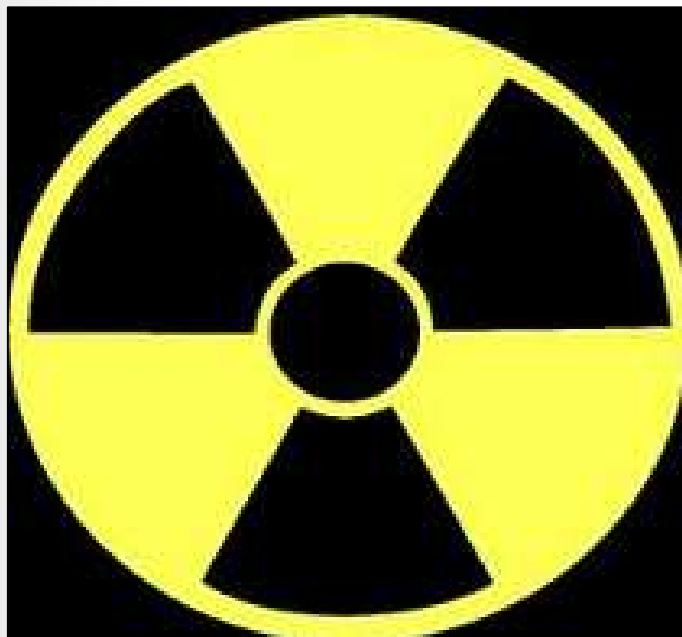


Stockage des déchets radioactifs sur l'atoll de Moruroa

Note à l'attention des membres du
Conseil d'Orientation pour le Suivi des Conséquences des Essais Nucléaires



Rédaction :

Mr. Guillaume RATTE,
Membre du COSGEN, conseiller technique auprès de Mr. James, Narii SALMON,
Ministre de l'équipement, *en charge de l'énergie*, Polynésie française.

Présidence du COSGEN :

Dr Charles TETARIA
Ministre de la santé, *chargé de la prévention, de la sécurité alimentaire et de la
médecine traditionnelle*, Polynésie française.

Contacts :

guillaume.ratte@equipement.min.gov.pf
contact@sante.min.gov.pf

Sommaire

1	Stockage des déchets radioactifs en Métropole.	2
1.1	Catégories des déchets.	2
1.2	Modes de stockage.	3
1.3	Synthèse du stockage.	7
2	Stockage des déchets radioactifs sur l'atoll de Moruroa	8
2.1	Catégories des déchets enfouis.....	8
2.2	Modes de stockage sur l'atoll.....	11
2.3	Stockages à Moruroa et respect de la réglementation.	12
	Glossaire.....	13
	Bibliographie.....	15

Table des figures

Figure 1 :	Echelle d'activité des déchets radioactifs.....	2
Figure 2 :	Centre de stockage des TFA.	3
Figure 3 :	Stockage des déchets FMA.....	4
Figure 4 :	Structure en béton pour le stockage des FMA.....	4
Figure 5 :	Schéma du laboratoire de stockage profond pour les déchets HA et FMA.....	6
Figure 6 :	Synoptique des types de stockage des déchets radioactifs.	7
Figure 7 :	Synoptique des conditions de stockage des déchets radioactifs.	7
Figure 8 :	Situation des puits servant au stockage des déchets radioactifs.	9
Figure 9 :	Catégorie estimée des déchets enfouis.	10
Figure 10 :	Radionucléides présents dans les déchets radioactifs.....	10

1 Stockage des déchets radioactifs en Métropole.

1.1 Catégories des déchets.

Comme toute activité, l'industrie nucléaire civile ou militaire génère des déchets. Les critères principaux pour la caractérisation de la dangerosité des déchets sont au nombre de deux.

- **L'intensité de la radioactivité** : Elle conditionne l'importance des protections à mettre en place.
- **La demi-vie des radionucléides** : Elle définit la durée de nuisance potentielle.

Il est important de noter qu'outre le danger lié aux rayonnements ionisants, certains de ces déchets présentent aussi une toxicité chimique importante (notamment le plutonium) qui est prise en compte dans le confinement.

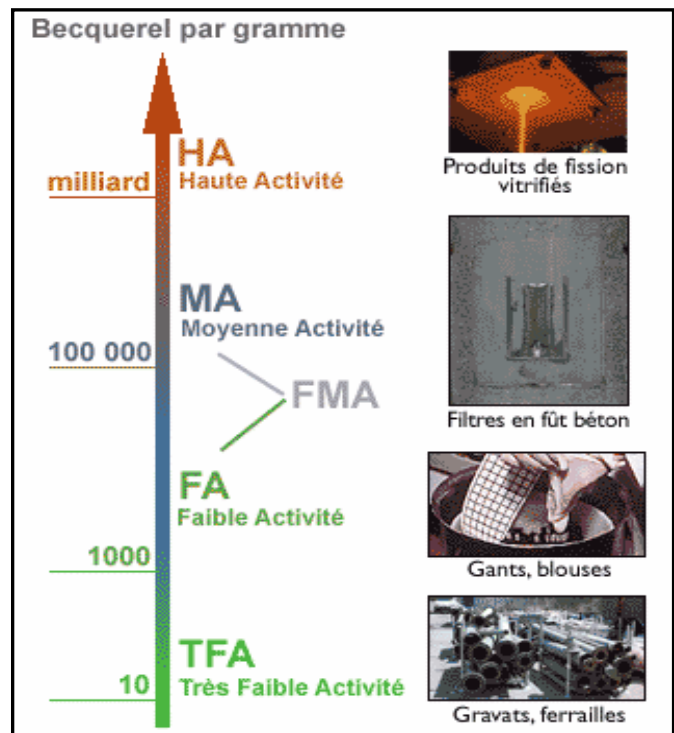
Ces deux critères conduisent à préciser la nature et le risque des déchets radioactifs à gérer.

Intensité de la radioactivité :

Dans le cas de l'intensité de la radioactivité les déchets, celle-ci est classée en 3 catégories.

Figure 1 : Echelle d'activité des déchets radioactifs.

- **HA** : Haute Activité avec une radioactivité de l'ordre du GBq/g (milliard de becquerels par gramme).
- **FMA** : Faible et Moyenne Activité avec une radioactivité comprise entre quelques kBq/g (millier de becquerel) et plusieurs MBq/g (million de becquerels par gramme).
- **TFA** : Très Faible Activité avec une radioactivité de l'ordre de 100 Bq/g (centaine de becquerels par gramme).



Demi-vie ou période des radionucléides :

Le temps de demi-vie des radionucléides qui composent les déchets est également un paramètre fondamental. On considère qu'au bout de 10 fois la période du radionucléide, celui-ci est majoritairement désintégré et qu'il ne présente plus aucun danger.

Cependant, il arrive fréquemment que le noyau fils (issu de la désintégration d'un noyau radioactif) soit lui-même radioactif avec des propriétés physico-chimiques différentes et une période également différente.

Pour un déchet, la demi-vie des radionucléides qui le compose est classée en 2 catégories :

- Vie courte : Période inférieure à 30 ans.
- Vie longue : Période supérieure à 30 ans.

Il en résulte alors 6 catégories différentes de déchets :

- HA, vie courte ou HA, vie longue
- FMA, vie courte ou FMA, vie longue
- TFA vie courte ou TFA, vie longue

On regroupe fréquemment sous le terme HALV (haute activité à vie longue) les déchets de catégories HA quelque soit leur période et les déchets FMA à vie longue.

Chacune de ces catégories de déchets nécessite un conditionnement et une surveillance propre.

1.2 Modes de stockage.

Stockage des TFA (vie courte - vie longue) :



Figure 2 : Centre de stockage des TFA.

Un centre de stockage TFA accueille les déchets dits "de très faible activité". Ce centre de stockage est en exploitation en Métropole, à Soulaines (Aube) depuis l'année 2004.

Les colis de déchets, contrôlés à leur arrivée sur le site, sont stockés dans des alvéoles creusées dans l'argile, protégées par des toits pour éviter tout contact avec la pluie et équipées de dispositifs de surveillance.

La structure géologique du site de stockage actuel se compose d'une couche d'argile étanche de 25 m d'épaisseur, reposant sur une formation de sables argileux, dans lesquels la circulation d'eau est faible.

Le lieu d'implantation a été choisi afin que les alvéoles de stockage se trouvent entièrement au-dessus de la surface de la nappe phréatique.

Stockage des FMA (vie courte) :



Figure 3 : Stockage des déchets FMA.

Un centre de stockage FMA accueille les déchets dits "faible et moyenne activité" à vie courte essentiellement. Ce centre de stockage est en exploitation depuis l'année 1992 en Métropole à Soulaines (Aube).

L'ancien Centre de Stockage de la Manche (CSM) a été fermé en 1994 pour une période de 300 ans.

Figure 4 : Structure en béton pour le stockage des FMA.

Les colis de déchets, contrôlés à leur arrivée sur le site, sont stockés dans des structures en béton de 25 mètres de côté et protégées de la pluie par un toit au cours de l'exploitation. Une fois la case pleine de colis radioactifs, celle-ci est remplie de sable et de béton pour rigidifier la structure. La case est alors refermée par une nouvelle couche de béton et recouverte d'un plastique imperméabilisant.



Ces cases seront recouvertes à terme par une membrane bitumineuse et d'une couche d'argile afin d'assurer l'étanchéité complète. Un réseau souterrain de collecte des eaux, situé sous les cases, assure qu'aucun contact avec les déchets ne soit possible.

Stockage des FMA (vie longue) et HA (vie courte - vie longue) :

Le stockage de déchets à vie longue repose sur l'établissement de différentes barrières entre les déchets contenant les radionucléides et la biosphère. Ces barrières doivent protéger l'environnement durant plusieurs milliers d'années. Il n'existe pas à ce jour, de solution définitive de gestion pour cette catégorie de déchets qui sont entreposés chez leurs producteurs respectifs.

Cependant le stockage de ces déchets à priori les plus dangereux, s'oriente vers un stockage géologique profond. La matrice vitreuse et les conteneurs en acier sont des moyens utilisés pour leur conditionnement. Seule la barrière géologique du site de stockage (couche géologique argileuse ou granitique) n'a pas encore été définie. Une décision doit être prise cette année.

Nous nous intéresserons uniquement au stockage en couche géologique argileuse profonde, en cours d'expérimentation par l'Etat français.

On distingue dans le cas du stockage des déchets à vie longue :

- le déchet lui-même dans sa matrice vitreuse,
- le conteneur en acier,
- la barrière ouvragée, composée d'argiles,
- la barrière géologique naturelle.

Ces barrières ont pour rôle de bloquer la circulation des fluides, de bloquer la circulation des radionucléides, d'absorber d'éventuelles déformations dues à l'augmentation de température liée à la mise en place des colis de déchets radioactifs, d'absorber d'éventuelles déformations induites par des contraintes d'origine tectonique.

La matrice vitreuse

Les produits de fissions calcinés, chauffés à environ 850°C, sont transformés en oxydes solides et sont alors introduits dans un bain liquide de verre borosilicaté à 1150°C (le four de fusion). Le résultat est un verre noir dans lequel les oxydes de produits de fissions font partie intégrante de la structure cristalline du verre.

La barrière métallique

La durée de vie de cette barrière est estimée entre 500 et 1 000 ans. Cette période correspond à la période de sollicitation thermique de la zone de stockage, la température au voisinage des colis passera par un maximum thermique puis baissera progressivement jusqu'à environ 30°C. Cette barrière est considérée comme imperméable durant cette période.

La barrière ouvragée

Elle est constituée d'argile et a pour but de confiner le milieu du point de vue chimique. Ces argiles ont une grande réactivité, permettant de bloquer d'éventuelles fuites par des phénomènes d'échanges cationiques. Elle a également pour but le confinement hydraulique des colis radioactifs.

L'évolution de la perméabilité de cette barrière va se faire en plusieurs étapes. Lors de leur mise en place, ces argiles seront partiellement déshydratées, cette déshydratation sera accentuée par l'élévation de température induite par la mise en place des colis (soit environ une période de 1 000 ans avec un maximum de température de 180 °C). Cette déshydratation s'accompagnera probablement d'une légère augmentation de la perméabilité.

Après cette période de 1000 ans, cette barrière ouvragée va se réhydrater du fait des transferts de fluides de la barrière géologique vers la barrière ouvragée. Cette réhydratation va conduire au gonflement des argiles, gonflement qui va diminuer la perméabilité de façon significative de 100 à 10 000 fois selon les modèles et les conditions expérimentales envisagées. Cette zone deviendra rapidement une barrière très imperméable avec des valeurs proches des limites de mesure de la perméabilité.

Enfin, cette barrière a un rôle de confinement mécanique. Le comportement plastique de l'argile doit permettre d'absorber la déformation (ou fissuration) induite par l'augmentation de température, des variations de pression de fluide ou encore des déformations induites par des contraintes tectoniques sur de grandes périodes de temps.

La barrière géologique

La barrière géologique est constituée par une formation de grande taille, homogène et généralement présentant une faible perméabilité.

Par contre ces matériaux ont une porosité qui varie entre 5 et 12% et par conséquent une surface d'échange eaux-roches importante. Les roches étant composées d'argiles favorables à la fixation d'éventuels radionucléides qui pourraient s'échapper des colis.

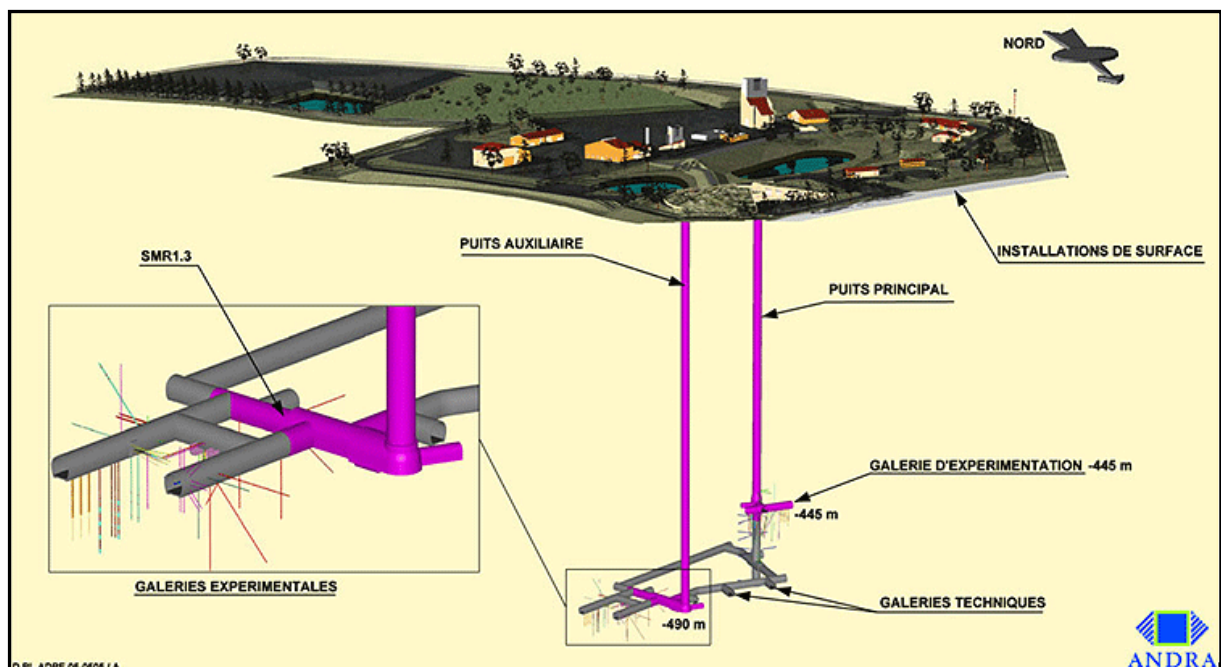
Le creusement de galeries dans cette formation va induire un certain nombre de désordres qui vont modifier les propriétés de transfert dans le champ proche de la galerie.

Il s'agit de façon schématique :

- de la perturbation du champ de contrainte autour de la zone de creusement,
- de la modification des conditions hydriques, avec une zone alliant une humidité relative faible dans la galerie, et une fissuration qui se développe,
- de la modification du champ thermique autour de la zone de stockage.

Les déformations vont définir une zone endommagée autour de la galerie où les conditions de drainage seront modifiées et probablement augmentées de 10 à 100 fois. La zone modifiée sera peu importante (de quelques mètres à une dizaine de mètres selon les modèles).

Figure 5 : Schéma du laboratoire de stockage profond pour les déchets HA et FMA.



1.3 Synthèse du stockage.

Principes de base du stockage :

Le stockage des déchets radioactifs doit respecter les principes de base suivants :

- Un stockage doit isoler les déchets de la biosphère, tant que leur radioactivité n'est pas équivalente à la radioactivité naturelle ambiante.
- Un stockage doit isoler les déchets de la biosphère en raison de leur toxicité chimique.
- Un stockage doit être réversible, c'est-à-dire permettre l'accès aux déchets pour un traitement futur éventuel.
- Un stockage doit isoler les déchets des eaux de pluies et des eaux souterraines, principal vecteur de dispersion de la pollution radiochimique.
- Un stockage doit être réalisé sur un site non susceptible d'être soumis à des risques naturels (tremblement de terre, inondation...).
- Un stockage doit être surveillé tout au long de la décroissance radioactive des déchets.

Figure 6 : Synoptique des types de stockage des déchets radioactifs.

Catégorie de déchets	Vie courte < 30 ans	Vie longue > 30 ans
TFA	Centre de stockage de TFA à Soulaisne depuis 2004	
FMA	Centre de stockage de FMA à Soulaisne depuis 1992	Idem HA
HA	Stockage chez le producteur, mais étude pour stockage géologique profond choix en 2006	

Figure 7 : Synoptique des conditions de stockage des déchets radioactifs.

Catégorie de déchets	Vie courte < 30 ans	Vie longue > 30 ans
TFA	Stockage en surface, inertage physico-chimique et conditionnement en fût, couche géologique argileuse et toit protégeant des intempéries.	
FMA	Stockage en surface, inertage physico-chimique et conditionnement en fût, structure en béton, galerie souterraine de captage d'eau et couche géologique argileuse	Idem HA
HA	Vitrification des produits de fission, conditionnement en fût, barrière ouvragée et stockage géologique profond (environ - 500 m), réversible.	

2 Stockage des déchets radioactifs sur l'atoll de Moruroa (Selon les documents DSND d'octobre 2006)

2.1 Catégories des déchets enfouis.

Les déchets industriels ordinaires :

Les déchets dont l'activité totale (alpha + beta/gamma) est inférieure à 10^5 Bq/kg (<100 Bq/g) sont considérés comme des déchets industriels ordinaires.

Cependant un déchet industriel « ordinaire » est soumis à la réglementation Polynésienne en matière de déchets industriels toxiques solides (non radioactif).

Celle-ci oblige le producteur à les stabiliser en centre d'enfouissement technique de catégorie 1 (CET de Nivee, exploitation prévue pour le début de l'année prochaine).

Ce type de déchet est considéré aujourd'hui comme des déchets radioactifs dits TFA.

Les déchets radioactifs alpha (plutonium principalement):

C'est l'activité spécifique en émission alpha qui détermine la catégorie du déchet et donc ses conditions de stockage.

Un seuil d'activité spécifique alpha a été fixé à $1,32 \cdot 10^6$ Bq/m³ ce qui correspond à 80 mg de ²³⁹Pu par fût de 100 litres.

Deux catégories de déchets ont été définies :

- Activité spécifique alpha < $1,32 \cdot 10^6$ Bq/m³. Les déchets sont dits faiblement radioactifs.
- Activité spécifique alpha > $1,32 \cdot 10^6$ Bq/m³. Les déchets ne sont pas nommés.

Aucune indication n'est donnée sur les catégories de déchets pour une activité supérieure au seuil d'activité spécifique alpha, ni sur la mesure maximale enregistrée.

Les déchets radioactifs bêta-gamma (césium-137, strontium-90...):

C'est l'activité spécifique en émission bêta-gamma qui détermine la catégorie du déchet et donc ses conditions de stockage. Ces déchets ont une teneur en émetteurs alpha négligeable.

Un seuil d'activité spécifique bêta-gamma a été fixé à $1 \cdot 10^5$ Bq/kg.

Deux catégories de déchets ont été définies :

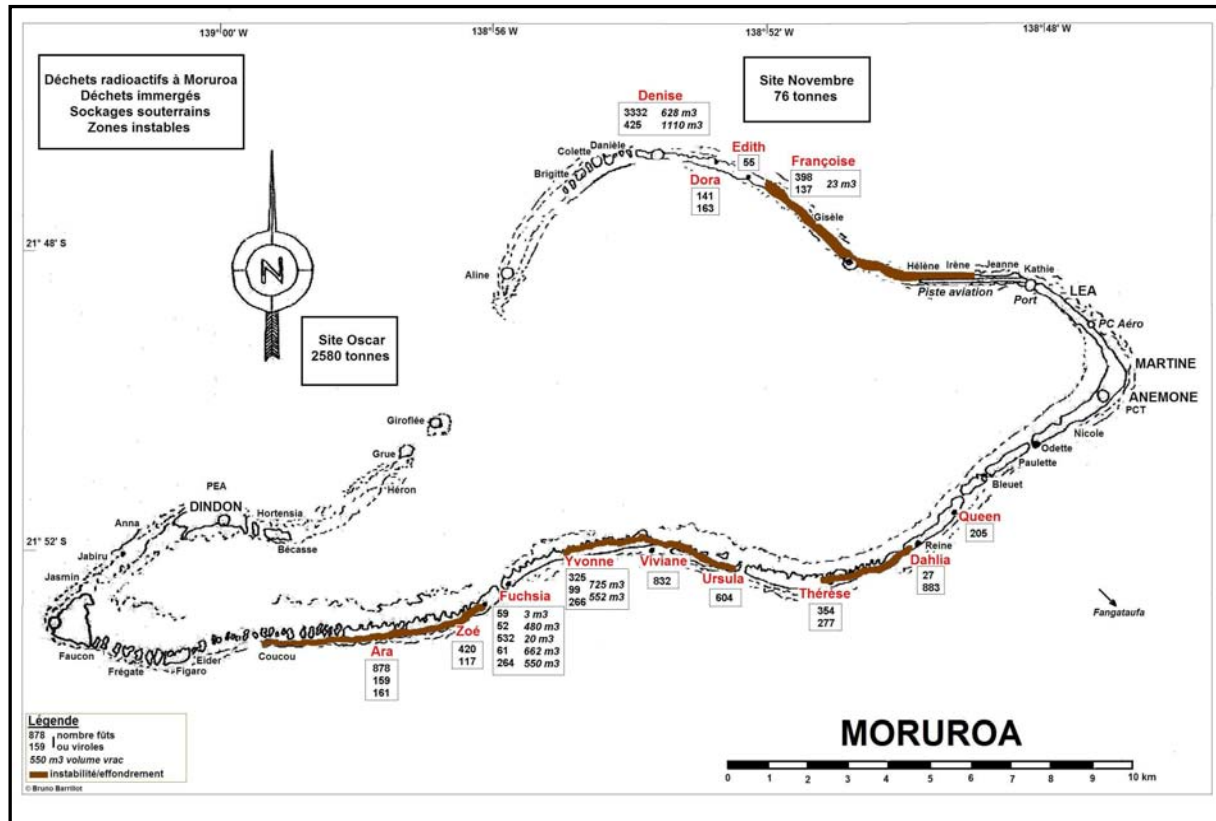
- Activité spécifique bêta-gamma < $1 \cdot 10^5$ Bq/kg. Les déchets sont considérés comme des déchets industriels ordinaires.
- Activité spécifique bêta-gamma > $1 \cdot 10^5$ Bq/kg. Les déchets ne sont pas nommés.

Aucune indication n'est donnée sur les catégories de déchets pour une activité supérieure au seuil d'activité spécifique bêta-gamma, ni sur la mesure maximale enregistrée.

Catégories des déchets et radionucléides:

Certaines données ont été fournies par le DSND, comme le nombre total de fûts et viroles indifférenciés, ainsi que le volume d'agrégats et ferrailles enfouis par puits. Il est également indiqué l'activité spécifique alpha et bêta-gamma des déchets enfouis par puits.

Figure 8 : Situation des puits servant au stockage des déchets radioactifs.



Cependant ces données ne sont pas suffisamment précises pour connaître véritablement les catégories des déchets enfouis dans les puits d'expérimentation.

Il est possible d'émettre deux hypothèses afin de caractériser un peu plus les déchets.

Les hypothèses de calcul sont :

- les fûts et viroles ont un volume identique de 100 litres. Cette hypothèse est minimaliste, car les viroles ne contiennent que 15 litres de déchets et les fûts contiennent a priori moins de 100 litres de déchets.
- Les déchets ont une masse volumique égale à celle du béton soit 2500 kg/m^3 . Cette hypothèse est également minimaliste car il est peu probable que les déchets aient une densité supérieure.

Ces hypothèses permettent d'obtenir le tableau suivant :

Figure 9 : Catégorie estimée des déchets enfouis.

Puits	Activité en Bq			V total m3	Activité totale Bq/g	Catégories des déchets
	Alpha	Bêta	Total			
Ara 5	2,2E+09		2,2E+09	88	1,0E+01	TFA
Ara 7	5,9E+07		5,9E+07	16	1,5E+00	TFA
dahlia 8	3,4E+10	1,0E+12	1,0E+12	88	4,7E+03	FA
dora 5	2,6E+09	8,9E+08	3,5E+09	16	8,6E+01	TFA
dora 7	4,4E+08	2,8E+10	2,8E+10	14	7,9E+02	FA
edith 8	4,5E+08		4,5E+08	6	3,3E+01	TFA
françoise 1		2,0E+11	2,0E+11	63	1,3E+03	FA
fuchsia 4	7,4E+09	3,5E+11	3,6E+11	485	2,9E+02	FA
fuchsia 5	5,8E+08	3,4E+11	3,4E+11	73	1,9E+03	FA
fuchsia 6	1,0E+10	3,5E+08	1,0E+10	668	6,2E+00	TFA
therese 3	3,5E+09	3,0E+09	6,5E+09	58	4,5E+01	TFA
ursula 1	1,9E+09	1,8E+13	1,8E+13	60	1,2E+05	MA
viviane 3	1,0E+08	4,0E+10	4,0E+10	83	1,9E+02	FA
yvonne 2	1,2E+09	9,3E+09	1,1E+10	33	1,3E+02	FA
yvonne 3	9,1E+09	4,2E+10	5,1E+10	735	2,8E+01	TFA
yvonne 4	1,4E+10	7,3E+11	7,4E+11	549	5,4E+02	FA
zoë 3	7,4E+08		7,4E+08	42	7,0E+00	TFA
zoë 4	4,4E+07		4,4E+07	12	1,5E+00	TFA
ps1	2,1E+13	7,0E+11	2,2E+13	961	9,0E+03	FA
ps3	2,3E+12	2,2E+07	2,3E+12	1153	8,0E+02	FA
			Total	5202		

Les hypothèses favorables utilisées afin de déterminer les catégories actuelles des déchets enfouis mettent en évidence des déchets de très faible activité à moyenne activité. L'activité maximale calculée ne dépasse pas le million de becquerel par gramme dans le cas du puits Ursula 1.

Cependant, le stockage de ces catégories de déchets en métropole, nécessite des infrastructures conséquentes, des sous-sols imperméables et un réseau de surveillance hydrique important. Il est fort probable que des données complémentaires, comme le nombre de viroles, la masse des déchets, auront comme conséquence sur les calculs une augmentation de l'activité totale par gramme et par conséquent une augmentation de danger dans les catégories de déchets. Il n'est pas impossible d'avoir des puits contenant des déchets de haute activité.

Ces déchets radioactifs contiennent entre autres les radionucléides (actinides et produits de fissions) suivants :

Figure 10 : Radionucléides présents dans les déchets radioactifs.

Radionucléide			
Quelques Actinides (alpha)	Symbole	Isotope	Temps de demi-vie
Uranium	U	235	7.10 E8 ans
Plutonium	Pu	239 - 241	24 100 ans - 14,4 ans
Américium	Am	241 - 242m - 243	432 ans - 141 ans - 7 370 ans
Curium	Cm	244	18,1 ans

Quelques PF (Beta, Gamma)	Symbole	Isotope	Temps de demi-vie
Césium	Cs	134 - 135 - 137	2 ans - 3.10 E6 ans - 30 ans
Strontium	Sr	90	28,5 ans
Europium	Eu	154 - 155	8,5 ans - 4,9 ans

Ce tableau ne regroupe que les principaux actinides et produits de fissions susceptibles d'être manipulés dans les laboratoires de radiochimie et présents dans la matière nucléaire utilisée lors des essais militaires. Un nombre important (environ une quarantaine) de radionucléides sont également produits lors de la fission nucléaire, mais pour certains, leur temps de demi-vie est suffisamment court pour qu'ils ne soient plus détectables aujourd'hui.

2.2 Modes de stockage sur l'atoll.

Conditionnement des déchets :

- Les déchets issus des cellules THA, quelque soit leur radioactivité, ont été placés dans une virole. La virole contient uniquement 15 litres de déchets.
- Les autres déchets ont été conditionnés dans un sac de polychlorure de vinyle, puis placés dans un fût de 100 litres, lui-même placé dans un second fût de 225 litres. Le tout rempli de béton.

Les déchets en fonction de leur activité spécifique (alpha ou bêta/gamma) ont été stockés dans le sous-sol basaltique ou corallien.

Zone carbonatée:

- Les déchets dont l'activité spécifique alpha est inférieure à $1,32 \cdot 10^6$ Bq/m³ sont stockés dans la zone carbonatée.
- Les déchets dont l'activité spécifique bêta-gamma est supérieure à $1 \cdot 10^5$ Bq/kg sont stockés dans la zone carbonatée.

Sous-sol basaltique :

- Les déchets dont l'activité spécifique alpha est supérieure à $1,32 \cdot 10^6$ Bq/m³ sont stockés dans le sous-sol basaltique.

Aucune indication n'est donnée sur le devenir et le stockage des déchets considérés comme industriels ordinaires.

Remarque :

Les seuils d'activité spécifique sont donnés dans des unités différentes ce qui ne facilite pas les interprétations : alpha en Bq/m³ et bêta-gamma en Bq/kg.

Par ailleurs des données indispensables à une meilleure caractérisation des déchets et à l'évaluation des conditions de stockage sont manquantes :

- Localisation des déchets des cellules de très haute activité (activité spécifique, masse et volume).
- Profondeur d'enfouissement des déchets alpha (corail ou basalte).
- Masse et volume des déchets alpha.
- Profondeur d'enfouissement des déchets beta (corail ou basalte).
- Masse et volume des déchets beta.
- Décompte séparé des viroles et des fûts par puits de stockage.

- Volume de déchets par fûts.
- Destination des déchets industriels ordinaires.
- Perméabilité de la zone corallienne et du sous-sol basaltique.
- Protocole de surveillance des puits de stockage des déchets.

Des éclaircissements seraient également nécessaires sur les points suivants :

- Dans le tableau de la page 13 du document du DSND, nous avons noté quelques incohérences de dates. Il se trouve en effet que pour 14 puits sur 25, la date d'enfouissement des déchets ne correspond pas à la date des tirs effectués dans ces puits.
- Il semble également que le puits Dora 7 où ont été enfouis des déchets en 1996 soit le puits du tir de sécurité *Aeson* du 31 mars 1982. Peut-on considérer que les déchets signalés dans le puits Dora 7 se situent dans la couche des carbonates de l'atoll ?
- Est-il possible de savoir si l'un ou plusieurs des puits de déchets correspondent à des tirs signalés dans le rapport de l'AIEA comme ayant dépassé la zone basaltique (CATV) ?
- Existe-t-il une surveillance particulière des puits des 7 tirs souterrains de sécurité (puits Dora) qui ont été effectués en zone Nord de Moruroa et dans la couche des carbonates de l'atoll ?

Note : Une demande de compléments d'information a été faite auprès du DSND le 14 nov 2006.

2.3 Stockages à Moruroa et respect de la réglementation.

Le stockage des déchets radioactifs à Moruroa, en dehors de toutes considérations relatives aux essais nucléaires militaires, interpelle sur plusieurs points (voir paragraphe 1.3 synthèse du stockage) :

- Le mode de stockage en puits dans un environnement où aucune isolation du milieu hydrique n'a été réalisée est contraire à toutes pratiques en matière de gestion des déchets de manière générale et encore plus s'ils sont radioactifs.
- La disposition des puits de stockage dans des zones de Moruroa reconnues pour leur instabilité géomécanique constitue un risque supplémentaire au regard du respect de l'environnement, ce qui est contraire aux principes de base.
- La répartition des déchets radioactifs selon les 4 catégories de la réglementation française n'a pas été appliquée (l'enfouissement des déchets a eu lieu jusqu'en 1997).
- Les informations sur le contenu des fûts et autres modes de stockages ne permettent pas de définir, pour chaque puits, la catégorie de déchets (TFA, FA, MA ou HA).
- Les informations sur le stockage des déchets dans les puits ayant servi à des tirs souterrains laissent supposer une irréversibilité de ce stockage. C'est-à-dire une incapacité de pouvoir récupérer les déchets en vue d'un traitement futur plus approprié.

Glossaire

Alpha (α) : Noyau d'hélium (deux protons et deux neutrons) émis par les radionucléides lourds. Cette particule possède une forte énergie mais est très peu pénétrante dans la matière.

Becquerel (Bq) : Unité d'activité (Bq) équivalant à une désintégration atomique par seconde. Ses multiples sont plus généralement de l'ordre du kilobecquerel (kBq), du megabecquerel (MBq), du gigabecquerel (GBq), du terabecquerel (TBq) qui valent respectivement, mille, un million, un milliard, mille milliards de becquerels.

Beta (β) : On appelle bêta la particule émise par certains noyaux au cours d'une désintégration nucléaire. Cette particule peut-être un électron (β^-) ou un positron (β^+). On parle de radioactivité bêta.

Biochimie : Science qui a pour objet l'étude de la chimie de la biosphère, c'est-à-dire de l'ensemble des êtres vivants.

Biosphère : Partie de notre planète qui regroupe l'ensemble des êtres vivants.

Biogéochimie : bio - préfixe relatif au vivant, géo - préfixe relatif à la terre, chimie - science de la constitution des divers corps, de leurs transformations et de leurs propriétés.

Ecosystème : Ensemble formé par une communauté d'êtres vivants (ou biocénose) et son environnement géologique, pédologique et atmosphérique (le biotope).

Electron : Charge électrique négative élémentaire et constituant fondamental de l'atome gravitant autour de son noyau. L'électron assure l'équilibre des charges de l'atome vis-à-vis du noyau électriquement positif. Il peut-être émis lors de la transformation d'un neutron en proton. C'est la radioactivité β^- .

Electron-Volt (eV) : Unité d'énergie adaptée à l'échelle de l'atome (eV). L'énergie nécessaire pour arracher un des électrons externes d'un atome est de l'ordre de quelques eV. Un rayonnement gamma possède une énergie de plusieurs millions d'eV (Mev).

Energie de liaison : Force à courte distance, à la fois attractive et répulsive assurant la cohésion des constituants du noyau que sont les nucléons (protons et neutrons).

Gamma (γ) : Onde électromagnétique (photon) de forte énergie et très pénétrante dans la matière. Cette onde peut-être émise lors du réarrangement nucléaire d'un atome. On parle de radioactivité gamma.

Géochimie : Science qui a pour objet l'étude de la chimie de la géosphère. C'est-à-dire la répartition des éléments et des lois de leur comportement chimique dans les constituants de la terre.

Ionisation : On appelle ionisation lorsqu'un ou plusieurs électrons d'un atome sont arrachés par une particule incidente suffisamment énergétique. L'atome touché devient ionique et la matière est dans ces conditions déstructurée.

Isotope : Atome différencié du même élément uniquement par son nombre de neutrons. Un élément chimique peut avoir plusieurs isotopes. Les isotopes d'un même élément possèdent les mêmes propriétés chimiques et atomiques. Seules les propriétés nucléaires varient (le carbone possède deux isotopes stables et un radioactif).

Neutron : Le neutron est avec le proton, l'un des constituants du noyau de l'atome. De charge électrique neutre, il n'est sensible qu'aux forces nucléaires.

Nucléons : On appelle nucléons, du mot latin nucléus qui signifie noyau, les protons et les neutrons qui composent le noyau de l'atome.

Positron : Equivalant de l'électron mais de charge positive. Le positron est éjecté du noyau atomique lors de la transformation d'un proton en neutron. C'est la radioactivité β^+ .

Proton : Le proton est avec le neutron, l'un des constituants du noyau de l'atome. Porteur d'une charge électrique élémentaire positive et 1836 fois plus lourd que l'électron. Le nombre de protons dans le noyau est égal au nombre d'électrons de l'atome.

Période radioactive : Le temps nécessaire pour que la moitié des atomes initialement présents se soit désintégrée. On considère qu'au bout de 8 à 10 fois la période, l'ensemble des noyaux radioactifs s'est désintégré.

Période biologique : La période biologique est le temps nécessaire pour que la moitié d'un radionucléide soit éliminé naturellement d'un organisme vivant. Cette période biologique est indépendante de la période radioactive mais dépendante de l'organe cible et du renouvellement cellulaire.

Radiochimie : Ensemble des synthèses, analyses, études des propriétés chimiques (voir physiques) des radioéléments et radionucléides ainsi que leurs composés.

Radioélément : Élément chimique dont tous les isotopes sont radioactifs.

Radionucléide : Isotope radioactif d'un élément chimique. Il peut y avoir plusieurs radionucléides pour un même élément.

Radiotoxicité : Mesure de la nuisance d'un radionucléide assimilé par l'organisme à la suite d'une inhalation ou ingestion. Elle tient compte du devenir de la substance dans le corps humain, mais non de la probabilité que ce radioélément soit assimilé par l'organisme.

Bibliographie

N. DACHEUX : « *Radioéléments, radionucléides naturels et artificiels* », Institut de Physique Nucléaire d'Orsay, 2004.

M. JURIEN DE LA GRAVIÈRE : « *Les essais nucléaires français dans le Pacifique* », Ministère de la Défense, 2006.

Site web :

<http://www.andra.fr>