexes à adopter seront répétés et le préfet peut donner la consigne de prendre les comprimés d'iodure de potassium (KI) si la dose efficace estimée à la thyroïde est de 50 mSv.

Les parents sont priés de ne pas aller chercher les enfants à l'école. Les enfants sont confinés dans les établissements scolaires. Chaque établissement public dispose d'une procédure de confinement et d'un stock de KI.

Les lignes téléphoniques ne doivent pas être surchargées pour permettre les communications entre les équipes d'intervention.

Tous les habitants de la zone du PPI doivent préparer une valise pour ne pas retarder une éventuelle évacuation qui sera ordonnée si la dose efficace corps entier est estimée à 50mSv.

Une autre mesure pouvant être prise dans les jours qui suivent l'accident est l'arrêt de la consommation de produits frais provenant de la zone exposée afin de prévenir

la contamination par les substances radioactives qui se seraient déposées dans l'environnement.

b. Les mesures actives :

La prise d'iode stable est la principale mesure active. En France, l'iode stable est produit par la pharmacie centrale des armées sous forme d'iodure de potassium (KI). Il est distribué aux populations des zones du PPI de chaque centrale nucléaire périodiquement en fonction de la date de péremption des comprimés. Il est également stocké dans le cadre du plan BIOTOX dans tous les départements disposant d'installations nucléaires. Il permet de prévenir uniquement la survenue de cancer thyroïdien chez les personnes exposées en les protégeant des isotopes radioactifs de l'iode (40); et non contre l'ensemble des radioéléments rejetés. L'iode stable pris en quantité suffisante va être captée par la thyroïde et la saturer (effet Wolff-Chaikoff), empêchant ainsi la concentration de l'iode radioactif au moment de l'exposition. L'iode stable permet une réduction de l'ordre de 95% de l'irradiation de la thyroïde s'il est pris en quantité suffisante et quelques heures avant la contamination ou de manière simultanée à la contamination (Figure 8). L'efficacité est ensuite décroissante : elle est de 50% si la prise a lieu 6h après la contamination et elle est nulle si la prise a lieu 24 heures après(41). L'effet du KI s'estompe au bout de 24h. En cas de rejet prolongé, une deuxième prise d'iode peut être recommandée par les autorités. Cette prise supplémentaire exclue les femmes enceintes et les nourrissons qui doivent bénéficier d'une évacuation prioritaire(42).

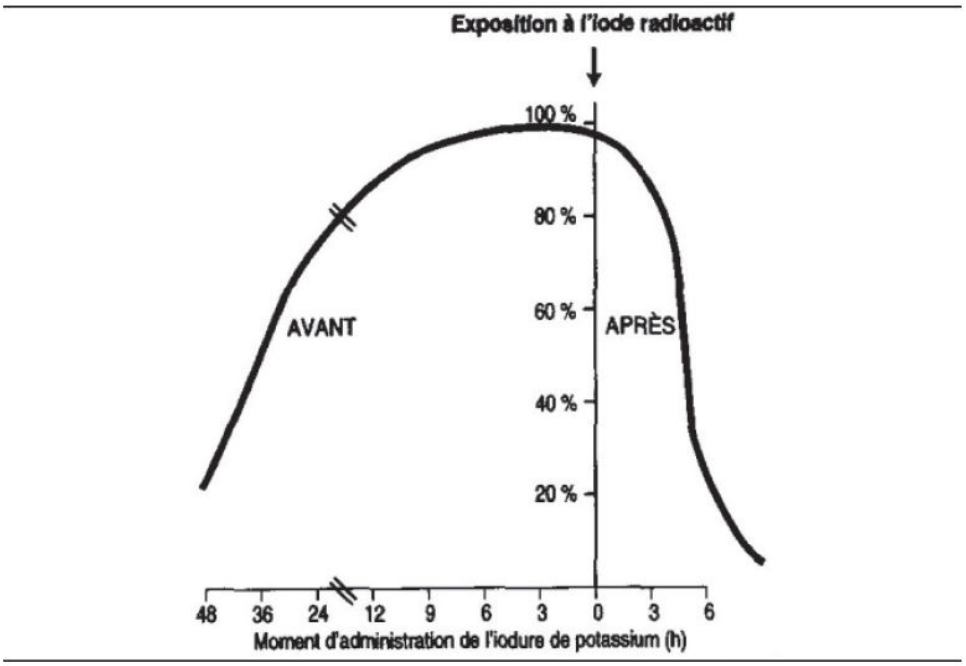



Figure 8 : Inhibition du captage de l'iode radioactif en fonction du moment de prise d'iodure de potassium

Initialement, le KI était fabriqué sous la forme de comprimés de 130 mg. Pour des raisons d'harmonisation au niveau européen, les comprimés sont dosés à 65mg depuis 2009. Ils sont quadrisécables, permettant d'adapter la posologie à chaque tranche d'âge (Tableau 3). Ils sont distribués sous forme de tablettes de 10 comprimés par boite. Toute personne peut se procurer du KI en pharmacie.

Tableau 3 : Posologies d'iodure de potassium selon l'âge dans le cadre d'une prophylaxie iodée

| | |
|---|---|
| De 0 à 1 mois | ¼ de comprimé |
| De 1 mois à 3 ans | ½ comprimé |
| De 3 ans à 12 ans | 1 comprimé |
| À partir de 12 ans | 2 comprimés |

Dans le cadre de l'urgence, les personnes prioritaires devant bénéficier de la prophylaxie par KI sont les mineurs et les femmes enceintes. En revanche, la prophylaxie est déconseillée aux personnes de plus de 60 ans et aux personnes porteuses d'une pathologie thyroïdienne ou cardiovasculaire connue. La prophylaxie après 40 ans est très discuter car l'effet carcinologique des radiations sur la thyroïde

n'est pas démontré à cet âge. Les contre-indications du KI sont l'allergie vraie à l'iode, une hyperthyroïdie ou une maladie cardiovasculaire non stabilisée, les vascularites avec hypocomplémentémie et les dermatites herpétiformes qui augmente la sensibilité à l'iode. Les effets secondaires sont très rares et souvent mineurs : nausées, vomissements, diarrhées, gastralgies, gout métallique dans la bouche. Lors de la prophylaxie en Pologne au moment de l'accident de Tchernobyl, sur les 18 millions de dose d'iode distribuées trois cas de bronchospasmes spontanément réversibles ont été signalés. Une hyper- ou une hypothyroïdie peut survenir en cas de pathologie thyroïdienne préexistante. (40)

### 6.4. Zone du Plan Particulier d'Intervention et campagne d'information

Au moment de la conception et du recueil de donnée pour cette étude, la législation française prévoit que le PPI s'applique dans un rayon de 10 km autour des installations nucléaires. Ce rayon correspond à la zone du PPI dans laquelle des actions de protection et/ou de prévention dans les 24 heures suivant un accident nucléaire sont considérées comme pertinentes par le gouvernement. Depuis 1997, l'État a chargé l'exploitant nucléaire d'organiser des campagnes d'information et de distribution du KI dans ces zones. La périodicité de ces campagnes est passée de 3 à 5 ans puis 7 ans actuellement.

La dernière campagne d'information a eu lieu en 2016-2017. Dans un premier temps, les habitants de la zone du PPI sont invités par lettre nominative à retirer la quantité de KI nécessaire pour leur foyer dans leur pharmacie de ville. Dans ce courrier, les habitants peuvent également y trouver un dépliant de la campagne d'information expliquant les réflexes à adopter en cas d'accident nucléaire ainsi que les informations relatives au KI (Annexe 1). Un numéro vert est mis à disposition ainsi qu'un site internet dédié à la campagne(43). Dans un second temps, les comprimés de KI sont adressés par voie postale aux personnes qui ne sont pas allées les retirer en pharmacie.

### 6.5. Étude précédente

Une étude a été réalisée par une interne en pharmacie avant la campagne iode 2016-2017 (44). Il s'agit d'une étude transversale sur un échantillon de la population habitant dans la zone du PPI de la centrale de Cattenom en Moselle.

L'enquête a été menée sur la période mars à mai 2014. Douze communes ont été tirées au sort. L'investigateur a évalué les connaissances des personnes sur les réflexes à adopter en cas d'urgence et les modalités de conservation et d'utilisation de la prophylaxie iodée en face à face. Sur 184 domiciles investigués, 130 données étaient exploitables. Les résultats principaux sont :

- 68.5% des foyers disposaient de comprimés de KI ;
- 52.3% des personnes interrogées connaissaient l'objectif de la prise d'iode stable ;
- 16.2% connaissaient la posologie du KI pour un adulte ;
- 29.2% des personnes interrogées connaissaient au moins une contre-indication ;
- Seulement 3.1% connaissaient l'ensemble des réflexes à adopter en cas d'accident nucléaire grave.

# II- Article

## Nuclear power plant: state of knowledge of the population living in the area of the Cattenom special intervention plan. A cross sectional study.

Schweitzer ML.[(a)], Guillemin F.[(b,c)], Frimat L.[(d)], Guerci B.[(a)], Ayav C.[(c)], Klein M.[(a)]

[(a)] Department of Endocrinology, Diabetes and Nutrition, Nancy University Hospital, Nancy, France

[(b)] Université de Lorraine, EA4360 APEMAC, CHRU de Brabois, Nancy, France.

[(c)] INSERM, CHU Nancy, Université de Lorraine, CIC-1433 Epidémiologie clinique, Nancy, F-54000, France

[(d)] Nephrology Department, CHU Nancy, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

**Abstract**

Introduction: In France information campaigns are periodically conducted within a 10-km radius of nuclear power plants on the reflexes to be adopted in the event of a nuclear accident. The aim of this study was to assess the knowledge of the inhabitants of the Cattenom PPI area on the reflexes to be adopted in the event of a nuclear accident after the information campaign that took place from 2016 to 2017 and compare its results with a similar study carried out before the information campaign.

Methods: We performed a cross sectional study in the Cattenom PPI area after the 2016-2017 information campaign. We administered questionnaires in 10 municipalities selected by lot. These questionnaires contained items on the general containment procedure and on the modalities of taking potassium iodide (KI). The results obtained were compared with the results of a study conducted before the information campaign in the same area.

Results: Out of 200 questionnaires administered, 122 people responded. Only 40.2% of respondents remembered the information campaign. Only 15.6% knew all the reflexes of the general containment procedure. 77.9% of households had KI and only 60.1% knew the objective of KI intake. Compared to the results of the study before the information campaign, KI coverage was better (68.5% vs 77.9%, p=0.02) and the dosage was better known (16.2% vs 28%, p=0.0003).

Discussion: This study provides an overview of the effectiveness of information campaigns on the procedure in the event of a nuclear accident. This study highlights the insufficient knowledge of people living in the Cattenom PPI area.

## Introduction :

Many nuclear power plants (NPP) have been built worldwide. Currently 416 reactors are operational in the world. France is one of the countries with the most nuclear power plants. Its nuclear fleet includes 19 NPP corresponding to a total of 58 reactors(3). Cattenom is one of the French power plants located in the northeast of the country. It was appointed in 1984. Seventy percent of French electricity is produced by nuclear power(45). The use of nuclear energy is currently being called into question because of the problems of radioactive waste management and the risk of serious nuclear accidents such as Chernobyl or Fukushima Daiichi.

The risk of nuclear accidents is increasing due to the ageing of infrastructure(3), the increasing terrorist threat and natural disasters related to global warming. Nuclear accidents are classified according to their severity on the INES scale from 1 to 7. The Chernobyl and Fukushima accidents were classified at 7 on this scale with significant nuclear releases outside the NPP enclosure with harmful health effects. Studies conducted at Chernobyl have shown an increased risk of solid cancer and leukemia in the most highly exposed people (i.e. liquidators)(27,28). For the populations living in the irradiated area, a major psychological impact related to evacuation has been demonstrated as well as a major increase in the risk of thyroid cancer in children, teenagers and young adults(29–32).

To prevent and limit the health impacts of a nuclear accident, countries have adapted prevention plans, called Plan Particulier d'Intervention (PPI) in France. This national plan concerns populations living within a 10km radius of NPP(46). It is triggered by the French nuclear operator, Electricité de France (EDF), in the event of a major failure in installations with radionuclide release. In case of a nuclear accident the inhabitants of these PPI areas must confine themselves to a building, take potassium iodide tablets (KI) on the prefect's orders and prepare for evacuation. In France, every 5 to 7 years, an information campaign is organized in these PPI areas to inform residents of the reflexes to have in the event of a nuclear accident (43).

The aim of this study was to assess the knowledge of the inhabitants of the Cattenom PPI area on the reflexes to be adopted in the event of a nuclear accident, in particular the methods of taking stable iodine, after the information campaign that

took place from 2016 to 2017 and compare its results with a similar study carried out before the information campaign.

## Methods:

Study design and participants

We performed a cross sectional study in the Cattenom PPI area after an information campaign organized by the nuclear operating company and the public authorities from June 2016 to June 2017. This study was conducted in ten municipalities selected at random from 41 municipalities in the Cattenom PPI area. Included people were resident from one municipality in the PPI area, at least 18 years old and able to answer the questionnaire. As the survey fraction was large, we then randomly selected three streets in each of the ten municipalities. We compared data with a previous study that took place before this information campaign in the same PPI area(44). The number of subjects required was calculated at 150 to highlight a minimum difference of 10% between the proportion of people who knew all the measures to be taken in the event of a nuclear accident before the information campaign and after the campaign, knowing that this proportion was 3% before the campaign. We estimated that the non-response rate would be about 30%. We interviewed 200 people.

Data collection

Data were collected from a questionnaire (Appendix 2). This questionnaire was designed on the basis of the information that the population living in the Cattenom PPI area should know and on the basis of the information provided by the NPP operating company (EDF) and the nuclear safety authority (ASN) during the 2016-2017 information campaign. It was developed by two doctors specializing in endocrine pathologies, particularly thyroid disease. The questionnaire was submitted to a sample of 10 people representative of the target population to ensure that the questions and possible answers were well understood. The questionnaire was then reworked in content and form according to the comments made.

A week before the investigator's visit, a notice of visit was left in the residents' mailboxes for information (Appendix 3). The questionnaire was administered in two

ways. For persons present at home at the time of the survey, the questionnaire was administered by an investigator. Only one investigator administered the questionnaires to the residents. When residents were not present at their homes at the time of the survey, the investigator left an explanatory letter, a questionnaire and a pre-paid envelope in the mailbox. A deadline for the return of the questionnaire was specified at 30 March 2019. The administration of the questionnaire took place from December 2018 to March 2019. A total of 200 questionnaires were administered.

Residents were asked about socio-demographic data (age, sex, composition of the household, graduation class, occupational status), thyroid pathologies, items concerning potassium iodide (presence of potassium iodide in the household, quantity, methods of receiving iodide, conservation, knowledge of the objective, dosage for adults and children in the household), items concerning the general conduct to be followed in the event of a nuclear accident and about the use of communication channels (website, toll-free number, public meeting).

Statistical analyses

We first described resident baseline characteristics. For the bivariate analysis, we used Chi 2 or Fisher test for the qualitative variables, depending on whether the assumptions were respected. We looked at what factors influenced the state of knowledge in our study.

We compared the results of our study, which took place 1 year after the end of the 2016-2017 information campaign, with the results of the study which took place before the 2016 information campaign (44). We compared the KI coverage rate, the proportion of residents interviewed who knew the KI dose for an adult, knew at least one contraindication, knew at least one priority group of people, knew the need for confinement in a building, and the proportion of people who removed the KI tablets in a pharmacy.

All statistical analyses were performed using SAS software, version 9.4 (SAS Institute, Cary, NC).

## Results:

1. Population

In total, we collected 122 questionnaires including 58 self-administered questionnaires. All residents present at the time of the investigator's visit answered the questionnaire. In contrast, for persons not present at home at the time of the survey, the response rate of self-administered questionnaires was 42.5 %(Fig1). Those who responded to the self-administered questionnaire were more frequently in occupational status (77.2% vs 51.6%, p=0.003) (Table 1).

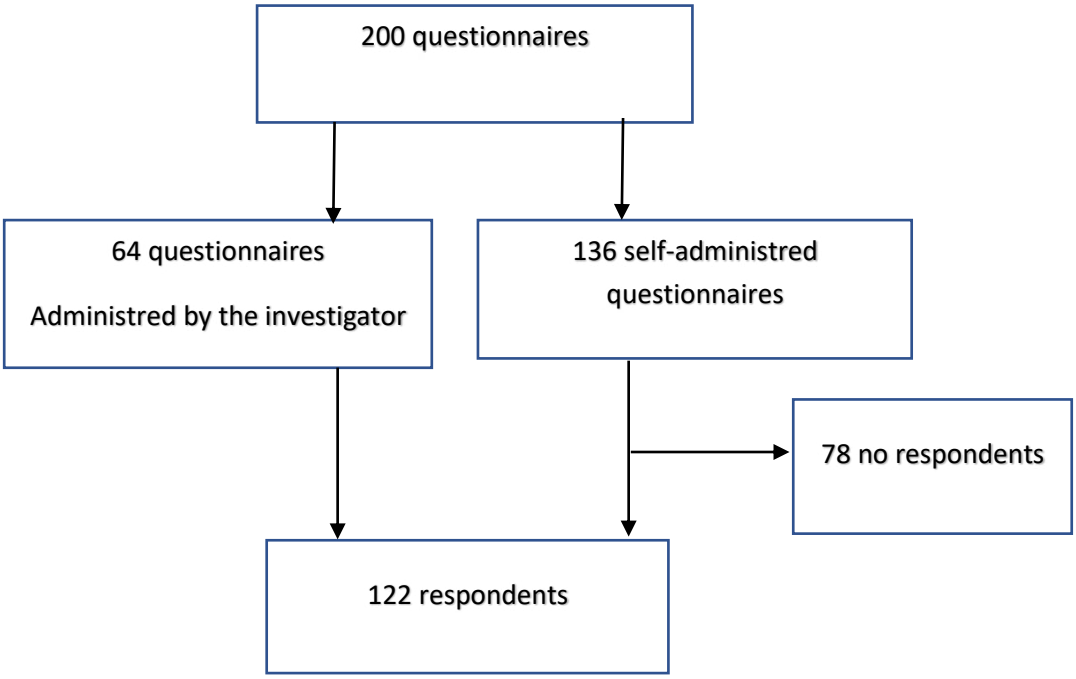



Fig1 Flow-chart of the administration of the questionnaires.

Among these 122 respondents, 75 were women (61.5%) and 47 were men (38.5%). The most represented age group was 40-59 years old (45.1%). The majority of respondents were located within a radius of 5 to 10 km from the Cattenom NPP (69.4%). Twenty-nine respondents (23.8%) had thyroid disease. The most common thyroid disease was nodular goiter (27.7%), followed by hypothyroidism (20.7%) and hyperthyroidism (20.7%).

Table 1 Population characteristics according to the questionnaire administration method

| | Total*<br><br>N=122 | Self administred*<br><br>N=58 | Administered by investigator*<br>N=64 | P** |
|---|---|---|---|---|
| **Sex** | | | | 0.80 |
| - Male | 47 (38.5) | 23(39.7) | 24(37.5) | |
| - Female | 75 (61.5) | 35(60.3) | 40 (62.5) | |
| **Age group (years)** | | | | 0.09 |
| - 18-39 | 31 (25.4) | 14 (24.2) | 17 (26.6) | |
| - 40-59 | 55 (45.1) | 31 (53.4) | 24 (37.5) | |
| - > 60 | 36 (29.5) | 13 (22.4) | 23 (35.9) | |
| **Municipality** | | | | **<0.001** |
| Stuckange | 18 (14.9) | 12 (21.1) | 6 (9.4) | |
| Zoufftgen | 11 (9.1) | 0 | 11 (17.2) | |
| Yutz | 17 (14.1) | 12 (21.1) | 5 (7.8) | |
| Thionville | 9 (7.4) | 6 (10.5) | 3 (4.7) | |
| Rodemach | 8 (6.6) | 0 | 8 (12.5) | |
| Basse Rentgen | 7 (5.8) | 0 | 7 (10.9) | |
| Oudrenne | 11 (9.1) | 8 (14.0) | 3 (4.7) | |
| Hettange Grande | 16 (13.2) | 12 (21.1) | 4 (6.2) | |
| Basse Ham | 13 (10.7) | 1 (1.7) | 12 (18.8) | |
| Elzange | 11 (9.1) | 6 (10.5) | 5 (7.8) | |
| Missing | 1 | 1 | 0 | |
| **Perimeter from the nuclear power plant** | | | | 0.08 |
| - < 5km | 37 (30.6) | 13 (22.8) | 24 (37.5) | |
| - Between 5 and 10 km | 84 (69.4) | 44 (77.2) | 40 (62.5) | |
| - Missing | 1 | 1 | 0 | |
| Living alone | 22 (18.0) | 13(22.4) | 9(14.1) | 0.15 |
| Single-parent family | 9 (7.3) | 5 (8.6) | 4 (6.2) | 0.32 |
| Have a child | 53 (43.4) | 29 (50.0) | 24 (37.5) | 0.16 |
| Have a child under 12 years old | 34 (27.9) | 21 (36.2) | 13 (20.3) | 0.19 |
| **Graduation class** | | | | 0.24 |
| - **< high school diploma** | 53 (43.4) | 22 (37.9) | 31 (48.4) | |
| - **≥ high school diploma** | 69 (56.6) | 36 (62.1) | 33 (51.6) | |
| **Professional activity** | | | | **0.004** |
| - Unemployed | 10 (8.4) | 1 (1.8) | 9 (14.5) | |
| - On disability | 4 (3.3) | 0 | 4 (6.5) | |
| - Occupational status | 76 (63.9) | 44 (77.2) | 32 (51.6) | |
| - retired person | 29 (24.4) | 12 (21 .1) | 17 (27.4) | |
| - Missing | 3 | 3 | 0 | |
| **Occupational statut** | 76 (63.9) | 44 (77.2) | 32 (51.6) | **0.003** |
| **Thyroid disease** | 29 (23.8) | 16 (27.6) | 13 (20.3) | 0.34 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Type of thyroid disease** | | | | 0.48 |
| - Goiter | 3 (10.3) | 2 (13.3) | 1 (7.7) | |
| - Nodes | 8 (27.7) | 4 (26.7) | 4 (30.7) | |
| - Hyperthyroidism | 6 (20.7) | 5 (33.3) | 1 (7.7) | |
| - Hypothyroidism | 6 (20.7) | 3 (20.0) | 3 (23.0) | |
| - Thyroid cancer | 1 (3.4) | 0 | 1 (7.7) | |
| - Congenital thyroid disorder | 0 | 0 | 0 | |
| - Thyroidectomy | 4 (13.8) | 1 (6.7) | 3 (23.0) | |
| - Missing | 1 (3.4) | 1 (/) | 0 | |
| **Remember the campaign** | 49 (40.2) | 21 (36.2) | 28 (43.8) | 0.39 |
| **Do you feel concerned about the nuclear risk?** | 110 (90.2) | 55 (94.8) | 55 (86.0) | 0.10 |
| **Do you have any iodine pills?** | 95 (77.9) | 47 (81.0) | 48 (75.0) | 0.42 |
| **Have the right number of pills for the household** | 92 (96.8) | 45 (95.7) | 47 (97.9) | 0.59 |
| **Method of receiving the pills** | | | | 0.45 |
| - In pharmacies, with government letter | 72 (59) | 38 (65.5) | 34 (53.1) | |
| - In a pharmacy with a prescription from a doctor | 2 (1.6) | 1 (1.7) | 1 (1.6) | |
| - The pills were received at home by post | 20 (16.5) | 7 (12.1) | 13 (20.3) | |
| - A relative went to the pharmacy to get the pills for you | 1 (0.8) | 1 (1.8) | 0 | |
| - I don't have any potassium iodide pills | 27 (22.1) | 11 (19.0) | 16 (25.0) | |
| **If not received at the pharmacy, why not?** | | | | 0.15 |
| - Lack of time | 9 (21.0) | 6 (37.5) | 3 (11.1) | |
| - Difficulty of movement | 2 (4.5) | 0 | 2 (7.4) | |
| - You didn't know you had to take them out of the pharmacy | 30 (70.0) | 9 (56.2) | 21 (77.8) | |
| - These tablets are useless with frequent side effects | 2 (4.5) | 1 (6.3) | 1 (3.7) | |
| - Missing | 79 | | | |
| **Dry storage** | 94 (99.0) | 46 (97.9) | 48 (100) | 0.30 |
| **Packaging intact** | 94 (99.0) | 46 (97.9) | 48 (100) | 0.30 |
| **Objective of potassium iodide** | | | | 0.70 |
| -Protect the thyroid gland from ionizing radiation to prevent thyroid cancer | 74 (60.6) | 39 (67.2) | 35(54.7) | |
| -Protect the body from radiation and avoid all cancers | 16 (13.1) | 6 (10.3) | 10 (15.6) | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| induced by ionizing radiation | | | | |
| - To prevent iodine deficiency | 4 (3.3) | 2 (3.5) | 2 (3.1) | |
| - I don't know | 28 (23.0) | 11 (19.0) | 17 (26.6) | |
| **Knowledge of the dose for an adult** | 34 (28) | 20 (34.5) | 14 (21.9) | 0.12 |
| **Knowledge of the dose for his children** | 17 (31) | 12 (40) | 5 (20.8) | 0.09 |
| **Know at least one priority person class** | 43 (35.3) | 21 (36.2) | 22 (34.4) | 0.83 |
| **Know at least one contraindication** | 18 (14.8) | 10 (17.2) | 8 (12.5) | 0.46 |
| **When should the pills be taken?** | | | | 0.14 |
| - As soon as the siren sounds | 30 (24.6) | 12 (20.7) | 18 (28.1) | |
| - As soon as the authorities instruct you to take the tablets | 63 (51.6) | 35 (60.3) | 28 (43.7) | |
| - Within 24 hours of the nuclear accident | 7 (5.7) | 1 (1.7) | 6 (9.4) | |
| - The morning after the nuclear accident, to be fasted. | 0 | 0 | 0 | |
| - I don't know | 22 (18.1) | 10 (17.3) | 12 (18.8) | |
| **General procedure** | | | | |
| **Should we watch TV or listen to the radio?** | | | | 0.11 |
| - Yes | 104 (85.2) | 53 (91.4) | 51 (79.7) | |
| - No | 3 (2.5) | 0 | 3 (4.7) | |
| - I don't know | 15 (12.3) | 5 (8.6) | 10 (15.6) | |
| **Should we pick up the children from school?** | | | | 0.45 |
| - Yes | 19 (15.6) | 8 (13.8) | 11 (17.2) | |
| - No | 75 (61.4) | 39 (67.2) | 36 (56.2) | |
| - I don't know | 28 (23.0) | 11 (19.0) | 17 (26.6) | |
| **Should we put ourselves in a well-ventilated shelter?** | | | | 0.61 |
| - Yes | 34 (27.9) | 14 (24.1) | 20 (31.3) | |
| - No | 60 (49.1) | 29 (50.0) | 31 (48.4) | |
| - I don't know | 28 (23.0) | 15 (25.9) | 13 (20.3) | |
| **Should I call my family and friends?** | | | | 0.98 |
| - Yes | 48 (39.3) | 23 (39.7) | 25 (39.0) | |
| - No | 52 (42.7) | 25 (43.1) | 27 (42.2) | |
| - I don't know | 22 (18.0) | 10 (17.2) | 12 (18.8) | |
| **Should I pack a suitcase in case of evacuation?** | | | | 0.16 |
| - Yes | 90 (73.8) | 47 (81.0) | 43 (67.2) | |
| - No | 15 (12.3) | 4 (6.9) | 11 (17.2) | |
| - I don't know | 17 (13.9) | 7 (12.0) | 10 (15.6) | |
| **Should we leave as soon as** | | | | 0.22 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **possible?** | | | | |
| - Yes | 25 (20.5) | 16 (27.6) | 9 (14.1) | |
| - No | 74 (60.6) | 33 (56.9) | 41 (64.0) | |
| - I don't know | 23 (18.9) | 9 (15.5) | 14 (21.9) | |
| **Know the general procedure** | 19 (15.6) | 7 (12.0) | 12 (18.8) | 0.31 |
| **Did you participate in a group meeting?** | 1 (0.8) | 0 | 1 (1.6) | 0.33 |
| **Have you visited the campaign website?** | 3 (2.5) | 3 (5.2) | 0 | 0.07 |
| **Did you call the toll-free number provided?** | 0 | 0 | 0 | / |
| **Do you remember the campaign flyer?** | 46 (37.7) | 21 (36.2) | 25 (39.1) | 0.75 |
| **Have you received any information from a doctor or pharmacist?** | 10 (8.2) | 5 (8.6) | 5 (7.8) | 0.87 |

* N (%)
** Chi 2 or Fisher test

Descriptive analysis

Only 49 residents (40.2%) recalled the information campaign that took place from June 2016 to June 2017. The majority (90.2%) felt concerned by the nuclear risk. Residents who felt unconcerned told the investigator either "that if something happens anyway they will be dead, so why worry?" and others said "that they have complete confidence in the authorities and that there is nothing to fear. They wouldn't build a power plant this close to homes if the risk wasn't controlled."

Only 37.7% remember the campaign flyers. The investigator found that all face-to-face respondents who remembered the campaign leaflet had kept it and some had it displayed in a precise location (living room, kitchen) close to the KI tablets. Only one person remembered attending a group meeting several years ago during a previous information campaign. Three residents consulted the website.

The information received by the residents came mainly from the information campaign. Few residents had received information from health professionals (8.2%).

### 1.1 General procedure

In case of an alert signal by the siren, five reflexes are to be known by the residents in addition to the methods of taking KI. The majority of the residents knew that they have to look or listen to the media to get information (85.2%), that they should not pick up their children from school (61.4%), that they should not overload the

telephone lines by calling their family (49.1%), that they should pack a suitcase in case of evacuation (73.8%) but must not run away in an emergency by taking their personal car (60.6%).

Of all respondents only 15.6% know all the reflexes of the general procedure.

### 1.2 KI tablets

All households must have enough KI tablets for a first dose in the event of a nuclear accident.

In our study 95 households had KI (77.9%). Some reported that they did not receive the letter allowing them to pick up the KI in pharmacies and did not receive them by courier either. Some people had just moved into the area (which is a very busy area because it is on the border with Luxembourg) and declare that they had not received any information (10 inhabitants interviewed, i.e. 8.1% of the sample). Among households with KI 96.8% had a sufficient number of pills for all household members.

A majority of the population has picked up the tablets at the pharmacy (75.7%) and those who did not remove their tablets at the pharmacy reported that they were not informed (70%).

Among respondents, 74 (60.6%) were aware of the purpose of taking KI in the event of a radioactive leak and 34 (28.0%) knew the dose for an adult. Among parents, 31% knew the dose for their children.

Only 14.8% of the residents surveyed knew at least one contraindication. The only contraindication cited was allergy. No residents cited untreated hyperthyroidism or unstable heart disease. It should also be noted that people who had performed a thyroidectomy and were interviewed by the investigator (3/4 of thyroidectomized resident) did not know that KI was of no use to them in the event of a nuclear accident.

Among these 122 respondents, only 63 (51.6%) knew that it was necessary to wait for the authorities' instructions to take the KI.

2. Comparison before and after information campaign 2016-2017.

The similar study that took place before the information campaign in 2016 found a KI coverage rate of 68.5%. The coverage rate increased significantly after the campaign (before 68.5% vs after 77.9%, p=0.02). The proportion of residents who knew the dose for an adult was also significantly higher (16.2% vs 28%, p=0.0003). In contrast, the proportion of residents with at least one contraindication was significantly lower after the information campaign (29.2% vs 14.8%, p=0.0004). There was no significant difference concerning: having enough KI for the household (96.6% vs 96.8%, p=0.9), having obtained KI in pharmacies (76.9% vs 75.7%, p=0.7), knowing purpose of KI intake (52.3% vs 60.6%, p=0.1), knowing at least one priority group (41.5% vs 35.3%, p=0.16), knowing that you have to confine yourself to a building (54.6% vs 49.1%, p=0.2).

The proportion of residents with thyroid disease was higher in our study (11.5% vs 23.8%, p<0.0001) and nodular goiter was more frequent (13.3% vs 27.7%, p=0.03). In both studies, there was a high proportion of hyperthyroidism among thyroid disorders (33.3% and 20.7%, p=0.18).

3. Associated factors

3.1 General procedure

Men had a better knowledge of the general procedure than women (58% vs 42%, p=0.05). No differences were found by age, occupational status, graduation class and length of residence in the PPI zone. Residents with children were not more familiar with the general procedure than residents without children (14.5% without children vs 16.9% with children, p=0.70).

3.2 KI coverage

Residents who remembered the information campaign were more likely to own KI than those who did not remember the campaign. There was a trend towards an association between owning KI and the age group (67% for <40 years, 76% for 40-59 years and 89% for >60 years, ptrend=0.02).

The proportion of people who moved to the PPI zone after 2009 and who had KI was significantly lower than the proportion of residents in the PPI zone before 2009 (86.7% before 2009 vs 53% after 2009, p<0.001).

### 3.3 Know the purpose of taking KI

The objective of KI intake was better known by men (men 80% vs women 48%, p= 0.0003) and people already living in the PPI area in 2009 (date of the previous information campaign) (65% vs 45%, p=0.04). People with thyroid disease were no better informed about the purpose of KI intake (64% without thyroid disease vs 48% with thyroid disease, p=0.11).

### 3.4 Know the dose of KI to ingest

No factors were found to be significantly associated with a better knowledge of the dose to be taken for an adult. In contrast, working parents seemed to have a better knowledge of the dose to give to their children (0% vs 37%, p=0.03).

### 3.5 Know when to take KI

Residents with at least a bachelor's degree were more likely to know when to take KI than residents with a lower degree (65% vs 35%; p=0.006). There was also a trend, but not significant, towards a better knowledge of when to take it for people in employment (44% vs 57%, p=0.15) and those who remembered the information campaign (45% vs 61%, p=0.08).

### 3.6 Have at least one contraindication

The only contraindication cited was allergy. Age class, graduation level and recall of the information campaign were associated with knowledge of at least one contraindication (p= 0.04 for each one).

### 3.7 Know at least one group of priority people

Age class (under 60 years), graduation level (at least bachelor’s degree), occupational status, having a child, remembering the campaign and moving in after 1984 were factors associated with knowing at least one group of priority people (p=0.06, p=0.0009, p=.0.03, p=0.01, p=0.0028 and p=0.0004 respectively).

## Discussion:

This study provides an overview of the effectiveness of information campaigns on the procedure in the event of a nuclear accident. This study highlights the insufficient knowledge of people living in the Cattenom PPI area. Only 15.6% of those interviewed knew all 5 reflexes of the general procedure (sheltering, watching TV or listening to the radio, not cluttering telephone lines, not picking up children from school, packing a suitcase in case of evacuation). This general procedure is the most important to limit exposure to ionizing radiation and ensure the efficiency of rescue teams. Parents were not more familiar with this procedure than residents without children.

The KI coverage is correct but not optimal with 77.9% of households surveyed owning the tablets. For households with KI, knowledge of how to take them in the event of a nuclear accident is also insufficient. The youngest inhabitants, who are the main target of the measures, are not more familiar with KI intake than the older inhabitants. The only true contraindication expressed by the inhabitants was iodine allergy. That's true, but it's very rare. Other important contraindications such as unstabilized cardiovascular disease or hyperthyroidism, which are more frequent, are not known. During our face-to-face interviews we observed that the newcomers (after the end of the campaign) were not informed by the town halls of the need to have KI at home or on the general procedure. This is paradoxical because they are often young adults with children and are mainly the target population. In our sample, only 50% of the people who arrived in Cattenom's PPI zone since 2009 (between the last two information campaigns) were in possession of KI tablets.

Our study identified unmodifiable factors associated with a better knowledge of the global procedure. The male sex is associated with a better knowledge of the general procedure and purpose of taking KI. Remembering the information campaign, having a professional activity and the level of education are associated with a better understanding of prevention through KI.

In comparison to the Elhanbali et al. study (44) that preceded the 2016-2017 information campaign, KI coverage was better. On the other hand, the knowledge of the general procedure and in particular the containment was not better understood after the information campaign. In this study, living within a 6.6 km radius of the NPP

was associated with a better knowledge of the general procedure (69.8% vs 44.2%; p = 0.0039) and the objective of KI intake (71.7% vs 39.0%; p = 0.0002). Our study did not find this knowledge gradient as a function of distance from the NPP. The information campaign may have made it possible to homogenize knowledge in the PPI area.

These general measures to prevent health risks following a serious nuclear accident have proved their effectiveness. Indeed, the first evidence of the effectiveness of KI tablets was provided by the study of Nauman et Wolff in Poland(40). KI tablets were distributed following the Chernobyl accident between 28 April and 2 May 1986 to 10.5 million children and 7 millions adults. The recommended KI dose was 15 mg for newborns, 50 mg for children 5 years of age or younger and 75 mg for other subjects, including pregnant women. Thyroid dose reduction is estimated to be 40% in subjects who took stable iodine three days after the accident and 25% in those who took it four days after the accident. This reduced the thyroid dose to 5 mSv.

During the Fukushima NPP accident, the authorities were very careful to limit the health effect of the disaster to a maximum. The Japanese government has considered from day one the lowest recommended threshold for emergency situations to be a maximum limit of 20mSv per year. The residents of the areas concerned have benefited from the taking of KI tablets and evacuation with strict food management in order to limit radioactive contamination. Yamashita et al. published a review of the literature finding a moderate increase in thyroid cancer risk 7 years after the accident (116 cancers among 300,473 examined and 71 cancers among 270,511 examined)(36). This increase seems to be due more to systematic screening than to ionizing radiation. The report of the 5th international expert symposium in Fukushima on radiation and health reached the same conclusion(37). It should be noted that a significant number of people were lost to follow-up in these reports. Indeed, in the preliminary baseline screening on 367,649 target persons, 300,473 (81.7%) were examined. During the first health check in 2014-2015 on 381,256 target persons 270,511 (71.0%) were examined and during the second health check on 336,616 target persons, only 120,596 (35.8%) were examined on 31 March 2017.

Informing residents about the reflexes to adopt is an important element in preventing health consequences in the event of a possible nuclear accident. After the

information campaign, EDF asked a polling company to carry out a review of the 2016-2017 information campaign(47). It was carried out directly after the end of the campaign. It found a withdrawal rate of 52.9% for KI tablets at pharmacies for the Cattenom PPI area and a memorisation rate of 93% for the campaign at the national level. Regarding the general procedure: 96% of the respondents knew that they should watch television, 92% that they should stay at home, 74% that they should prepare for an evacuation, 61% that they should limit telephone calls, 60% that they should not leave the region in an emergency and 70% that they should not pick up their children from school. A total of 23% of the respondents knew all the reflexes. One year after the end of the campaign, our study is less enthusiastic than the survey institute with only 40% of the interviewees remembering the information campaign and 15% knowing all the reflexes. We have found a higher rate of withdrawal of tablets from pharmacies than the one presented by EDF on March 30, 2017. This is probably due to the fact that the people who answered our questionnaire, particularly in the form of self-questionnaires, were the most interested.

Our study obviously suffer from some weaknesses. The response rate was lower than expected when the questionnaire was placed in the mailbox with a pre-paid envelope which could lead to selection bias. Since respondents are logically the most concerned by nuclear risk, the population's state of knowledge may be overestimated. The study probably lacked the power to find factors associated with a better knowledge because of their low representation in terms of number in the sample (e.g. thyroid pathology).

This study also has some strengths. This is an original study aimed to take state of knowledge after an information campaign. The population interviewed was the result of a multi-level randomization. The questionnaire was validated on the target population and was developed in a specialized endocrinology department based on information provided by EDF.

After each interview we reminded to the respondent the entire procedure theoretically put in place in the event of a serious nuclear accident. The interviews were very long with many questions about the proven risks of radiation exposure. It also seemed important to provide clear information about the risks faced by these populations

based on data from the scientific literature during these information campaigns. This would also avoid extreme behavior such as "in case of an accident we are all dead anyway".

Information campaigns go unnoticed in France. The relays used to transmit information are essentially local. There are no poster campaigns, no television news coverage. The inhabitants interviewed do not know the different communication channels of the information campaign (toll-free number, website). The public meetings, initially organised when these information campaigns were set up, have not been held for several years. Indeed, it was then the place of conflict between pronuclear and antinuclear inhabitants. For our sample of residents, no modifiable extrinsic factors could be identified to be associated with a better state of knowledge, partly because the communication channels were simply not used.

However, several proposals to improve these information campaigns can be made:

- the organization of intermediate campaigns between iodine distribution campaigns. The current interval between each campaign (7 years) is probably too long.

- offer a wider dissemination of information via local or even national television channels

- better information and training of health professionals in the PPI area. These actors can act as relays of information.

- the organization of meetings in small groups to avoid spillover effects. There is no substitute for face-to-face information. The different methods currently being implemented show this: no residents interviewed have consulted the website or called the toll-free number.

- for new arrivals in a municipality in the PPI area, an information kit containing at least a leaflet of the campaign with the general procedure and a withdrawal voucher for potassium iodide tablets should be issued.

Currently 70% of electricity in France comes from nuclear power. It seems difficult to envisage an imminent exit from nuclear power given the limited number of equally effective alternatives available. In the meantime, it is therefore necessary to provide the population and the professionals involved with optimal information.

# III- Conclusion :

## 1. Résultats principaux

L'étude menée nous apporte des informations sur l'efficacité de la campagne d'information menée par l'exploitant nucléaire, l'ASN et le gouvernement. Seulement 15.6 % des personnes interrogées connaissent l'ensemble des réflexes généraux, à savoir le confinement dans un bâtiment en dur, la nécessité de ne pas aller chercher ses enfants à l'école, de ne pas téléphoner, d'écouter les informations et de préparer une valise en cas d'évacuation. Ces réflexes sont primordiaux pour la diminution de l'exposition et de l'impact sanitaire potentiel d'un accident nucléaire grave. La couverture de l'iodure de potassium est correcte (77.8%) mais encore insuffisante. Les nouveaux arrivants, notamment, ne sont pas informés dès leur arrivée de la conduite à tenir en cas d'accident nucléaire et ne dispose pas d'iodure de potassium jusqu'à la prochaine campagne d'information et de distribution. En principe, les nouveaux arrivants devraient bénéficier de la même information dès leur déménagement mais en pratique ce n'est pas le cas.

Les vecteurs de l'information ne sont pas connus. Le dépliant d'information distribué à tous les habitants est la modalité d'information la plus connue (37.7 % des interrogés se souviennent de celui-ci). En revanche, le site internet et le numéro vert ne sont pas connus. Un habitant ayant complété un auto questionnaire a pris connaissance de l'existence du site internet et nous a remercié pour l'information. Il nous a précisé qu'il allait de ce pas le consulter car il ne savait pas répondre à toutes les questions posées.

Comparativement à l'étude réalisée avant la campagne d'information, il y a tout de même une amélioration concernant la couverture de l'iodure de potassium (68.5% à 77.8%). En revanche, il n'existe aucune différence significative concernant les réflexes généraux à adopter.

Globalement les personnes interrogées en face à face déclarent ne pas être assez informées des risques potentiels d'un accident nucléaire. Ce manque d'information provoque chez certains habitants un fatalisme qui ne les motivent pas à adhérer à la campagne d'information. D'autres en revanche sont (trop ?) confiant et ne

s'investisse pas forcément dans la prévention et la recherche d'information car ils pensent que le risque est quasiment nul.

## 2. Propositions

Afin d'améliorer les campagnes d'information, plusieurs propositions peuvent être avancées :

- L'intervalle entre les campagnes est passé de 3 à 7 ans. Actuellement la périodicité des campagnes est liées à la date de péremption des comprimés d'iodure de potassium. De plus en plus d'études montrent que ces comprimés s'oxydent mais ne se périment pas. Actuellement les boites produites par la pharmacie des armées ne comportent plus de date de péremption mais seulement la date de fabrication. Dans ce contexte nous proposons d'organiser des campagnes intermédiaires. Ces campagnes ne seraient qu'un rappel des réflexes généraux et des modalités de prise de l'iodure de potassium avec tous les 7 ans une campagne d'information d'envergure plus importante qui ferait le point sur l'état des connaissances sur les risques sanitaires.
- La diffusion de l'information doit être plus large. Actuellement le dépliant est la principale source d'information. Les informations télévisées locales et nationales devraient être plus sollicitées en période de campagne d'information. Les professionnels de santé devraient être particulièrement informés des risques sanitaires et des modalités de prévention pour pouvoir informer leurs patients.
- Les réunions d'information sont difficiles à organiser avec beaucoup de conflits entre pro- et anti nucléaires. La communication lors des réunions est pourtant irremplaçable. Nous proposons l'organisation de réunion en plus petits effectifs pour éviter les débordements et permettrent à chacun de poser ses questions.
- Pour les nouveaux arrivants dans une zone du PPI, nous proposons de délivrer au moins un dépliant de la campagne et une lettre de retrait des comprimés d'iodure de potassium pour le foyer en pharmacie.

## 3. Évolution de la législation

Une circulaire datant du 3 octobre 2016 du 1er ministre a été adressé aux 18 préfets de départements comportant des installations nucléaires. Cette circulaire a fait suite aux déclarations de Ségolène Royale qui annonçait l'extension des zones du PPI de 10 à 20km en avril 2016. Cette décision est en relation avec les recommandations des autorités de sureté nucléaire au niveau européen. Ainsi une nouvelle campagne d'information et de distribution des comprimés d'iode a débuté en juin 2019 dans les zones de 10 à 20 km autour des centrales nucléaires. Les modalités de la campagne sont identiques à celles utilisées pour la campagne 2016-2017 qui s'était déroulée dans le rayon des 10km.

Le début de la campagne d'information n'avait pas été annoncé publiquement et certains professionnels de santé ont été pris de court devant les questions de patients venant avec la lettre d'information. Depuis les médias se sont fait les portes parole de cette campagne qui passe moins inaperçue que les précédentes (48).

## 4. Dans les autres pays

Un rapport de la commission Européenne en 2010 fait un état des lieux des pratiques européenne en termes de prévention des conséquences sanitaires en cas d'accident nucléaire(49).

Certains pays ne disposent pas d'iodure de potassium. C'est le cas de Malte, de l'Estonie, de la Macédoine et de l'Irlande. Ces pays n'ont pas de centrale nucléaire sur leurs territoires nationaux ou à proximité. L'Irlande distribuait jusqu'en 2002 des comprimés d'iode stable à toute sa population mais depuis que l'Angleterre a fermé les deux plus anciennes centrales, le gouvernement irlandais a décidé de ne plus renouveler les campagnes de distribution jugeant à partir de rapport d'expert que le risque d'accident majeur atteignant l'Irlande était faible.

Sur 21 pays répondants à l'enquête, 18 utilisent l'iodure de potassium. Les Pays-Bas et l'Angleterre utilisent l'iodate de potassium. La plupart des pays utilisent des comprimés de 65 mg (soit 50 mg d'iode). La Finlande, les Pays-Bas et l'Espagne utilisent des comprimés dosés à 130mg. La Pologne utilise des comprimés de 25mg. La France a changé le dosage de ces comprimés en 2009 passant de 130 à 65 mg pour harmoniser la prophylaxie par rapport aux pays frontaliers.

La posologie prise est globalement la même dans tous les pays d'Europe. En revanche certains pays ne recommandent pas la prise d'iode après 45 ans du fait de l'absence de bénéfice prouvé.

Le rayon de la zone du PPI dans le pays européen est très variables : de 5 à 50 km. La Finlande définie la zone du PPI par un rayon de 5 km avec pré distribution d'iode stable. Dans tout le pays, les écoles et infrastructures accueillant des enfants disposent d'un stock d'iode stable. En Lituanie, le rayon des zones du PPI est de 50km. Le Luxembourg applique le PPI à l'ensemble de son territoire et tous les luxembourgeois disposent d'iode stable. Le seuil à partir duquel les autorités demandent à leurs citoyens de prendre l'iode stable s'étend d'une dose efficace de 10 à 100 mSv à la thyroïde selon le pays.

# IV-Bibliographie :


1. Le nucléaire en France | SFEN, Société Française d'Énergie Nucléaire [Internet]. [cité 17 oct 2019]. Disponible sur: http://www.sfen.org/energie-nucleaire/panorama-nucleaire/nucleaire-france

2. France. World Nuclear Industry Status Report [Internet]. [cité 20 oct 2019]. Disponible sur: https://www.worldnuclearreport.org/+-France-+.html

3. The World Nuclear Industry Status Report 2019 (HTML) [Internet]. [cité 2 oct 2019]. Disponible sur: https://www.worldnuclearreport.org/The-World-Nuclear-Industry-Status-Report-2019-HTML.html

4. note_information_grand-carenage_20160519_vf.pdf [Internet]. [cité 19 oct 2019]. Disponible sur: https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/espaces-dedies/espace-medias/notes/2016/note_information_grand-carenage_20160519_vf.pdf

5. edf-ddr-2018-fr.pdf [Internet]. [cité 19 oct 2019]. Disponible sur: https://www.edf.fr/sites/default/files/contrib/groupe-edf/espaces-dedies/espace-finance-fr/informations-financieres/informations-reglementees/document-de-reference/edf-ddr-2018-fr.pdf

6. « Nucléaire, danger immédiat » : le parc français au bord de la rupture [Internet]. Réseau Sortir du nucléaire. [cité 19 oct 2019]. Disponible sur: https://www.sortirdunucleaire.org/Nucleaire-danger-immediat-le-parc-francais-au

7. Demeude TG Hugues. Nucléaire : danger immédiat de Thierry Gadault, Hugues Demeude - Editions Flammarion [Internet]. [cité 19 oct 2019]. Disponible sur: https://editions.flammarion.com/Catalogue/flammarion-enquete/nucleaire-danger-immediat

8. i0832.pdf [Internet]. [cité 19 oct 2019]. Disponible sur: http://www.assemblee-nationale.fr/12/pdf/rap-oecst/i0832.pdf

9. Evaluation de l'aléa sismique : La réglementation applicable aux sites nucléaires français [Internet]. [cité 19 oct 2019]. Disponible sur: https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/La_surete_Nucleaire/risque_sismique_installations_nucleaires/Pages/8-Evaluation_de_l_alea_sismique-Reglementation_applicable_aux_sites_nucleaires_francais.aspx?dId=37cd738c-9f1b-4032-a2d0-e6e8a0ff17dc&dwId=2c2c348f-b077-4fa1-ae22-36c4179d2e48

10. Appréciation du risque sismique pour la centrale nucléaire de Fessenheim : l'IRSN rend publique son analyse du rapport du bureau d'études RESONANCE [Internet]. [cité 19 oct 2019]. Disponible sur: https://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Communiques_et_dossiers_de_presse/Pages/Appreciation_du_risque_sismique_pour_la_centrale_nucleaire_de_Fessenheim.aspx

11. Rodriguez-Vidal J, Rodriguez-Llanes JM, Guha-Sapir D. Civil nuclear power at risk of tsunamis. Nat Hazards. 1 sept 2012;63(2):1273-8.

12. Mise à l'arrêt provisoire de la centrale nucléaire du Tricastin [Internet]. [cité 19 oct 2019]. Disponible sur: https://www.asn.fr/Informer/Actualites/Mise-a-l-arret-provisoire-de-la-centrale-nucleaire-du-Tricastin

13. L'inondation de la centrale du Blayais en décembre 1999 [Internet]. [cité 19 oct 2019]. Disponible sur:
https://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Communiques_et_dossiers_de_presse/Pages/inondation_centrale_Blayais_0999.aspx

14. Nucléaire: spectaculaire intrusion de Greenpeace à Fessenheim [Internet]. [cité 19 oct 2019]. Disponible sur: https://www.20minutes.fr/planete/1326126-20140318-20140318-nucleaire-militants-greenpeace-penetrent-site-fessenheim

15. Moselle : Greenpeace tire un feu d'artifice dans l'enceinte d'une centrale nucléaire [Internet]. leparisien.fr. 2017 [cité 19 oct 2019]. Disponible sur: http://www.leparisien.fr/environnement/moselle-des-militants-de-greenpeace-tirent-un-feu-d-artifice-pres-d-une-centrale-nucleaire-12-10-2017-7325856.php

16. Survol de centrales nucléaires [Internet]. Gouvernement.fr. [cité 20 oct 2019]. Disponible sur: https://www.gouvernement.fr/argumentaire/survol-de-centrales-nucleaires

17. Centrale nucléaire de Fessenheim [Internet]. Connaissance des Énergies. 2013 [cité 20 oct 2019]. Disponible sur: https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/centrale-nucleaire-de-fessenheim

18. Commission d'enquête sur les coûts de la filière nucléaire [Internet]. [cité 20 oct 2019]. Disponible sur: https://www.asn.fr/Informer/Actualites/Commission-d-enquete-sur-les-couts-de-la-filiere-nucleaire

19. Levin RJ. Incidence of thyroid cancer in residents surrounding the Three Mile Island nuclear facility. Laryngoscope. avr 2008;118(4):618-28.

20. Levin RJ, Simone NFD, Slotkin JF, Henson BL. Incidence of thyroid cancer surrounding three mile island nuclear facility: The 30-year follow-up. The Laryngoscope. 2013;123(8):2064-71.

21. Han Y-Y, Youk AO, Sasser H, Talbott EO. Cancer incidence among residents of the Three Mile Island accident area: 1982-1995. Environ Res. nov 2011;111(8):1230-5.

22. Talbott EO, Youk AO, McHugh-Pemu KP, Zborowski JV. Long-term follow-up of the residents of the Three Mile Island accident area: 1979-1998. Environ Health Perspect. mars 2003;111(3):341-8.

23. Steinhauser G, Brandl A, Johnson TE. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. Science of The Total Environment. 1 févr 2014;470-471:800-17.

24. Ostroumova E, Gudzenko N, Brenner A, Gorokh Y, Hatch M, Prysyazhnyuk A, et al. Thyroid cancer incidence in Chornobyl liquidators in Ukraine: SIR analysis, 1986-2010. Eur J Epidemiol. mai 2014;29(5):337-42.

25. Prysyazhnyuk AY, Trotsyuk NK, Gudzenko NA, Chumak VV, Bakhanova OV, Fuzik MM, et al. RADIATION RISKS OF THYROID CANCER IN CHORNOBYL CLEAN-UP WORKERS USING THE ALTERNATIVE ESTIMATES OF DOSES OF EXTERNAL EXPOSURE. Probl Radiac Med Radiobiol. déc 2018;23:200-15.

26. Sources and effects of ionizing radiation: UNSCEAR 2008 report to the General Assembly, with scientific indexes Vol. 2, Vol. 2,. New York: United Nations; 2011.

27. Rahu K, Hakulinen T, Smailyte G, Stengrevics A, Auvinen A, Inskip PD, et al. Site-specific cancer risk in the Baltic cohort of Chernobyl cleanup workers, 1986-2007. Eur J Cancer. sept 2013;49(13):2926-33.

28. Cardis E, Hatch M. The Chernobyl accident — an epidemiological perspective. Clin Oncol (R Coll Radiol). mai 2011;23(4):251-60.

29. Tronko M, Mabuchi K, Bogdanova T, Hatch M, Likhtarev I, Bouville A, et al. Thyroid cancer in Ukraine after the Chernobyl accident (in the framework of the Ukraine–US Thyroid Project). J Radiol Prot. mars 2012;32(1):N65-9.

30. Williams D. Twenty years' experience with post-Chernobyl thyroid cancer. Best Pract Res Clin Endocrinol Metab. déc 2008;22(6):1061-73.

31. Mueller WU. Evaluation of data on thyroid cancer in regions affected by the Chernobyl accident. :30.

32. Brenner AV, Tronko MD, Hatch M, Bogdanova TI, Oliynik VA, Lubin JH, et al. I-131 Dose Response for Incident Thyroid Cancers in Ukraine Related to the Chornobyl Accident. Environ Health Perspect. 1 juill 2011;119(7):933-9.

33. Schlumberger M, Le Guen B. Accident de centrale nucléaire et risque de cancer de la thyroïde: Les conséquences sanitaires de Tchernobyl. médecine/sciences. août 2012;28(8-9):746-56.

34. Little J. The Chernobyl accident, congenital anomalies and other reproductive outcomes. Paediatr Perinat Epidemiol. avr 1993;7(2):121-51.

35. Bromet EJ. Mental health consequences of the Chernobyl disaster. J Radiol Prot. mars 2012;32(1):N71-75.

36. Yamashita S, Suzuki S, Suzuki S, Shimura H, Saenko V. Lessons from Fukushima: Latest Findings of Thyroid Cancer After the Fukushima Nuclear Power Plant Accident. Thyroid. 1 janv 2018;28(1):11-22.

37. Saenko VA, Thomas GA, Yamashita S. Meeting report: the 5th International expert symposium in Fukushima on radiation and health. Environ Health. 18 2017;16(1):3.

38. plannational_parties1et2_270114.pdf [Internet]. [cité 17 sept 2019]. Disponible sur: https://www.gouvernement.fr/sites/default/files/risques/pdf/plannational_parties1et2_270114.pdf

39. La protection des personnes en situation d'urgence radiologique [Internet]. [cité 21 oct 2019]. Disponible sur: https://www.asn.fr/Reglementer/La-reglementation/Le-cadre-general-de-la-legislation-et-de-la-reglementation-des-activites-nucleaires/La-protection-des-personnes-en-situation-d-urgence-radiologique

40. Nauman J, Wolff J. Iodide prophylaxis in Poland after the chernobyl reactor accident: Benefits and risks. The American Journal of Medicine. 1 mai 1993;94(5):524-32.

41. Zanzonico P, Becker D. EFFECTS OF TIME OF ADMINISTRATION AND DIETARY IODINE LEVELS ON POTASSIUM IODIDE (KI) BLOCKADE OF THYROID IRRADIATION BY 131I FROM RADIOACTIVE FALLOUT. Health Physics: The Radiation Safety Journal. juin 2000;78(6):660-7.

42. Bulletin Officiel N°2005-2: Annonce N°52 [Internet]. [cité 21 oct 2019]. Disponible sur: https://solidarites-sante.gouv.fr/fichiers/bo/2005/05-02/a0020052.htm

43. Distribution d'iode en comprimés | Alerte nucléaire je sais quoi faire [Internet]. [cité 2 oct 2019]. Disponible sur: http://www.distribution-iode.com/

44. Ouifak Elhanbali. Prophylaxie des conséquences thyroïdiennes des accidents des centrales nucléaires. Sciences pharmaceutiques. 2016. ⟨hal-01770744⟩ [cité 2 oct 2019]; Disponible sur: https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01770744

45. Le nucléaire en chiffres [Internet]. EDF France. 2015 [cité 2 oct 2019]. Disponible sur: https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-nucleaire-en-chiffres

46. Plan national de réponse à un accident nucléaire ou radiologique majeur [Internet]. Gouvernement.fr. [cité 2 oct 2019]. Disponible sur: https://www.gouvernement.fr/risques/plan-national-de-reponse-a-un-accident-nucleaire-ou-radiologique-majeur

47. Bilan_campagne_iode_au_2_mai_2017.pdf [Internet]. [cité 12 juill 2018]. Disponible sur: http://www.distribution-iode.com/wp-content/uploads/2017/05/Bilan_campagne_iode_au_2_mai_2017.pdf

48. Risque nucléaire: la distribution d'iode élargie autour des centrales [Internet]. 2019 [cité 24 oct 2019]. Disponible sur: http://sante.lefigaro.fr/article/risque-nucleaire-la-distribution-d-iode-elargie-autour-des-centrales/

49. European Commission. Directorate-General for Energy. European Commission. Directorate D NE Unit D 4, Radiation Protection. Medical effectiveness of iodine prophylaxis in a nuclear reactor emergency situation and overview of European practices [Internet]. 2010 [cité 17 sept 2019]. Disponible sur: http://libweb.iaea.org/library/techrep/TREN-08-NUCL-SI2.520028.pdf

# V- ANNEXES

**Annexe 1 :** brochure « campagne iode » 2016-2017.

**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.

**4** Je limite mes communications téléphoniques

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

**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).

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

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.

### 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 dans un rayon de 2 kilomètres autour 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
et site internet de votre préfecture

## LES ACTEURS DE LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**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 la population et l'environnement.

**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 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'**Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)**.

**Le préfet** est le directeur des opérations de secours.
En cas de crise nucléaire, il décide, dans le cadre du Plan particulier d'intervention (PPI), des actions de protection de la population (mise à l'abri, évacuation, ingestion de comprimés d'iode, interdictions alimentaires).

**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.

**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, de radioprotection et d'impact des activités nucléaires sur les personnes et l'environnement. Une CLI est établie auprès de chaque centrale nucléaire.

### POUR EN SAVOIR PLUS

- www.asn.fr
- www.edf.fr
- www.risques.gouv.fr
- www.anccli.fr
- www.irsn.fr

www.distribution-iode.com
0 800 96 00 20 Service & appel gratuits

Ne pas jeter sur la voie publique
5552001 317 RCS Paris - Rédaction LI Communication - AFF DEPL 2014

**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
0 800 96 00 20 Service & appel gratuits

**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'une minute et quarante et une secondes séparées par un intervalle.
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
3 fois en 1 min 41 s

## **Annexe 2 :** Questionnaire administré

Identifiant questionnaire :

Date du jour :

└┴┘ └┴┘ └┴┴┴┘

JJ MM AAAA

# Etude IODEPOP : Connaissance de la population vivant dans les zones PPI autour de la centrale de Cattenom

Madame, Monsieur,

Ce questionnaire contient des questions importantes pour évaluer les programmes d'information sur la prévention et la conduite à tenir en cas d'accident nucléaire pour la population vivant dans un rayon de 10 km autour d'une centrale nucléaire.

Ces questions concernent essentiellement la prévention des complications thyroïdiennes secondaires à l'exposition aux rayonnements nucléaires.

Vos réponses sont strictement confidentielles et anonymes.

Cette étude a fait l'objet d'une inscription au registre des recherches en cours au CHRU de Nancy et répond aux exigences de la circulaire MR003 de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés.

***Comment remplir ce questionnaire :***

➢ Pour la plupart des questions vous trouverez des petites cases.

Répondez en faisant **une croix dans la case**.

Si vous ne savez pas, cochez ☒ Je ne sais pas

Exemple :

Avez-vous participé à une réunion collective ?

□ Oui ☒ Non

➢ Dans certains cas la réponse est une date à indiquer dans les cases

**Exemple :** Date du jour

└┴┘ └┴┘ └┴┴┴┘
JJ MM AAAA

Si la date est le 05 janvier 2019, il faut écrire └0┴5┘ └0┴1┘ └2┴0┴1┴9┘

➢ Dans d'autres cas, la réponse est un texte libre. Si vous ne connaissez pas la réponse, faites un trait sur la ligne.

**Exemple** :
Quelle est votre commune de résidence : ____Cattenom_____

**Il faut environ 10 minutes pour remplir ce questionnaire. Nous vous demandons de le remplir le mieux possible, car l'intérêt et la qualité de l'étude dépendent avant tout du fait que les informations recueillies soient les plus complètes possibles.**

**L'objectif étant de savoir ce que vous avez retenu des campagnes d'information, merci de ne pas rechercher les réponses sur internet ou sur la notice des médicaments.**

## A) Information Générale

**1. Sexe :** □ Homme □ Femme

**2. Quelle est votre classe d'âge :**
□ 18-29 ans
□ 30-39 ans
□ 40-49 ans
□ 50-59 ans
□ 60-69 ans
□ >70 ans

**3. Quelle est votre commune de résidence :** _____

**4. Combien de personnes, <u>vous y compris</u>, vivent dans votre foyer :**

└┴┘ adultes et └┴┘ enfants dont └┴┘ enfants de moins de 12 ans.

**5. Quel est le diplôme le plus élevé que vous ayez obtenu :**
□ Sans diplôme
□ Brevet des collèges, Certificat de formation générale (CFG), certificat d'études primaires, BEPC
□ Certificat d'aptitude professionnelle (CAP), Brevet d'études professionnelles (BEP)
□ Baccalauréat ou équivalent
□ Bac +2 ou +3
□ Bac +4
□ Bac +5 ou plus

**6. Quelle est votre statut d'activité actuel :**
□ Sans emploi
□ En invalidité
□ En activité professionnelle
□ Retraité

→ **Si vous avez répondu « en activité professionnelle »** à la question précédente, quelle est votre profession actuelle :

_____

**7. Est-ce qu'une personne dans votre foyer est atteinte d'une pathologie thyroïdienne ?**
□ Oui □ Non

→ **Si oui, quelle est la pathologie thyroïdienne :**
□goitre
□nodule(s)

□ Hyperthyroïdie
□ Hypothyroïdie
□ Cancer thyroïdien
□ Anomalie congénitale (depuis la naissance) de la glande thyroïde
□Thyroïdectomie

**8. Depuis quelle année vivez-vous dans la zone du Plan Particulier d'Intervention (PPI) de Cattenom (rayon de 10 km autour de la centrale de Cattenom) :**

└┴┴┴┘
AAAA

**9. Vous souvenez-vous de la campagne « iode » qui s'est déroulée en 2016-2017 ?**

□ Oui □ Non

**10. Vous sentez vous concerné par le risque nucléaire ?**

□ Oui □ Non

## B) PREVENTION PAR IODURE DE POTASSIUM

**1. Avez-vous des comprimés d'iodure de potassium à domicile ?**
□ Oui □ Non

**2. Si vous possédez des comprimés d'iodure de potassium, combien de comprimés d'iodure de potassium avez-vous au domicile :**

└┴┘

*Regardez sur la boite des comprimés d'iodure de potassium :*

**3. Date de péremption :** └┴┘ └┴┴┴┘
MM AAAA

**4. Comment avez-vous obtenu les comprimés d'iodure de potassium :**
□ En pharmacie, avec le courrier des pouvoirs publics
□ En pharmacie avec une ordonnance du médecin généraliste ou d'un spécialiste
□ Les comprimés ont été reçus au domicile par voie postale
□ Un proche est allé, pour vous, chercher les comprimés en pharmacie
□ Je n'ai pas de comprimés d'iodure de potassium

**→ Si vous n'avez pas retiré les comprimés en pharmacie, pourquoi ?**

□ Manque de temps

□ Difficulté de déplacement

□ Vous ne saviez pas qu'il fallait les retirer en pharmacie

□ Ces comprimés sont inutiles, avec des effets secondaires fréquents

**5. Les comprimés d'iodure de potassium sont-ils conservés dans un endroit sec ?**
□ Oui □ Non

**6. Les comprimés d'iodure de potassium sont-ils dans l'emballage d'origine ?**
□ Oui □ Non

**7. La boîte contenant les comprimés d'iodure de potassium, est-elle intacte ?**
□ Oui □ Non

**8. A quoi servent les comprimés d'iodure de potassium donnés lors d'un accident nucléaire :**
□ Protéger la glande thyroïde des radiations ionisantes pour éviter un cancer thyroïdien
□ Protéger le corps des radiations et éviter tous les cancers induits par les radiations ionisantes
□ Pour prévenir une carence en iode
□ Je ne sais pas

**9. Quelle est la dose d'iodure de potassium à donner <u>à un adulte</u> en cas d'accident nucléaire ?**

---

*Pour la question suivante, <u>ne répondez que si vous avez un enfant dans la tranche d'âge correspondante</u> :*

**10. Si vous avez un enfant,**

Agé de moins de 1 mois, quelle dose lui donneriez-vous ? _____

Agé de 1 mois à 3 ans, quelle dose lui donneriez-vous ? _____

Agé de 3 à 12 ans, quelle dose lui donneriez-vous ? _____

Agé de 12 à 18 ans, quelle dose lui donneriez-vous ? _____

**11. Quelles sont les personnes qui doivent bénéficier en priorité des comprimés d'iodure de potassium ?**
_____

**12. Quelles sont <u>les contre-indications</u> de l'iodure de potassium ?**

---

**13. Quand devez-vous prendre les comprimés d'iodure de potassium ?**
□ Dès que la sirène retentit
□ Dès que les autorités vous donnent l'instruction de prendre les comprimés

□ Dans les 24h qui suivent l'accident nucléaire
□ Le matin suivant l'accident nucléaire, pour être à jeun.
□ Je ne sais pas

## C) CONDUITE A TENIR EN CAS D'URGENCE :

**En cas d'accident nucléaire à la centrale de Cattenom, qu'est-il recommandé de faire ?**

**1. Regarder la télévision ou écouter la radio :**
□ Oui □ Non □ Je ne sais pas

**2. Aller chercher ses enfants à l'école :**
□ Oui □ Non □ Je ne sais pas

**3. Se mettre à l'abri dans un bâtiment bien ventilé :**
□ Oui □ Non □ Je ne sais pas

**4. Appeler tous ses proches :**
□ Oui □ Non □ Je ne sais pas

**5. Préparer ses affaires en cas d'une éventuelle évacuation :**
□ Oui □ Non □ Je ne sais pas

**6. Quitter la région le plus vite possible :**
□ Oui □Non □ Je ne sais pas

## D) DANS LE CADRE DE LA CAMPAGNE IODE :

**1. Avez-vous participé à une réunion collective ?**

□ oui □ non

**2. Avez-vous consulté le site internet de la campagne ?**

□ oui □ non

**3. Avez-vous appelé le numéro vert mis à disposition ?**

□ oui □ non

**4. Vous souvenez vous avoir reçu un tract ou prospectus de la campagne ?**

□ oui □ non

**5. Avez-vous reçu des informations sur la conduite à tenir en cas d'accident nucléaire de la part de votre médecin ou de votre pharmacien ?**

□ oui □ non

Nous vous remercions pour votre participation.

**Annexe 3 :** Lettre informative déposée avec le questionnaire en cas d'absence au domicile

---

CHRU NANCY

# CENTRE HOSPITALIER REGIONAL UNIVERSITAIRE

## POLE DIGESTIF

## SERVICE D'ENDOCRINOLOGIE, DIABETOLOGIE ET DE NUTRITION


**Chef de service**
Pr Bruno GUERCI
Secrétariat : 03 83 15 50 32
Fax: 03 83 15 34 40

**Collaborateurs**
Secrétariat : 03 83 15 50 36
Fax : 03 83 15 50 80
Pr Marc KLEIN
Pr Didier QUILLIOT
Pr Olivier ZIEGLER
Dr Philip BÖHME
Dr Jérôme CHATELIN
Dr Michèle FLOROT
Dr Isabelle GOT
Dr Stéphanie JELLIMANN
Dr Aurélie MALGRAS
Dr Véronique PASCAL-VIGNERON
Dr Marie-Aude SIRVEAUX

**Psychiatre des Hôpitaux**
Dr Pierrette WITKOWSKI
Secrétariat : 03 83 15 50 61

**Praticiens attachés**
Pr Georges WERYHA
Dr Dominique CLO
Dr Christine CRETON
Dr Thierry DELMAS
Dr Marie-Odile GANNE-DEVONEC
Dr Rosa-Maria GUEANT-RODIGUEZ
Dr Shiva KHORSAND-TAEFEHNOROOZ
Dr Nadège LANG-LAGUERRE
Dr Michèle Dominique SCHEFFLER

**Assistants – chefs de Clinique**
Dr Léa DEMARQUET
Dr Nasha MICHOT
Dr Laurène SCHOUMACKER-LEY

**Rendez-vous**
- **Consultation**

Tél : 03 83 15 48 00
- **Hospitalisation de jour (UMA)**

Tél : 03 83 15 48 61 - Fax 03 83 15 34 06

**Hospitalisation**
- **Diabétologie – Obésité médicale**

Tél :03 83 15 50 77 - Fax : 03 83 15 70 43
- **Endocrinologie**

Tél :03 83 15 34 19 - Fax : 03 83 15 34 18
- **Dénutrition - Nutrition**

Unité d'assistance nutritionnelle
Tél :03 83 15 40 74 - Fax : 03 83 15 70 43

**Urgences**
**Diabétologiques** : 03 83 15 50 78
**Endocriniennes** : 03 83 15 34 19

**Vil'Hôp**
Chirurgie bariatrique, Obésité : 03 83 15 40 11
Dénutrition : 03 83 15 40 15
Diabétologie : 03 83 15 40 17
Endocrinologie : 03 83 15 40 28


Vandœuvre-lès-Nancy, le 15 Octobre 2018

Objet : Avis de passage

Madame, Monsieur,

Je m'appelle Marie-Laure SCHWEITZER. Je suis interne en Médecine au CHRU de Nancy. Dans le cadre de ma thèse, nécessaire à l'obtention du titre de Docteur en Médecine, je vais réaliser une enquête de terrain à l'aide d'un questionnaire dans votre quartier dans les jours à venir. Pour que vous ne soyez pas étonné de ma visite, je me permets de vous adresser ce courrier. Vous serez libre de participer ou non à mon étude qui ne consiste qu'en un questionnaire d'une dizaine de minutes, totalement anonyme. Je vous expliquerez l'objet de l'étude lors de notre rencontre pour ne pas influencer vos réponses au questionnaire.

Cordialement,

Marie-Laure SCHWEITZER
*Interne en Endocrinologie, Diabétologie et Nutrition*

Sous la direction du Pr Marc Klein
*Professeur des Universités en Endocrinologie, Diabétologie et Nutrition, CHRU Nancy*


Centre spécialisé de l'obésité - Centre de compétence pour les maladies endocrines rares – Ostéoporose - Transsexualisme
Diabétologie adultes, adolescents et personnes âgées - Diabète et grossesse - Education thérapeutique - Pied diabétique
Dyslipidémies - Nutrition entérale et parentérale - Pompes à insuline et nouvelles technologies
CHRU de NANCY - Hôpital Brabois adultes - Rue du Morvan - 54511 VANDŒUVRE-LES-NANCY CEDEX
Téléphone : 33 (0)3 83 85 85 85


---

VU

NANCY, le **28 août 2019**
Le Président de Thèse

**Professeur Marc KLEIN**

NANCY, le **7 novembre 2019**
Le Doyen de la Faculté de Médecine

**Professeur Marc BRAUN**

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE/ **10993**

NANCY, le **14 novembre 2019**

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE,

**Professeur Pierre MUTZENHARDT**

**RESUME :**

Introduction : L'objectif est d'évaluer les connaissances des habitants de la zone du plan particulier d'intervention (PPI) de la centrale nucléaire de Cattenom sur les réflexes à adopter en cas d'accident nucléaire (AN) après la campagne d'information 2016-2017 (CI) et de les comparer aux résultats d'une étude similaire qui s'est déroulée avant la CI.

Méthodes : Il s'agit d'une étude transversale dans la zone du PPI de Cattenom après la CI 2016-2017. Nous avons administré un questionnaire dans 10 communes tirées au sort. Ces questionnaires contenaient des items sur la conduite à tenir générale et sur les modalités de prise de la prophylaxie iodée (KI). Les résultats ont ensuite été comparés à une étude précédemment réalisée dans la même zone avant la CI.

Résultats : Sur les 200 questionnaires administrés nous avons obtenu 122 réponses. Seulement 40.2% de la population interrogée se souvient de la CI 2016-2017 et seulement 15.6% connaissent l'ensemble des réflexes généraux à adopter en cas d'AN pour se protéger des radiations. 77.9% des foyers disposent de comprimés de KI et seulement 60% des foyers connaissent l'objectif de la prise de KI. Comparativement à l'étude avant CI, la couverture de KI est meilleure (68.5% vs 77.9%, p=0.02) et le dosage est mieux connu (16.2% vs 28%, p=0.0003).

Discussion : Cette étude dresse un état des lieux des connaissances de la population après CI sur les réflexes à adopter en cas d'AN. Elle montre l'insuffisance de connaissance de la population vivant dans la zone du PPI de Cattenom.

**TITRE EN ANGLAIS :**

NUCLEAR POWER PLANT: STATE OF KNOWLEDGE OF THE POPULATION LIVING IN THE AREA OF THE CATTENOM SPECIAL INTERVENTION PLAN. A CROSS SECTIONAL STUDY.

**THESE :** Médecine Spécialisée-Année 2019

**MOTS CLES :** nuclear power plant, nuclear accident, iodine prophylaxis.

**ADRESSE DE LA FACULTE :**

Université de Lorraine

Faculté de Médecine

9 avenue de la Foret de Haye

54505 Vandœuvre-lès-Nancy