



Rédacteur(s) :

Nbre de pages : 13

Type de document : NOTE D'ETUDE

Filière Technique – Palier - Site : DECONSTRUCTION NUCLEAIRE

Domaine(s) métier : DECHET

Titre : **PNGMDR - Caractérisation des déchets MAVL**

ELIDC1400605	A	BPE
---------------------	----------	------------

Imputation : E381/PRDEC1/EINGECIDEN

Affaire(s)
Technique(s) :

Bâtiment(s) :

Systeme(s) Elémentaire(s):

Matériel(s) :

Mots-clés :

Résumé : Le document présente l'état de la caractérisation des déchets MAVL entreposés sur les sites EDF en exploitation ou qui seront produits lors de la déconstruction des réacteurs de première génération.

© EDF SA 2014

Accessibilité :

Ce document contient des informations sensibles relevant du secret et juridiquement protégées. Il est réservé à l'usage exclusif des personnes désignées comme destinataires du document et/ou autorisées à y accéder. Il est illégal de photocopier, distribuer, divulguer ou utiliser de toute autre manière les informations contenues dans ce document sans l'accord du service émetteur de la DIN.

EDF - CIDEN	Référence ELIDC1400605	Indice A	Page 2/2
PNGMDR - Caractérisation des déchets MAVL			

FICHE DE CONTROLE

AIP – Activité Importante pour la Protection des intérêts	NON
--	-----

Pré-diffusion formalisée (indice en cours) :	OUI
---	-----

Auprès de :

Vérification indépendante : NON
--

Auprès de (Nom / Société) :

Indice de la note	Rédacteur(s)	Contrôleur technique	Approbateur
	Nom – Visa – Date	Nom – Visa – Date	Nom – Visa – Date
A Pré-diffusée	Visé le 18/12/2014	Visé le 18/12/2014	Visé le 18/12/2014
B			
C			
D			
E			

EDF - CIDEN	Référence ELIDC1400605	Indice A	Page 3/3
PNGMDR - Caractérisation des déchets MAVL			

SYNTHESE

Le présent document répond au plan d'action concernant le PNGMDR 2013-2015 (Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs) vis-à-vis des aspects de caractérisation et de conditionnement des déchets MAVL produits avant 2015.

Le document aborde les aspects « contamination » ainsi que les aspects « activation », étant entendu que les 2 volets sont systématiquement étudiés lors du remontage des inventaires radiologiques.

L'évaluation de la contamination est basée sur des mesures, alors que l'activation est basée sur des modélisations numériques (montage de ratios) associées à des mesures lors de la production des colis.

Des études prospectives ont déjà été lancées vis-à-vis de certains réacteurs de première génération. Les études visant à déterminer les inventaires radiologiques des DAE du parc seront lancées sur les mêmes bases méthodologiques que celles développées pour les réacteurs de première génération.

EDF - CIDEN	Référence ELIDC1400605	Indice A	Page 4/4
PNGMDR - Caractérisation des déchets MAVL			

SOMMAIRE

1	ÉVOLUTION DU DOCUMENT	5
2	OBJET DU DOCUMENT - CONTEXTE	5
3	IDENTIFICATION DE LA DEMANDE	5
4	CARACTERISATION DES DECHETS MAVL.....	5
4.1	REACTEURS CONCERNES.....	5
4.2	METHODOLOGIE	7
4.2.1	Contamination	7
4.2.2	Activation.....	7
4.2.2.1	Principes méthodologiques	7
4.2.2.2	Données d'entrée.....	8
4.2.2.3	Classification des déchets activés	9
4.2.3	État d'avancement de la caractérisation des déchets MAVL.....	10
4.2.3.1	Réacteurs de première génération	10
4.2.3.2	DAE du parc en exploitation.....	10
4.2.3.3	Cas des déchets sodés.....	11
5	CONCEPTION DE NOUVEAUX COLIS.....	11
6	CONCLUSION.....	11

EDF - CIDEN	Référence ELIDC1400605	Indice A	Page 5/5
PNGMDR - Caractérisation des déchets MAVL			

1 ÉVOLUTION DU DOCUMENT

Indice	Modifications
A	Création du document

2 OBJET DU DOCUMENT - CONTEXTE

La loi stipule que « *la réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs est recherchée notamment par [...] le traitement et le conditionnement des déchets radioactif* ». Les producteurs de déchets HA et MAVL poursuivent, en concertation avec l'ANDRA, les études sur la connaissance, le traitement et le conditionnement de ces déchets.

Concernant les déchets MAVL produits avant 2015 à conditionner au plus tard en 2030, les producteurs respectifs (AREVA, CEA et EDF) devront transmettre avant fin 2014 une étude présentant l'état d'avancement de la caractérisation des déchets MAVL ainsi que les options consolidées de conception d'éventuels nouveaux colis.

3 IDENTIFICATION DE LA DEMANDE

Le présent document répond au plan d'action concernant le PNGMDR 2013-2015 (Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs) vis-à-vis des aspects de caractérisation et de conditionnement des déchets MAVL produits avant 2015.

4 CARACTERISATION DES DECHETS MAVL

La caractérisation des déchets MAVL n'est pas spécifique par rapport aux autres classes de déchets. Elle repose sur un inventaire d'activités spécifiques (i.e. activités massiques) relatif à une liste de radionucléides définie par l'ANDRA (cf. annexe 1). Selon les niveaux d'activités et les radio-toxicités associées, le déchet est classé en TFA, FAMA-VC ou MA-VL.

4.1 REACTEURS CONCERNES

EDF démantèle 9 réacteurs correspondant à 4 types de réacteur répartis sur 6 sites. On identifie en tant que déchets MAVL, les structures fixes ainsi que des déchets d'exploitation au plus près de la zone combustible. Le tableau ci-après présente une synthèse des réacteurs en cours de démantèlement.

EDF - CIDEN	Référence ELIDC1400605	Indice A	Page 6/6
PNGMDR - Caractérisation des déchets MAVL			

Site	Type de réacteur	Puissance thermique [MW]	Nom du réacteur
Chinon	UNGG	300	Chinon 1 (EDF 1)
Chinon	UNGG	850	Chinon 2 (EDF 2)
Chinon	UNGG	1560	Chinon 3 (EDF 3)
St-Laurent-des Eaux	UNGG	1650	St-Laurent A 1 (SL1)
St-Laurent-des Eaux	UNGG	1700	St-Laurent A 1 (SL2)
Bugey	UNGG	1920	Bugey A (BUA)
Brennilis	Eau Lourde	250	Brennilis (EL4)
Chooz	REP	1040	Chooz A
Creys-Malville	RNR	3000	Super Phénix (SPX1)

Tableau 1 : Synthèse des réacteurs en cours de démantèlement

EDF exploite aujourd'hui 58 REP d'une puissance totale de 63 GW, répartis sur 19 sites sur l'ensemble du territoire. Ces réacteurs peuvent être classés en 3 sous-catégories, les réacteurs REP 900 (i.e. environ 900 MWe), les réacteurs REP 1300 (i.e. environ 1300 MWe) et enfin les réacteurs N4 (i.e. 1450 MWe). Si EDF n'envisage aucun démantèlement de ces réacteurs à l'horizon 2015, ces derniers produisent des déchets d'exploitation (comme par exemple les barres de commande) potentiellement MAVL. Le tableau ci-après présente une synthèse du parc EDF en exploitation.

Site	Type de réacteur	Nombre de tranches	Puissance thermique [MW]	Noms des tranches
Fessenheim	REP 900 / CP0	2	2660	Fessenheim 1, 2
Bugey	REP 900 / CP0	4	2790	Bugey 2, 3, 4, 5
Blayais	REP 900 / CP1	4	2790	Blayais 1, 2, 3, 4
Dampierre	REP 900 / CP1	4	2790	Dampierre 1, 2, 3, 4
Gravelines	REP 900 / CP1	6	2790	Gravelines 1, 2, 3, 4, 5, 6
Tricastin	REP 900 / CP1	4	2790	Tricastin 1, 2, 3, 4
Chinon	REP 900 / CP2	4	2790	Chinon B 1, 2, 3, 4
Cruas	REP 900 / CP2	4	2790	Cruas 1, 2, 3, 4
St-Laurent-des Eaux	REP 900 / CP2	2	2790	St-Laurent B 1, 2
Bellevalle	REP 1300	2	3820	Bellevalle 1, 2
Flamanville	REP 1300 / P4	2	3820	Flamanville 1, 2
Paluel	REP 1300 / P4	4	3820	Paluel 1, 2, 3, 4
St Alban	REP 1300 / P4	2	3820	St Alban 1, 2
Cattenom	REP 1300 / P'4	4	3820	Cattenom 1, 2, 3, 4
Golfech	REP 1300 / P4'	2	3820	Golfech 1, 2
Nogent-sur-Seine	REP 1300 / P'4	2	3820	Nogent 1, 2
Penly	REP 1300 / P'4	2	3820	Penly 1, 2
Chooz	N4	2	4270	Chooz B 1, 2
Civaux	N4	2	4270	Civaux 1, 2

Tableau 2
Synthèse du parc EDF en exploitation

EDF - CIDEN	Référence ELIDC1400605	Indice A	Page 7/7
PNGMDR - Caractérisation des déchets MAVL			

Enfin un EPR est en construction sur le site de Flamanville.

4.2 METHODOLOGIE

Le montage d'un inventaire radiologique d'un déchet nucléaire passe systématique par l'évaluation de 2 termes, le premier lié à de la contamination et le second lié à de l'activation. Selon les objets et notamment leurs fonctions et leurs localisations par rapport à la zone combustible, le phénomène activation pourra être nul (ou tout le moins négligeable), ou prépondérant. Le phénomène de contamination sera toujours examiné notamment vis-à-vis des émetteurs α dont la principale source est le combustible.

En absence de rupture de gaine, l'inventaire de contamination d'un déchet MA-VL sera toujours négligeable par rapport à celui d'activation.

Un déchet classé TFA au regard de son seul inventaire par activation, pourra selon son historique (ruptures de gaines, chimie plus ou moins corrosive dans les circuits, etc.) se voir être classé FAMA-VC à cause de son inventaire de contamination.

4.2.1 Contamination

Le phénomène de contamination est un phénomène complexe qui correspond à un transport de matière avant ou après activation, suivi d'une phase de sédimentation plus ou moins complexe. Que ce soit les étapes d'érosion ou de mise en dépôts, la complexité des phénomènes vient d'une part de la nature physicochimique des matériaux, et d'autre part des conditions thermodynamiques d'occurrence.

A ce jour, il n'existe pas de modèle numérique industriel utilisé à EDF dans le cadre du démantèlement des installations, permettant de modéliser les différents phénomènes en lien avec la contamination d'une structure sur la durée d'exploitation et de post-exploitation.

Les évaluations de la contamination sont basées sur les mesures spécifiques avec la prise en compte des fonctionnalités des circuits lors des phases d'exploitation.

4.2.2 Activation

Le phénomène d'activation peut être un phénomène complexe si l'historique d'irradiation l'est, mais les équations physiques étant parfaitement connues, les simulations sont possibles. Des outils existent et sont utilisés en routine dans le cadre du démantèlement des installations d'EDF.

Les performances des ordinateurs sont telles, qu'aujourd'hui on utilise des modélisations 3D associées à des historiques de fonctionnement des installations représentatifs de la réalité.

4.2.2.1 Principes méthodologiques

La figure 1 présente les principales étapes de la démarche.

EDF - CIDEN	Référence ELIDC1400605	Indice A	Page 8/8
PNGMDR - Caractérisation des déchets MAVL			

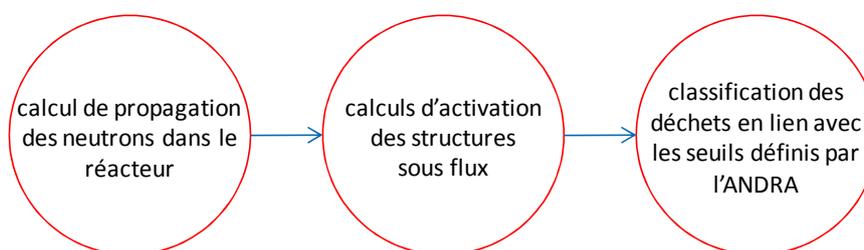


Figure 1 : Schéma de principe d'un calcul d'activation et de son application aux déchets activés

La démarche passe par les trois phases suivantes :

- Calcul de propagation des neutrons : Résolution de l'équation du transport par méthode de Monte Carlo. En entrée, la description géométrique en 3D du problème devant être traité. A cette géométrie, on associe les compositions élémentaires relatives à chaque structure. En sortie on dispose d'une cartographie 3D du flux neutronique multigroupe aux conditions nominales.
- Calcul d'activation : Résolution des équations de Bateman (évolution des compositions isotopiques sous et hors flux neutronique) par méthode itérative de Runge Kutta. En entrée, la cartographie du flux établie par le code de propagation, les compositions élémentaires ainsi que le diagramme de marche de l'installation et l'historique d'irradiation de chaque structure. Vis-à-vis des DAE, l'historique des positions en réacteur est pris en compte. En sortie on dispose des inventaires radiologiques relatifs à chaque volume d'encaissement.
- Une confrontation entre les inventaires calculés et les seuils de classification définis par l'ANDRA peut alors être effectuée. Cette confrontation est faite pour chaque volume d'encaissement.

Les codes de référence utilisés sont d'une part TRIPOLI (développé par le CEA) ou MCNP (développé par le « Los Alamos National Laboratory » aux états unis) pour la propagation des neutrons et le calcul de la cartographie 3D multigroupe du flux neutronique, et d'autre part DARWIN (développé par le CEA) pour l'activation des structures mobiles ou fixes. En ligne de principe, ces outils sont utilisés dans leurs dernières versions en date.

4.2.2.2 Données d'entrée

Les données d'entrée doivent permettre de remonter à la géométrie complète du réacteur, depuis le combustible jusqu'au bâtiment réacteur en passant par les internes mobiles (i.e. barres de commande). En règle générale, les plans sont retenus comme donnée de référence. Si des maquettes numériques 3D existent, elles peuvent avantageusement remplacer des plans 2D.

La seconde information d'intérêt est la composition chimique de chaque structure. Si dans le principe la connaissance des normes peut être suffisante pour alimenter les calculs de propagation (i.e. concentrations des éléments majeurs ayant un impact sur les qualités mécaniques de la structure), il s'avère que la connaissance des concentrations des éléments mineurs est importante au regard des exigences de l'ANDRA (exploitant des exutoires de stockage définitifs des déchets radioactifs) en lien avec l'arrêté INB du 07/02/2012. Pour répondre à ce besoin fort, le CIDEN exploite au maximum les informations des PV de coulées fournis par les fondeurs.

EDF - CIDEN	Référence ELIDC1400605	Indice A	Page 9/9
PNGMDR - Caractérisation des déchets MAVL			

La base des calculs d'activation est de simuler au plus près les historiques d'irradiation. Pour ce faire toutes les informations relatives au fonctionnement de l'installation sont collectées pour monter les hypothèses de calcul. A titre illustratif, la figure 2 présente l'historique de fonctionnement de Chooz A retenu pour les études.

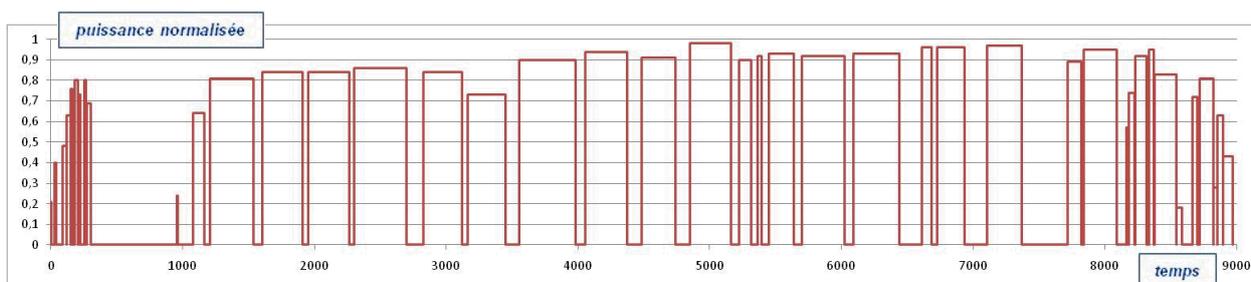


Figure 2 : Historique de fonctionnement de Chooz A (temps en jours)

Vis-à-vis des données de base (sections efficaces, filiations radioactives, périodes de décroissance,...), en ligne de principe les dernières bibliothèques en date sont utilisées.

A titre illustratif, la figure 3 présente la cartographie du flux neutronique de Chooz A, depuis les internes fixe jusqu'au béton puits de cuve sur une profondeur pouvant aller au-delà du mètre.

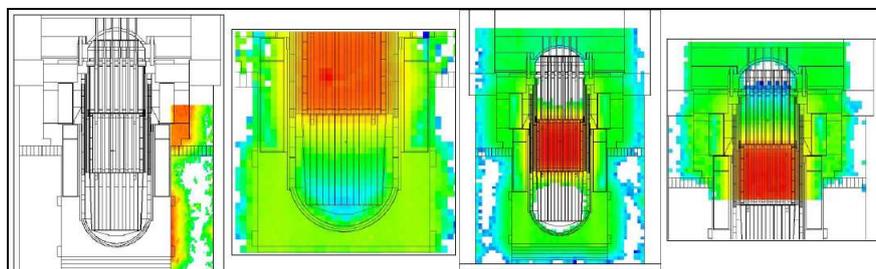


Figure 3 : Propagation des neutrons dans le puits de cuve de Chooz A

4.2.2.3 Classification des déchets activés

Les cartographies sont élaborées sur la base d'une géométrie 3D complète, par principe sans effet de bord, avec un choix judicieux et optimisé dans la localisation des volumes d'encaissement qui assure d'avoir vis-à-vis de chaque structure ou sous-structure, d'une part les valeurs de flux respectivement maximum et minimum, et d'autre part des valeurs intermédiaires.

Ces volumes d'encaissement, associés à un historique de fonctionnement du réacteur au plus près de la réalité et à des compositions impuretés comprises, permettent de connaître la classification prévisionnelle des déchets.

A titre illustratif, la figure 4 présente la classification prévisionnelle des déchets activés de la cuve et des internes de Chooz A.

EDF - CIDEN	Référence ELIDC1400605	Indice A	Page 10/10
PNGMDR - Caractérisation des déchets MAVL			

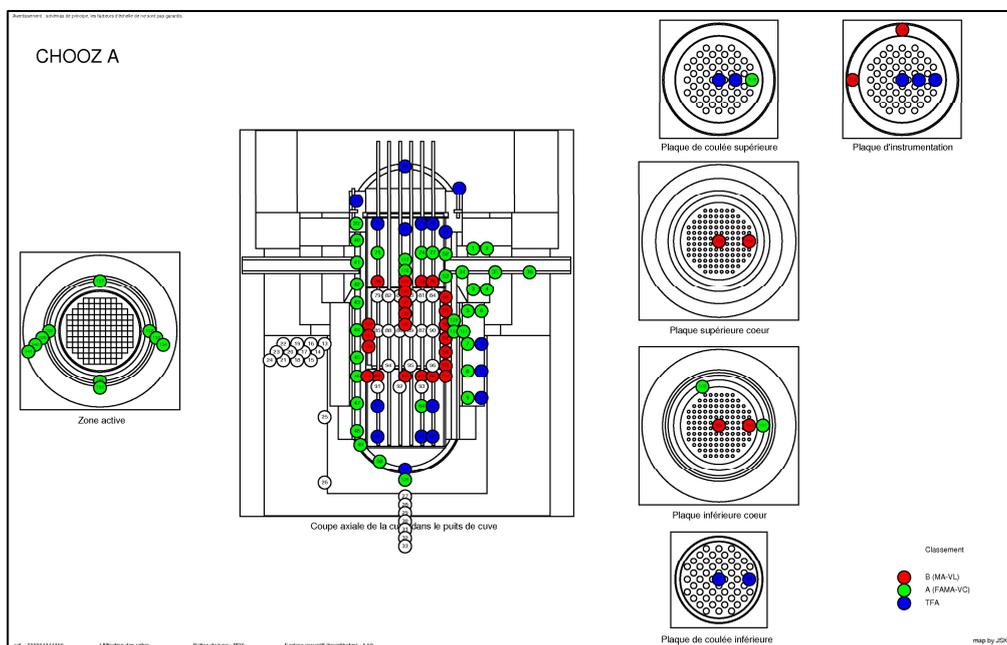


Figure 4 : Classification prévisionnelle des déchets métalliques de Chooz A

Cette classification permet de lancer en amont des chantiers de démantèlement, voire dès les appels d'offres, des études d'optimisation notamment en termes de tri et de remplissage des colis. Sur la base de ces optimisations, des chiffrages économiques peuvent être effectués au plus tôt.

La classification définitive ne sera connue que lors de la production des colis. En effet, c'est au travers de mesures d'un traceur (typiquement le ^{60}Co pour les aciers) que se fait la caractérisation des colis (déclaration ANDRA et classification). L'exploitation des mesures du traceur passe par l'utilisation de ratios qui sont établis en faisant les rapports entre les activités calculés des 143 RN d'intérêt pour l'ANDRA et l'activité calculée du traceur.

4.2.3 Etat d'avancement de la caractérisation des déchets MAVL

4.2.3.1 Réacteurs de première génération

Certains réacteurs de première génération ont été caractérisés selon la méthodologie présentée au § 4.2. sur la base de modélisations plus ou moins fines.

Compte tenu des plannings de démantèlement des réacteurs de première génération, aucune opération d'évacuation des déchets MAVL vers ICEDA ou CIGEO n'est envisagée à court terme (i.e. 2015).

4.2.3.2 DAE du parc en exploitation

Différents objets sont identifiés (têtes de grappes, crayons absorbants, ...). Ils sont actuellement entreposés en étuis dans les piscines BK en attendant une évacuation vers ICEDA.

EDF - CIDEN	Référence ELIDC1400605	Indice A	Page 11/11
PNGMDR - Caractérisation des déchets MAVL			

Les études visant à déterminer les inventaires radiologiques des DAE du parc seront lancées sur les mêmes bases méthodologiques que celles développées pour les réacteurs de première génération.

4.2.3.3 Cas des déchets sodés

Les déchets sodés d'EDF sont constitués d'aiguilles de carbure de bore (B4C) issues des barres des assemblages de commande du réacteur Super Phénix. Ils sont actuellement entreposés dans des étuis cylindriques en acier inoxydable sur l'installation ISAI du CEA de Marcoule. Le conditionnement de référence initialement envisagé consiste en un placement direct des aiguilles de B4C sans traitement préalable dans un conteneur métallique de 1,5 m3 dont les vides résiduels sont comblés par du sable.

Les problématiques posées par le sodium sont liées à la réactivité de ce dernier au contact de l'eau générant à la fois un dégagement de dihydrogène, une production de soude et un dégagement thermique jusqu'à potentiellement la consommation complète du sodium. Un groupe de travail composé de l'ANDRA, du CEA et d'EDF examine ces problématiques spécifiques dans l'optique d'une prise en charge de ces déchets en stockage géologique profond CIGEO.

Le GT poursuit ses travaux principalement sur les deux premiers axes mentionnés dans le PNGMDR :

- La caractérisation de la réaction sodium/eau (liquide et vapeur d'eau) dans les conditions du stockage, dans l'objectif de définir un seuil d'acceptation d'une quantité limitée de sodium dans les colis de déchets pour CIGEO.
- La recherche de procédés permettant d'éliminer le sodium dans ces déchets ou le cas échéant d'en limiter la quantité à une valeur cohérente avec le seuil d'acceptation cité ci-dessus.

Sur la base d'essais réalisés en laboratoire, l'ANDRA affine l'analyse phénoménologique en situation de stockage afin de définir un seuil d'acceptation d'une quantité limitée de sodium dans les colis de déchets pour CIGEO.

Concernant les recherches sur les procédés d'élimination du sodium, le CEA évalue la possibilité d'utiliser un traitement du sodium par carbonatation.

5 CONCEPTION DE NOUVEAUX COLIS

A ce jour les différents scénarios de démantèlement et d'expédition des déchets d'exploitation du parc en exploitation sont adossés à l'utilisation de colis existants.

6 CONCLUSION

Le présent document répond au plan d'action concernant le PNGMDR 2013-2015 (Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs) vis-à-vis des aspects de caractérisation et de conditionnement des déchets MAVL produits avant 2015.

La caractérisation des déchets MAVL n'a aucune spécificité dans la mesure où elle correspond à la finalité des inventaires radiologiques des déchets nucléaires.

EDF - CIDEN	Référence ELIDC1400605	Indice A	Page 12/12
PNGMDR - Caractérisation des déchets MAVL			

Le montage d'un inventaire passe d'une part par l'évaluation d'un vecteur de contamination, et d'autre part par la détermination de l'activation. La contamination est basée sur des mesures, alors que l'activation est basée sur des modélisations numériques (montage de ratios) associées à des mesures lors de la production des colis.

Des études prospectives ont déjà été lancées vis-à-vis des certains réacteurs de première génération. Les études visant à déterminer les inventaires radiologiques des DAE du parc seront lancées sur les mêmes bases méthodologiques que celles développées pour les réacteurs de première génération.

EDF - CIDEN	Référence ELIDC1400605	Indice A	Page 13/13
PNGMDR - Caractérisation des déchets MAVL			

ANNEXE 1

Liste des radionucléides d'intérêt

RN	RN	RN	RN
H3	TC99F	TB157	U232
BE10	RU106	TB158F	U233
C14	RH101F	DY154	U234
NA22	RH102F	HO163F	U235F
AL26F	RH102M	HO166M	U236
SI32	PD107F	TM171	U238
CL36	AG108M	LU173	NP235
AR39	AG110M	LU174F	NP236F
AR42	CD109	LU176F	NP237
K40	CD113M	HF172	PU236
CA41	SN119M	HF178N	PU238
TI44	SN121M	HF182F	PU239
V49	SN126	TA179	PU240
MN53	I129	RE186M	PU241
MN54	SB125	OS194	PU242
FE55	CS134F	IR192N	PU244
FE60	CS135F	PT193F	AM241
CO57	CS137	AU195F	AM242M
CO60F	LA137	HG194	AM243
NI59	BA133F	TL204	CM243
NI63	CE144	PB202F	CM244
ZN65	PM143	PB205F	CM245
GE68	PM144	PB210	CM246
SE79F	PM145	BI207F	CM247
KR81F	PM146	BI208F	CM248
KR85F	PM147	BI210M	CM250
RB87	SM145	PO208	BK247
SR90	SM146	PO209	BK249
ZR93	SM151	RA226	CF248
NB91F	EU150F	RA228	CF249
NB92F	EU152F	AC227	CF250
NB93M	EU154F	TH228	CF251
NB94F	EU155	TH229	CF252
MO93F	GD148	TH230	ES252
TC97F	GD150	TH232	ES254F
TC98	GD153	PA231	