

Les Essais Nucléaires en Polynésie française : Conséquences et Impacts.



Les Essais Nucléaires en Polynésie française : conséquences et impacts		
<p><u>Constitution du groupe :</u> AGUASCA Énora BARS Eliott DESPREZ Gwendoline DI RUGGIERO Mathias FIZET Aurélien ROGALA Isla</p> <p><u>Formation :</u> Énergie Risques Environnement</p> <p><u>Option :</u> Ingénierie et Gouvernance des Risques</p> <p><u>Promotion :</u> 2021-2024</p>	<p><u>Tuteur Académique :</u> FLORENTIN Éric</p>	<p>CFSA CURIEN</p> <p>INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES CENTRE VAL DE LOIRE</p>

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Monsieur Éric Florentin, Professeur des Universités à l'INSA Centre Val de Loire et Tuteur Académique de ce rapport d'initiation à la recherche, pour nous avoir encadrés et conseillés sur la direction de cette étude.

Nous adressons toute notre gratitude à Monsieur Jean-Louis Camuzat, Président National de l'Association des Vétérans des Essais Nucléaires (AVEN), pour nous avoir informés et donnés des éléments pour la constitution de ce rapport ; pour nous avoir invités à assister à leur assemblée générale ainsi qu'au ravivage de la flamme du soldat inconnu organisé au nom de l'association.

Nous adressons également toute notre gratitude à l'ensemble des adhérents de l'Association des Vétérans des Essais Nucléaires (AVEN) pour le temps passé à répondre aux questionnaires que nous leur avons envoyés.

Nous remercions également le CFSA Hubert Curien de leur aide financière lors de nos déplacements professionnels ainsi que pour la communication effectuée sur leurs réseaux sociaux des événements auxquels nous avons pu assister.

Nous aimerions enfin remercier toutes les autres personnes qui nous ont aidés à l'élaboration de ce rapport.

Résumé

Dans une stratégie politique de devenir une puissance nucléaire, la France a réalisé 193 essais nucléaires entre 1966 et 1996 en Polynésie française.

Durant cette campagne, les populations de travailleurs et de polynésiens n'ont pas toujours reçues les informations nécessaires permettant de garantir leur sécurité ainsi que la prise en compte de leurs expositions aux rayonnements. Les consignes mentionnées sur les documents officiels et dans les témoignages des vétérans le démontrent.

L'après campagne n'est pas à négliger par rapports aux déchets nucléaires enfouis ou océanisés sur place et les problèmes écologiques qu'ils génèrent. Il faut également prendre en compte que cette campagne développait économiquement la zone, en apportant une élévation du niveau de vie. Nonobstant, elle a apporté avec elle de nombreuses maladies telles que l'obésité, les addictions aux tabacs, cancers..., aujourd'hui plus ou moins reconnues par le gouvernement français.

La reconnaissance de l'État inclus la prise en compte des maladies radio-induites, développées par les travailleurs (militaires, civils et locaux) par le biais de diverses lois telle que la loi Morin.

Malgré ces accompagnements et la déclassification de nombreux documents militaires mettant en évidence les « erreurs » commises à l'époque, de nombreux vétérans parviennent difficilement à se faire reconnaître comme « victimes ». Les associations comme l'AVEN (Association des Vétérans des Essais Nucléaires) représentent les intérêts de ces personnes et les accompagnent en temps réel tout en assurant un devoir de mémoire.

Abstract

With a view to become a nuclear-weapon states, France carried out 193 nuclear tests in French Polynesia between 1966 and 1996.

During this campaign, the populations of workers and Polynesians have not always received the information necessary for their safety, nor taking into account their radiation's exposure. The instructions present on official documents and in the testimonies of veterans clearly show this.

The post-campaign period should not be neglected in terms of nuclear waste buried or oceanized on site and the ecological problems they cause. We must also see that this campaign developed the area economically, by bringing a rise in the standard of living. Notwithstanding, it brought with it numerous diseases such as obesity, tobacco addiction, cancers, etc., today more or less recognized by the French government.

The recognition of the state includes the consideration of radiation-induced diseases, developed by workers (military, civilian and local) through various laws such as the Morin law. Despite this support and the declassification of numerous military documents highlighting the « errors » made in time, many veterans have difficulty being recognized as a « victim ». Associations like AVEN (Nuclear tests veteran's association) represent the interests of these peoples and support them in real time while ensuring a duty of memory.

SOMMAIRE

<i>Table des Figures</i>	9
<i>Abréviations</i>	11
<i>Introduction</i>	13
I. Le fonctionnement des bombes.....	13
II. La fission nucléaire	14
III. La fusion nucléaire.....	14
IV. Les mesures de radioactivité.....	15
<i>Axe 1 : Les effets des bombes sur les populations</i>	19
I. Le niveau de vie des populations avant le lancement des campagnes d'essais nucléaires.....	19
1) La situation sanitaire et économique	19
2) L'augmentation du niveau de vie lors du lancement du projet	20
II. Prédiction des effets et prévention	23
1) Prédiction des effets.....	23
2) Une négligence des moyens de protection mis en place	25
3) Les moyens de protection que nous aurions mis en place	25
III. Les effets des bombes sur la santé	30
1) Les modes d'exposition	30
2) Impact sur la santé.....	32
3) Impact sur la reproduction	33
<i>AXE 2 : Les impacts environnementaux des essais nucléaires</i>	37
I. Environnement des atolls	37
1) Géographie des atolls	37
2) Spécificités environnementales des atolls	38
II. Types d'essais et conséquences sur l'environnement	41
1) Les essais nucléaires réalisés	41
2) Conséquences sur l'environnement	44
III. Déchets générés par les essais	48
1) La gestion des déchets radioactifs.....	49
2) Réglementation actuelle et proposition de méthodes	54
<i>AXE 3 : L'acceptabilité</i>	59
I. Les essais.....	59
1) Les associations	59
2) Déroulement des essais selon les Militaires	63

3) Déroulement des essais selon les locaux.....	68
II. Les étapes de la reconnaissance par l'État français.....	69
1) Pendant les essais.....	69
2) Depuis les essais nucléaires	70
CONCLUSION	75
<i>Bibliographie/Sitographie.....</i>	78
ANNEXES	81
Annexe 1 : Consignes de sécurités.....	81
Annexe 2 : Note pour la gestion, le conditionnement et la manipulation des déchets radioactifs....	87
Annexe 3 : Questionnaire	93

Table des Figures

Figure 1 : Schéma d'un atome [3].....	13
Figure 2 : Schéma représentant le phénomène de fission nucléaire d'après la source [4].	14
Figure 3 : Schéma du fonctionnement de la Bombe Fat Man [5].	14
Figure 4 : Schéma du phénomène de fusion nucléaire [6].	15
Figure 5 : Schéma du fonctionnement d'une bombe H [5].....	15
Figure 6 : Schéma représentant le pouvoir de pénétration des différents types de rayonnements [7].....	16
Figure 7 : Effet d'une irradiation aiguë en fonction de l'organe exposé [8].....	17
Figure 8 : Cartes de Polynésie Française [10].	19
Figure 9 : Productivité globale des facteurs en Polynésie française et en France [11].....	20
Figure 10 : Évolution du PIB réel par habitant en Polynésie française [9]	20
Figure 11 : Graphique illustrant les changements de secteur économique de la Polynésie française [12].	21
Figure 12 : Taux de mortalité pour 100 000 habitants en Polynésie française [12].	22
Figure 13 : Caractéristiques des retombées sur les îles Gambier [12].....	24
Figure 14 : Photo des militaires pendant la réalisation d'un essai issu du documentaire [16].	25
Figure 15 : Tableau récapitulatif des effets sur l'organisme d'une radioexposition.	26
Figure 16 : Schéma représentant l'atténuation des rayonnements gamma dans l'air. Source [17]	27
Figure 17 : Effet d'angle solide [17].	28
Figure 18 : Schématisation du tir Éridan.....	28
Figure 19: Comparaison du ralentissement des neutrons lors de la collision avec différents noyaux [17].	29
Figure 20 : Tableau de doses efficaces reçues par irradiation externe dans l'année suivant chaque retombée [16].	31
Figure 21 : Estimations des doses efficaces dues à l'eau de boisson [16].	31
Figure 22 : Doses efficaces induites par l'iode pour l'ingestion des aliments autres que le lait et l'eau [16].	32
Figure 23 : Tableaux comparatifs sur les cancers en France et en Polynésie française [12].....	33
Figure 24 : Situation de la Polynésie française dans l'océan Pacifique [17].	37
Figure 25 : Principe de fonctionnement du radar [18] et [19].	38
Figure 26 : Schéma représentant les étapes de formation d'un Atoll [14].	39
Figure 27 : Coupe géologique suivant un axe orienté sud-ouest/nord-est à travers l'atoll de Mururoa [20].	39

Figure 28 : Coupe schématique océan-lagon explicitant les structures morphologiques d'un atoll [14].....	40
Figure 29 : Photo d'un essai nucléaire [15].....	42
Figure 30 : Effets d'un essai nucléaires souterrains.....	44
Figure 31 : voies de transfert simplifiées des radionucléides dans l'environnement, depuis leur libération lors d'une explosion nucléaire jusqu'aux produits des chaînes alimentaires conduisant à l'Homme [17].	45
Figure 32 : principaux mécanismes conduisant à la contamination des organismes marins par des radionucléides d'origines naturelle et artificielle. [14].....	47
Figure 33 : Présentation des 3 types de conditionnement.....	50
Figure 34 : Photos des plages [22] et [23].	50
Figure 35 : Photo illustrant une aire de stockage des fûts de déchets en attente d'enfouissement, après mesure [14].	51
Figure 36 : Photo de la mesure d'un fût de 100L [14].	51
Figure 37 : Image représentant les emplacements des sites d'immersion [14].	52
Figure 38 : Coupe verticale schématique des puits, avec les indications d'ordre géologique, les activités enfouies et la position des bouchons de ciment cloisonnant les puits. La quasi-totalité de l'activité est enfouie dans la partie volcanique [14].	53
Figure 39 : Logo de l'association 193 [25].....	59
Figure 40 : Logo de l'association Moruroa E Tatou [26].	60
Figure 41 : Logo de l'association AVEN [27].....	60
Figure 42 : Photo de la réunion avec le président de l'association AVEN, Monsieur Camuzat. 62	
Figure 43 : Photo lors de la cérémonie du ravivage de la flamme du soldat inconnu à Paris... 62	
Figure 44 : Graphique permettant de définir quel est le temps des répondants passé en Polynésie.....	63
Figure 45 : Graphique permettant d'identifier le nombre d'essai réalisé lors du temps de présence des répondants en Polynésie.	64
Figure 46 : Graphique sur la communication faite aux répondants.	64
Figure 47 : Graphique sur les consignes faites aux répondants.....	65
Figure 48 : Graphique sur les consignes d'hygiène reçues par les répondants.	65
Figure 49 : Graphique sur les problèmes de santé des répondants.	66
Figure 50 : Graphique sur la santé de la descendance des répondants.	66
Figure 51 : Graphique sur la communication des conséquences depuis la fin des essais.	67
Figure 52 : liste des maladies reconnues dans la loi Morin [29].	72

Abréviations

AIEA : Agence Internationale de l'Énergie Atomique

ALARA : « As low As Reasonably Achievable » qui signifie : aussi bas que raisonnablement possible

AVEN : Association des Vétérans des Essais Nucléaires

CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique

CEP : Centre d'Expérimentation du Pacifique

CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique

CSS : Commission Consultative de Sécurité

DIRCEN : Direction des Centres d'Expérimentations Nucléaires

DGA : Direction Générale des Armées

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

ONU : Organisation des Nations Unies

PEA : Poste d'Enregistrement Avancé

PGF : Productivité Globale des Facteurs

PNGMDR : Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs

URSS : Union des Républiques Socialistes Soviétiques

ZCPS : Zone de Convergence du Pacifique Sud

Introduction

Le 6 août 1945, une bombe atomique à l'uranium explose à Hiroshima. Trois jours plus tard, Nagasaki sera rayée de la carte par l'explosion d'une autre bombe fabriquée cette fois-ci avec du plutonium. Outre les milliers de victimes, l'utilisation des bombes atomiques marque un tournant capital dans l'histoire de l'humanité : désormais l'homme possède un moyen de destruction massive.

A la fin de la 2nde Guerre Mondiale, la géopolitique mondiale est bouleversée et voit naître 2 blocs complètement opposés :

1. Le bloc de l'ouest représenté par les États Unis et ses alliés.
2. L'URSS.

Pour peser dans l'échiquier mondial, la France, sous l'influence de la politique de dissuasion nucléaire du Général De Gaulle, souhaite développer un arsenal nucléaire. Les premiers essais ont commencé en Algérie entre 1960 et 1966 avant d'être délocalisés en Polynésie Française entre 1966 et 1996. Au total, la France réalisera 210 essais nucléaires : 17 au Sahara Algérien puis 193 en Polynésie. Après cette campagne, la France devient le 4^{ème} pays à se doter de l'arme atomique après les Etats-Unis, l'Union soviétique et le Royaume-Uni. En 1991, le Président Mitterrand annonce le dernier essai français en Polynésie. Cependant, en 1995, le nouveau président de la République Jacques Chirac relance une campagne d'essais nucléaires. Jacques Chirac, en qualité de premier ministre, avait déjà dirigé l'essai Centaure le 17 juillet 1974 qui est considéré comme le plus contaminant [1].

I. Le fonctionnement des bombes

Pour appréhender les effets sur la santé d'une bombe atomique, il est important de comprendre son fonctionnement. Pour cela il faut revenir à l'échelle atomique. Toute matière, quelle que soit sa forme (fluide, eau, gaz...), est composée de particules de très petites tailles (un dixième de milliardième de millimètre) formant des atomes. Les atomes sont composés de trois types de particules [2] :

- Les protons : chargés positivement.
- Les neutrons : électriquement neutres.
- Les électrons : chargés négativement, ils gravitent autour du noyau.

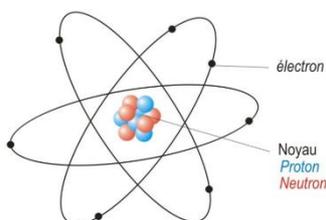


Figure 1 : Schéma d'un atome [3].

Dans la nature, les atomes peuvent être :

1. Stables : Même nombre de protons et de neutrons dans le noyau.
2. Instables : Le noyau de l'atome comporte un déséquilibre entre le nombre de protons et de neutrons. Pour revenir à un état stable, l'atome va émettre de l'énergie provenant

de la modification de son noyau, sous forme de rayonnements (émission d'énergie ou d'un faisceau de particules).

II. La fission nucléaire

La fission nucléaire est l'éclatement d'un noyau atomique lourd instable en deux noyaux plus légers et quelques particules élémentaires. Cette scission s'accompagne d'émission de neutrons, c'est à dire d'un dégagement d'énergie [2].

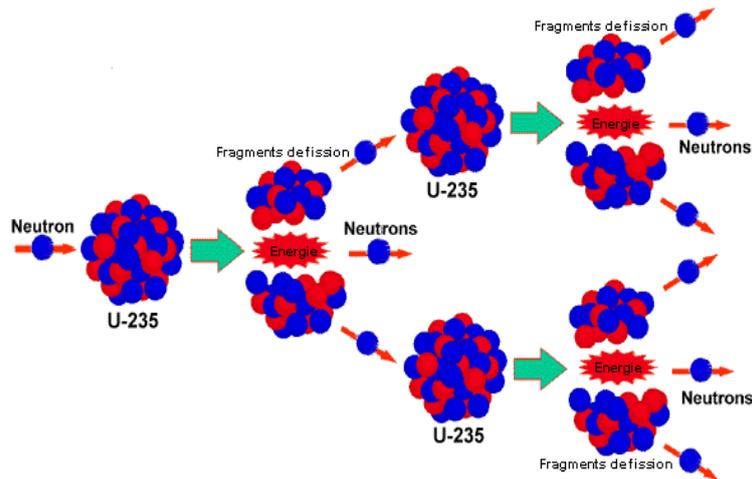


Figure 2 : Schéma représentant le phénomène de fission nucléaire d'après la source [4].

Nous pouvons voir sur la figure 2 que sous l'impact d'un neutron, le noyau instable d'uranium 235 va se scinder en deux noyaux plus légers également instables. Ces noyaux sont éjectés ce qui entraîne une réaction en chaîne libérant une grande quantité d'énergie. Un gramme d'uranium libère autant d'énergie que plusieurs tonnes de charbons [2].

C'est le phénomène de fission qui a été utilisé pour les bombardements des villes d'Hiroshima et Nagasaki.

Sur la figure 3, des charges explosives installées autour du cœur de plutonium explosent en même temps ce qui fracture les atomes de plutonium et génère un phénomène de fission nucléaire.

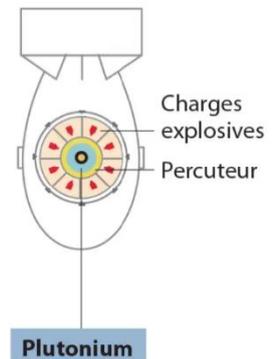


Figure 3 : Schéma du fonctionnement de la Bombe Fat Man [5].

III. La fusion nucléaire

La fusion nucléaire est une réaction au cours de laquelle des noyaux atomiques fusionnent. Cette réaction dégage une grande quantité d'énergie. Ce phénomène existe naturellement et a lieu dans le cœur des étoiles.

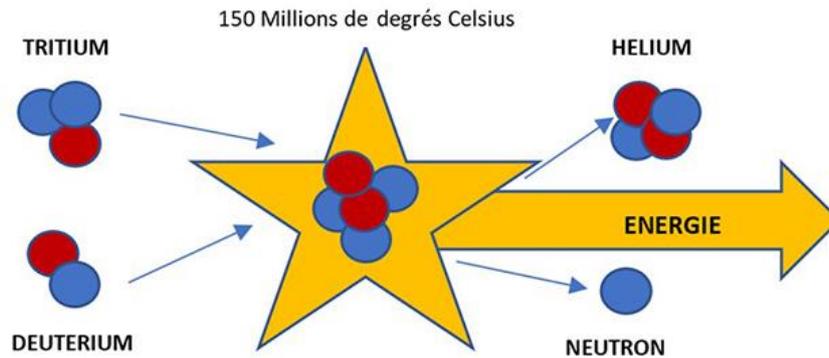


Figure 4 : Schéma du phénomène de fusion nucléaire [6].

La fusion nucléaire est plus difficile à réaliser qu'une fission nucléaire. En effet, il faut rapprocher les atomes si près les uns des autres que ces derniers vont se coller. Pour ce faire, il est nécessaire de chauffer la matière à très haute température sous une très forte pression. La quantité d'énergie libérée lors de la fusion nucléaire est nettement supérieure à celle libérée par la fission nucléaire [2].

C'est sur ce phénomène que repose le fonctionnement de la bombe à hydrogène qui a notamment été testée en Polynésie française. Cependant, la fusion nucléaire nécessite une énorme énergie d'activation et une pression extrême. C'est pourquoi pour amorcer le phénomène de fusion nucléaire on utilise une bombe à fission nucléaire.

L'explosion de la bombe A amorce la fission de l'enveloppe d'uranium entourant l'hydrogène. Ce qui entraîne une fusion nucléaire.

Bombe H (à hydrogène)
Fission + fusion nucléaire

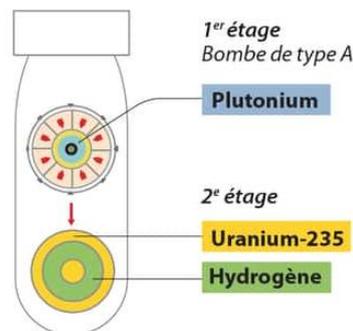


Figure 5 : Schéma du fonctionnement d'une bombe H [5].

IV. Les mesures de radioactivité

Les effets des explosions nucléaires sont multiples : onde de choc, boule de feu, etc... Nous nous concentrerons uniquement sur les rayonnements ionisants émis par les explosions, ayant touchés les milliers d'hommes et femmes de l'armée française ainsi que le peuple Polynésien.

On appelle *radioactivité* les rayonnements émis par un atome pour se stabiliser. Il existe pour l'atome plusieurs possibilités pour libérer le surplus d'énergie à l'aide d'un rayonnement :

- En perdant un proton ou un neutron : l'atome émet un rayonnement alpha.
- En transformant un neutron en proton ou inversement via un rayonnement beta+ ou beta-.
- En émettant des photons via les rayonnements X et gamma.

En fonction du type de rayonnement émis par le noyau, l'énergie libérée varie.

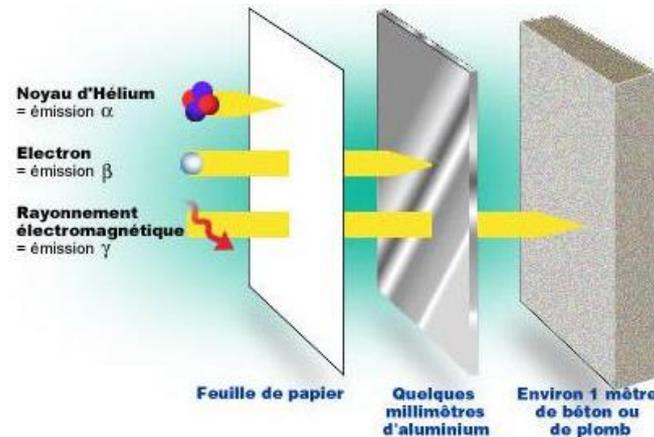


Figure 6 : Schéma représentant le pouvoir de pénétration des différents types de rayonnements [7].

L'impact des rayonnements ionisants varie selon plusieurs critères :

- La dose d'irradiation : c'est la quantité d'énergie transmise à l'organe ou au tissu touché par des rayonnements.
- Le type de rayonnement.
- Les modalités d'exposition.

L'exposition peut être interne ou externe. On parle d'irradiation pour une exposition externe (médecine, industrie nucléaire, ...). L'exposition cesse à partir du moment où la source de radioactivité est assez éloignée ou si un écran est interposé entre la personne et la source. Pour une exposition interne, on parle de contamination : les particules radioactives ont pénétré le corps. Il existe 3 modes de contamination : ingestion, inhalation, passage cutané (plaie).

- L'organe ou le tissu atteint

Dans un premier temps on évalue l'impact des rayonnements sur l'organisme en calculant la dose absorbée par le corps. Elle s'exprime en Gray (Joules/Kg). Dans un second temps, pour prendre en compte l'influence du type de rayonnement et le tissu ou l'organe touché, on calcule 2 nouvelles doses :

1. **La dose équivalente** : exprimée en Sievert (Sv), elle prend en compte le type de rayonnement. On l'obtient en multipliant la dose absorbée par un facteur qui varie en fonction du type de rayonnement.
2. **La dose efficace** : elle prend en compte le type de tissu ou d'organe touché par le rayonnement.

Dose (en Gy)	1	5	10	20	50
Atteinte de la peau					
Atteinte des gonades					
Atteinte du cristallin					

Figure 7 : Effet d'une irradiation aiguë en fonction de l'organe exposé [8].

Axe 1 : Les effets des bombes sur les populations

I. Le niveau de vie des populations avant le lancement des campagnes d'essais nucléaires

Avant de déterminer l'impact sur la santé des personnes exposées aux essais nucléaires, il est important de préciser leurs niveaux de santé avant ces essais.

Pour obtenir ces informations, il faut se fonder sur des données qualitatives, qui peuvent être réutilisées afin de comparer l'impact des essais nucléaires sur la santé. Néanmoins, les données recensées sont rares et incomplètes d'autant plus si nous nous fondons sur des informations d'avant 1980.

Dans un premier temps, nous ferons un état des lieux du niveau de vie avant le lancement du projet. Dans un second temps, nous verrons comment l'arrivée de l'armée sur le territoire Polynésien a impacté les populations sur leur façon de consommer.

1) La situation sanitaire et économique

La population Polynésienne est répartie sur la majorité des archipels, 59 % se situe de sur les îles du vent, et 19% des îles Sous-vent [9].

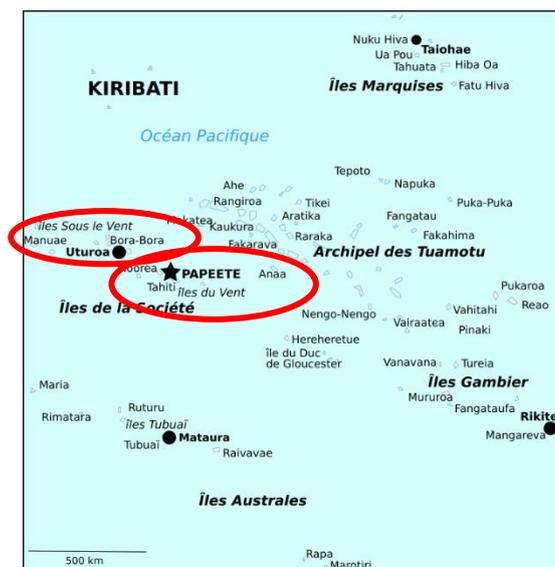


Figure 8 : Cartes de Polynésie Française [10].

En 1960, l'âge médian des polynésiens est de 16 ans [9].

Le peuple polynésien, avant l'installation du Centre d'Expérimentation du Pacifique, est associé génétiquement et culturellement aux populations indigènes d'autres îles du Pacifique. Cette information est utilisée pour comparer le niveau de vie des polynésiens avant et après les essais.

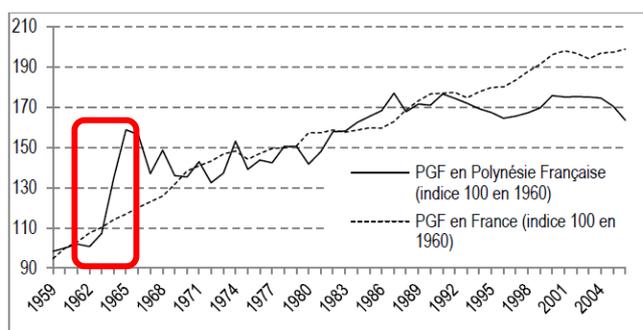
Jusqu'à la fin des années 1950, les pathologies recensées et la mortalité élevée étaient principalement dues à des maladies transmissibles, elles-mêmes majoritairement liées au climat local (Virus, bactérie, champignons, levures, prions, etc.). La collecte et la validation des causes de décès existent depuis 1984. Cependant, ces

informations n'étaient pas complètement exhaustives car environ 25 % des causes étaient non déclarées ou inconnues pour la période antérieure à 1990.

Nous pouvons donc très difficilement faire un constat de la situation sanitaire de la Polynésie française avant les essais nucléaires.

2) L'augmentation du niveau de vie lors du lancement du projet

L'arrivée massive de personnels provoque un bouleversement écologique, économique et social de l'atoll. Selon M. Patrice Bouveret, directeur de l'Observatoire des armements : « *la décision du gouvernement français d'utiliser le territoire polynésien comme site pour ses essais nucléaires est venue bousculer dans un laps de temps extrêmement court l'ensemble du mode de vie de la Polynésie aux niveaux économique, social, alimentaire, culturel et environnemental. (...) environ 10 000 personnes — pour la plupart des hommes seuls, jeunes — ont débarqué vers la fin des années 1960. Cela a entraîné une véritable explosion de la consommation, des transactions immobilières et foncières, qui a également bénéficié à certains Polynésiens, mais aussi aggravé les inégalités* ».



Ensemble de l'économie, Polynésie française et France (France métropolitaine et DOM hors Mayotte).
Insee. Comptes nationaux annuels, 2016 provisoire et base de données construite par les auteurs.

Figure 9 : Productivité globale des facteurs en Polynésie française et en France [11]

Sur la figure 9, nous pouvons remarquer que la Productivité Globale des Facteurs (PGF) a nettement augmentée lors de l'arrivée des militaires entre 1962 et 1966, puis s'est stabilisée pour regagner la courbe de la France métropolitaine [11].

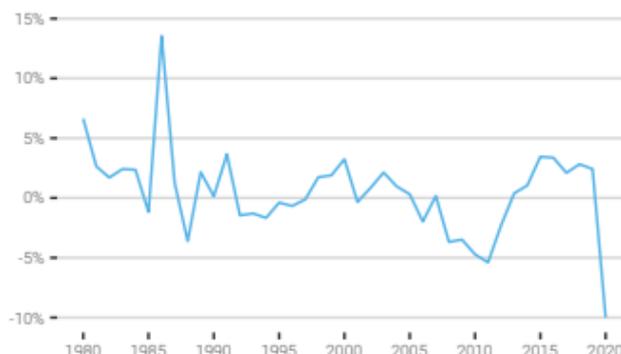


Figure 10 : Évolution du PIB réel par habitant en Polynésie française [9]

L'installation du centre d'expérimentation du pacifique en 1962 a eu un impact économique considérable dans la région, apportant des avantages au service public tels que l'éducation, la santé et les transports [9]. Entre 1956 et 1977, on a observé une forte diminution

du secteur primaire (de 56 % à 17 %) et une augmentation du secteur tertiaire (de 23 % à 64 %). Illustrer figure 11.

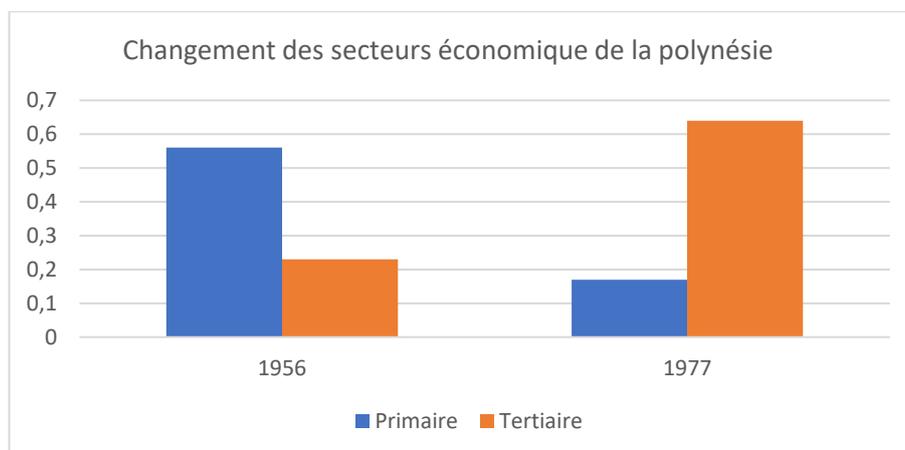


Figure 11 : Graphique illustrant les changements de secteur économique de la Polynésie française [12].

Dans ce contexte, les modes de vie ont subi des changements rapides mais durables. La mise en place d'infrastructures sanitaires a contribué à réduire les risques de maladies infectieuses et parasitaires ainsi que la mortalité infantile. Le territoire présente un meilleur état sanitaire par rapport aux autres îles du Pacifique. Cependant, de nouveaux comportements et modes de vie favorisant le développement de maladies chroniques non transmissibles ont émergé entraînant une profonde transformation de la société polynésienne.

a. La consommation de tabac

La consommation de tabac en Polynésie française est devenue l'une des plus élevées au monde à la fin des années 1960, probablement en raison de la présence militaire importante. Une enquête santé réalisée en 1995, estimait la prévalence du tabagisme à 36 % [19]. Dans l'enquête santé de 2010, 41 % des personnes interrogées déclaraient être fumeurs dont 34 % fumaient quotidiennement [12].

b. La consommation d'alcool

Concernant la consommation d'alcool en Polynésie française, elle a longtemps été parmi les plus élevées au monde, tout comme en France métropolitaine. Une enquête santé réalisée en 1995 estimait la prévalence de la consommation excessive d'alcool à 30 %. Dans l'enquête santé de 2010, 67 % des personnes interrogées déclaraient avoir consommées de l'alcool au cours des 12 derniers mois, dont un quart étaient des consommateurs réguliers ou quotidiens. Bien que la consommation d'alcool ait toujours été importante, elle semble avoir été particulièrement élevée entre 1965 et 1975. Par ailleurs, l'alimentation a également connu une transformation majeure, passant d'une production alimentaire locale à une dépendance vis-à-vis des produits importés et transformés, renforçant ainsi la dépendance vis-à-vis de l'extérieur [12].

c. L'alimentation

Avant les essais, la tradition alimentaire polynésienne reposait principalement sur les produits de l'océan. Cependant, la transition socio-économique accélérée par la construction

de l'aéroport dans les années 1960 a entraîné une monétarisation rapide de l'alimentation et une diminution significative de la production alimentaire locale. Ainsi, l'alimentation traditionnelle a été remplacée par une alimentation importée et transformée, représentant 80 % des aliments disponibles en 1995 et 90 % en 2009. Une enquête santé réalisée en 1995 estimait la prévalence de l'excès de poids dans la population à environ 71 %, dont 37 % étaient classés comme obèses. La Polynésie française affiche un taux d'obésité bien supérieur à celui de la France métropolitaine, qui est d'environ 17 % [12].

Les disparités territoriales et sociales au sein de la Polynésie française ont été exacerbées, ce qui a entraîné un exode rural massif, une urbanisation rapide, la formation de bidonvilles dans la région de Tahiti et une généralisation du salariat. Le secteur tertiaire s'est développé aux dépens du secteur primaire, ce qui a conduit à l'abandon des structures traditionnelles établies au cours du XIXe siècle [12].

Un niveau exceptionnellement élevé de décès dus aux accidents de la route dans les années 1980 est un exemple des conséquences d'une urbanisation rapide et mal gérée [12].

d. Les maladies et décès

Comme mentionné précédemment, jusqu'à la fin des années 1950, les maladies infectieuses ou parasitaires étaient les principales causes de pathologies et de décès. Par la suite, la situation a évolué et les maladies non transmissibles, notamment les maladies du système circulatoire et les cancers, sont devenues prédominantes, comme c'est le cas dans les pays industrialisés.

Une étude menée par Laure Yen Kai Sun, biostatisticienne épidémiologiste, et ses collègues en 2016 a été publiée sur les causes de décès en Polynésie française de 1984 à 2010, dont les principaux résultats sont résumés dans la figure 12. Les maladies circulatoires étaient la principale cause de décès au cours de cette période, avec une baisse significative entre 1984 et 2010 malgré la persistance des facteurs de risque. Les décès liés aux cancers ont ensuite connu une légère augmentation au cours de la période d'étude [12].

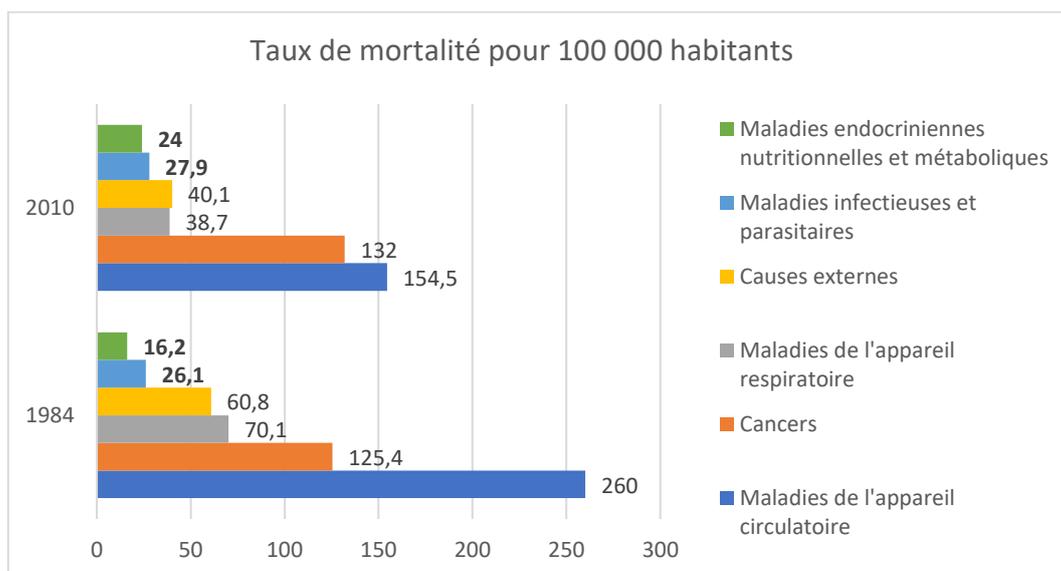


Figure 12 : Taux de mortalité pour 100 000 habitants en Polynésie française [12].

En raison de la petite taille de la population dans certains archipels, il convient d'interpréter avec prudence ces évolutions.

Les indicateurs les plus récents indiquent que l'état de santé de la population en Polynésie française est relativement bon par rapport à d'autres États de Polynésie et de Mélanésie. Cependant, il est moins favorable qu'en métropole et dans les Antilles. Les maladies chroniques telles que le diabète, l'hypertension artérielle et les maladies cardiovasculaires, qui sont principalement liées à des habitudes de consommation élevées de tabac, d'alcool et à une alimentation riche en sucre, sont préoccupantes par rapport à la métropole. Cependant, il est difficile d'étudier précisément l'évolution de l'état de santé de la population polynésienne depuis les années 1960 en raison du manque de données fiables avant les années 1980 [12].

II. Prédiction des effets et prévention

1) Prédiction des effets

a. Choix de la localisation

Le choix du site de Mururoa et Fangataufa a été déterminé en raison de plusieurs facteurs évidents. Tout d'abord, il bénéficie d'un isolement important, étant situé loin de toute population proche. Dans un rayon de 500 km, il y a moins de 2300 habitants et dans un rayon de 1000 km, moins de 5000 habitants. De plus, le régime climatique favorable de la région minimise considérablement les risques de retombées sur des zones habitées tout en permettant une dispersion efficace vers des zones complètement vides. Pendant l'hiver austral, la zone d'essais se trouve dans une région où les vents soufflent en altitude de l'Ouest vers l'Est, c'est-à-dire vers une zone désertique de plus de 6000 km, favorisant ainsi la dissipation des éventuels débris.

Afin d'éviter toute contamination des îles habitées par les retombées, il était essentiel de réaliser les essais dans des conditions météorologiques favorables. Une surveillance météorologique constante, rigoureuse et exhaustive avait été mise en place pour garantir cela.

b. Prise en compte de la sécurité météorologique

Dans le but d'assurer une sécurité maximale face aux risques météorologiques, un vaste réseau de stations météorologiques a été développé. Étant donné que la zone du Pacifique sud est largement dépourvue d'îles habitées, il y avait très peu de points d'observation météo. Ainsi, afin de compléter le réseau existant, des stations supplémentaires ont été installées tant sur des îles fixes que sur des navires de la Marine nationale spécialement affectés à cette tâche (y compris l'observation des retombées). Ces "piquets météo" étaient opérationnels pendant toute la période d'essais. En complément de ces stations, des moyens aéronautiques d'analyse ainsi que des satellites météorologiques ont pu être utilisés.

Après la décision d'installer le centre d'expérimentations du Pacifique, deux services conjoints, Armées et Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA), ont été créés. Le service mixte de sécurité radiologique a été établi pour garantir la protection contre les radiations du personnel et assurer la surveillance de l'environnement physique (eau, air, sol). Un réseau de mesures de l'irradiation ambiante a été mis en place, et des prélèvements périodiques ont été réalisés puis soumis à des analyses. Le service mixte de contrôle biologique a été créé dans le but de surveiller les effets radiobiologiques sur l'environnement, y compris la faune et la flore.

Les tirs ne pouvaient être réalisés que sous certaines conditions :

« - aucune retombée directe prévisible sur une zone habitée y compris en cas de pluie, pouvant entraîner une radioexposition supérieure à celle due à la radioactivité naturelle ;

- toute retombée imprévisible sur un atoll ou une île habitée ne doit pas dépasser la limite annuelle recommandée par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) pour les populations ;

- tout dépassement de cette valeur ne peut se rencontrer que dans les zones déclarées dangereuses (qui couvrent aussi le risque d'éblouissement) ;

- aucune couche nuageuse ne doit risquer, en traversant une route aérienne commerciale, de contaminer un avion au-dessus des niveaux recommandés par la CIPR ;

- sur le site de tir, on doit respecter les mêmes normes de protection contre les rayonnements que dans le cas d'une centrale nucléaire et de son voisinage [13]. »

Vous pouvez trouver le document complet en ANNEXE 1.

c. L'analyse des retombées

La décision de tir était conditionnée par la démonstration de l'insignifiance de l'impact sanitaire sur les îles habitées. Au fil des années, de nombreuses études ont été menées pour développer des modèles de prévision des retombées de plus en plus fiables. Ces modèles permettent de prévoir avec précision la localisation dans l'espace et le temps, l'intensité et les conséquences radiologiques des retombées.

Avant chaque essai, des simulations étaient effectuées en utilisant les prévisions météorologiques et les caractéristiques attendues de l'engin. Ces simulations jouaient un rôle crucial dans la décision de procéder au tir.

Après le tir, des simulations basées sur les données réelles provenant de la source et les mises à jour météorologiques étaient utilisées pour suivre l'évolution du nuage et prévoir les retombées.

Plusieurs essais ont donné lieu à des retombées importantes sur des lieux habités.

d. Les îles Gambier

Les îles GAMBIE ont été touchées par des retombées suite aux essais ALDEBARAN (02/07/1966) et PHOEBE (08/08/1971).

EXPERIMENTATION	DUREE	NATURE	DEBIT DE DOSE MAX*	DEBIT DE DOSE FIN RETOMBEE	DEPOT AU SOL (β.?)
ALDEBARAN 02/07/66 - 15h34 TU Mururoa	1h20 H+10h45 à H+12h05	Particules Pluies	250 µGy/h	130 µGy/h (H+12h05)	6 10 ⁷ Bq/m ² (H+12h05)
PHOEBE 08/08/71 - 18h30 TU Mururoa	5h00 H+6h10 à H+6h40 H+8h00 à H+12h30	Pluies	55 µGy/h (H+6h30)	32 µGy/h (H+6h40)	1,110 ⁶ Bq/m ² (H+26h)

Figure 13 : Caractéristiques des retombées sur les îles Gambier [12].

2) Une négligence des moyens de protection mis en place

Au cours de nos recherches, nous avons pris contact avec l'AVEN, l'Association des Vétérans des Essais Nucléaires, que nous vous présenterons dans le dernier axe. Grâce au président de l'association, nous avons eu accès à plusieurs documents relatant les consignes de sécurité reçues par les militaires alors en poste durant les différentes campagnes d'essais. C'est pourquoi dans le développement ci-dessous nous évoquerons principalement ce sujet.

Lors des tirs, les bâtiments de la Marine nationale se trouvent à une distance de 17 miles nautiques (31.4 km) du point zéro. Au moment du tir, les marins étaient autorisés à assister à l'explosion depuis le pont du navire à condition qu'ils soient par groupe de vingt. Ces derniers devaient respecter une certaine procédure pour se protéger contre le flash [14] :

« Quand vous entendrez sur la diffusion générale « attention pour les précautions de sécurité », se tourner vers l'avant du bâtiment (debout, assis, ou appuyé). Ce sera une minute environ avant l'instant zéro.

Quelques secondes plus tard, quand vous entendrez : « prendre les précautions de sécurité » annonce qui sera suivi d'un coup de klaxon et de sirène un peu prolongé, étant déjà tourné vers l'avant vous fermerez les yeux et vous protégerez les yeux fermés avec la saigné du coude. »



Figure 14 : Photo des militaires pendant la réalisation d'un essai issu du documentaire [16]

Plusieurs documents d'information ont été transmis aux marins avant les tirs [6]. Il existe trois types de danger suite à l'explosion d'une bombe atomique :

- Les effets de souffle,
- Les effets liés à la chaleur,
- Les radiations.

3) Les moyens de protection que nous aurions mis en place

Les personnes susceptibles d'être exposées aux effets de la radioactivité résultant des essais sont classées en deux catégories :

1. La première catégorie comprend le personnel directement impliqué dans les essais, tel que le personnel militaire, les employés du CEA et des entreprises, ainsi que les travailleurs présents sur les sites d'essais ;
2. La deuxième catégorie inclut les populations vivant à proximité des zones de tir.

Comme vous avez pu le lire précédemment, les mesures de sécurité mises en place par la France durant les essais nucléaires étaient minimales. Nous allons alors voir quel dispositif aurait dû être mis en place pour protéger au mieux les travailleurs.

En radioprotection, un principe de précaution a été testé : ALARA « As low As Reasonably Achievable » qui signifie « aussi bas que raisonnablement possible ». Les mesures de sécurité ALARA exigent de minimiser le temps passé à proximité des sources de rayonnement, d'augmenter la distance entre les travailleurs et la source et d'établir une barrière pour les protéger des rayonnements.

Les effets sur un organisme d'une radioexposition dépendent de la nature du rayonnement comme l'indique le tableau suivant :

Rayonnement	Particules α ou β d'énergie < 70 keV	Particules β d'énergie > 70 keV	Rayons X et γ , particules β d'énergie élevée, neutrons
Pénétration dans les tissus	Environ 10 μm : ne franchissent pas la couche cornée.	Traverse l'épiderme, touche éventuellement le derme.	Très pénétrants.
Effets	Aucun danger en exposition externe.	Ne provoquent « que » des lésions cutanées.	Tissus ou organes atteints.

Figure 15 : Tableau récapitulatif des effets sur l'organisme d'une radioexposition.

Nous remarquons que les effets dépendent de quatre axes sur lesquels nous allons pouvoir travailler :

- L'activité :

L'objectif est de diminuer les quantités de matières radioactives. Dans le cadre des essais nucléaires que nous avons étudié cela risque d'être compliqué. En effet, le but des exercices et de tester des bombes et des technologies de plus en plus puissantes. Travailler sur cet axe ne serait pas réaliste.

- Le temps :

En effet, un élément important en radioprotection est le temps d'exposition aux rayonnements. Si diminuer le niveau d'activité n'est pas possible, limiter le temps l'est. Un système de rotation du personnel peut être réalisé. Pour cela il est conseillé de s'entraîner avec des sources non radioactives avant de réaliser la manipulation sous élément radioactif.

- La distance :

Elle correspond aussi à un élément important dans l'exposition aux rayonnements. Comme nous l'avons expliqué précédemment, le personnel se situait sur des bateaux à 31,4km de l'épicentre de l'explosion. Avec une mauvaise gestion du comportement de la météo, le positionnement du personnel est alors important.

- Les écrans :

Il en existe plusieurs pour chaque type de rayonnement ionisant :

- Les rayons alpha peuvent être freinés par une feuille de papier.

- Les rayons bêta peuvent être freinés par quelques millimètre d'aluminium. Une feuille de verre ou un écran d'un centimètre de plexiglas peuvent-être également utilisés.
- Les rayons gamma pénètrent davantage l'organisme. Pour réduire seulement 30% il est nécessaire d'être protégé par 6 cm de plomb, 30 cm de béton ou 54 cm de terre.
- Les rayons X peuvent être freinés par une forte épaisseur de plomb.

Enfin, en cas d'accident nucléaire il est conseillé de prendre des comprimés d'iode. L'iode stable permet de protéger la thyroïde des effets nocifs. Les comprimés doivent être absorbés au bon moment, de préférence juste avant le passage du panache radioactif.

Pour déterminer à quelle distance ou combien de temps le personnel pouvait se trouver il faut se fonder sur la réglementation de l'époque :

Pour les personnels de la première catégorie, les normes d'irradiation globale, concernant l'ensemble de l'organisme, ont été établies par la Commission Consultative de Sécurité (CCS) le 5 novembre 1958, conformément aux recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) [16]. Les normes étaient les suivantes :

- La dose maximale admissible était calculée en fonction de l'âge et d'une dose moyenne annuelle de 50 mSv. La dose totale reçue par l'organisme à l'âge de N ans ne devait pas dépasser : $50 \text{ mSv} \times (N - 18)$.
- La dose maximale cumulée pendant une période de 13 semaine consécutive ne devait pas dépasser 30 mSv.
- En cas d'irradiation externe exceptionnelle concertée, la dose ne devait pas dépasser les limites suivantes : 120 mSv pour l'organisme entier, 300 mSv pour la thyroïde et les os, et 150 mSv pour les autres organes.

Pour le personnel de deuxième catégorie, les populations, la dose maximale admissible annuelle était fixée par la CCS à 15 mSv en 1960, puis réduite à 5 mSv à partir de 1961.

Intéressons-nous aux rayonnements gamma. Lorsqu'elle explose, la bombe génère un flash de rayons gamma et de neutrons. Ces rayonnements sont moins dangereux que les rayonnements alpha et beta. Cependant, il est plus compliqué de s'en protéger car ces derniers sont plus pénétrants.

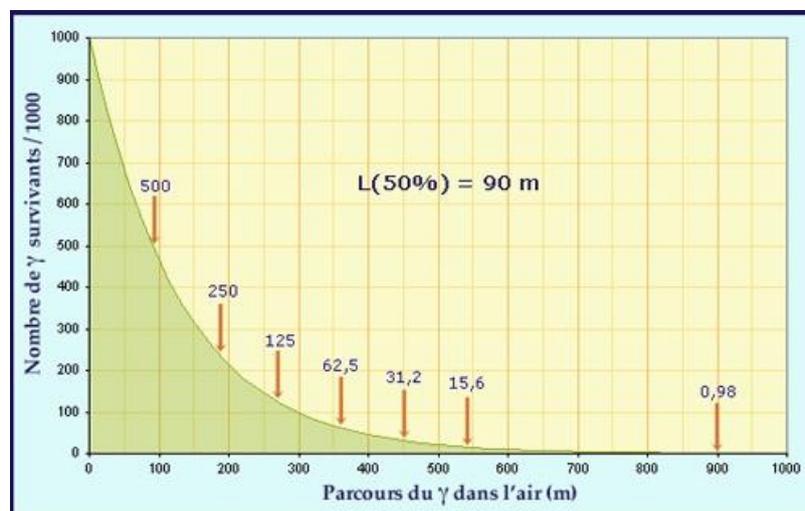


Figure 16 : Schéma représentant l'atténuation des rayonnements gamma dans l'air. Source [17]

On se préoccupera principalement des rayons gamma dans le cas d'une exposition à une source externe de rayonnements. L'exposition décroît comme le carré de la distance de la source. Cela correspond à l'effet d'angle solide. Cet effet est défini par :

$$P = S \cos \theta / 4 \pi d^2$$

Avec:

- P : probabilité qu'un gamma se dirige vers une cible
- S : Surface de la cible (m²)
- θ : θ est l'angle solide sous lequel la source est vue. L'angle *solide* est le rapport entre la surface de la sphère intercepté par un cône (°)
- d : distance de la cible. (m)

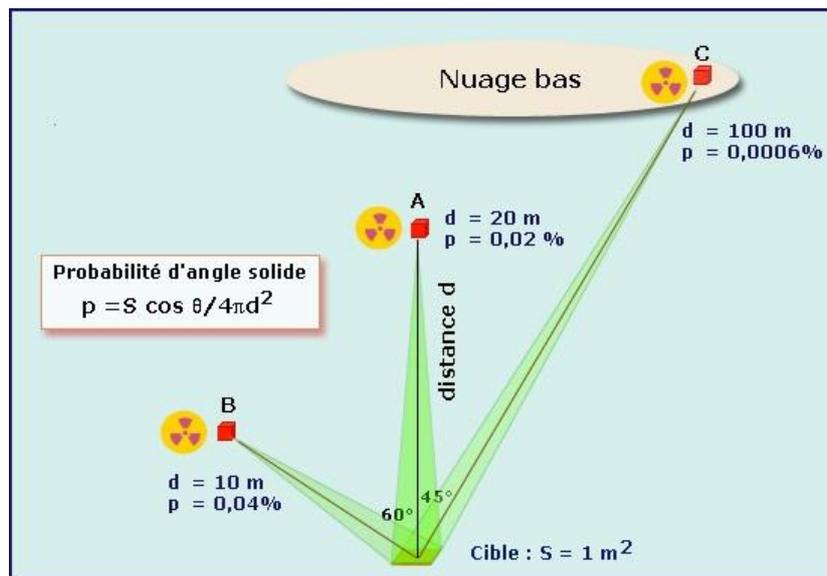


Figure 17 : Effet d'angle solide [17].

Nous allons chercher à estimer la probabilité que les marins soient touchés par le rayonnement gamma. Prenons les paramètres suivants. Nous prendrons une distance entre les marins et le point zéro de 17 milles nautique (31.4 km) [5]. Le nom de code de l'essai est le tir Eridan, une bombe de 17 kt. Le tir a été effectué sous ballon à une hauteur de 560m. On peut modéliser cet essai par le schéma suivant :

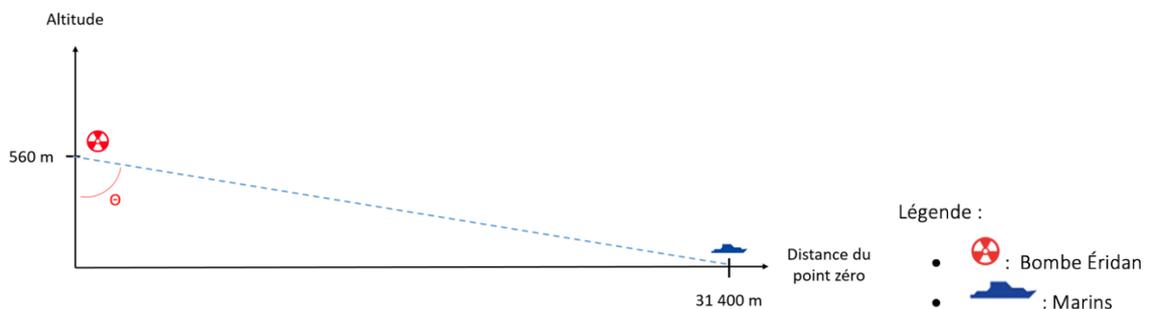


Figure 18 : Schématisation du tir Éridan.

Voici l'application numérique :

La formule est : $P = S \cos \theta / 4 \pi d^2$

Sachant que les données sont :

$$\text{Angle } \theta = \arctan (560 / 31\,400) = 1.021^\circ$$

$$\text{Cos } \theta = 0.999$$

S = Au vu de la figure 18, on peut estimer que le pont mesure 20m par 20m soit 400m²

$$D = 31400 \text{ m}$$

Ainsi nous avons :

$$P = 400 * \text{cos } \theta / (4 * \pi * 31400^2) = \mathbf{3.23E-8}$$

Ainsi, nous pouvons déduire d'après les calculs que la probabilité que les marins soient touchés par les rayonnements gamma sur le pont du navire apparaît donc comme très faible. A cette distance on peut donc en conclure que ce ne sont pas les rayonnements gamma qui ont entraîné des conséquences sur la santé des militaires.

Il faut s'intéresser au rayonnement neutronique. Ce dernier correspond aux neutrons émis lors de l'explosion. Au moment de l'explosion, ils possèdent une énergie de plusieurs MeV. Cependant l'étude de l'exposition au rayonnement neutronique est quelque chose de très complexe. Les neutrons ralentissent lors des collisions avec les noyaux auxquels ils cèdent une partie de leur énergie. En reculant, ces noyaux ionisent la matière environnante. Le résultat de cette série de collisions est un parcours erratique qui dans l'air peut être long. On sait que l'hydrogène ralentit efficacement les neutrons.

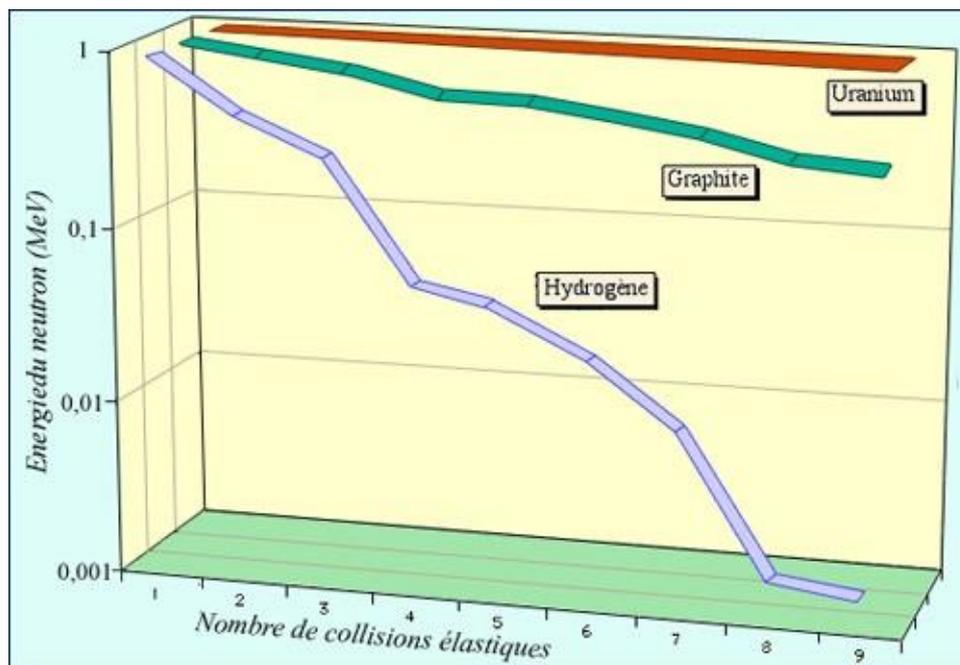


Figure 19: Comparaison du ralentissement des neutrons lors de la collision avec différents noyaux [17].

L'exposition au rayonnement neutronique des marins dépend donc de plusieurs facteurs :

- L'énergie des neutrons au moment de l'explosion,
- La distance entre l'explosion et les marins,

- La météo le jour de l'explosion. On a vu que l'hydrogène ralentit les neutrons. L'eau étant composée d'une molécule d'oxygène et deux d'hydrogène, elle captera facilement les neutrons. C'est pour cette raison d'ailleurs que les barres de combustible des centrales nucléaires sont stockées dans de grandes piscines.

Cependant, nous n'avons pas pu aller plus loin dans nos recherches. En effet, les risques neutroniques sont très compliqués à analyser que ce soit à cause du peu d'informations aux moments des tirs et des méthodes de calculs qui ont changé plusieurs fois au cours des années. De plus, nous manquons de données sur les énergies neutroniques libérées lors des explosions et sur les conditions météorologique (l'hygrométrie ayant un impact important sur la capture des neutrons dans l'air).

III. Les effets des bombes sur la santé

1) Les modes d'exposition

a. L'évaluation des expositions induites

L'homme peut être exposé aux rayonnements ionisants à la suite de retombées par plusieurs voies :

1. L'exposition externe se produit lors du passage du nuage et provient ensuite des particules déposées sur le sol.
2. L'exposition interne provient de l'inhalation pendant les retombées puis de l'ingestion d'aliments contenant des radioéléments.

b. Exposition externe

Lors du calcul de l'exposition externe, les chercheurs ont considéré que les dépôts au sol restent en surface pendant l'année qui suit l'essai. Cette hypothèse simplificatrice, qui conduit à une surestimation significative de l'exposition, est nécessaire car il est impossible de prendre en compte les propriétés d'écoulement et de contrôle du lessivage.

Lors du calcul de la dose efficace, la protection offerte par les habitations et les bâtiments a été prise en compte par les chercheurs. En effet, ils ont estimé que la population polynésienne passe en moyenne 30 % de son temps à l'intérieur. Le facteur de protection pour les appartements légers a été estimé à 0,5 et pour les refuges d'urgence à 0,3.

« L'exposition externe conduit à des doses efficaces comprises entre 0,6 et 3,4 mSv (tableau ci-dessous) pour la première année suivant chaque retombée. » Ces valeurs ont été calculées à partir des mesures réalisées par les PCR pendant et dans les heures qui suivent la fin de chaque retombée. La dosimétrie par film témoin porté par le personnel affecté sur les lieux au moment des retombées a permis, dans certains cas, de vérifier ces évaluations [16].

EXPERIMENTATION	DATE	LIEU	DOSE EFFICACE (Sv)
ALDEBARAN	02/07/66	GAMBIER	$3,4 \cdot 10^{-3}$
ARCTURUS	02/07/67	TUREIA	$7 \cdot 10^{-4}$
ENCELADE	12/06/71	TUREIA	$9 \cdot 10^{-4}$
PHOEBE	08/08/71	GAMBIER	$9 \cdot 10^{-4}$
CENTAURE	17/07/74	TAHITI (Mahina)	$6 \cdot 10^{-4}$

Figure 20 : Tableau de doses efficaces reçues par irradiation externe dans l'année suivant chaque retombée [16].

c. Exposition Interne

Pour l'exposition par ingestion, l'iode est le radioélément principal et les aliments critiques sont principalement l'eau de boisson pour les eaux pluviales, le lait produit localement et les légumes frais.

1) Exposition interne par l'ingestion d'eau

L'eau de pluie provenant des toits des phares était recueillie dans une citerne pour l'alimentation en eau à Tureia. Pour Rikitea, principal village des Gambier (499 habitants en 1971), l'alimentation est assurée à partir d'un réservoir collectant les eaux d'infiltration. A Tahiti, l'eau de boisson provient de sources et dans ce cas l'exposition induite est négligeable. Les doses efficaces présentées sur la figure 21 ont été estimées à partir des mesures pour une consommation de deux litres d'eau par jour et en prenant les facteurs de dose recommandés par la Commission Internationale de Protection Radiologique.

EXPERIMENTATION	DATE	LIEU	CONCENTRATION MAX P.F Bq/l	DOSE EFFICACE Sv
ALDEBARAN	02/07/66	GAMBIER	1600(J+6)	$1,4 \cdot 10^{-4}$
ARCTURUS	02/07/67	TUREIA	5500 (J+2)	$6 \cdot 10^{-5}$
ENCELADE	12/06/71	TUREIA	$4,2 \cdot 10^4(J+1)$	$3,1 \cdot 10^{-4}$
PHOEBE	08/08/71	GAMBIER	800(J+10)	$3,5 \cdot 10^{-5}$

Figure 21 : Estimations des doses efficaces dues à l'eau de boisson [16].

2) Exposition interne par l'ingestion de lait.

Les dépôts de produits de fission sur les pâturages tahitiens, principalement sur le plateau de Taravao, ont engendré la présence d'iode dans le lait dans les jours qui ont suivi les résultats du test CENTAURE en juillet 1974. Le lait produit localement provient presque exclusivement de la Laiterie de Taravao. Dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire celui des nourrissons qui auraient consommé du lait frais uniquement issu des cheptels locaux, les niveaux conduisent, pour une consommation de 0,7 litre par jour, à une dose efficace de $2,7 \cdot 10^{-4}$ Sv. Heureusement, ce lait était uniquement destiné à la fabrication de fromages et de yaourts qui ont une maturation de quelques semaines. Les pratiques locales conduisaient à nourrir les bébés avec du lait en poudre ou du lait stérilisé. De plus, la production laitière locale

ne couvrait que 18 % de la consommation. Compte tenu de ces facteurs, la dose efficace attribuable à la consommation de lait dans le cas le plus critique (l'enfance) est de $5 \cdot 10^{-5}$ Sv.

3) Exposition interne par l'ingestion des autres aliments

La figure 22 résume les doses efficaces résultant de l'ingestion d'iode accumulé dans les aliments autres que l'eau et le lait. Ces estimations ont été fondées sur des mesures d'aliments produits localement. Aux Gambier, l'essentiel de la ration provient de légumes verts (feuilles, salade) et pour Turieia de produits du lagon, notamment de mollusques filtreurs comme les bénitiers.

EXPERIMENTATION	DATE	LIEU	DOSE EFFICACE (Sv)
ALDEBARAN	02/07/66	GAMBIER	$1,2 \cdot 10^{-3}$
ARCTURUS	02/07/67	TUREIA	$5 \cdot 10^{-5}$
ENCELADE	12/06/71	TUREIA	$6 \cdot 10^{-5}$
PHOEBE	08/08/71	GAMBIER	$1,4 \cdot 10^{-4}$
CENTAURE	17/07/74	TAHITI	$2,5 \cdot 10^{-5}$

Figure 22 : Doses efficaces induites par l'iode pour l'ingestion des aliments autres que le lait et l'eau [16].

2) Impact sur la santé

a. Suivi sanitaire des personnels participant aux activités du CEP

Le suivi dosimétrique des personnes présentes sur l'ensemble des sites (Mururoa et Fangataufa) et leurs annexes a été assuré par 250 000 dosimètres qui avaient été distribués. Au total cela représente 57 750 personnes qui ont été surveillées grâce à ces dosimètres individuels et collectifs.

Sur les 52 750 personnes travaillant sur les sites pendant les essais atmosphériques [16]:

- 93.5% ont reçu une dose nulle.
- 3425 personnes en revanche ont reçu une dose mesurable. D'après les mesures seules, sept personnes ont dépassé la « norme annuelle travailleur » de 50 mSv. Quatre de ces personnes étaient les pilotes d'avions chargés de pénétrer dans le nuage radioactif consécutif au tir. La plupart des travailleurs de catégorie A ont reçu une dose inférieure à la norme publique de 5 mSv : 55 personnes ont atteint la valeur de 15 mSv.

La recherche d'une éventuelle contamination interne s'effectuait par des examens d'anthropo-spectro-gammamétrie et de radio toxicologie des excréta. En outre, un contrôle systématique était également pratiqué lors de l'arrivée et du départ de chaque personne affectée sur les sites. De 1966 à 1974, on a relevé six cas de contamination interne significative, aucun n'ayant entraîné un dépassement de la limite normative des travailleurs.

b. Suivi sanitaire des populations

Les manques de statistiques de santé a conduit à la création de l'outil référence en 1983 : le registre des cancers. Dans de nombreux cas jusqu'à cette époque et même au début des

années 80, la cause du décès n'était pas mentionnée sur les certificats de décès. Pour de nombreux cancers dont le traitement nécessite des moyens importants qui ne sont pas disponibles en Polynésie, des transferts sanitaires vers la France métropolitaine sont souvent effectués, moins souvent vers la Nouvelle-Zélande, ce qui rend la surveillance épidémiologique plus difficile.

Les ressources fournies par les registres des cancers établis dans la région du Pacifique, à l'instar de celui créé en Polynésie, ont permis de réaliser des études épidémiologiques dans lesquelles des comparaisons ont été faites avec des groupes similaires. En raison de leur appartenance ethnique commune, les résultats des populations polynésiennes sont souvent comparés à ceux des populations néo-zélandaises et hawaïennes de Mahuori.

Depuis 1994, plusieurs études sur les cancers ont été menées en Polynésie française. La structure au sein de laquelle elles sont principalement menées est l'unité de recherches en épidémiologie des cancers de l'INSERM. La population est estimée à 168 500 habitants sur la période 1985 – 1995 en Polynésie Française.

Les tableaux ci-dessous montre l'incidence des cancers en Polynésie Française en comparaison avec celle de métropole :

Cancer Hommes	Incidence pour 100 000	
	Métropole	Polynésie Française
Poumon	52.8	52.6
Prostate	31.1	30.4

Cancer Femmes	Incidence pour 100 000	
	Métropole	Polynésie Française
Poumon	4.8	25.5
Sein	65.4	57.1

Figure 23 : Tableaux comparatifs sur les cancers en France et en Polynésie française [12].

On observe une forte incidence du cancer du poumon chez les femmes, cependant il faut nuancer ce résultat en prenant en compte l'importance du tabagisme féminin.

En revanche, les études ont montré que l'incidence de cancer du col de l'utérus est près de 2 fois plus élevée en Polynésie qu'en métropole. De même pour l'incidence du cancer de la thyroïde qui est cinq fois supérieur en Polynésie.

3) Impact sur la reproduction

a. Effet d'une irradiation pré conceptuelle

Les informations sur les effets de l'irradiation pré conceptionnelle sont récentes. Actuellement, les données d'études avec une dosimétrie de haute qualité sont réconfortantes et n'indiquent pas de risque pour la santé chez les descendants d'individus exposés à une irradiation pré conceptuelle.

Actuellement, il existe beaucoup de documentations sur les cancers et les leucémies, notamment à la suite des bombardements de Nagasaki et Hiroshima en 1945 mais aussi à la suite de l'accident de Tchernobyl en 1989. Cependant, certaines pathologies sont insuffisamment documentées et étudiées. En effet, c'est le cas pour les pathologies chroniques. De plus, cette conclusion ne s'applique qu'aux expositions immédiates, répétées ou non. De nos jours, il existe très peu d'informations sur les effets de l'irradiation pré conceptuelle chronique. Des recherches sont nécessaires dans ce domaine car les effets des irradiations chroniques peuvent varier et être différents des effets de l'irradiation directe.

b. Effets d'une irradiation in utero

De petites doses de rayonnements ionisants de l'ordre de plusieurs dizaines de mGy reçues dans l'utérus augmentent significativement le risque de développer un cancer ou une leucémie infantile, ainsi que le risque de troubles du développement et de troubles neurocognitifs sévères.

Le risque de cancers et de leucémies infantiles est multiplié par deux pour une dose d'une dizaine de mGy reçue en une ou plusieurs fois au premier trimestre de la grossesse. Cela présente un risque plus important qu'une irradiation au cours de l'enfance.

Les risques d'apparition de cancer et de leucémie pendant l'enfance après une irradiation chronique à faible dose sont moins bien documentés. D'autre part, les études sur l'incidence de la leucémie dans les zones faiblement contaminées d'Europe chez les enfants qui étaient in utero lors de l'accident de Tchernobyl impliquent des niveaux de dose très faibles, proches ou inférieurs à une irradiation naturelle, et leurs résultats sont incohérents, d'autant plus qu'ils concluent qu'il existe des différences entre les exposés et les non exposés, mais pas de relation dose-effet pour les premiers. D'autre part, les études sur les doses significatives d'irradiation chroniques importantes chez les enfants des travailleurs du complexe nucléaire de Mayak ou les femmes vivant dans des villages contaminés par le complexe impliquent des populations trop petites pour étudier l'incidence des cancers infantiles. En revanche, ces dernières études sont suffisamment pointues pour examiner l'incidence du cancer à l'âge adulte, et leurs résultats sont cohérents avec ceux obtenus chez les survivants d'Hiroshima et de Nagasaki irradiés in utero, c'est-à-dire que le risque est égal ou inférieur à celui observé après irradiation dans l'enfance.

Conclusion :

Pour récapituler, le peu de recherches épidémiologiques menées en Polynésie française n'indiquent pas d'impact significatif des retombées des essais nucléaires sur la santé des populations locales. Une étude cas-témoins sur les habitants locaux montre une légère augmentation du risque de cancer de la thyroïde en relation avec l'accroissement de la dose reçue à la thyroïde avant l'âge de 15 ans. Une analyse de mortalité réalisée sur le personnel militaire révèle une élévation du risque de décès par hémopathies malignes chez les individus ayant reçu une dose non nulle (mesurée par dosimètre). Cependant, en raison des faibles débits de doses reçus, du peu de recherches et du faible échantillonnage, ces études ne permettent pas de parvenir à des conclusions solides sur les liens entre l'exposition aux rayonnements ionisants provenant des retombées des essais nucléaires atmosphériques en Polynésie française et la survenance de ces maladies. Celles-ci n'écartent pas non plus la possibilité de retombées sanitaires passées inaperçues jusqu'à présent. A l'heure actuelle, de nouvelles études sont menées afin de déterminer s'il existe des retombées sur les descendants des personnes exposées aux essais nucléaires. Notre apport dans cet axe est fondé sur les règles de sécurité de l'époque et les règles que nous aurions mis en place lors d'un essai, en réalisant plusieurs calculs pour déterminer le temps et la distance optimale pour être hors de danger.

AXE 2 : Les impacts environnementaux des essais nucléaires

Dans ce second axe, nous allons étudier les conséquences des essais nucléaires sur l'environnement. Il est important d'aborder cet aspect afin de mieux comprendre les raisons qui ont entraîné le choix des atolls pour réaliser les essais. Nous allons aborder l'environnement général des atolls et les différents points pris en compte pour le choix de l'emplacement des essais. Puis nous analyserons les types d'essais et leurs conséquences sur la faune et la flore par rapport aux retombées radiologiques. Nous expliquerons ensuite la démarche de la gestion des déchets radioactifs au moment des essais. Enfin, nous proposerons une note sur la gestion des déchets que nous aurions mis en place avec la réglementation actuelle.

I. Environnement des atolls

Au cœur de l'océan Pacifique, la Polynésie française constitue un vaste domaine composé de cent dix-huit îles. Elle est composée de cinq grands archipels : Société (dont fait partie Tahiti), Marquises au nord, Tuamotu au centre, Australes au sud et Gambier au sud-est.

Nous effectuerons dans cette première partie un état environnemental des lieux, qui justifiera le choix de ces atolls pour réaliser les essais nucléaires. Pour cela, nous nous fonderons principalement sur les informations citées dans le document [14].

1) Géographie des atolls

Les atolls de Mururoa et Fangataufa, distants d'une quarantaine de kilomètres l'un de l'autre, se trouvent à l'extrémité sud-est de l'archipel des Tuamotu, auquel ils sont rattachés administrativement. Ces atolls sont dans une zone dont la population est très faible (moins de 2 500 habitants dans un rayon de 500 km et moins de 5 000 dans un rayon de 1 000 km). Tureia, l'île habitée la plus proche, se trouve à 110 km des deux atolls.



Figure 24 : Situation de la Polynésie française dans l'océan Pacifique [17].

Les atolls de Mururoa et Fangataufa étaient inhabités lors de leur cession à l'État français, en 1964. En effet, sur Mururoa seule une société privée exploitait une cocoteraie et organisait des campagnes de récolte ponctuelles. Cette concession fut reprise par le CEP (Centre d'Expérimentation du Pacifique) après indemnisation de cette société. Quant à

Fangataufa, les autorités religieuses des îles Gambier en détenaient la concession mais le site ne répertoriait aucune activité humaine.

Ces deux atolls ont été choisis pour leur isolement géographique qui constituait un facteur favorable à la réalisation d'essais nucléaires atmosphériques tout en permettant d'assurer au mieux la sécurité des personnes et de l'environnement.

2) Spécificités environnementales des atolls

a. Météorologie

Les atolls de l'archipel des Tuamotu sont situés dans la partie centrale d'un grand tourbillon anticyclonique où la subsidence de l'air entretient une évaporation prépondérante sur les précipitations. Le climat y est tropical et humide, les températures mensuelles vont de 22°C à 27°C. La pluviométrie s'évalue à environ 1,3 m par an et l'hygrométrie moyenne se situe aux alentours de 80 %, ce qui est particulièrement contraignant pour les équipements de haute technologie. Pour continuer, l'ensoleillement est important : 250 heures par mois. Les eaux des lagons sont chaudes : de 23 à 26°C toute l'année. Enfin, les contrastes saisonniers sont faibles.

À Mururoa et Fangataufa, les alizés de secteur prédominent au sol en toutes saisons avec des vitesses dépassant rarement 40 km.h⁻¹. La rencontre des vents d'est et de sud-ouest s'effectue dans la ZCPS (Zone de Convergence du Pacifique Sud). La position de cette zone de convergence évolue au gré des saisons et englobe les atolls de Mururoa et Fangataufa durant l'hiver austral. En revanche, à quelques kilomètres d'altitude, les vents sont plutôt de secteur ouest, comme sur l'ensemble de la Polynésie, avec des vitesses pouvant atteindre 200 km.h⁻¹

Dès 1964, des moyens importants d'observations météorologiques ont été mis en place afin d'obtenir des prévisions météorologiques fiables indispensables à la réalisation des essais atmosphériques. A partir de 1966, les moyens de prévisions météorologiques s'appuyaient sur les stations du réseau de l'aviation civile des stations des îles voisines des atolls (Tahiti, Rangiroa...).

En mer, 2 à 6 jours avant un essai, trois aviso-escorteurs étaient utilisés comme "piquets météo". Ils étaient positionnés à une centaine de kilomètres des sites. Ces bâtiments étaient nécessaires pour établir des prévisions à plus de 24 heures.

Des moyens aériens tels que deux avions météo dotés d'un radar doppler participaient aux observations météorologiques. Ils communiquaient régulièrement des informations concernant les vents estimés et la couverture nuageuse :

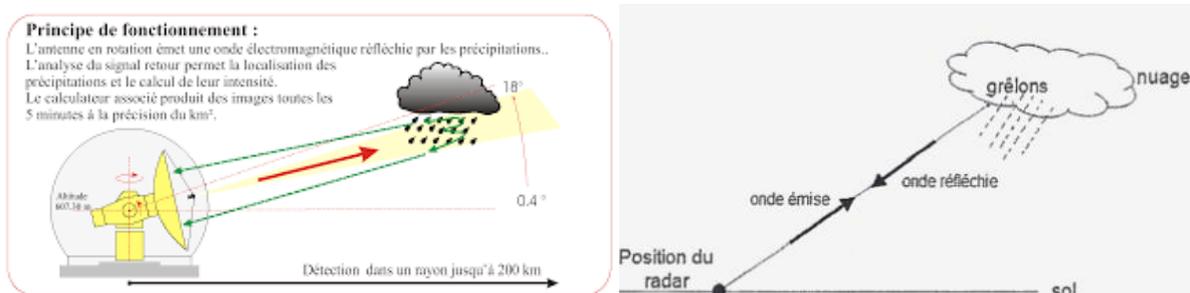


Figure 25 : Principe de fonctionnement du radar [18] et [19].

L'exploitation de l'ensemble des données recueillies permettait d'élaborer des cartes de prévisions météorologiques, notamment pour la région des essais (échelles 1/9 000 000 et 1/12 500 000). Elles servaient au calcul des prévisions des principales retombées radioactives en fonction de la puissance attendue de l'explosion de l'engin expérimenté. Le service de la météorologie de la Direction des centres d'expérimentations nucléaires (Dircen) en Polynésie comprenait environ 270 personnes.

b. Géologie

Comme l'ensemble des îles de Polynésie française, les atolls de Mururoa et Fangataufa sont d'anciens volcans recouverts de quelques centaines de mètres de roches carbonatées. Il s'agit d'îles basses d'origine volcanique constituées d'une couronne corallienne enserrant un lagon. Elles prennent naissance à l'aplomb de zones situées dans le manteau de l'écorce terrestre appelées "points chauds". Le magma émis par un point chaud forme d'abord un volcan sous-marin, qui finit par émerger si l'activité volcanique produit un volume de lave suffisant. Au cours du temps, les volcans issus d'un point chaud s'éloignent progressivement de la source magmatique qui les alimente. L'activité volcanique cesse et l'île évolue alors sous les effets de l'érosion aérienne, de l'érosion marine, et de différents phénomènes intéressant l'édifice volcanique, comme l'enfoncement par subsidence. Le stade ultime de l'évolution des îles volcaniques est l'atoll.

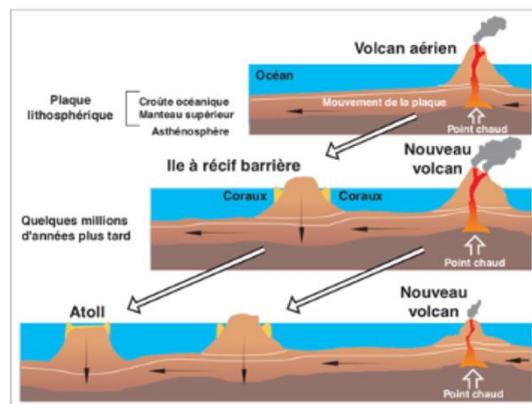


Figure 26 : Schéma représentant les étapes de formation d'un Atoll [14].

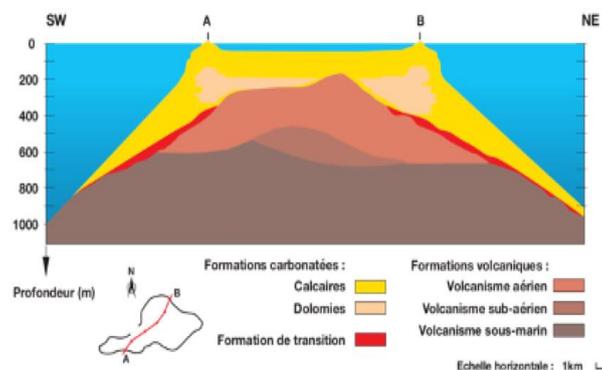


Figure 27 : Coupe géologique suivant un axe orienté sud-ouest/nord-est à travers l'atoll de Mururoa [20].

c. Milieu terrestre

La colonisation d'une île nouvelle issue d'un point chaud résulte du transport par l'air (vents et oiseaux) et par l'eau (courants marins) de pollen, de graines ou de fruits flottés mais aussi de petits arthropodes comme les araignées. L'isolement insulaire au sein du Pacifique explique la pauvreté de la biodiversité du milieu terrestre des îles polynésiennes. Les atolls de Mururoa et Fangataufa présentent une faune et flore terrestre limitée à une centaine d'espèces, alors que le nombre d'espèces végétales présentes en Polynésie française est estimé à environ un millier.

L'inventaire général de la végétation de Mururoa a été réalisé en 1966. La flore peu diversifiée des atolls de Mururoa et Fangataufa est tout à fait semblable à celle rencontrée dans les atolls voisins. Il y a une centaine d'années, les cocotiers ont été introduits sur Mururoa. Sur l'atoll de Fangataufa, la végétation est très comparable à celle de Mururoa mais sans cocoteraie, probablement à cause d'un accès difficile dû à l'absence de passe naturelle.

À l'image de la flore, la faune terrestre des deux atolls s'avère assez pauvre. Elle se compose d'insectes, d'oiseaux, de quelques espèces de reptiles et de petits mammifères, rats et souris.

d. Milieu marin

Le milieu récifal des îles hautes et des atolls, où la productivité biologique est élevée, apparaît comme une véritable oasis de vie. Un récif corallien se présente comme une construction calcaire édiflée par des organismes vivants qui sont principalement des coraux et des algues calcaires.

De l'océan vers le lagon, la zone externe océanique distingue classiquement trois structures, caractérisées par des peuplements d'organismes constructeurs différents :

- La pente externe, où les colonies de coraux durs sont dominantes en surface,
- La crête algale, dont l'essentiel de la construction est assuré par les algues calcaires,
- Le platier externe, où se retrouve sensiblement la même série des espèces caractéristiques de la pente externe jusqu'à 25 m de profondeur.

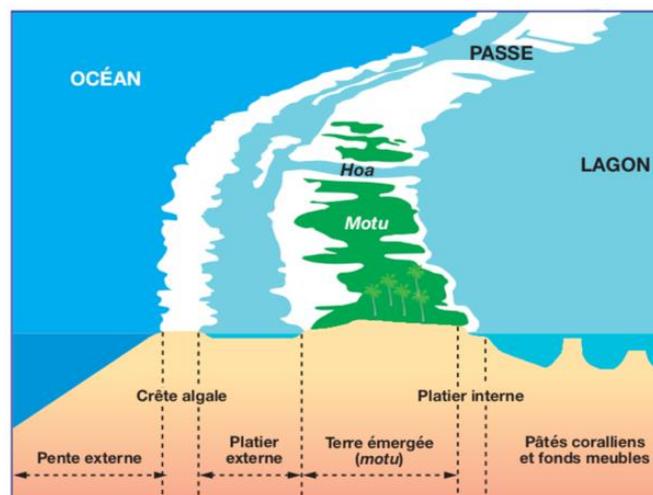


Figure 28 : Coupe schématique océan-lagon explicitant les structures morphologiques d'un atoll [14].

Les eaux du domaine océanique polynésien sont pauvres en sels nutritifs. En effet, les eaux de surface, chaudes et salées, ne reçoivent aucun apport d'eau froide profonde. Pauvres en nutriments, elles ne sont donc pas propices au développement du phytoplancton, premier maillon de la chaîne alimentaire et donc des autres organismes des niveaux trophiques supérieurs : zooplancton, céphalopodes et poissons. Ces derniers, entrant pour une part non négligeable dans la ration alimentaire des personnes vivant en Polynésie, ont fait l'objet d'un suivi radiologique attentif.

Pour conclure sur l'environnement des atolls, Mururoa et Fangataufa ont été un emplacement stratégique pour les essais nucléaires étant donné la quasi-absence d'activité humaine et une faune et flore peu diversifiées ce qui avait pour but de limiter les impacts des essais sur l'environnement et faciliter le suivi radiologique des différents êtres vivants. Avant tout essai nucléaire, les deux atolls ont fait l'objet d'un point zéro environnemental afin d'acquiescer les données de référence sur les peuplements des différents substrats lagunaires et sur la faune et la flore terrestre et marine qui composent les atolls.

II. Types d'essais et conséquences sur l'environnement

Les essais nucléaires consistaient à tester des engins conçus pour contribuer au diagnostic de bon fonctionnement des armes en cours de développement. Ils ont mis en jeu des matières nucléaires et conduit à la libération de radionucléides dans l'environnement. Nous allons voir dans cette partie les différents types d'essais et les conséquences qu'ils impliquaient sur l'environnement.

1) Les essais nucléaires réalisés

Deux types d'essais nucléaires ont été mis en œuvre sur ces atolls : les essais atmosphériques et les essais souterrains.

a. Essais atmosphériques

Dans un premier temps, la France a procédé à des essais atmosphériques. Ces essais peuvent être classés suivant trois catégories : les essais sur barge, sous ballon captif et par largage à partir d'avion.

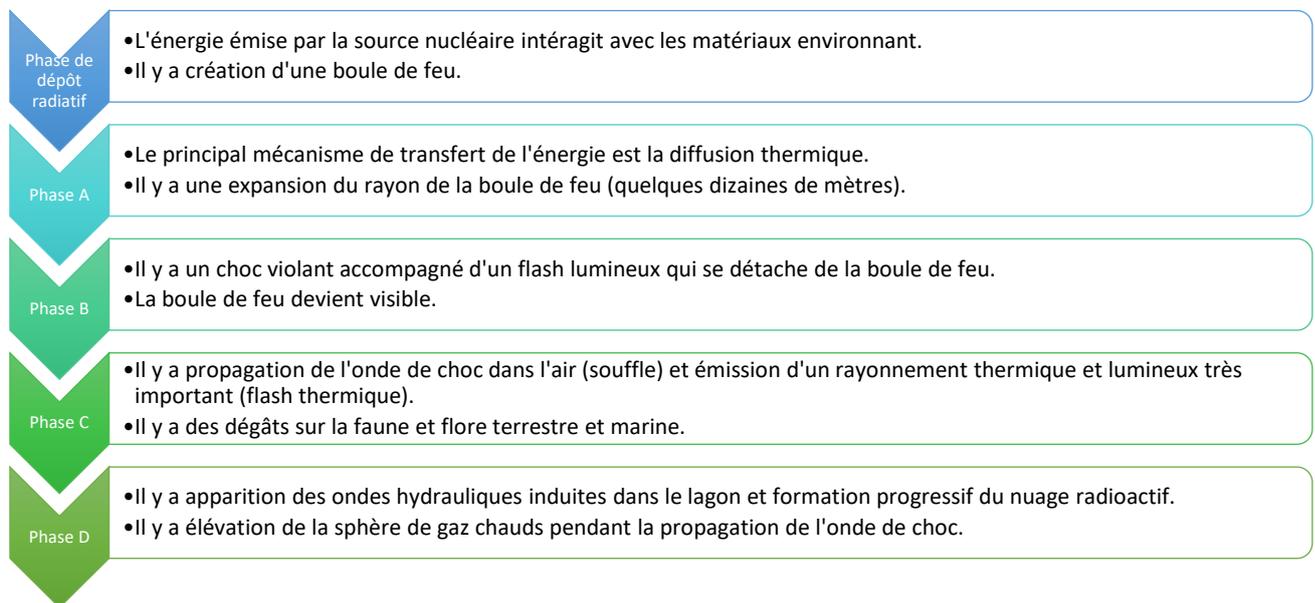
En 1966 et 1967, six essais ont été effectués sur des barges ancrées dans les lagons dont trois à Mururoa et un à Fangataufa.

De 1966 à 1974, trente-quatre essais sous ballon captif ont été effectués à Mururoa et à Fangataufa. L'aérostat sous lequel était fixé l'engin à tester était positionné à quelques centaines de mètres d'altitude. Ce ballon était maintenu par des câbles arrimés à trois barges ancrées face à un PEA. L'intérêt de ce mode d'essai était de réduire les conséquences radiologiques pour l'environnement et donc pour les populations en diminuant les retombées locales et régionales des particules les plus lourdes.

Afin de valider le fonctionnement de systèmes d'armes dans des conditions opérationnelles, des essais ont été réalisés par largage à partir d'avions. Quatre largages à partir d'engins proches des versions militaires ont été pratiqués en 1966, 1973 et 1974, à proximité

des sites d'expérimentations, reproduisant l'utilisation des armes nucléaires. L'explosion des engins a eu lieu à des altitudes similaires à celles des essais réalisés sous ballon.

Les cinq phases de construction du nuage radioactif sont distinguées ci-dessous :



Lors des explosions à faible altitude, la terre, l'eau et des débris divers sont aspirés et forment une colonne verticale entre le sol et la sphère de gaz chauds qui prend l'aspect d'un nuage. Les échanges thermiques entre ce nuage encore chaud et l'air ambiant produisent des mouvements tourbillonnaires de forme toroïdale, les gaz s'élevant dans la partie centrale du nuage et redescendant par l'extérieur. Ce phénomène, associé à la colonne de débris, donne à l'ensemble sa forme caractéristique de champignon comme sur la photo ci-dessous.



Figure 29 : Photo d'un essai nucléaire [15].

Par la suite, la maîtrise technique et scientifique acquise alliée à la perspective de réduire tout risque d'impact sur les populations et sur l'environnement ont conduit à réaliser des essais souterrains.

b. Essais souterrains

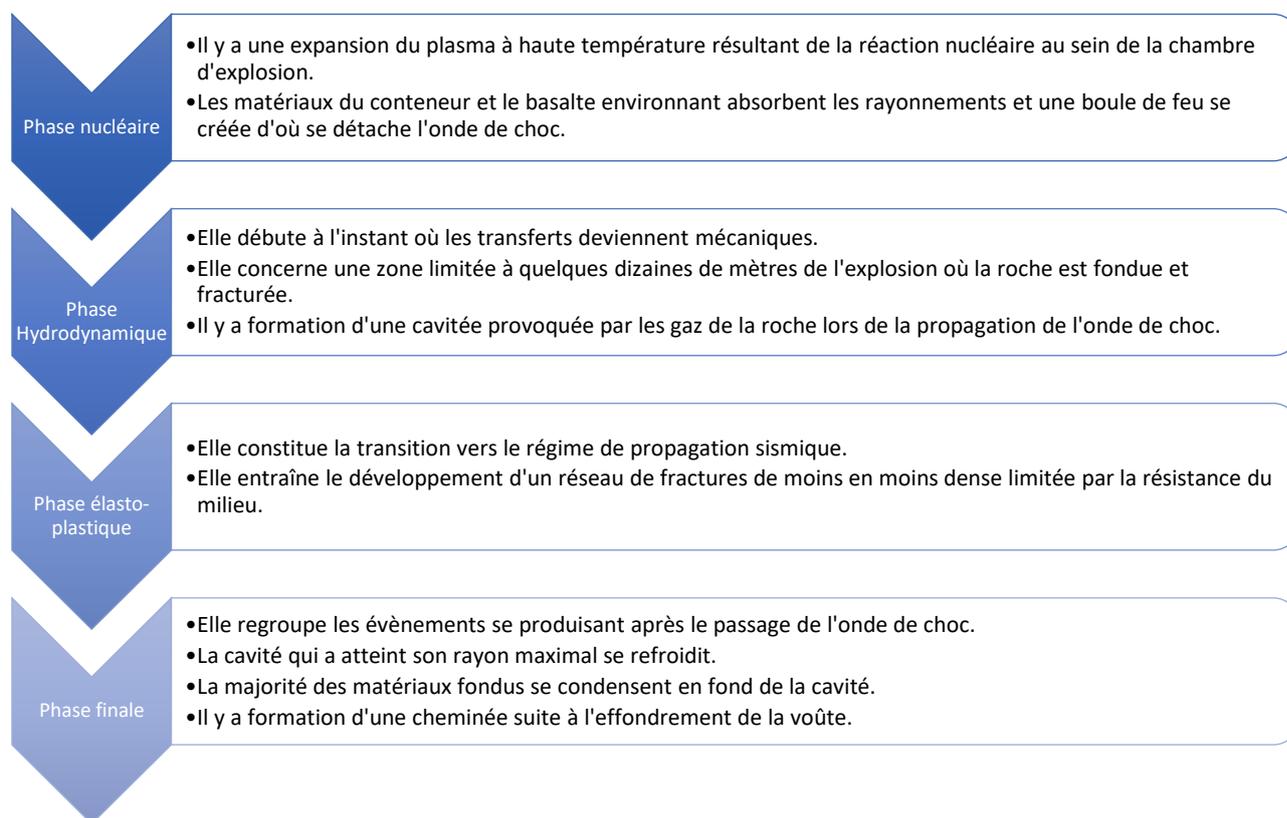
En 1972, il a été décidé de réaliser les essais au fond de puits souterrains. Après deux années de phase exploratoire, il s'est avéré que la structure géologique des atolls de Mururoa et Fangataufa, en particulier les formations basaltiques, permettait de réaliser ce type d'essais,

dans des conditions de sécurité optimales, assurant le confinement dans le futur des produits radioactifs créés lors de l'explosion.

L'essai souterrain consistait à placer un engin dans un conteneur qui comprenait l'ensemble de l'instrumentation permettant de mesurer les rayonnements émis. L'ensemble était descendu entre 400 et 1 200 mètres de profondeur dans des puits creusés jusqu'au sein des formations basaltiques. Avant la réalisation de l'essai, le puits était comblé, en partie basse, avec du sable de basalte favorisant la vitrification des produits radioactifs issus de l'essai et, en partie haute, par un bouchon de ciment assurant le confinement des éléments radioactifs.

De 1975 à 1986, les essais ont été réalisés dans des puits verticaux forés depuis la partie émergée de la couronne des atolls, pénétrant profondément dans le socle basaltique. À partir de 1981, certains ont été effectués dans des puits forés sous le lagon, en recourant à des moyens de forage off-shore. À partir de 1987, tous les essais ont été menés dans des puits sous les lagons.

Les événements se succédant à proximité du point zéro souterrain, à partir de la mise à feu de l'engin nucléaire, suivent plusieurs phases, différenciables par le mode de transfert de l'énergie et la réponse du milieu géologique. Quatre phases sont classiquement distinguées :



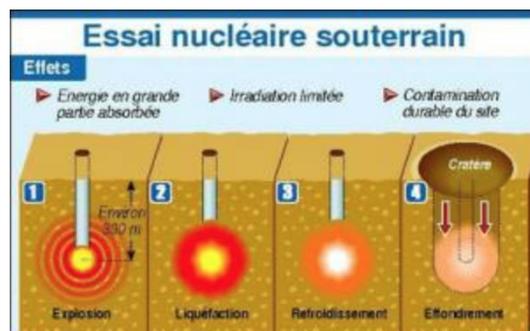


Figure 30 : Effets d'un essai nucléaires souterrains.

Au total cent-quarante-sept essais souterrains ont été réalisés sur les atolls entre 1972 et 1996.

2) Conséquences sur l'environnement

Durant ces essais, plus de 1000 radionucléides différents ont été libérés dans l'environnement. Ces radionucléides provenaient de cinq sources principales :

a. Matières nucléaires non consommées

Quand une explosion a lieu, 10% de la totalité de la matière fissile (élément chimique utilisé comme combustible) de l'engin testé sont consommés par les réactions de fission. Les constituants nucléaires du dispositif sont les suivants :

- Isotopes du plutonium
- Américium
- Isotopes de l'uranium
- Tritium

b. Traceurs de réaction

Un traceur est un élément ou un composé chimique qui va être facilement identifiable grâce à des méthodes physico-chimiques. Les traceurs permettent de suivre les déplacements de matières dans l'environnement. Le transfert des traceurs dans l'environnement n'a pas été traité car sa contribution à l'activité totale a été considéré comme négligeable. En effet, les éléments qui ont été introduits dans l'engin, comme traceurs des réactions neutroniques, étaient en trop faibles quantités pour avoir un impact sur l'environnement.

c. Produits des réactions de fission

Lorsque les réactions de fission de l'uranium et du plutonium ont eu lieu, de nombreux radionucléides avec une période radioactive largement supérieure à 1h sont créés. Ces radionucléides sont radioactifs et se transformeront en de nouveaux éléments radioactifs à la suite de désintégrations.

d. Produits des réactions d'activation des composants technologiques (engins, structures)

Les radionucléides ont été formés par activation de deux manières différentes :

- D'une part, des impuretés et des traceurs associés à la matière fissile.
- D'autre part, des pièces métalliques telles que celles des gainages, du conteneur et des installations, situées à proximité immédiate de l'engin.

Les barges, nacelles et câbles (installations et structures associées à l'essai) contenaient des produits d'activation qui sont restés des sources d'irradiation persistantes au cours du temps en fonction de leurs périodes radioactives respectives. On a pu ainsi constater, après les essais atmosphériques, que les radionucléides comme le ^{60}Co (Cobalt) présentait encore un niveau d'activité. Cette activité résulte des sections efficaces des noyaux cibles.

e. Produits d'activation des composantes naturelles de l'environnement : eau, sol et air

La radioactivité concernait aussi la matière du milieu naturel proche du point d'explosion. On peut retrouver :

- Radioactivité du milieu marin (potassium, césium) et du sol de l'atoll (uranium, thorium) : Essais atmosphériques
- Radioactivité du sous-sol corallien ou basaltique (radon) : Essais souterrains

1) Prévisions des retombées proches et trajectoires (en fonction du type d'essais)

La compréhension des mécanismes de transfert des radionucléides dans l'environnement, en particulier la dynamique des échanges entre les matières mises en jeu durant les essais et les composantes du milieu naturel (eau, air, organismes vivants...) est nécessaire pour comprendre l'impact de ces essais sur l'environnement.

Le processus de transfert des radionucléides fait intervenir des mécanismes variés tels que l'advection-diffusion dans l'atmosphère et l'océan, l'adsorption-désorption des sols, des sédiments et des matières en suspension, l'accumulation-élimination dans les organismes, etc.

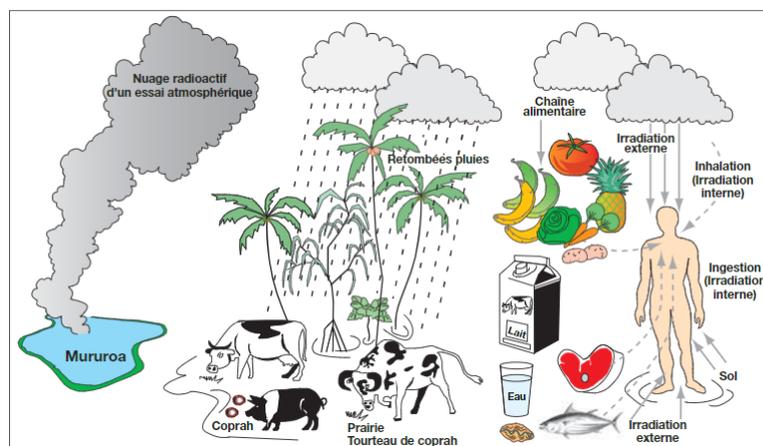


Figure 31 : voies de transfert simplifiées des radionucléides dans l'environnement, depuis leur libération lors d'une explosion nucléaire jusqu'aux produits des chaînes alimentaires conduisant à l'Homme [17].

Lors des essais atmosphériques, la dispersion des radionucléides dans l'atmosphère s'est réalisée sous l'influence des alizés. Le transport des radionucléides le long des trajectoires troposphériques peut être défini comme suit :

- Sous l'influence des vents, le nuage principal suit des trajectoires vers l'ouest à basse altitude et vers l'est à plus haute altitude.
- Les nuages secondaires se détachent rapidement du nuage principal et se dispersent vers le nord parmi les différents noyaux anticycloniques. Leurs trajectoires entraînent des retours vers l'ouest de masses d'air contaminées, qui facilitent le passage de radionucléides de l'hémisphère sud vers l'hémisphère nord, à condition que des conditions météorologiques favorables à ces transferts existent dans la partie nord de la région Équateur (dépression, mousson).

Les essais en altitude ont entraîné une réduction spectaculaire de la proportion des particules les plus lourdes lors de l'explosion et a limité les particules injectées dans la stratosphère à des particules extrêmement fines. Ainsi, le passage aux essais en ballon a limité les intérêts locaux et régionaux de la Polynésie.

Dans le cas des essais souterrains, les éventuels rejets atmosphériques à la surface des platiers récifaux ou des eaux lagunaires lors des opérations post-forage concernent les couches les plus basses de la troposphère et leur propagation dépend essentiellement des conditions météorologiques locales à la surface, notamment de l'influence des vents, des courants et des marées.

2) Retombées radioactives :

En général, les débris radioactifs des essais nucléaires atmosphériques sont répartis entre le sol et/ou la surface de l'eau des sites d'essais et les compartiments troposphérique et stratosphérique, en fonction du type d'essai, de l'altitude et de l'emplacement, et de l'énergie libérée lors des explosions.

Dans les essais menés à basse altitude et au sol, les retombées localisées peuvent représenter plus de 50 % des retombées générées (une proportion moindre pour les essais français). Elles sont constituées de matières radioactives particulières déposées dans un rayon d'environ 100 kilomètres autour du site d'essai.

- Les retombées troposphériques consistent en des aérosols de plus petit diamètre avec un temps de séjour moyen de 30 jours avant de se déposer. Du point de vue de l'exposition, les principales retombées troposphériques concernent des radionucléides dont la demi-vie varie de quelques jours à deux mois, comme l'¹³¹I (iode), le ¹⁴⁰Ba (barium) et le ⁸⁵Sr (strontium).
- Les retombées stratosphériques, qui formaient une grande partie des retombées totales, sont à l'origine de la majeure partie des résidus mondiaux en ²³⁸Pu (plutonium), ²³⁹Pu et ²⁴⁰Pu ainsi que des produits de fission de longue période, comme le ¹³⁷Cs (césium) et le ⁹⁰Sr. Les remontées stratosphériques ont affecté la planète entière. Environ un quart des retombées associées aux essais nucléaires atmosphériques s'est déposé dans l'hémisphère opposé à celui où les essais ont eu lieu. Les niveaux de retombées les plus élevés ont été observés aux latitudes moyennes de chaque hémisphère.

3) Transfert aux organismes vivants (végétaux terrestres, animaux terrestre, marin)

Le transfert des radionucléides dans les organismes vivants peut se faire par l'intermédiaire de différents vecteurs : l'air et les aérosols, l'eau, les sols et sédiments, ainsi que par leur nourriture. Il existe deux modes de transfert des radionucléides dans les organismes vivants : l'adsorption et l'absorption.

L'adsorption concerne la partie externe de l'organisme (surface des feuilles, des coquilles, etc.). A l'inverse, l'absorption correspond au passage des radionucléides à travers les membranes biologiques. Leurs voies de pénétration dans les organismes sont pulmonaires, branchiales, tégumentaires (absorption directe à partir de l'eau) et digestives (absorption suite à l'ingestion de nourriture contenant des radionucléides). Les radionucléides sont ensuite véhiculés, par la sève chez les végétaux et par le sang chez les animaux, entre les différents organes. Ils peuvent donc se concentrer dans des organes ou tissus cibles (fruit, graine, muscle, glande digestive, squelette, etc.) de façon variable suivant leur forme physico-chimique et en fonction du métabolisme de l'organisme [16].

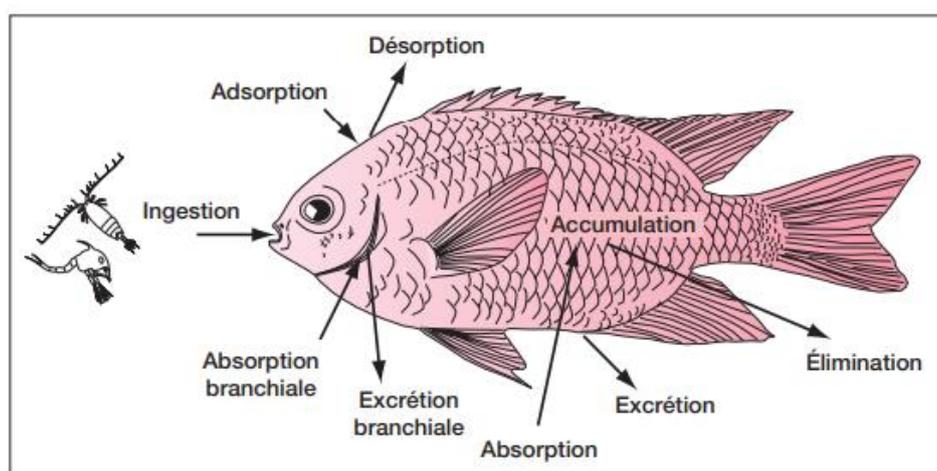


Figure 32 : principaux mécanismes conduisant à la contamination des organismes marins par des radionucléides d'origines naturelle et artificielle. [14].

Végétaux terrestres :

Les radionucléides peuvent pénétrer dans les plantes directement par les feuilles ou indirectement par les racines déposées au sol. Les radionucléides captés par les cuticules des feuilles ou des racines sont alors soumis à des mécanismes de translocation au sein de la plante qui les redistribue vers des organes initialement sans activité.

Les radionucléides initialement déposés peuvent ensuite subir divers processus qui favorisent leur élimination, tels que le lessivage des sédiments par la pluie ou l'arrosage, l'élimination des particules radioactives par le vent, la défoliation. Toutes ces pertes et la décroissance physique des radionucléides conduisent à définir des durées de conservation spécifiques pour divers radionucléides et végétaux.

Le transfert des radionucléides aux végétaux peut également se faire par voie racinaire. L'intensité de ces transferts racinaires dépendait du radionucléide, de l'espèce végétale et du type de sol (granulométrie, structure, composition organique, teneurs en éléments stables, pH et amendements agricoles pratiqués). Le principal facteur régissant la biodisponibilité des radionucléides est leur solubilité dans la phase liquide des sols.

Animaux d'élevage :

Le transfert des radionucléides (présents dans les végétaux) aux espèces herbivores, se fait par ingestion. Après l'absorption les radionucléides peuvent être soit véhiculés par le sang dans l'ensemble de l'organisme où ils seront éliminés ou alors se fixer et s'accumuler dans certains organes. Par exemple : les isotopes de l'iode vont se fixer dans la thyroïde, ceux du césium dans les muscles et ceux du plutonium dans le foie. On peut également les retrouver dans les productions animales, comme l'iode dans le lait ou encore le chlore dans les œufs.

Organismes marins :

Une fois que les radionucléides se sont déposés à la surface des océans, ils vont s'homogénéiser dans les masses d'eau et ainsi entrer en contact avec les organismes marins. Il existe 2 moyens de transferts des radionucléides aux organismes vivants :

- Directement, par absorption des radionucléides dans l'eau à travers les téguments et l'épithélium (revêtements externes du corps),
- Indirectement, par ingestion de nourriture où sont contenus les radionucléides.

Pour conclure, sur les conséquences sur l'environnement, les essais atmosphériques ont été les premiers essais nucléaires réalisés sur les atolls de Mururoa et Fangataufa. Les essais atmosphériques ont ensuite laissé place aux essais souterrains dans le but de réduire l'impact sur les populations et sur l'environnement. D'après la DIRCEN, les fonds marins des atolls permettaient de réaliser les essais en toute sécurité. Cependant, malgré la maîtrise technique décrite, des milliers de radionucléides différents ont été transférés dans l'environnement et des effets significatifs ont été observés sur la faune et la flore terrestre et marine des atolls.

III. Déchets générés par les essais

Après la décision de l'arrêt définitif des essais nucléaires en 1996, plusieurs projets de reconversion des sites ont été étudiés. Il s'agissait notamment de préserver l'emploi du personnel local et valoriser les installations techniques et les équipements. Les projets proposés étant jugés non viables économiquement, il a été décidé de démanteler l'ensemble des installations du Centre d'Expérimentation du Pacifique (CEP). Les installations ont été démontées et les sites ont fait l'objet d'opérations d'assainissement en raison du risque d'exposition radiologique. L'objectif était de remettre l'environnement dans un état aussi proche que celui d'origine.

Nous verrons dans cette partie les principales méthodes de gestion des déchets et les modes opératoires mis en œuvre, puis nous aborderons l'évolution de la réglementation durant les essais et post-essais. Enfin, nous proposerons une note sur la gestion des déchets radioactifs que nous aurions diffusée, en accord avec la réglementation actuelle.

1) La gestion des déchets radioactifs

Les déchets radioactifs générés sont principalement issus des :

- Mélanges de produits radioactifs et des expériences de sécurité,
- Opérations de décontamination des différents sites ayant accueillis les essais (démantèlement des infrastructures et décontamination des sols).

Les étapes depuis la collecte des déchets radioactifs jusqu'à leur évacuation ont été identifiées ci-dessous :



a. Récupération et conditionnement des déchets radioactifs

L'arrêt des activités sur les sites de Mururoa et Fangataufa a conduit au repli des installations et matériels présents. De ce fait, il était nécessaire de démanteler les installations susceptibles de se dégrader dans l'environnement humide et salin des atolls, mais également de limiter la dispersion des particules radioactives dans l'environnement.

Le conditionnement des déchets radioactifs s'effectue principalement dans du béton. En effet, les qualités d'isolation, de stabilité chimique et de durabilité sont idéales pour limiter la dispersion des particules radioactives, notamment les particules alpha, dans l'environnement et ainsi limiter le risque de contamination :

- **Isolation** : Le béton est un matériau très dense qui offre une barrière physique solide pour isoler les déchets radioactifs de l'environnement et absorbe une partie des rayonnements ionisants.
- **Stabilité chimique** : Le béton est chimiquement stable et résistant aux réactions chimiques. Il protège donc les déchets radioactifs des éléments environnants, tels que l'eau souterraine, qui pourraient potentiellement provoquer des réactions chimiques indésirables.
- **Durabilité** : Le béton est un matériau robuste et durable qui peut résister aux conditions environnementales difficiles sur une longue période. Il assure donc une protection à long terme des déchets radioactifs.

Trois types de conditionnement des déchets radioactifs issus du démantèlement des installations ont été mis en œuvre, en tenant compte de leur activité radiologique sont décrit ci-dessous :

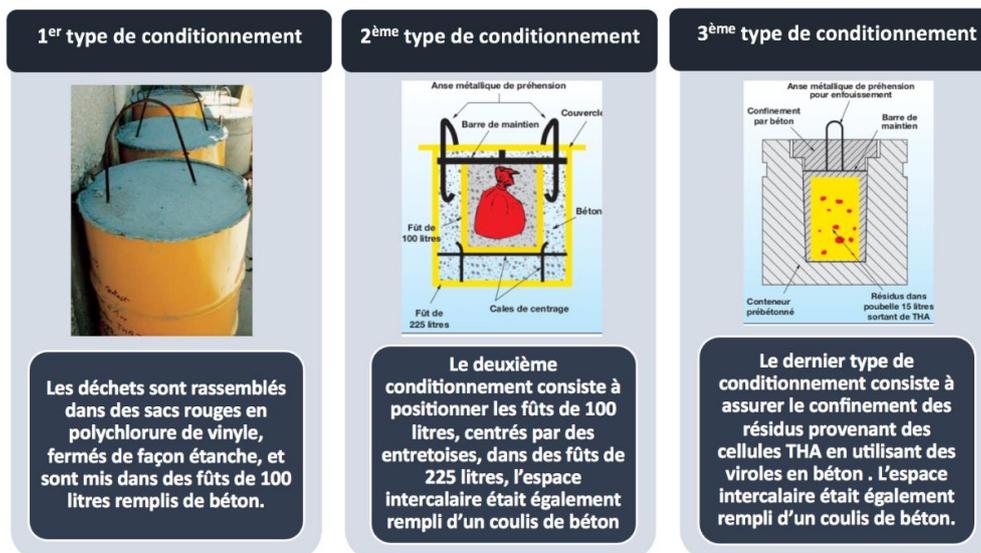


Figure 33 : Présentation des 3 types de conditionnement.

Par ailleurs, les opérations de remédiation des sols des atolls et des plages étaient effectuées lorsqu'elles s'avéraient justifiées par des risques d'expositions radiologiques. Ainsi, six grandes opérations d'assainissement ont été menées, dont cinq sur l'atoll de Mururoa.

Ces opérations de "nettoyage" des sols s'effectuaient de manières différentes en fonction de la nature des sols. Une de ces techniques consiste à gratter les zones contaminées au bulldozer sur une vingtaine de centimètres d'épaisseur, puis de regrouper les déblais sous forme de talus avant de recouvrir le tout de béton. Une autre technique utilisée sur les terrains d'aviation consiste à repousser vers l'extérieur de la piste, les sables et graviers par balayage et lavage sous pression. Ils sont ensuite recouverts par épandage d'une émulsion de bitume.

De ce fait, une partie des atolls a été bétonnée afin de confiner les particules radioactives.



Figure 34 : Photos des plages [22] et [23].

b. Stockage des déchets radioactifs

Après séchage, les fûts bétonnés étaient entreposés sur une aire de stockage bétonnée en plein air.



Figure 35 : Photo illustrant une aire de stockage des fûts de déchets en attente d'enfouissement, après mesure [14].

Les autres déchets n'ayant pas été conditionnés ont été entreposés en vrac dans des bennes fermées.

c. Identification et quantification des déchets radioactifs

Une fois conditionnés, les déchets ont été transférés vers une station de mesure par spectrométrie gamma, afin d'identifier et de quantifier les radionucléides présents dans les déchets, via l'énergie des rayonnements émis.

Le conteneur est déposé à l'aide d'une pince sur un chariot se déplaçant sur un rail et équipé d'un plateau tournant pouvant recevoir les fûts de 100, 225 litres ou les viroles de béton. Le chariot est transféré mécaniquement, plaçant le conteneur à mesurer en face du détecteur. Le fût effectue une rotation qui permet au détecteur de tenir compte de la position des déchets à l'intérieur du conteneur. Le conteneur est ensuite pesé.



Figure 36 : Photo de la mesure d'un fût de 100L [14].

Le logiciel de mesure utilisé prend en compte les formes géométriques des conteneurs (fûts de 100 et 225 litres, viroles de béton, sacs de vinyle de 60, 100 et 200 litres...) ainsi que les matériaux de remplissage (béton, sac de corail sec, sable de corail humide, sable de corindon, vinyle).

Une fois la mesure effectuée, les fûts étaient disposés sur une aire de stockage en attendant d'être immergés ou enfouis dans un des puits.

d. Élimination des déchets radioactifs

Durant les expérimentations, les déchets produits et ceux issus du démantèlement des installations associées ont été immergés dans les eaux territoriales françaises jusqu'en 1982 (une opération d'immersion exceptionnelle a été effectuée en 1986), puis enfouis sur place dans des puits dédiés.

Au total, 3 200 tonnes de déchets radioactifs, d'une activité (faible) totale inférieure à 0,1 TBq, ont ainsi été immergées dans les eaux territoriales françaises en Polynésie, conformément à la Convention de Londres, ratifiée par la France en 1977. Cette solution était considérée à l'époque comme sûre par la communauté scientifique car la dilution et la durée d'isolement apportées par le milieu marin étaient suffisantes.

Trois zones maritimes ont été désignées pour l'immersion des déchets : Novembre, Oscar et Hôtel.

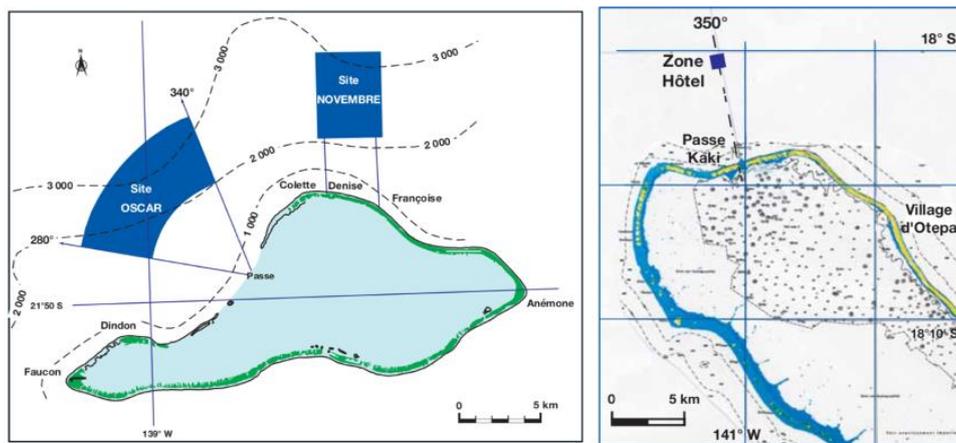


Figure 37 : Image représentant les emplacements des sites d'immersion [14].

Le tableau ci-dessous regroupe les informations concernant l'enfouissement des déchets sur les trois sites :

	Sites		
	NOVEMBRE	OSCAR	HOTEL
QUAND ? Dates d'immersions	1972 - 1975	1974 - 1986	1967 - 1975
OÙ ? -Surface du site (km ²) -Profondeur des fonds océaniques (m)	S: 20 km ² 2000 m	S: 60 km ² 2000 m – 3200 m	S: 1 km ² 2 500 m
QUOI ? Types de déchets immergés	Eléments de tours et de gros débris métalliques provenant des essais de sécurité pratiqués	Déchets provenaient des opérations d'assainissement et matériels, engins lourds, cabines...	Fusées et avions utilisés pour les prélèvements d'échantillons dans les nuages durant les essais et autres matériels, engins lourds, cabines...
COMBIEN ? Quantité de déchets immergés (tonnes)	76 t	2 580 t	532 t
COMMENT ? Moyens utilisés pour l'immersion	Hélicoptère	Bateau ou barge	Bateau ou barges

À partir des années 80, la DIRCEN qui s'appuyait sur les recommandations de l'AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique), n'autorisait plus les immersions des déchets radioactifs en mer adoptant les dispositions plus contraignantes de la Convention de Londres.

Par la suite, deux puits, PS1 et PS3, ont été forés spécifiquement pour l'enfouissement des déchets contenant des radionucléides émetteurs alpha. Ces deux puits distants d'une centaine de mètres ont été forés dans le secteur Nord de l'atoll de Mururoa. Les diamètres des puits sont supérieurs à ceux des puits d'essais afin d'augmenter leur capacité de stockage : un diamètre de 2 mètres pour PS1 et d'1,8 mètre pour PS3 pour une profondeur moyennant les 1 200 mètres. En complément, les parties supérieures de 25 puits forés pour réaliser des essais sous la couronne terrestre ont été utilisées pour enfouir des déchets très faiblement radioactifs.

- Les colis contenant les déchets conditionnés en fûts et véroles étaient descendus à l'aide d'un câble au fond des puits. La profondeur était connue en permanence grâce à une poulie compteuse. Lorsque le colis atteignait le fond du puits, le câble était remis en tension et le fût libéré à l'aide d'un largueur acoustique.
- Les agrégats radioactifs ont été transportés de la zone d'entreposage aux puits, par bennes fermées, accompagnées par un véhiculé de radioprotection. À la sortie de la zone contrôlée, l'extérieur de la benne et du véhicule faisaient l'objet d'un contrôle radiologique. Le déversement des agrégats était effectué en vrac dans le puits, dont la tête était équipée d'une trémie. Pendant le déversement, un arrosage en pluie limitait la mise en suspension de particules.

Des bouchons de ciment de plusieurs mètres d'épaisseur ont été coulés entre les déchets. En fin d'exploitation du CEP⁵, les puits ont été obturés jusqu'en surface à l'aide de bouchons d'agrégats de corail et de ciment afin de contenir les déchets radioactifs et limiter leur dispersion.

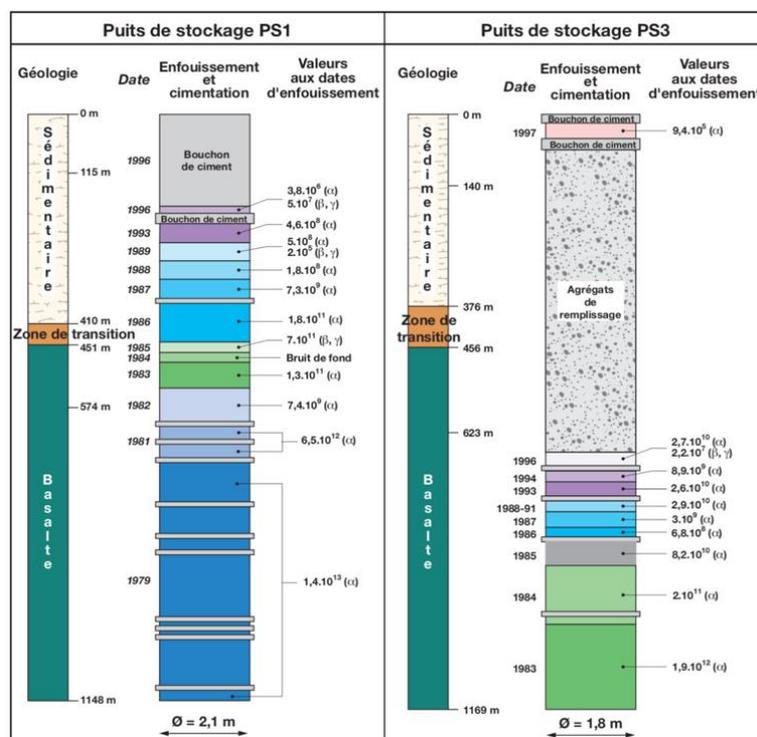


Figure 38 : Coupe verticale schématique des puits, avec les indications d'ordre géologique, les activités enfouies et la position des bouchons de ciment cloisonnant les puits. La quasi-totalité de l'activité est enfouie dans la partie volcanique [14].

Pendant toute la durée des opérations de transport des déchets sur zone et d'enfouissement, un contrôle atmosphérique était réalisé sous le vent de la tête de puits à l'aide d'un appareil de prélèvement d'air d'un débit de $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

- **Équipements de protection contre les risques de contamination**

Le personnel était équipé de combinaisons anti-poussières et de masques. D'après le retour d'expérience, la nature des particules et leurs caractéristiques physico-chimiques n'entraînaient apparemment pas de risque d'inhalation, ou d'ingestion directe, de plutonium. Le port de protections n'étant pas justifié, ces contrôles ont rapidement été effectués en tenue de travail normale, une paire de gants étant suffisante pour se protéger lors des opérations de collecte des déchets.

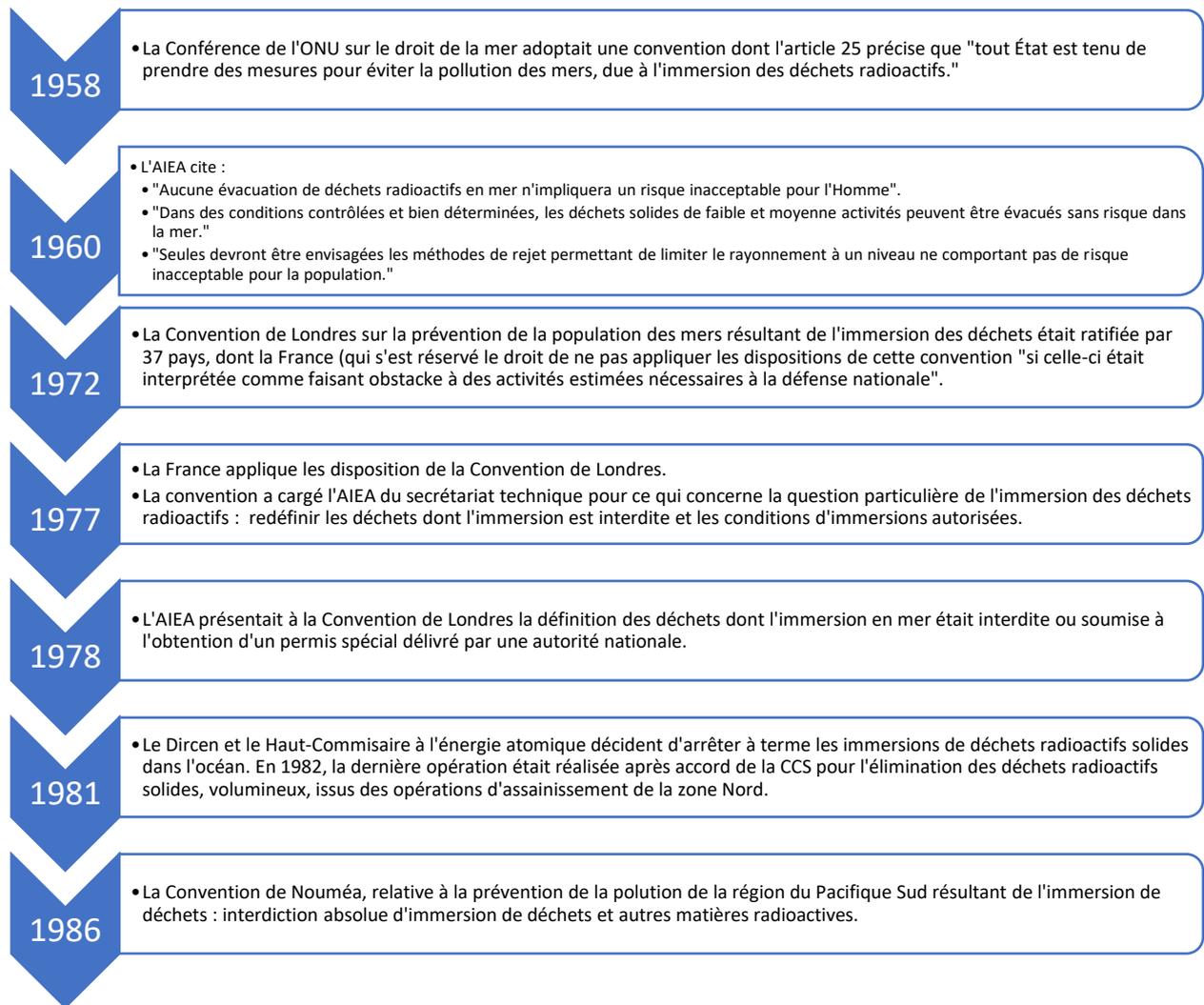
2) Réglementation actuelle et proposition de méthodes

La gestion des déchets radioactifs a évolué en parallèle des avancées technologiques, notamment lorsque les autorités se sont intéressées aux conséquences de essais sur l'environnement. Dans le cas des essais nucléaires réalisés en Polynésie, la France a d'abord procédé à l'immersion des déchets dans les eaux territoriales, avant de les enfouir dans des puits forés. Néanmoins, la France ne s'est pas directement pliée aux prescriptions réglementaires dictées par les différentes autorités et s'est réservé le droit de ne pas les appliquer sous certaines conditions.

a. Évolution de la réglementation

Afin d'établir l'évolution de la réglementation, nous nous sommes appuyés sur les informations citées dans la rubrique "Démantèlement et gestion des déchets radioactifs" du site du Ministère de la transition écologique et de la cohésion des Territoires.

Les principales réglementations internationales et françaises, ainsi que les dispositions prises par la DIRCEN concernant l'immersion des déchets radioactifs solides, sont présentées dans la frise chronologique ci-dessous :



Une vingtaine d'années plus tard est créée la Directive Européenne 2011/70/EURATOM du 19 juillet 2011, qui établit un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs. Cette directive fixe, d'une part, des exigences en matière de sûreté et demande, d'autre part, la mise en place par chaque État membre d'une politique publique de gestion de ses déchets.

La Directive européenne 2011/70/EURATOM transposée dans le Code de l'environnement donne naissance à la loi n°2006-739 du 28 juin 2006, relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. On retrouve donc dans l'article L. 542-1 du Code de l'environnement, les principes majeurs suivants concernant la problématique des déchets radioactifs [24] :

- Leur gestion doit être assurée dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement ;
- La recherche et la mise en œuvre de solutions pour leur gestion ne doivent pas être différées, afin de prévenir et de limiter les charges qui seront supportées par les générations futures ;
- La responsabilité de la gestion des déchets radioactifs incombe en premier lieu à leurs producteurs ;
- La réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs, notamment par le traitement des combustibles usés et le conditionnement des déchets radioactifs ;

- L'entreposage dans des installations spécialement aménagées des matières radioactives en attente de traitement et des déchets radioactifs ultimes en attente d'un stockage ;
- Après l'entreposage, le stockage en couche géologique profonde comme solution pérenne pour les déchets radioactifs ultimes ne pouvant être stockés en surface ou en faible profondeur, pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection.
- Il impose également l'adoption tous les trois ans d'un Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR).

b. Le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR)

Selon les prescriptions de la Directive, chaque État membre doit élaborer et mettre en œuvre un « programme national » de gestion du combustible usé et des déchets radioactifs. Ce programme, le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs en France doit porter sur l'ensemble des déchets, depuis leur production jusqu'à leur gestion à long terme et être périodiquement révisé et notifié à la Commission européenne.

Le PNGMDR dresse le bilan des modes de gestion existants des matières et des déchets radioactifs, recense les besoins prévisibles d'installations d'entreposage ou de stockage, et précise les capacités nécessaires pour ces installations et les durées d'entreposage. Au-delà de cette continuité thématique, un volet du plan est dédié aux enjeux transversaux s'agissant de la gestion des substances radioactives, qu'ils soient sanitaires, environnementaux, économiques, éthiques ou relatifs aux transports et aux territoires.

Concernant les déchets radioactifs qui ne disposent pas d'un mode de gestion définitif, le PNGMDR détermine les objectifs à atteindre.

Le PNGMDR fait l'objet d'une évaluation environnementale stratégique, d'un avis de l'autorité environnementale et d'une consultation du public. Il a enfin fait l'objet d'un avis de l'Autorité de sûreté nucléaire. Enfin, il est transmis au Parlement suite à sa publication.

c. Proposition de méthode de gestion des déchets radioactifs

A l'aide de la réglementation actuelle sur la gestion des déchets radioactifs, nous avons rédigé une note que nous aurions diffusé à l'ensemble des personnes travaillant sur le lieu de stockage des déchets tout en respectant les contraintes de la réglementation actuelle.

Cette note reprend les différents types de déchets, les zones ainsi que le protocole à suivre en cas de manipulation des déchets radioactifs.

Nous expliquons également comment s'effectue le transfert de ces déchets jusqu'en France pour leur enfouissement en lieu sûr, afin d'éviter la pollution des sols des atolls en cas d'accident (Annexe 2).

Conclusion :

Pour conclure sur cette partie nous pouvons dire que les essais nucléaires ont eu un véritable impact négatif sur les atolls. Les essais souterrains ont généré des cavités qui ont détruit les habitats naturels. Quant aux essais atmosphériques, ils ont engendré des retombées de radionucléides qui ont été transférés dans les différents organismes vivants : végétaux et animaux. Les essais ont eu également un impact sur la chaîne alimentaire qui a été contaminée, jusqu'à atteindre l'organisme humain. D'autant plus qu'un nombre considérable de déchets radioactifs ont été produits durant les essais. Ces déchets ont suivi un processus de conditionnement et de stockage conformément à la Convention de Londres, n'excluant pas le risque de contamination de l'eau et des organismes tenant compte de nos connaissances actuelles. En effet, en cas de phénomènes naturels (montées des eaux, séismes, activité cyclonique...), la libération dans l'environnement des particules radioactives est plausible et pourrait engendrer une pollution supplémentaire.

AXE 3 : L'acceptabilité

Cet axe concerne l'acceptation de la réalisation des essais à plusieurs niveaux : l'aspect psychologique et humain en fonction du statut de chaque personne (militaire, civil, etc.) mais aussi en fonction de l'histoire avec la reconnaissance de l'État et les démarches qui existent actuellement.

Notre apport personnel constitue la première partie de cet axe. Celle-ci a été construite principalement avec l'aide d'une association qui nous a aidé à recueillir des données que nous avons minutieusement analysées. Ainsi, nous vous présenterons dans un premier temps trois associations que nous avons sollicitées. Nous insisterons plus spécifiquement sur l'Association des Vétérans des Essais Nucléaires (AVEN) qui nous a accompagné tout au long du projet et nous a fait participer à chaque événement important de l'association. Dans un second temps, nous avons pu réaliser et diffuser un questionnaire grâce à cette association, nous avons obtenu 40 réponses nous permettant par la suite d'effectuer quelques analyses. Enfin, nous parlerons de l'acceptabilité du point de vue des autochtones.

Pour finir, la seconde partie abordera la position de l'État Français en fonction du temps (avant, pendant et après les essais) et les actions existantes pour accompagner les personnes qui peuvent être victime de maladies liées à la réalisation des essais nucléaires.

I. Les essais

1) Les associations

Pour comprendre quel était le degré d'acceptabilité de la réalisation des essais, il nous semblait important de pouvoir avoir un retour d'expérience des personnes ayant vécu ou participé aux essais. Pour cela, nous avons recherché un premier point de contact en recherchant des associations souhaitant échanger avec nous. L'objectif était d'avoir un interlocuteur nous permettant de transmettre un questionnaire à destination de leurs adhérents et qu'il nous soit retourné complété.

Plusieurs associations existent et représentent différents types de population touchée par l'impact des essais nucléaires et leurs intérêts.

a. L'association 193

La première association que nous avons contactée est l'association 193 qui représente les intérêts généraux. L'association a été créée le 27 février 2014 avec pour ambition de :



Figure 39 : Logo de l'association 193 [25].

- Préserver la mémoire historique des 193 essais nucléaires réalisés en Polynésie française,
- Sensibiliser les autorités compétentes avec comme objectif d'inclure dans le programme scolaire les essais nucléaires pour sensibiliser les futures générations,
- Encourager et soutenir les actions et manifestations relatives à la thématique du nucléaire et ses conséquences,

- Mener des actions auprès des autorités pour obtenir une reconnaissance de la France et une réparation,
- Apporter une attention aux populations situées à proximité des sites des essais.

Nous n'avons malheureusement pas eu de retour de cette association, les informations que nous avons sur l'association viennent de la source [25].

b. Mururoa e tatou



Figure 40 : Logo de l'association Mururoa E Tatou [26].

La seconde association a été fondée en juillet 2001. Son nom, Mururoa e Tatou, signifie en polynésien « Mururoa et nous ». L'association est une organisation non gouvernementale anti-nucléaire en Polynésie française. L'association défend les anciens travailleurs des sites d'essais nucléaires français de Mururoa et de Fangataufa où des essais nucléaires ont été réalisés et elle défend leur indemnisation. En effet, elle a plaidé pour une indemnisation des vétérans des sites où ont eu lieu des essais et a exigé que le gouvernement français reconnaisse le lien entre les essais et les différents problèmes de santé rencontrés. Pour continuer, elle a soutenu des actions en justice demandant une indemnisation et s'est opposée à la loi française sur l'indemnisation nucléaire car elle l'a jugée trop restrictive. Enfin, elle a également plaidé pour une plus grande transparence de la France sur les effets des essais sur les populations et l'environnement notamment en demandant et obtenant la déclassification des documents militaires de l'époque [26].

d. L'Association des Vétérans des Essais Nucléaires (AVEN)

La dernière association que nous avons contacté, a été créée en juin 2001, avec comme premier Président Monsieur Valatx, ancien médecin militaire, chercheur de l'institut national de la santé et de la recherche médical (INSERN). Cette association représente les intérêts des militaires ayant séjourné en Polynésie lors des essais mais aussi leurs ayants-droits en cas de décès.



Figure 41 : Logo de l'association AVEN [27].

Nous allons vous présenter quelques actions menées par cette association [27].

De 2001 à 2008

- L'association œuvre principalement dans le but de se **créer un réseau** notamment **de personnes politiques, d'avocats et de toutes personnes pouvant les aider à obtenir la reconnaissance et l'indemnisation des vétérans** et de toutes personnes ayant des répercussions sur sa santé à la suite des essais par le biais de la proposition d'une loi. **En 6 ans**, de part leur relation avec différentes personnalités, **18 propositions de loi verrons le jour**. La dernière loi date d'octobre 2008 sur l'opposition et la majorité. Cette proposition fera réagir le gouvernement qui, par le biais du ministre de la Défense, Hervé Morin, qui annonce dans une conférence de presse que l'Etat va présenter un projet de loi en vue de la reconnaissance et l'indemnisation des victimes des essais nucléaires.

2010

- La **loi annoncé par le ministre de la Défense** voit le jour sous le nom de loi n° 2010-2 du 5 janvier 2010, dites **Loi Morin** ou encore loi relative à la **reconnaissance et l'indemnisation des victimes des essais nucléaires**. Cette loi rentrera en vigueur avec le décret d'application n° 2010-653 du 11 juin 2010. La loi Morin a créé le CIVEN (Comité d'indemnisation des victimes des essais nucléaires) dont nous parlerons davantage dans la seconde partie.
- C'est cette même année que l'Aven réalisera, au nom des vétérans et des familles qu'elle représente, **son premier ravivage de la flamme du soldat inconnu, symbole de l'ensemble des soldats et vétérans mort pour la France**.

2011

- Une **première victime est indemnisée** avec la loi Morin après avoir déposé son dossier.
- L'AVEN continue ses missions et obtient en 2011, avec le concours des autres associations, la modification des zones de retombées en Polynésie et l'ajout de 3 maladies à la liste de la loi Morin que nous aborderons également dans la deuxième partie de cet axe.

2013

- Par le biais d'un réseau d'avocat, l'AVEN accompagne ses adhérents, dans la constitution de leur dossier, leur défense lors du passage en commission et dépose des recours lorsque l'indemnisation est refusée. En 2013, plus de **300 recours sont déjà déposés**.

2018

- A coté de ces combats administratifs, **l'AVEN continue ses autres missions dont le devoir de mémoire, en s'affiliant à l'Union Nationale des Anciens Combattants (UNC)**.
- Cette représentation s'étend au niveau internationale, puisque l'AVEN participe à plusieurs colloques internationaux, dont Bristol en mai 2018, avec les vétérans de divers Pays (Français, Américains et Anglais) mais également des représentants des populations australienne, des îles Marshall et des îles Fidji.

2020

- Monsieur Jean-Louis Camuzat devient président de l'association. Membre depuis la création de l'association, il souhaite **étendre le devoir de mémoire aux jeunes**, tout en continuant le travail d'indemnisation et de reconnaissances des vétérans et de leurs familles.

Grâce à cette intention d'étendre les actions de l'association sur le devoir de mémoire, nous avons pu rencontrer M. Camuzat sur le site de la CCI du Cher en 2022. Pendant cette rencontre, nous avons abordé différentes thématiques concernant notre projet mais aussi les actions de l'association ainsi que son retour d'expérience personnel concernant les essais. A l'issue de cette réunion, nous avons pu lui partager notre questionnaire à l'intention des adhérents de l'association pour pouvoir avoir d'autres retours d'expérience et en tirer par la suite des statistiques. Le questionnaire a été publié sur leur site internet mais également dans leur journal officiel.



Figure 42 : Photo de la réunion avec le président de l'association AVEN, Monsieur Camuzat.

Pour continuer, nous avons pu assister à une assemblée générale d'un comité départemental de l'association et par la même occasion remettre de nouveaux questionnaires aux vétérans présents et échanger avec eux.

Enfin, nous avons été conviés à assister au ravivage de la flamme du soldat inconnu, le dimanche 2 juillet 2023 aux côtés des membres de l'association notamment le président M. Camuzat ainsi que la trésorière de l'association, Mme Grellier mais aussi de vétérans adhérents de l'AVEN.

Cette cérémonie nous a permis de participer à un évènement solennel, pour saluer la mémoire des soldats ayant perdu la vie au service de la France ainsi qu'aux vétérans atteints ou non de divers problèmes de santé à la suite de leurs services.

Ce moment a été ressenti comme une chance par l'ensemble des membres de notre groupe. En effet, pouvoir participer à cette cérémonie emblématique sous l'arc de triomphe dans le cadre de notre projet d'études et de recherches a été un honneur pour nous. Au cours de cet évènement, nous avons :

- Défilé avec l'ensemble des vétérans et porte-drapeaux,
- Assisté au dépôt de gerbes,
- Assisté au ravivage de la flamme. Une personne du groupe a pu tenir le glaive avec M. Camuzat lors du ravivage.

Cette cérémonie nous a fait ressentir une vive émotion et restera gravée dans nos mémoires. Voici quelques photos pour illustrer le moment. L'AVEN souhaiterait voir le 2 juillet comme la « Journée Nationale des Vétérans des Essais Nucléaire ». Ce jour n'étant pas choisi au hasard, il correspond à la première bombe lâchée en Polynésie, Aldébaran.



Figure 43 : Photo lors de la cérémonie du ravivage de la flamme du soldat inconnu à Paris

Nous remercions l'AVEN et plus particulièrement M. Camuzat pour nous avoir invité à cet évènement.

Cette rencontre nous a également permis de rencontrer une étudiante Néerlandaise qui travaille sur le devoir de mémoire dans différents pays.

Pour conclure sur cette première sous-partie, plusieurs associations existent et défendent différents intérêts. L'association 193 et Mururoa e tatou sont donc assez proche dans leurs actions et leurs idées, et travaillent en étroite collaboration. Ces deux dernières travaillent également avec l'AVEN afin d'obtenir gain de cause et défendre aux mieux les victimes des essais. Malgré leurs quelques différences, les associations restent solidaires dans leur combat. Grâce aux questionnaires transmis à l'AVEN, des statistiques ont pu être établies sur différents sujets et seront présentés dans la prochaine sous-partie.

2) Déroulement des essais selon les Militaires

Comme vous avez pu le lire précédemment, nous avons pu transmettre un questionnaire auprès de vétérans ou personnes ayant vécu en Polynésie pendant la réalisation des essais nucléaires. Vous pouvez retrouver celui-ci en Annexe 3. Nous avons obtenu 40 réponses à partir desquelles nous avons réalisé quelques graphiques d'analyse. Il faut savoir que ces statistiques ne sont pas complètement représentatives de l'ensemble de la population présente en Polynésie à l'époque. En effet, comme nous avons travaillé avec l'AVEN pour avoir des réponses aux questionnaires, celles-ci proviennent exclusivement d'adhérents à l'association et donc qui défendent les intérêts des personnes ayant vécu en Polynésie à l'époque des essais. Celles-ci sont donc plus susceptibles d'être malades ou impliquées. La proportion de personnes atteintes de maladies est donc très grande et bien supérieure à la moyenne nationale, elle est cependant également supérieure à la moyenne de la population des vétérans des essais nucléaires. En effet, des vétérans sans aucune atteinte à leur santé seront moins susceptibles d'adhérer à l'AVEN si cela ne les touche pas personnellement.

Pour commencer, nous avons analysé quel était le temps passé en Polynésie par les personnes ayant répondu au questionnaire. Ainsi, les personnes ont principalement passé moins de 12 mois en Polynésie sur 50% ayant répondu à la question. A savoir, le temps de présence en Polynésie moyen est de 18 mois. Cela nous montre que les personnes sur place sont peu souvent des militaires de carrière mais beaucoup de « personnes de passages » présentes pour effectuer leur service militaire obligatoire (mise à part quelques exceptions).

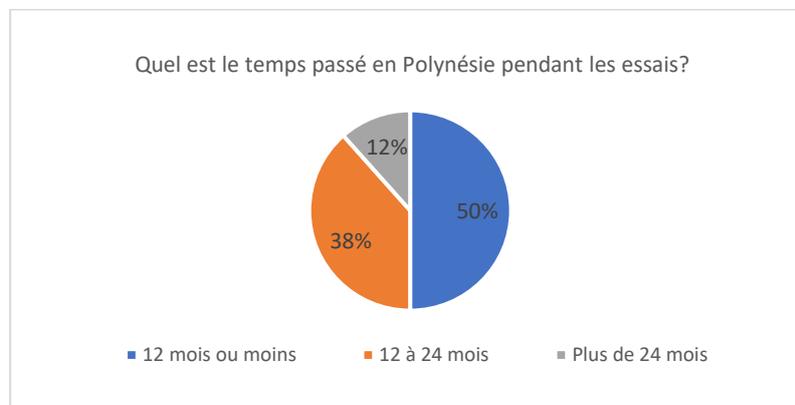


Figure 44 : Graphique permettant de définir quel est le temps des répondants passé en Polynésie.

Durant leur présence en Polynésie, les personnes ayant répondu indiquent avoir vu :

- Pour 58% d'entre eux moins de 10 essais,
- Pour moins de 8% d'entre eux plus de 15 essais.

Le nombre d'essais vu par personne est en moyenne de 9.

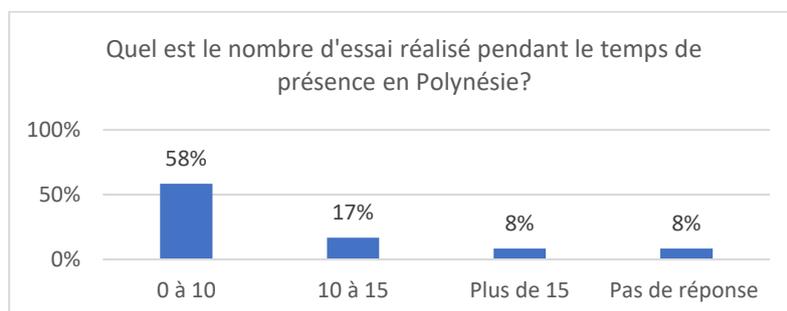


Figure 45 : Graphique permettant d'identifier le nombre d'essai réalisé lors du temps de présence des répondants en Polynésie.

Ces informations sont à mettre en lien avec la première question. En effet, les militaires étaient, pour la majorité, des personnes réalisant leur service militaire. Ainsi, ils sont restés peu de temps sur place et ont assisté à peu d'essais. Seuls les militaires professionnels de carrière, souvent gradés, sont restés sur place pendant des périodes de longue durée et donc ayant participé à de nombreux essais.

Pour continuer, la prochaine question concerne la présence de communication sur les risques encourus lors de la période de réalisation des essais. Ainsi, nous pouvons voir que la majorité de la population sur place n'a reçu aucune communication ou information sur les risques.

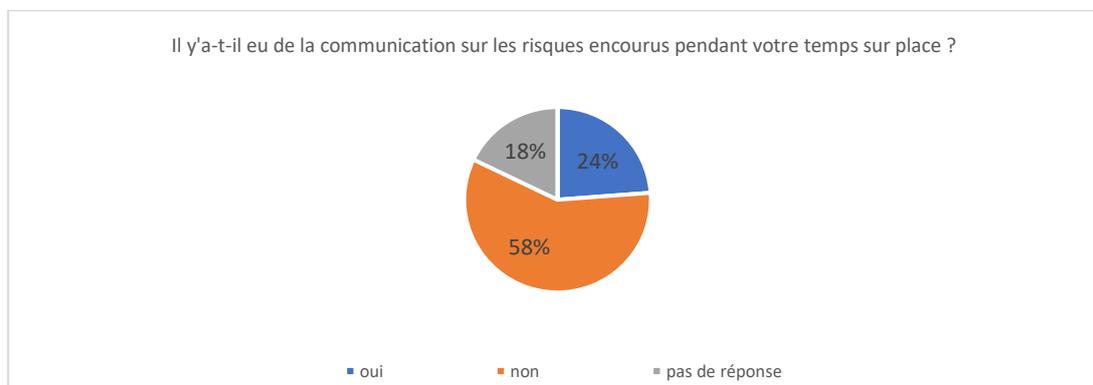


Figure 46 : Graphique sur la communication faite aux répondants.

Nous avons également demandé s'il y'avait eu des consignes pour les personnes qui assistaient aux essais.

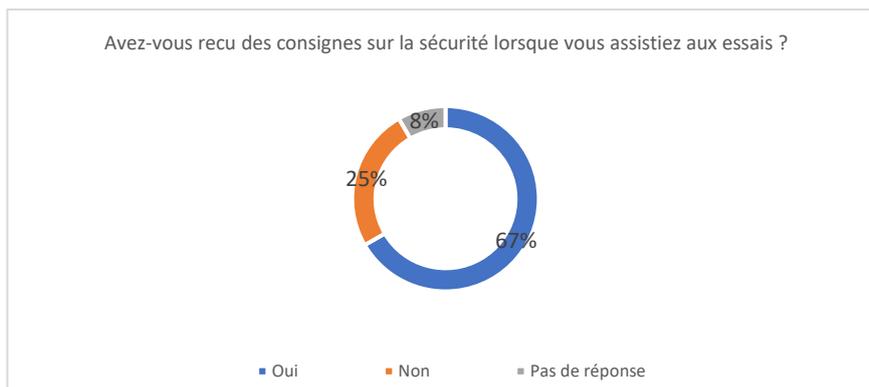


Figure 47 : Graphique sur les consignes faites aux répondants.

Nous pouvons voir que la majorité des réponses sont positives. Les consignes étaient les suivantes :

- Ne pas regarder l'explosion directement avec les yeux/se tourner au moment de l'explosion,
- Au niveau vestimentaire : aucune consigne spécifique. En effet, par exemple les marins avaient leur tenue habituelle : short et chemise sur le pont du bateau pendant les essais.

Seuls 2 de nos répondants indiquent avoir eu un dosimètre.

Nous avons ensuite demandé quelles étaient les consignes liées aux activités sur place en termes d'hygiène, sur la baignade, la pratique de la pêche, la consommation des poissons etc.

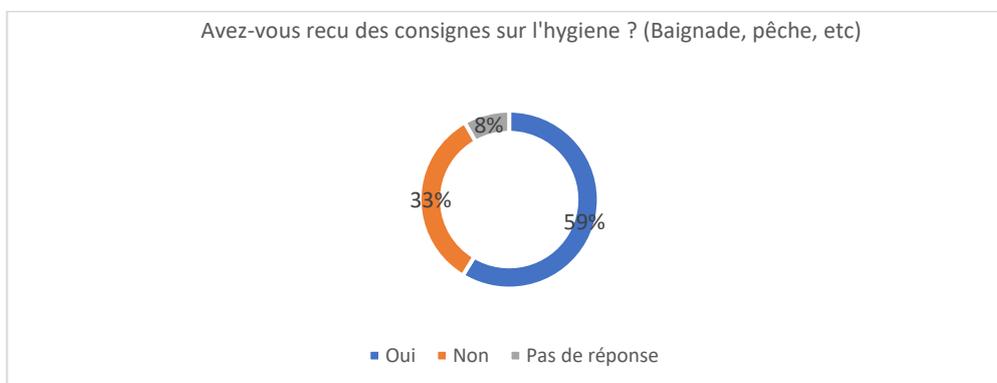


Figure 48 : Graphique sur les consignes d'hygiène reçues par les répondants.

Là encore, la majorité des répondants indiquent avoir eu comme consignes de ne pas consommer les poissons et fruits de mer sur place. En revanche, la baignade dans les zones alentours des essais était autorisée avec l'interdiction de toucher le fond des lagons pour certaines zones uniquement.

La prochaine question concernait les conséquences sur la santé des personnes lors de leur temps en Polynésie.

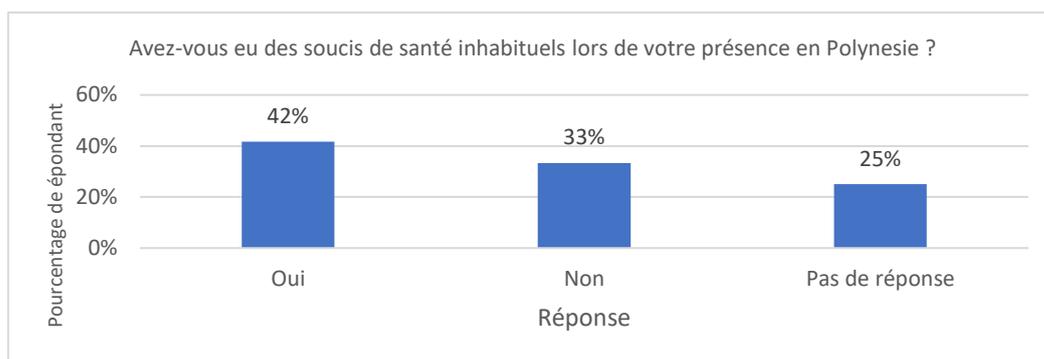


Figure 49 : Graphique sur les problèmes de santé des répondants.

Nous pouvons remarquer que 42% des personnes déclarent avoir eu des plaques rouges, des allergies ou des maux de têtes. Dans de rares cas, notamment sur un poste spécifique, nous avons eu une personne ayant dû passer dans un caisson de décontamination à la suite d'une surexposition. De plus, une personne parmi l'intégralité des répondants nous a indiqué avoir eu des contrôles et tests réguliers notamment un passage tous les 3 mois à l'hôpital, sans jamais avoir eu de résultats des analyses.

Nous avons ensuite observé la proportion de personne ayant eu des problèmes de santé après être revenu en métropole ou sur leurs descendants qui peuvent être atteints de maladie par le biais des cellules de reproduction.

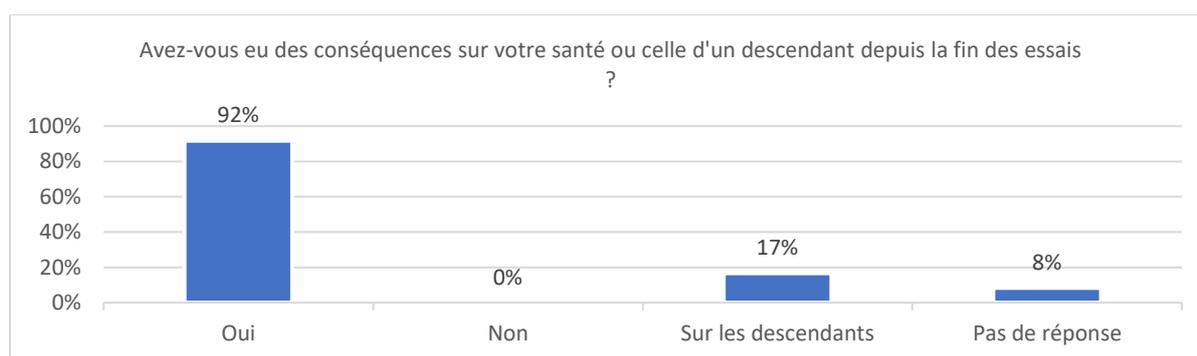


Figure 50 : Graphique sur la santé de la descendance des répondants.

On peut constater que 92 % des répondants déclarent avoir eu des conséquences sur leur santé. La majeure partie des pathologies concernent des cancers reconnus comme maladie radio-induit (colon, vessie, rein, etc.) mais il y a également d'autres maladies non reconnues à ce jour (infarctus, stérilité, maladie de peau et divers types de tumeurs sur plusieurs parties du corps). Nous verrons dans la seconde partie de cet axe que les associations luttent afin que la liste des maladies reconnues soit plus exhaustive et permettre d'indemniser le plus de personnes possibles.

Grâce à ce graphique nous pouvons également voir que 17% des personnes ayant répondu au questionnaire indiquent que leur descendance a des problèmes de santé. En effet, plusieurs enfants sont morts à la naissance ou sont nés avec des retards de croissance, diverses maladies ou alors contractaient pendant l'enfance des diverses maladies ou cancers (leucémies, cancer des testicules, lymphomes, etc). Des études sont actuellement menées au niveau national afin d'étudier le lien de cause à effet entre la présence des personnes en Polynésie pendant les essais et les maladies de leur descendance. Ces études ont pour objectif

de pouvoir indemniser les ayants droits atteints de maladie en cas de reconnaissance de ce lien. Ce point fait partie d'une des causes pour lesquelles lutte l'AVEN notamment.

Pour finir, la dernière question concerne les informations communiquées aux vétérans depuis la fin des essais, l'évolution des connaissances sur les retombées des essais ainsi que leurs conséquences sur la santé.

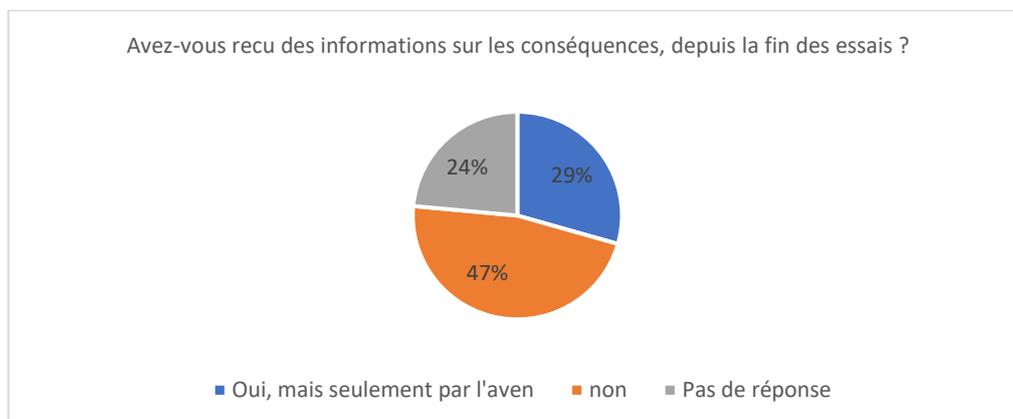


Figure 51 : Graphique sur la communication des conséquences depuis la fin des essais.

Les personnes ayant répondu considèrent qu'aucune communication n'a été faite par l'Etat. Les informations dont ils disposent ont été communiquées grâce à leur adhésion à l'AVEN et ils regrettent que l'Etat ne communique pas davantage sur le sujet.

Enfin, nous avons laissé un espace commentaire dans lequel nous avons pu recueillir différents témoignages concernant notamment les difficultés de constructions de dossiers d'indemnisations. De plus, certains vétérans nous ont indiqué avoir demandé leur dossier médical auprès de la marine. Cependant, ils reçoivent des dossiers vides ou quasiment vides alors qu'ils ont réalisé des tests dosimétriques lorsqu'ils étaient en Polynésie. Certains d'entre eux ne sont simplement pas reconnus comme vétérans car leur dossier n'existe plus. Pour continuer, de nombreux d'entre eux se considèrent comme des victimes et souhaitent l'extension de la liste des maladies radio-induites ainsi qu'une reconnaissance de l'état par le biais d'un statut. Ils sont, dans l'ensemble, satisfaits des nouveaux changements notamment sur les prémices de la reconnaissance de l'Etat français avec son rôle et ses torts (Intervention de Monsieur Emmanuel Macron en Polynésie en juillet 2021). Ils demandent que l'état reconnaisse sa dette, non seulement envers la Polynésie comme cela a été fait, mais aussi envers les militaires et toutes les personnes ayant participés.

Comme nous l'avons vu, plusieurs associations défendent les intérêts des populations dites « victimes » des essais nucléaires de par leurs combats administratifs conjoints depuis des années. Ces associations obtiennent progressivement gain de cause avec notamment la reconnaissance de l'Etat envers les victimes et l'indemnisation des maladies radio-induites qui découlent de l'exposition aux essais.

Pour continuer, les témoignages et réponses au sondage sont assez convergents. Plusieurs personnes militaires appelées en Polynésie lors des essais ont été touchées, ou sont actuellement atteintes de maladies radio-induites ou d'autres maladies non reconnues à ce jour. Ces témoignages sont également quasiment unanimes concernant le manque de moyens de protections, de communication sur les risques et de consignes de la part du gouvernement lors des essais mais également sur l'information des conséquences après leur présence sur place.

Les évolutions des connaissances et la multiplication des études faites sur les retombés permettent de donner un avis critique sur le déroulement des essais et de comprendre le point de vue des victimes.

Il faut néanmoins replacer tout cela dans le contexte, les connaissances de l'époque bien moins avancées et restrictives. Pour exemple, le rapport Bataille de 2001, qui indique que pendant la durée des essais au Sahara, « la France s'est conformée en permanence aux recommandations des organisations internationales compétentes, en particulier celles émises par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR), recommandations reprises dans la réglementation européenne (JO des 20 février 1959, 9 juillet 1962 et 2 juin 1965) puis nationale (JO du 20 juin 1966) ».

Tout en sachant que ces normes se basent sur des prévisions météorologiques exactes (vent et humidité principalement) qui ne l'ont finalement pas toujours été.

Ce que dénonce principalement les associations sont le déni de l'État qui commence tout juste à reconnaître sa dette, les informations cachées et tenues secrètes trop longtemps ainsi que son manque de reconnaissance et de réparations envers les personnes impactées par les essais.

Nous remercions toutes les personnes nous ayant répondu, ainsi que les vétérans du Sahara, bien que nous ne les prenions pas en compte dans notre projet.

3) Déroulement des essais selon les locaux

Après avoir abordé les différents combats des associations et analysé le retour des vétérans sur la réalisation des essais, nous pouvons voir ce qu'il en est de la population polynésienne. Les éléments qui constituent cette partie ont été extraits de reportages et de témoignages [28].

La réalisation des essais a été vue comme une opportunité pour les autochtones. En effet, elle a permis à la Polynésie de développer son économie, certains ont pu parler avec le président Charles De Gaulle ou encore assister aux tirs d'essais. Cependant, après avoir assisté à plusieurs tirs, certains se sont demandés quelles seraient les conséquences en voyant les nuages après explosion des bombes. Ainsi, plusieurs mouvements ont commencé à se former. Notamment la manifestation du 9 septembre 1995, qui a eu lieu après que Jacques Chirac ait annoncé la reprise des essais, nous en reparlerons dans la seconde partie de l'axe. Lors de cette manifestation, la confrontation force de l'ordre / locaux anti-nucléaire durera 10 heures.

Grâce à cette première partie, nous pouvons voir que depuis la réalisation des essais différents combats ont été menés : d'abord par les locaux puis par le biais des associations. Malgré les avis parfois divergents, un point reste commun : la reconnaissance de l'État concernant les conséquences des essais et l'indemnisation des victimes. Nous allons donc voir dans la seconde partie de cet axe quelle est la position de l'État français vis à vis des essais nucléaires, puis comment elle évolue au cours des années. Enfin nous verrons quels sont les moyens permettant de reconnaître, ou du moins, accompagner les victimes des essais.

II. Les étapes de la reconnaissance par l'État français

1) Pendant les essais

Avec les différents éléments que nous avons pu voir précédemment : communication sur les essais, consignes sécurité, etc. on peut se demander quelle était la position de l'État français lors de la réalisation des essais et si la France reconnaissait déjà les effets qu'elle pouvait engendrer.

Le 6 août 1985, plusieurs pays dont l'Australie, les îles Cook, les Fidji, etc. décident de se réunir pour rédiger un traité qui permettrait de créer une zone d'exclusion de l'arme nucléaire dans le Pacifique sud. Le traité est constitué de 3 protocoles. Les parties qui le signent s'engagent à ne pas recourir ou menacer de recourir aux armes nucléaires contre les parties contractant de leur territoire et effectuer des expérimentations dans la zone. La France n'adopte pas le traité mais s'engage à le signer dix ans plus tard. On peut se demander s'il y a un lien de cause à effet entre la date de signature et la fin des essais.

En effet, le 14 juin 1995, Jacques Chirac, président de l'époque, fait un discours et annonce qu'il est préférable de mettre fin aux essais nucléaires. Cependant, la fin des essais en 1992 était prématurée et toute la série des essais de 1992 n'avait pas été accomplie. Or, cela aurait impacté l'analyse scientifique. En effet, la simulation en laboratoire nécessiterait l'achèvement de la série d'essais nucléaires. Pour ces raisons les essais nucléaires seront repris jusqu'en 1996. Le Président insiste sur la date de fin des essais car la France s'était justement engagée sur la signature du traité. Or, il affirme que la signature du traité se fera uniquement si la France est en capacité d'assurer sa sécurité. Il insiste également sur le fait que la sécurité du pays passe par l'obtention de l'arme nucléaire sûre et efficace. La date de fin des essais nucléaires annoncée par Jacques Chirac ne respecte pas celle prévue initialement dans le moratoire de Mitterrand. Les essais auraient dû s'arrêter en 1991 et continueront jusqu'en 1996.

En 1996, La France fut le premier état à soutenir l'option 0 et à vouloir signer le traité dans son intégralité. Pour le Pacifique Sud c'est une victoire et ce fait marquera un tournant dans la fin des essais. Néanmoins, la France a pu effectuer la totalité des essais nucléaires nécessaires pour mener à bien ses recherches scientifiques durant ces dix années de refus. Le choix de la signature du traité était donc en quelque sorte stratégique. Les derniers essais, plus puissants, auraient pu être évités.

Malgré ces choix du passé qui peuvent être discutés, la position de la France vis-à-vis des essais et de leur reconnaissance a évolué depuis leur réalisation.

2) Depuis les essais nucléaires

Bien que les avis démontrent un manque de reconnaissance de la France, celle-ci a pourtant évolué depuis les essais. En effet, nous l'avons vu notamment dans les combats de l'AVEN beaucoup de personnes peine à être indemnisées et toutes les maladies ne sont pas reconnues à ce jour. Nous allons donc dans un premier temps vous expliquer l'indemnisation et ses modalités.

a. L'indemnisation, la loi Morin.

Après les essais nucléaires, les personnes ayant été présentes lors de la réalisation des essais ont contracté différents types de maladies. Grâce aux mobilisations d'association comme l'AVEN, des démarches administratives d'aides ont pu être créées. En 2010, la loi Morin a été promulguée par la France sur la reconnaissance et l'indemnisation des victimes des essais nucléaires effectués de 1960 à 1996. Cette loi a pour objectif de :

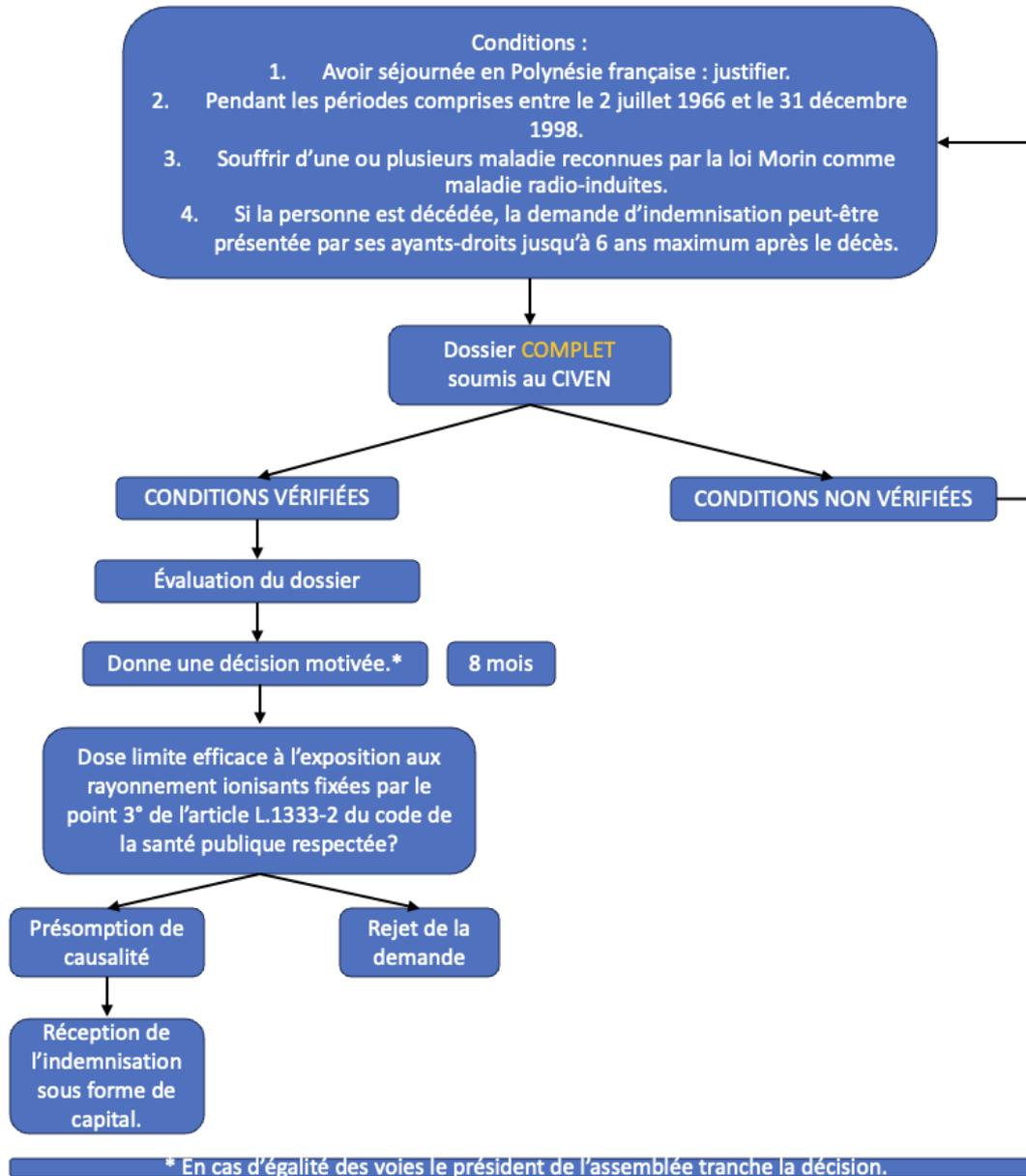
- Réparer et reconnaître les souffrances des personnes qui ont développé une maladie radio-induite,
- Simplifier la procédure de demande d'indemnisation en ayant un interlocuteur unique,
- Indemniser en mettant en œuvre une réparation intégrale du préjudice. La preuve de charge sur le demandeur est supprimée. Il y a donc maintenant une présomption de causalité dès lors que la personne remplit l'ensemble des conditions nécessaires présentes sur l'organigramme dans la suite du rapport.

Pour attribuer ou non les indemnisations, la compétence a été attribuée au CIVEN (comité d'indemnisation des victimes des essais nucléaires). Ce comité est constitué de 9 membres pour un mandat de 3 ans, présidé par un Conseiller d'État ou de la Cour de Cassation. Les membres sont nommés par décret du Président de la République. Les autres membres sont des personnes qualifiées dans un domaine spécifique de sciences et dont il y a obligatoirement 5 médecins :

- Deux médecins nommés sur proposition du Haut Conseil de la santé publique en raison de leur compétence dans le domaine de la radiopathologie,
- Un médecin nommé sur proposition du Haut Conseil de la santé publique en raison de sa compétence dans le domaine de la réparation des dommages corporels,
- Un médecin nommé sur proposition du Haut Conseil de la santé publique en raison de sa compétence dans le domaine de l'épidémiologie,
- Un médecin nommé, après avis conforme du Haut Conseil de la santé publique, sur proposition des associations représentatives de victimes des essais nucléaires.

Le CIVEN s'appuie sur un logiciel américain, le NIOSH-IREP, pour calculer la probabilité de causalité que la maladie soit liée aux essais nucléaires. En cas de plusieurs maladies, la démarche doit être répétée autant de fois que le nombre de pathologies. De plus, il a le droit à l'information médicale pour accéder aux dossiers. Le secret médical ne s'applique pas pour le CIVEN.

Comment se déroule la démarche d'indemnisation ?



Enfin, une réunion du gouvernement est réalisée 2 fois par an pour une commission consultative de suivi des conséquences des essais nucléaires (constituée de 19 membres) ou si une demande a été faite par la majorité des membres. Elle est consultée sur le suivi de l'application de la loi dont on parle actuellement et les modifications des maladies de la liste que vous trouverez ci-dessous. Elle peut adresser des recommandations au gouvernement et au parlement.

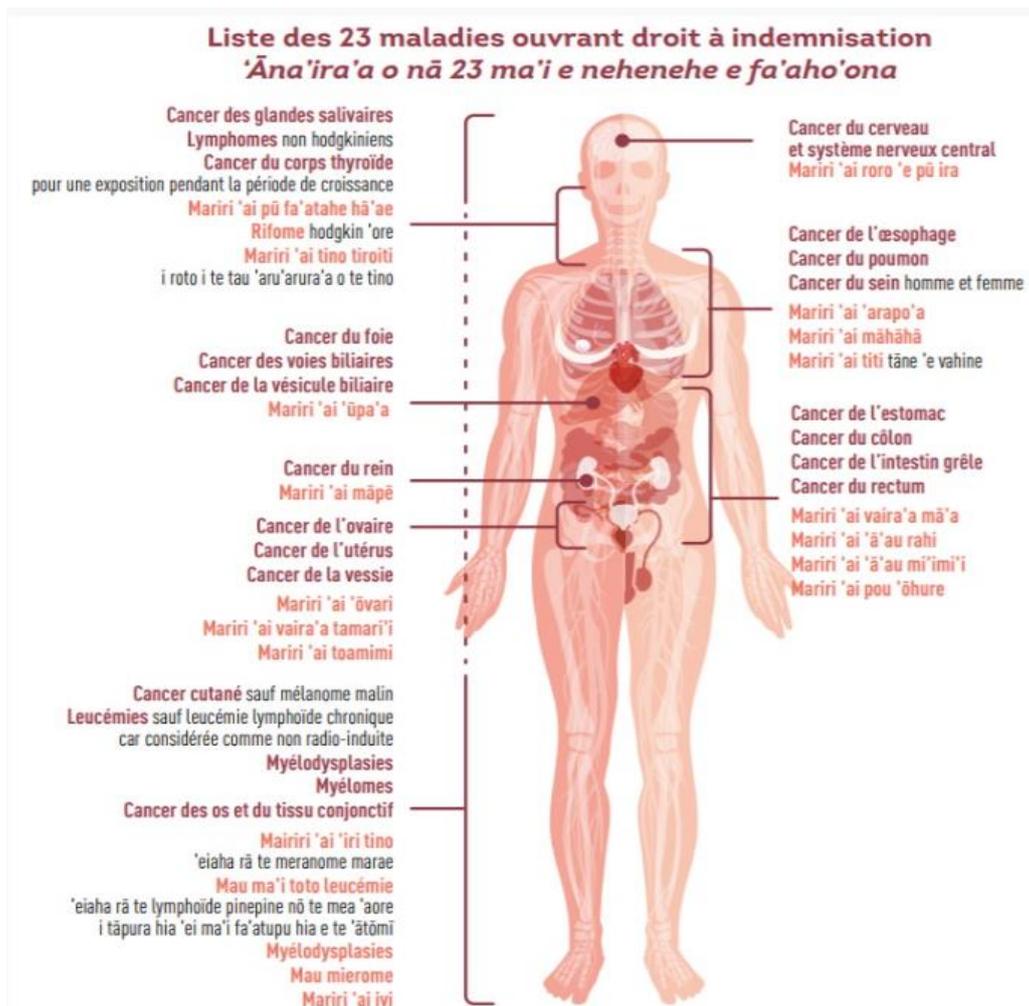


Figure 52 : liste des maladies reconnues dans la loi Morin [29].

Entre la loi de 2010 et 2014, 843 dossiers déposés dont 9 indemnisés. Ces données montrent que certes des démarches sont mises en place. Cependant, peu de personne accèdent à l’indemnisation. Grâce à nos échanges avec l’AVEN, nous savons qu’il est parfois difficile d’obtenir l’indemnisation notamment à cause de la justification du séjour en Polynésie française. En effet, certaines personnes n’ont pas conservé leur document. Enfin, les personnes abandonnent souvent les démarches car ce sont des démarches administratives longues pour des personnes parfois âgées. L’accompagnement des associations comme l’AVEN sont donc des moyens primordiaux pour aider ces personnes et les représenter auprès de l’état. En effet, des réunions avec l’État ont lieu pour la reconnaissance de l’implication de l’État français concernant les conséquences sanitaires et environnementales.

L’indemnisation des victimes est un premier pas vers la reconnaissance de la France. Malgré l’existence de l’indemnisation nous allons voir quels sont les autres faits qui permettent de voir que la reconnaissance de la France évolue.

b. La reconnaissance de l'État de manière globale

Nous allons voir dans cette partie que la reconnaissance évolue à travers différents points.

En effet, le 27/01/2021 à Papeete, Emmanuel Macron évoque lors d'une allocution : « La France a une dette à l'égard de la Polynésie » pour avoir réalisé près de 200 essais nucléaires pendant 30 ans. Ce qui montre une avancée dans la reconnaissance de la France dans la réalisation des essais et de leurs conséquences.

Pour continuer, en 2021 le décret N°2 – 021-87 du 29 Janvier permet de créer une médaille de la défense nationale qui peut être décernée à titre exceptionnel aux militaires d'active et de la réserve, aux anciens militaires ainsi qu'aux civils qui justifient par tout moyen avoir participé aux missions liées au développement de la force dissuasive nucléaire, dans les zones et durant les périodes définies à l'article 2 de la loi du 5 janvier 2010 susvisée. Ces critères impliquent de souffrir d'une pathologie radio-induite après avoir résidé ou séjourné entre le 2 juillet 1966 et le 31 décembre 1998 en Polynésie française. Cette médaille est remise avec une agrafe (mention spéciale). Enfin, les personnes titulaires de la médaille de défense nationale assortie de l'agrafe « Mururoa-Hao » ont le droit au port de l'agrafe « Essais nucléaires ». Cette dernière a été créée lors de l'apparition du décret et son arrêté d'application paru au journal officiel du 30 janvier 2021 [30].

Enfin, d'autres évolutions sont constatées notamment sur le devoir de mémoire et de reconnaissance au niveau international. En effet, le 2 décembre 2009, une journée internationale contre les essais nucléaires a été initiée par les Nations Unies. Cette journée aura lieu le 29 août en adoptant la résolution 64/35 qui a pour objectif de sensibiliser le public sur les effets des explosions expérimentales de l'arme atomique ou autre arme nucléaire, la nécessité de mettre fin au nucléaire et de ne pas avoir d'arme nucléaire dans le monde. Cette résolution avait été initiée par le Kazakhstan. Pour continuer, une seconde journée a été créée : la journée internationale pour l'élimination totale des armes nucléaires qui a lieu le 26 septembre.

c. La reconnaissance environnementale

Au niveau environnemental, l'État reconnaît également son implication, par le biais de plusieurs lois et par la mise en place de moyens de surveillance.

La surveillance du niveau de contamination est gérée de deux façons différentes : sur le domaine dit public et sur le domaine dit militaire.

Dans les deux cas, les organismes sont créés assez tôt, en 1964, avec d'un côté pour la partie militaire :

- Le Service mixte de sécurité radiologique,
- Le Service mixte de contrôle biologique.

Ils ont fusionné en 1994 pour devenir le Service mixte de sécurité radiologique et biologique de l'Homme et de l'environnement.

À partir de 1998, une délégation de la direction générale des armées (DGA) est responsable des prélèvements et analyses sur les sites des essais, ainsi que de la diffusion des résultats.

Concernant le domaine public, une surveillance radiologique de l'environnement (eau, air, sol, faune, flore) et des aliments (noix de coco, légumes, poissons, mollusques, crustacés, etc.) est mise en place pour toute la Polynésie française, sous l'égide du Service mixte de contrôle biologique qui fait les échantillonnages et du laboratoire de surveillance radiologique qui les analyse. Ce laboratoire est situé à Tahiti Mahina. En 1996, il devient responsable échantillonnages en plus des analyses et est intégré au sein de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

Depuis la loi du 6 juillet 2017, les atolls de Fangataufa et Mururoa sont rétrocédés au domaine public. Cette loi crée également auprès du Premier Ministre, une commission nationale de suivi des conséquences environnementales des essais nucléaires. Cette commission a pour missions d'étudier et de suivre les questions relatives à l'environnement sur ces deux atolls ainsi que de diffuser ces résultats.

Conclusion :

Pour conclure sur cet axe, nous pouvons constater que les débuts de la reconnaissance de l'État français ont été difficiles peu après la réalisation des essais. Cependant, grâce aux différents combats menés par les victimes puis par les différentes associations, celles-ci ont commencé à obtenir gain de cause. En effet, leur implication et leur vocation à aborder des personnes stratégiques pour défendre leur cause ont permis d'aboutir à plusieurs évolutions dont d'abord la reconnaissance et l'indemnisation des victimes avec la loi Morin notamment, la création de plusieurs journées en mémoire des personnes ou anti-nucléaire mais encore des médailles et surtout un discours du président Emmanuel Macron en 2021. Cependant, le combat n'est pas terminé. En effet, malgré ces éléments la reconnaissance et l'indemnisation sont difficiles à obtenir de par la non-exhaustivité de la liste des maladies radio-induites.

Lors de la réalisation de cet axe nous avons pris énormément de plaisir. En effet, cette partie nous a permis d'échanger avec différentes personnes dont les membres de l'association AVEN. Nous étions très émus de recevoir autant de réponses en retour du questionnaire que nous avons envoyé et de découvrir les témoignages qui étaient parfois bouleversants. Enfin, nous sommes honorés et très reconnaissants d'avoir pu participer au ravivage de la flamme sous l'Arc de Triomphe le 2 juillet 2023 et d'avoir pu rendre hommage au soldat inconnu.

CONCLUSION

Conclusion sur les essais :

Les essais nucléaires avaient pour principaux objectifs le perfectionnement des armes nucléaires et plus particulièrement, démontrer la puissance militaire du pays aux autres nations dans un cadre stratégique de dissuasion.

C'est dans l'Océan Pacifique que les atolls de Mururoa et Fangataufa ont été choisis pour être le théâtre des essais nucléaires. L'isolation que confère ces atolls Polynésiens a été avantageuse pour la France du Général de Gaulle, lui permettant de réaliser un nombre considérable d'essais sans être directement impacté. Les radionucléides générés par ces explosions étaient majoritairement caractérisés par des périodes radioactives courtes. Néanmoins, les essais ont eu des répercussions non-négligeables sur les écosystèmes, caractérisées par la contamination et la destruction des différents milieux. Mais également sur la santé des populations, qu'elles soient locales ou militaires ; cancers, leucémie et diverses maladies.

Après ce chapitre sombre et controversé de l'histoire, les différentes victimes exposées aux essais ont pu recevoir une reconnaissance de la part de l'État Français : la Loi Morin pour les personnes touchées par des maladies radio induites et la reconnaissance officielle d'une dette envers les polynésiens par le Président Emmanuel Macron, en juillet 2021. Le combat des associations se poursuit pour obtenir une plus vaste reconnaissance des maladies afin d'indemniser plus de victimes.

Malgré les excuses et les compensations versées par les gouvernements français pour les souffrances infligées, il est impossible d'effacer complètement les cicatrices laissées par les essais nucléaires en Polynésie. Ces événements rappellent la nécessité d'une réflexion profonde sur les conséquences à long terme des activités humaines sur notre planète et sur la responsabilité que nous avons envers les générations futures.

Conclusion personnelle :

Nous pouvons dire que la thématique de ce projet a été très stimulante et nous avons pu contribuer à l'enrichissement de ce projet par un travail personnel important. En effet, nos connaissances acquises durant notre cursus nous ont aidés dans l'analyse des données issues de nos échanges avec les associations emblématiques et les témoins des essais. Ces moments d'échange et de partage ont non seulement enrichi le projet, mais ont également contribué à créer des liens entre les diverses générations.

L'atout principal de ce sujet est notre rencontre avec Monsieur CAMUZAT, président de l'association AVEN, qui nous a gentiment invité au ravivage de la flamme du soldat inconnu sous l'arc de triomphe le 1^{er} juillet 2023. Ce moment unique restera longtemps gravé dans nos mémoires.

Ce projet nous a également permis de nous instruire et d'acquérir des connaissances significatives et diverses sur le déroulé, l'impact des essais nucléaires en Polynésie française mais également sur le sujet de la radioactivité, risque important auquel nous serons potentiellement confrontés durant notre carrière d'ingénieur en prévention des risques.

En outre, ce projet nous a enseigné plusieurs compétences, qu'elles soient :

- Organisationnelles : se répartir le travail et gérer son temps ;
- Rédactionnelles : trier les informations, reformuler, croiser des documents ;
- Travail en équipe : apprendre à s'écouter, partager les idées, s'entraider ;
- Communication externe : contacter des associations et des personnes externes, échanger par différents biais.

La difficulté particulière de ce projet a été la rédaction. Nous devons garder un point de vue neutre dans nos propos, sans prendre parti sur les faits.

Enfin, en explorant le passé à travers cette phase de l'Histoire, nous avons pu découvrir les événements et les individus qui l'ont façonnée, mais aussi mieux comprendre les répercussions de ces événements sur notre présent. En se penchant sur cet épisode du passé à la fois désastreux et triomphant selon notre vision, nous avons contribué à mettre en lumière une brève de notre histoire collective. Nous pouvons dire que notre devoir de mémoire résulte de notre engagement tout au long de ce projet.

Bibliographie/Sitographie

- [1] : Document de Dominique Mongin, « Genèse de l'armement nucléaire français », Revue historique des armées, Service historique de la Défense, no 262, 16 mars 2011, <https://journals.openedition.org/rha/7187>
- [2] : Site du CEA « L'énergie nucléaire : fusion et fission » <https://www-lmj.cea.fr/docs/Livrets-thematiques/livret-fusion-fission.pdf>
- [3] : Site internet : <https://laradioactiviteestellereellementdangereuse.wordpress.com/quest-ce-que-la-radioactivite/1-latome/>
- [4] : Site internet de l'université du Mans : <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/chimie/06/deug/CHIMDISCRI/fission.html>
- [5] : Site internet de Futura : Article sur le fonctionnement des bombes à hydrogène <https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/physique-bombe-h-fonctionne-bombe-hydrogene-6395/>
- [6] : Site internet blog du hérisson : <https://leblogduherisson.com/la-fusion-nucleaire-lenergie-propre-de-demain/>
- [7] : Site de l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire : Article sur les différents rayonnements ionisants : alpha, beta, gamma... <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/sante/differents-rayonnements-ionisants-alpha-beta-gamma>
- [8] : Site de l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire : Article sur les conséquences des rayonnements ionisants : <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/sante/consequences-rayonnements-ionisants>
- [9] : « Institut de statistique de Polynésie française [ISPF] » <https://www.ispf.pf/publication/1261>
- [10] : Site internet de World territories : Article sur la description de la Polynésie Française : <http://www.world-territories.com/ttfr/tfiche.php?pnom=polynesiefr>
- [11] : Rapport de la Croissance économique et productivité en Polynésie française : une analyse sur longue période de Vincent DROPSY et Christian MONTET réviser en février 2017 (INSEE)
- [12] : Rapport de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM) sur les conséquences en Polynésie française des essais nucléaires. Publié en 2021.
- [13] : Document militaire des consignes de sécurités et des précautions à prendre contre le flash à l'instant du tir. Ce document a été donné par le président de l'AVEN 1970.
- [14] : Rapport du Ministère de la défense « La dimension radiologique des essais nucléaires français en Polynésie », imprimé en décembre 2006
- [15] : FranceInfo, article Essais nucléaires : du "Hourra pour la France" du général De Gaulle au "J'assume" d'Emmanuel Macron, 28/07/2021 https://www.francetvinfo.fr/societe/nucleaire/essais-nucleaires-du-hourra-pour-la-france-du-general-de-gaulle-au-j-assume-d-emmanuel-macron_4719157.html
- [16] : Site et rapport du Sénat, article « les incidences environnementales et sanitaires des essais nucléaires effectués par la France entre 1960 et 1996 et éléments de comparaison avec les essais des autres puissances nucléaires ». Rapport de l'OPECST n° 207 (2001-2002) de MM.

Henri REVOL et Jean-Paul BATAILLE, déposé le 6 février 2002 - <https://www.senat.fr/rap/r01-207/r01-207.html>

[17] : Site internet de la radioactivité.com disponible à l'adresse : <https://laradioactivite.com/>

[18] : Météo France : Principe d'un radar hydro météorologique http://risknat.org/wp-content/uploads/2016/09/Seminaire_SDA_PARN_Risque_Hydrometeo_300616_Meteo-France-STaboulot.pdf

[19] : Les applications de l'effet Doppler : <https://www.kartable.fr/ressources/physique-chimie/exercice-type-bac/les-applications-de-leffet-doppler/44522/136055>

[20] : Exposition à aquarium porte dorée sur « Les récifs coralliens face au changement climatique » : https://www.ifrecor.fr/documents/livre_v8light.pdf

[21] : Site du Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires / Ministère de la Transition énergétique, article « Démantèlement et gestion des déchets radioactifs » datant du 22 février 2023 - <https://www.ecologie.gouv.fr/demantelement-et-gestion-des-dechets-radioactifs>

[22] : Article de Paris match « Retour à Mururoa » : <https://www.parismatch.com/Actu/International/Retour-a-Mururoa-1143434>

[23] : Article de Charente Libre « Essais nucléaires français : la contamination cachée de Tahiti en 1974 » : <https://www.charentelibre.fr/environnement/energie-nucleaire/essais-nucleaires-francais-la-contamination-cachee-de-tahiti-en-1974-5809977.php>

[24] : Site Légifrance Directive 2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000024479846>

[25] : Site de l'Association 193 : https://www.facebook.com/ASSOCIATION193/?locale=fr_FR

[26] : Site de l'Association Mururoa e tatou : https://www.facebook.com/moruroaetatou/?locale=fr_FR

[27] : Site de l'Association des vétérans des essais nucléaires au Sahara, en Polynésie et leurs familles (AVEN) : <https://aven.org/>

[28] : Site du Ministère des Armées, article Mémoires des hommes « Essais nucléaires en Polynésie française », dernière mise à jour le 17.02.2023 - <https://www.memoiredeshommes.sga.defense.gouv.fr/fr/article.php?larub=371&titre=essais-nucleaires-en-polynesie-francaise>

[29] : Indemnisation des victimes des essais nucléaires : <https://www.service-public.pf/dsp/indemnisation-loi-morin/>

[30] : Site de Légifrance : Décret n° 2021-87 du 29 janvier 2021 modifiant le décret n° 2014-389 du 29 mars 2014 relatif à la médaille de la défense nationale : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043080407>

ANNEXES

Annexe 1 : Consignes de sécurité

Bord, S.P. 91.481, le 23 Juin 1970



MARINE NATIONALE
CENTRE D'EXPERIMENTATIONS
DU PACIFIQUE
BATIMENT-BASE "MAURIENNE"

COMMUNICATION AUX PASSAGERS

—○○○○○—

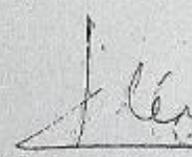
OBJET : TIR BRIDAN.

—○○○○○—

1. - Le TIR BRIDAN aura lieu, en principe, le 24 Juin à 10 heures 30.
2. - La "MAURIENNE", au moment du tir se trouvera à 17 milles nautiques environ du point zéro, dans un azimut non encore précisé. Elle présentera l'arrière à l'explosion, puis évoluera pour que le nuage soit vu et photographié par le travers.
3. - Il vous sera demandé, par réseau de diffusion générale :
30 secondes avant l'instant du tir, de vous retourner face à l'avant ;
10 secondes avant, de vous voiler la face.
Enfin de ne libérer vos regards que sur ordre donné quelques secondes après le tir.
Le compte à rebours sera retransmis.
4. - Si le tir est réussi, vous ~~êtes~~ serez heureux de prendre une coupe de champagne à 11H30 en vos compagnies dans vos fumeurs habituels.
5. - Le retour à Mururoa est prévu, en principe, dans la soirée du 24.

Bâtiment - Base
« MAURIENNE »

Le Capitaine de Frégate CIEUET
Commandant le Bâtiment-Base "MAURIENNE"





Le Lieutenant de Vaisseau URVOIS
Officier en Second

DESTINATAIRES : C.E.A. (10) =
C.S.I. (10) - Adj. ICG (10) =
Réception (10) - Salle 1ère (10) -
Salle 2ème (10) - Affichage (2).

5. - Faudra-t-il prendre des précautions de sécurité dans un local comportant une porte vitrée donnant sur l'extérieur ou un ou plusieurs hublots ?
Oui, c'est préférable.
6. - Faudra-t-il prendre des mesures de sécurité dans un local fermé sans hublot ?
Non ce n'est pas nécessaire.
7. - Pourra-t-on circuler de l'intérieur à l'extérieur du bateau ou vice-versa après que l'on aura annoncé "attention pour les précautions de sécurité" ?
Non, à partir de ce moment il faut rester où on est et appliquer les consignes.

Le Capitaine de Frégate de LASSUS
Commandant le Bâtiment-Base "MAURIE"NE"

Signé : de LASSUS

S.P. 91 481, le 15 Mai 1970

Explosion : 10h 15min 00s

MARINE NATIONALE
CENTRE D'EXPERIMENTATIONS
DU PACIFIQUE
Batiment-Base "MAURIENNE"

O B J E T : Précautions à prendre contre le flash à l'instant du tir.

REFERENCE : Message 037/DR/1405 GOEN OPS.

--o00o--

A la distance où se trouvera la "MAURIENNE" le tir ne présentera aucun danger sauf celui de brûlure de la rétine pour un observateur qui regarderait la boule de feu dans les premières secondes. Se rappeler que l'intensité lumineuse au début vaut plus de mille soleils.

Les consignes qui suivent devront donc être strictement observées pendant le court instant où il sera demandé à tous, équipage et passagers, de les appliquer. Elles sont présentées ci-dessous sous forme de questionnaire.

1. - Au moment du tir aura-t-on l'autorisation de se trouver à l'extérieur ?
Oui, à condition d'être rassemblés par groupes, chaque groupe (de vingt personnes environ) étant placé sous l'autorité d'un responsable désigné par le bord.
Le bâtiment, au moment du tir fera route l'arrière vers l'explosion ce qui limitera les effets du flash lumineux.
2. - Y aura-t-il un danger pour les yeux si on ne regarde pas vers l'explosion ?
Oui, il peut y avoir un danger.
3. - Que faudra-t-il faire ?
 - a) Quand vous entendrez sur la diffusion générale "attention pour les précautions de sécurité, se tourner vers l'avant", vous vous tournerez vers l'avant du bâtiment (debout, assis ou appuyé). Ce sera une minute environ avant l'instant zéro.
Quelques secondes plus tard,
 - b) quand vous entendrez : "prendre les précautions de sécurité" annonce qui sera suivie d'un coup de klaxon et sirène un peu prolongé, étant déjà tourné vers l'avant vous fermerez les yeux et vous protégerez les yeux fermés avec la saignée du coude.
4. - Quand pourra-t-on abandonner la position de sécurité ?
Moins d'une minute après le tir vous entendrez "fin des précautions de sécurité", annonce suivie de 3 coups brefs de klaxon. Vous pourrez alors regarder et photographier l'explosion. Le bâtiment viendra sur la gauche pour vous permettre de mieux voir depuis les ponts B et bord.

.../...

A N N E X E

Que verra-t-on lorsqu'on pourra regarder ?

Il sera à peu près $H + 10/H + 20$ secondes.

Vous verrez la boule de feu s'élargir, prendre de vives couleurs rouges et monter rapidement. Avec de la chance, si les conditions s'y prêtent vous verrez un large anneau s'éloigner rapidement de la boule de feu : ce phénomène est le "nuage de Wilson". Puis la boule sera surmontée d'une calotte de givre blanc (congélation de la vapeur d'eau entraînée à haute altitude) et la colonne se formera. Elle montera à travers les nuages, s'il y en a pour se terminer en formant un champignon après trois minutes environ.

Peu à peu la colonne retombera et le champignon se déformera sous l'effet du vent. Vingt minutes environ après l'explosion il se distinguera mal d'un nuage quelconque.

Lorsque le temps est couvert il arrive que la colonne, le champignon et le nuage soient partiellement ou totalement cachés.

Y aura-t-il d'autres manifestations ?

Oui, à $H + 2$ minutes environ vous entendrez la détonation (si on était plus près on sentirait également une bouffée de chaleur).

Enfin si le ciel est dégagé vous verrez peut-être assez haut dans le ciel, les traînées blanches de condensation des fusées MATRA envoyées par les VAUTOUR dans le nuage.

MESURES PERSONNELLES DE PROTECTION EXPLOSION AÉRIENNE D'UNE BOMBE ATOMIQUE

1. S'éloigner des points dangereux.

Si l'alerte est donnée, éloignez-vous autant que possible de toute zone qui représente une cible manifeste et, si possible, de toute zone construite.

Se souvenir que le danger provient en très grande part de la projection des débris.

2. S'abriter et demeurer à l'abri une minute et demie.

Utilisez, pour vous abriter, des sous-sols ou, si possible, des abris souterrains. Tenez-vous près des murs de sous-sol et à proximité d'une bonne sortie après l'explosion; souvenez-vous qu'il faut mettre entre vous et le point d'explosion le plus de matériaux possible.

3. Porter secours aux autres.

Des milliers de vies peuvent être sauvées par un prompt secours : contribuez à sauver des vies en portant secours. Une minute et demie après l'explosion, les débris sont tous retombés et il n'y a aucun danger provenant du rayonnement.

4. Se présenter aux endroits désignés.

L'ordre et la discipline sont indispensables si l'on veut réduire les effets de la bombe : présentez-vous aux endroits prévus, soit pour être soigné, soit pour être évacué, soit pour être utilisé dans une équipe de secours.

5. Ne pas manger, boire, fumer, etc., avant que les vivres, eau, tabac, etc., n'aient été contrôlés.

Une faible intensité de radiation à l'extérieur du corps est sans danger; à l'intérieur du corps, elle peut amener des troubles.

6. Ne pas répandre les racontars.

Tout sera bouleversé. Pour éviter la panique, gardez pour vous ce que vous voyez, et ne prêtez pas l'oreille à ce que vous racontent les autres.

7. Se savonner et changer de vêtements.

Aussitôt que possible, savonnez-vous énergiquement et changez d'habits, nettoyez particulièrement les cheveux, le visage, les mains et les ongles.

EFFETS DE L'EXPLOSION AÉRIENNE NORMALE D'UNE BOMBE ATOMIQUE

SOUFFLE

La pression et l'effet de succion dus au souffle ne sont pas suffisants pour tuer. La projection de débris entraîne la plupart des blessures.

Abritez-vous.

CHALEUR

1. Brûlures instantanées.

Eclair au moment de l'explosion. Les brûlures se produisent jusqu'à plusieurs kilomètres.

Protection facile avec des matériaux faisant écran.

Abritez-vous.

2. Incendies secondaires.

Engendrés par des poêles renversés, des courts-circuits ou autres causes semblables. Interrompre leur utilisation et contrôler ces foyers.

RADIATIONS

1. Radiations instantanées.

Emises pendant une période d'environ 90 secondes, elles ne peuvent être ni vues, ni entendues, ni senties. On peut s'en protéger complètement ou partiellement. Le béton, la terre, le métal et la distance sont recommandés.

Abritez-vous.

2. Radiations retardées.

Si faibles qu'elles ne constituent pas un danger.

Ne vous en occupez pas.

Attention ! ce carton pourra être exigé en même temps que votre carte d'identité Marine

Marine. - N° 11-S.G.-302. - 1965. - 65 8301 0 09 001 1 (2)

Annexe 2 : Note pour la gestion, le conditionnement et la manipulation des déchets radioactifs

Note pour la gestion, le conditionnement et la manipulation des déchets radioactifs

0 Glossaire

ADR : Accord européen relatif au transport de marchandises dangereuses par route

Bq : Becquerel

DeD : Débit de dose

EPI : Equipements de protection individuelle

ONU : Numéro d'identification des marchandises

Sv.h : Sievert par heure

1 Confidentialité

Cette note est classée C1. Elle est interne et réservée uniquement aux travailleurs du bâtiment gestion des déchets.

2 Objet

Cette note définit les démarches à suivre pour la gestion, le conditionnement ainsi que la manipulation des déchets radioactifs.

Cette note permet d'assurer la sécurité des intervenants.

3 Sommaire

<u>3.1 Types de déchets</u>	88
<u>3.2 Zones d'entreposage</u>	89
<u>3.3 Manipulation des déchets</u>	89
<u>3.4 Accès en zone</u>	90
<u>3.5 Transport pour enfouissement</u>	91
<u>3.6 Disponibilités</u>	91

3.1 Types de déchets

Il existe trois grandes catégories de déchets radioactifs :

- Déchets de faible activité (DeD $< 5\text{mSv.h}$)

Les déchets de faible activité sont les déchets des équipements de protection, papiers et les éléments entrés en contact avec des substances radioactives.

Les déchets doivent être contenus dans des sacs plastiques spéciaux (big-bags), être étiquetés avec l'étiquette « radioactif » et doivent être fermés hermétiquement.

Exemple d'un big-bag :



- Déchets de moyenne activité (DeD $5\text{mSv} < X < 2\text{Sv.h}$)

Les déchets de moyenne activité sont des déchets de structure et des coques et des déchets technologiques (outils usagés, équipements ...). Ils viennent également du démantèlement.

Les déchets sont conditionnés dans un conteneur en béton dans lequel du ciment est coulé. L'étiquetage des conteneurs est obligatoire et doit contenir la mention « radioactive » ainsi que l'activité (en Bq) du fût.

Exemple d'un conteneur en béton :



- Déchets de haute activité (DeD $> 2\text{Sv.h}$)

Les déchets de haute activité sont les produits de fission.

Les déchets de haute activité sont mélangés à très haute température à du verre en fusion. Ce mélange est ensuite versé dans un conteneur en acier inoxydable.

Exemple de conteneur en acier inoxydable :



La classification des déchets est définie en 2 catégories :

- Catégorie A – courte durée de vie (< ou = à 30 ans)
- Catégorie B – longue durée de vie (> 30 ans)

3.2 Zones d'entreposage

Sur le site, nous avons 2 grandes zones d'entreposage : A et B.

La zone A correspond aux déchets (faible, moyenne et haute activité) de courte durée de vie.

La zone B correspond aux déchets (faible, moyenne et haute activité) de longue durée de vie

Chaque zone est divisée en 3 sous zones :

- Zone A :
 - A0 : déchets de faible activité et de courte durée de vie
 - A1 : déchets de moyenne activité et de courte durée de vie
 - A2 : déchets de haute activité et de courte durée de vie
- Zone B :
 - B0 : déchets de faible activité et de longue durée de vie
 - B1 : déchets de moyenne activité et de longue durée de vie
 - B2 : déchets de haute activité et de longue durée de vie

3.3 Manipulation des déchets

Pour les zones A0, A1 et B0, B1, la manipulation ou la manutention des déchets radioactifs doit se faire uniquement par le personnel sensibilisé au risque des rayonnements ionisants. L'intervenant doit obligatoirement porter les EPI suivants :

- Gants latex
- Blouse papier
- Sur-chaussure
- Dosimètre passif et actif
- Chaussures de sécurité

- Dosimètre passif
- Dosimètre actif

Les EPI sont à usage unique et seront jetés dans les poubelles adéquates. Le local devra être ventilé. Le contrôle du débit de dose des big-bags doit être systématique.

Pour les zones A1 et B1, l'intervenant formé et autorisé doit rester près des déchets uniquement le temps nécessaire à l'activité prévue. Il doit contrôler sans arrêt son débit de dose, grâce à un dosimètre, pour ne pas dépasser la valeur prévue dans son régime de travail.

Pour les zones A2 et B2, les manipulations sont télécommandées et se font à distance dans un local fermé et isolé. Le port des EPI reste obligatoire.

3.4 Accès en zone

A chaque sortie de zone A0, B0, A1 et B1, un saut de zone est mis en place afin de mesurer la contamination possible sur le matériel ou sur l'intervenant lui-même.

Chaque saut de zone contient les EPI nécessaires, ainsi qu'un radiamètre.

Démarche à suivre :

Avant d'arriver dans la zone :

- Enfiler les EPI correspondants à la zone
- Amener le strict nécessaire dans la zone
- Toujours avoir les radiamètres pour mesurer le débit de dose des contenants
- Porter ses dosimètres (passif et actif)

En sortant de la zone :

- Retirer les EPI en les mettant dans les poubelles appropriées
- Passer les petits objets dans le contrôleur petit objet
- Passer dans le contrôleur corps entier
- Récupérer les objets

Exemple de saut de zone :



3.5 Transport pour enfouissement

L'enfouissement des déchets de longue durée de vie se fera en métropole afin d'assurer un meilleur suivi des déchets.

Les déchets seront donc transportés dans leur contenant approprié par bateau jusqu'au port de Toulon puis transporté en camion de marchandise jusqu'au centre de stockage des déchets radioactifs Cigéo en Meuse dirigé par l'Andra (agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs).

Les déchets de faible ou moyenne activité à vie courte seront transférés au centre de stockage de Soullaines dans l'Aube.

Chaque contenant sera placé dans un colis excepté. Les colis exceptés doivent porter le numéro ONU correspondant à la matière contenue, précédé des lettres « UN ». Ils doivent également avoir la mention radioactive ainsi qu'une étiquette avec l'identité de l'expéditeur ou du destinataire ou des deux.

Les conditions de transport doivent répondre à l'accord ADR (transport routier) et aux codes et recueils maritimes (transport maritime) pour la classe 7 (matière radioactive).

3.6 Disponibilités

Les sacs plastiques pour les déchets ainsi que tous les EPI nécessaires sont disponibles au bâtiment traitement des déchets. En cas de manque de stock, merci de contacter le chef du bâtiment au 01.55.42.66.00

Règlementation et documents (conditionnement, manipulation et gestion des déchets radioactifs):

- L. 541-1 et suivants du code de l'environnement.
- <https://www.asn.fr/l-asn-informe/dossiers-pedagogiques/la-gestion-des-dechets-radioactifs#introduction>
- <https://www.ondraf.be/sortes-de-d%C3%A9chets-radioactifs>
- https://www.dgdr.cnrs.fr/sst/cnps/guides/doc/radioprotection/Chapitre9_Transport.pdf
- <https://www.asn.fr/content/download/183105/file/Plan%20de%20gestion%20des%20d%C3%A9chets%20RA%20v2022.pdf>
- https://www.cea.fr/multimedia/Documents/publications/monographie-nucleaire/CEA_Monographie5_conditionnement-dechets-nucleaires_2008_Fr.pdf

Questionnaire sur les essais nucléaires en Polynésie

Bonjour,

Nous sommes 6 étudiants en école d'ingénieur à l'INSA Centre Val de Loire. Dans le cadre de nos études, nous réalisons un projet sur les accidents technologiques majeurs. Nous avons décidé pour ce projet de travailler sur les essais nucléaires réalisés en Polynésie de 1966 à 1996. Pour nous aider dans l'avancement de nos recherches, nous avons réalisé ce questionnaire. Nous vous demandons d'y répondre si vous le souhaitez. Toutes les données serviront uniquement dans le cadre de notre projet et ne seront pas transmises en dehors de celui-ci.

Questionnaire :

1. Indiquez votre prénom, nom, âge, localisation pendant les essais et actuelle.

.....
.....
.....

2. Quelle était votre situation au début des essais ?

Militaire

Ingénieur travaillant sur les essais

Travailleur polynésien travaillant pour les essais
(préciser le métier :))

Travailleur polynésien ne travaillant pas pour les essais (préciser le métier et la nationalité :))

Travailleur autre nationalité travaillant pour les essais (préciser le métier et la nationalité :))

Enfant

Autre :

3. Comment votre situation professionnelle et personnelle a évolué pendant les essais ?

Pas de changement

Si changements, lesquels ? Est-ce lié aux essais ?

.....
.....
.....
.....

4. Est-ce que cette situation a changé après les essais ?
 Pas de changement
 Si changements, lesquels ? Est-ce lié aux essais ?

.....
.....
.....
.....

5. Si vous n'étiez pas polynésien, êtes-vous reparti dans votre lieu de vie d'origine et combien de temps êtes-vous resté sur place ?

.....
.....
.....

6. Durant la période de préparation des essais de 1963 à 1966, il y a-t-il eu de la communication sur ce qui allait se passer de manière générale ?

- Oui
 Non

Si oui, pouvez-vous nous la décrire ?

.....
.....
.....
.....

7. Durant la période de réalisation des essais de 1966-1996, il y a-t-il eu de la communication sur les mesures de sécurité/hygiène/santé ?

- Oui
 Non

Si oui, pouvez-vous nous la décrire ?

.....
.....
.....
.....

8. Depuis la fin des essais, il y a-t-il eu de la communication sur les conséquences découvertes et la gestion de celles-ci ?

Oui

Non

Si oui, pouvez-vous nous la décrire ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

9. Avez-vous eu des conséquences sur votre santé ou celle d'un proche ?

.....
.....
.....
.....

10. Avez-vous constaté des conséquences sur l'environnement ?

Oui

Non

Lesquelles ?

.....
.....
.....
.....

11. Avez-vous changé votre mode de vie depuis les essais ? (Limitation de pêche, de manger les fruits et légumes locaux...)

Oui

Non

Comment ?

.....
.....
.....
.....

12. Comment organisez-vous la vie actuellement pour faire face aux conséquences ? (Association, commémoration...)

.....
.....
.....
.....

13. Comment avez-vous perçu la venue et les dires du président Emmanuel Macron en juillet 2021 ?

.....
.....
.....
.....

14. Avez-vous des choses à ajouter ?

.....
.....
.....
.....

Accepteriez-vous d'être recontacté personnellement, pour échanger avec nous ?

Oui, donnez-nous vos coordonnées :

.....
.....

Non

Nous vous remercions de votre participation.

Enora, Isla, Gwendoline, Mathias, Elliott, Aurélien.