



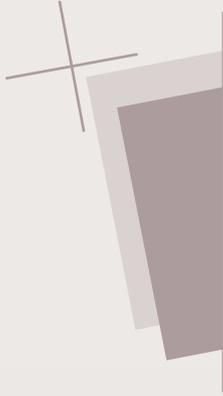
RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Janvier 2024

DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE DU CIRES



Annexes

ANNEXE 1



Demande d'autorisation environnementale du Cires

Annexes

ACACIDOACID230068/B

ANNEXE 1

Évaluations de transfert par l'eau
des radionucléides et toxiques
chimiques

Traitement quantitatif des
scénarios de sûreté (SEN et SEA)

Mise à jour du dossier de demande d'autorisation environnementale du Cires en vue de l'enquête publique

À la suite des avis du Conseil national de la protection de la nature (CNPN) et de l'Autorité environnementale (Ae) émis dans le cadre du processus d'instruction de la demande d'autorisation environnementale, des mises à jour ont été apportées par l'Andra dans certaines pièces du dossier (déposé pour instruction le 9 avril 2023) avant son passage en enquête publique.

Pour assurer la clarté de l'information du public, l'Andra assure la traçabilité de ces mises à jour.

Toutes les adaptations (modifications ou ajouts) se matérialisent par un surlignage gris dans le corps du texte, les corrections mineures de forme et de mise en cohérence ne sont pas matérialisées.

SOMMAIRE

1.	Contexte et objectifs	15
2.	Le contexte hydraulique et hydrogéologique du Cires	16
2.1	<i>L'hydrogéologie du site</i>	16
2.2	<i>Analyse préalable du fonctionnement hydraulique du système et de la migration des radionucléides et toxiques chimiques</i>	19
3.	La conceptualisation des évaluations	22
3.1	<i>La conceptualisation physique</i>	22
3.1.1	Les principales hypothèses sous-tendant la conceptualisation du stockage	22
3.1.2	La représentation géométrique des ouvrages de stockage	22
3.1.3	L'inventaire en radionucléides et en toxiques chimiques	26
3.1.4	Les termes sources	27
3.1.5	Les paramètres hydrauliques et de transfert des solutés	28
3.1.6	Les exutoires considérés	34
3.1.7	La répartition de l'inventaire dans les modèles numériques	37
3.1.8	Les indicateurs retenus	37
3.2	<i>La conceptualisation mathématique</i>	38
3.2.1	La modélisation de l'équilibre hydraulique du milieu	38
3.2.2	La modélisation de la migration des espèces chimiques dans le milieu poreux saturé en eau	39
3.2.3	La modélisation des impacts radiologiques et toxicologiques aux exutoires	40
3.3	<i>La conceptualisation numérique</i>	41
3.3.1	Les outils de simulation	41
3.3.2	La discrétisation spatiale et temporelle	41
3.3.3	Les conditions aux limites en hydraulique et en transport	42
3.4	<i>Les évaluations menées</i>	42
3.4.1	Cas de référence	42
3.4.2	Étude de sensibilité des impacts radiologiques et toxicologiques aux paramètres de rétention dans l'alvéole	42
3.4.3	Étude de sensibilité des impacts radiologiques et toxicologiques aux paramètres des argiles à Plicatules	43
3.4.4	Étude de sensibilité des impacts radiologiques et toxicologiques aux performances de la couverture	44
3.4.5	Étude de sensibilité des impacts radiologiques et toxicologiques à des dispositions d'exploitation du stockage	44
4.	Les résultats	46
4.1	<i>Le cas de référence</i>	46
4.1.1	Le comportement hydraulique	46
4.1.2	Le transfert des radionucléides	46
4.1.3	Les impacts radiologiques aux exutoires	53
4.1.4	Les impacts toxicologiques aux exutoires	72
4.2	<i>Les études de sensibilités</i>	76
4.2.1	Les impacts radiologiques aux exutoires en sensibilité	76
4.2.2	Les impacts toxicologiques aux exutoires en sensibilité	132
5.	Synthèse des impacts radiologiques et toxicologiques et enseignements	146

5.1	<i>Le cas de référence</i>	146
5.1.1	Les impacts radiologiques	146
5.1.2	Les impacts toxicologiques	147
5.2	<i>Les études de sensibilité</i>	148
5.2.1	Les impacts radiologiques	148
5.2.2	Les impacts toxicologiques	151
6.	Annexes	153
6.1	<i>Répartition de l'inventaire radiologique stocké au 31 décembre 2019</i>	153
6.2	<i>Répartition de l'inventaire toxicologique stocké au 31 décembre 2019</i>	156

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1-1	Coupe géologique au droit du stockage	16
Figure 2.1-2	Réseau hydrographique de la zone de Cires	18
Figure 2.1-3	Carte piézométrique de l'aquifère du Barrémien supérieur (campagne de novembre- décembre 2000)	19
Figure 2.2-1	Évolution attendue de la circulation de l'eau dans et autour des alvéoles de stockage du Cires depuis la phase d'exploitation - surveillance jusqu'à 10 000 ans	20
Figure 3.1-1	Plan d'occupation - Projet d'augmentation de la capacité de stockage du Cires	23
Figure 3.1-2	Modèle géométrique 2D d'une coupe transversale des 15 alvéoles de la Tranche 1 du Cires	23
Figure 3.1-3	Modèle géométrique 2D d'une coupe transversale des 10 alvéoles de la Tranche 2 du Cires	24
Figure 3.1-4	Modèle géométrique 2D d'une coupe transversale des 9 alvéoles de la Tranche 3 du Cires	24
Figure 3.1-5	Modèle géométrique 2D d'une coupe longitudinale de l'alvéole dédié	24
Figure 3.1-6	Modèle 2D Tranches 2 et 3 - Matériaux et dimensions caractéristiques pour un alvéole de bord de plate-forme	25
Figure 3.1-7	Campagne de reconnaissance FA-VL - Mesures du coefficient de diffusion effectif du tritium et du chlore 36 à diverses profondeurs	28
Figure 3.1-8	Campagne de reconnaissance FA-VL - Mesures de la porosité des argiles tégulines à diverses profondeurs	29
Figure 3.1-9	Voies de transfert des radionucléides pour l'exutoire « Pompage dans le Barrémien »	34
Figure 3.1-10	Voies de transfert des radionucléides pour l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance »	35
Figure 3.1-11	Voies de transfert des radionucléides pour les exutoires « Sol contaminé au voisinage des talus du stockage »	36
Figure 3.1-12	Représentation de l'extension de la surface contaminée (L) par débordement des eaux du stockage par « effet baignoire » pour la Tranche 2	36
Figure 3.1-13	Exutoire « Sol contaminé » - Illustration des deux scénarios considérés : (1) « jardin potager » (L=10 m) ; (2) « multi-activités » (L=100 m)	37
Figure 3.1-14	Voies verticales et latérales de transfert associées à chaque tranche du Cires	38
Figure 3.3-1	Schéma de construction numérique des calculs de performance et de sûreté	41
Figure 4.1-1	Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Répartition de la masse de quelques radionucléides représentatifs à 300 et 10 000 ans	51
Figure 4.1-2	Cas de référence - Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « adulte »	53
Figure 4.1-3	Cas de référence - Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 10 ans »	54
Figure 4.1-4	Cas de référence - Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	54
Figure 4.1-5	Situation de référence- Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »	56
Figure 4.1-6	Cas de référence - Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 10 ans »	56

Figure 4.1-7	Cas de référence – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	57
Figure 4.1-8	Cas de référence – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	58
Figure 4.1-9	Cas de référence – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 10 ans »	59
Figure 4.1-10	Cas de référence – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Historique des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	59
Figure 4.1-11	Cas de référence – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	61
Figure 4.1-12	Cas de référence – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 10 ans »	62
Figure 4.1-13	Cas de référence – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Historique des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	62
Figure 4.1-14	Cas de référence – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »	64
Figure 4.1-15	Cas de référence – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 10 ans »	65
Figure 4.1-16	Cas de référence – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	65
Figure 4.1-17	Cas de référence – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »	68
Figure 4.1-18	Cas de référence – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 10 ans »	68
Figure 4.1-19	Cas de référence – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	69
Figure 4.1-20	Cas de référence – Évolution des concentrations massiques en toxiques chimiques à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » et seuils de potabilité selon NQE	72
Figure 4.1-21	Cas de référence – Évolution des concentrations massiques en toxiques chimiques à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » et seuils de potabilité selon NQE	73
Figure 4.2-1	Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	76
Figure 4.2-2	Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole – Évolution comparée des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	78
Figure 4.2-3	Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	79

Figure 4.2-4	Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	81
Figure 4.2-5	Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	83
Figure 4.2-6	Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	85
Figure 4.2-7	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	86
Figure 4.2-8	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	88
Figure 4.2-9	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	90
Figure 4.2-10	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	92
Figure 4.2-11	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	94
Figure 4.2-12	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	96
Figure 4.2-13	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	97
Figure 4.2-14	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	99
Figure 4.2-15	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	100
Figure 4.2-16	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	102
Figure 4.2-17	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	104
Figure 4.2-18	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol	

	contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	105
Figure 4.2-19	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	107
Figure 4.2-20	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	108
Figure 4.2-21	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	109
Figure 4.2-22	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	111
Figure 4.2-23	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	113
Figure 4.2-24	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	115
Figure 4.2-25	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	116
Figure 4.2-26	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	118
Figure 4.2-27	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	119
Figure 4.2-28	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	121
Figure 4.2-29	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »	123
Figure 4.2-30	Sensibilité aux dispositions d'exploitation de la Tranche 2 – Évaluation pour les sensibilités maximisant la voie latérale, sans et avec limitation de l'inventaire en uranium, protactinium et technétium dans l'alvéole de bord – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	125
Figure 4.2-31	Sensibilité aux dispositions d'exploitation de la Tranche 2 – Évaluation pour les sensibilités maximisant la voie latérale, sans et avec limitation de l'inventaire en uranium, protactinium et technétium dans l'alvéole de bord – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	129

Figure 4.2-32	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole- Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des QD de l'antimoine à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	135
Figure 4.2-33	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole- Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des QD de l'uranium à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	136
Figure 4.2-34	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules - Évolution des concentrations massiques en toxiques chimiques à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » et seuils de potabilité selon NQE	137
Figure 4.2-35	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules - Évolution des QD du bore, de l'antimoine et de l'uranium à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « adulte »	138
Figure 4.2-36	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des QD de l'uranium à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	140
Figure 4.2-37	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des QD de l'antimoine et de l'uranium à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	142
Figure 4.2-38	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des QD de l'antimoine à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »	144

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1-2	Liste des radionucléides retenus pour les évaluations de sûreté (chaînes de filiation incluses) et des périodes radioactives associées	26
Tableau 3.1-3	Liste des toxiques chimiques retenus pour les évaluations de sûreté	27
Tableau 3.1-4	Paramètres hydrauliques et de transfert de solutés retenus pour les différents matériaux du modèle	32
Tableau 3.1-5	Coefficients de partage et limites de solubilités pris en compte dans les matériaux argileux et dans les alvéoles du Cires pour les éléments chimiques	32
Tableau 3.1-6	Coefficients de partage et limites de solubilités pris en compte dans les matériaux argileux et dans les alvéoles du Cires pour les toxiques chimiques	33
Tableau 3.4-1	Coefficients de partage pris en compte dans les argiles à Plicatules (argile hôte) pour la sensibilité visant à maximiser les transferts vers la nappe du Barrémien	43
Tableau 4.1-1	Débits d'eau débordant des alvéoles par « effet baignoire » pour les différentes tranches du stockage	46
Tableau 4.1-2	Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Répartition entre les deux voies de transfert (« effet baignoire », nappe du Barrémien) en post-surveillance (300-10 000 ans) et part de l'inventaire initial sortie à 10 000 ans	47
Tableau 4.1-3	Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Répartition de la masse par radionucléide à 10 000 ans	48
Tableau 4.1-4	Cas de référence - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » pour le groupe de référence « villageois » et les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an »	55
Tableau 4.1-5	Cas de référence - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » pour le groupe de référence « multi-activités » et les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an »	57
Tableau 4.1-6	Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an »	60
Tableau 4.1-7	Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an »	63
Tableau 4.1-8	Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an »	66
Tableau 4.1-9	Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an »	69
Tableau 4.1-10	Maximum des doses cumulées par exutoire et par tranche du stockage pour la classe d'âge à plus fort impact	71
Tableau 4.1-11	Limites de potabilité des toxiques chimiques (selon [1])	72
Tableau 4.1-12	Cas de référence - Valeurs de référence et valeurs évaluées des teneurs en toxiques chimiques dans le sol naturel/contaminé (mg/kg de sol sec)	74
Tableau 4.2-1	Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	77

Tableau 4.2-2	Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	78
Tableau 4.2-3	Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	79
Tableau 4.2-4	Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	81
Tableau 4.2-5	Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	83
Tableau 4.2-6	Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	85
Tableau 4.2-7	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	87
Tableau 4.2-8	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	88
Tableau 4.2-9	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	90
Tableau 4.2-10	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	92
Tableau 4.2-11	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	94
Tableau 4.2-12	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole – Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	96
Tableau 4.2-13	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	97
Tableau 4.2-14	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	99

Tableau 4.2-15	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	100
Tableau 4.2-16	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	102
Tableau 4.2-17	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	104
Tableau 4.2-18	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	105
Tableau 4.2-19	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	107
Tableau 4.2-20	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	108
Tableau 4.2-21	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	110
Tableau 4.2-22	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	111
Tableau 4.2-23	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	113
Tableau 4.2-24	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	115
Tableau 4.2-25	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	117
Tableau 4.2-26	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	118

Tableau 4.2-27	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	120
Tableau 4.2-28	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	121
Tableau 4.2-29	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »	123
Tableau 4.2-30	Sensibilité aux dispositions d'exploitation de la Tranche 2 -Évaluation pour les sensibilités maximisant la voie latérale, sans et avec limitation de l'inventaire en uranium, protactinium et technétium dans l'alvéole de bord - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	126
Tableau 4.2-31	Sensibilité aux dispositions d'exploitation de la Tranche 2 -Évaluation pour les sensibilités maximisant la voie latérale, sans et avec limitation de l'inventaire en uranium, protactinium et technétium dans l'alvéole de bord - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »	130
Tableau 4.2-32	Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole- Valeurs de référence et valeurs évaluées des teneurs en toxiques chimiques dans le sol naturel/contaminé (mg/kg de sol sec)	132
Tableau 4.2-33	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole - Valeurs de référence et valeurs évaluées des teneurs en toxiques chimiques dans le sol naturel/contaminé (mg/kg de sol sec)	133
Tableau 4.2-34	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole- Évaluation à l'échelle Tranche 1 - QD/ERI maximaux pour la voie ingestion à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	135
Tableau 4.2-35	Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole- Évaluation à l'échelle Tranche 2 - QD/ERI maximaux pour la voie ingestion à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	136
Tableau 4.2-36	Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules - QD/ERI maximaux à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « adulte »	138
Tableau 4.2-37	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules - Valeurs de référence et valeurs évaluées des teneurs en toxiques chimiques dans le sol naturel/contaminé (mg/kg de sol sec)	139
Tableau 4.2-38	Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - QD/ERI maximaux à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	140
Tableau 4.2-39	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Valeurs de référence et valeurs évaluées des teneurs en toxiques chimiques dans le sol naturel/contaminé (mg/kg de sol sec)	141
Tableau 4.2-40	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - QD/ERI maximaux à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »	143

Tableau 4.2-41	Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - QD/ERI maximaux à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »	144
Tableau 4.2-42	Sensibilité aux dispositions d'exploitation de la Tranche 2 - Valeurs de référence et valeurs évaluées des teneurs en uranium dans le sol naturel/contaminé (mg/kg de sol sec) pour les trois sensibilités maximisant la voie latérale avec limitation de l'inventaire en uranium dans l'alvéole de bord	145
Tableau 5.1-1	Cas de référence - Synthèse des impacts radiologiques évalués aux différents exutoires (maxima des courbes de cumul de doses)	146
Tableau 5.2-1	Synthèse des impacts radiologiques évalués pour les sensibilités étudiées aux différents exutoires (maxima des courbes de cumul de doses)	149
Tableau 6.1-1	Répartition de l'inventaire radiologique stocké au 31 décembre 2019 par radionucléide et par alvéole de stockage	154
Tableau 6.2-1	Répartition de l'inventaire toxicologique stocké au 31 décembre 2019 par toxique chimique et par alvéole de stockage	157

1. Contexte et objectifs

Ce document s'inscrit dans le cadre du projet Acaci dont l'objectif est d'augmenter la capacité autorisée de stockage des déchets TFA au Cires.

Le document présente les évaluations numériques conduites afin (i) d'identifier les grands mécanismes contrôlant, en post fermeture, le transfert des radionucléides et toxiques chimiques par la voie eau dans le stockage, et (ii) d'estimer l'ordre de grandeur des impacts radiologiques et toxicologiques sur l'Homme aux exutoires potentiels identifiés jusqu'à 10 000 ans.

Les différents scénarios d'évolution normale (SEN) et d'évolution altérée (SEA), ainsi que les sensibilités associées ont tous fait l'objet de simulations numériques, dont les résultats sont présentés ci-dessous.

2. Le contexte hydraulique et hydrogéologique du Cires

2.1 L'hydrogéologie du site

La zone d'implantation du Cires est localisée sur les formations géologiques argilo-sableuses du Crétacé inférieur qui affleurent sur tout le pourtour oriental du bassin de Paris. Ces formations constituent le sommet d'un vaste monoclin faiblement incliné vers le centre du bassin de Paris c'est-à-dire vers le nord nord-ouest.

Les formations géologiques situées au droit du site d'implantation du Cires sont constituées depuis le sommet par :

- Les formations superficielles de nature variée qui présentent une certaine corrélation avec le substratum sur lequel elles se trouvent, il s'agit pour l'essentiel de limons très sableux. Ces formations sont particulièrement développées le long des talwegs actuels ;
- La formation des argiles de l'Aptien inférieur (Argiles à Plicatules) d'une épaisseur de 25 m devenant légèrement sableuse et altérée vers le sommet sur 1 à 2 m d'épaisseur ;
- La formation des silts et argiles du Barrémien supérieur d'une épaisseur moyenne d'environ 6 m mais pouvant atteindre localement 9 m. Cet horizon est très hétérogène, il est constitué de niveaux argileux compacts ainsi que de niveaux silteux perméables ;
- La formation des argiles Ostréennes attribuées au Barrémien inférieur. Cette formation d'une vingtaine de mètres est constituée par une succession de bancs calcaires et argilo-marneux dominants.

Sur la bordure Ouest du site en dehors de l'emprise actuelle du Cires, se trouve la formation des sables blancs de l'Aptien épaisse de 7 à 9 m (cf. Figure 2.1-1).

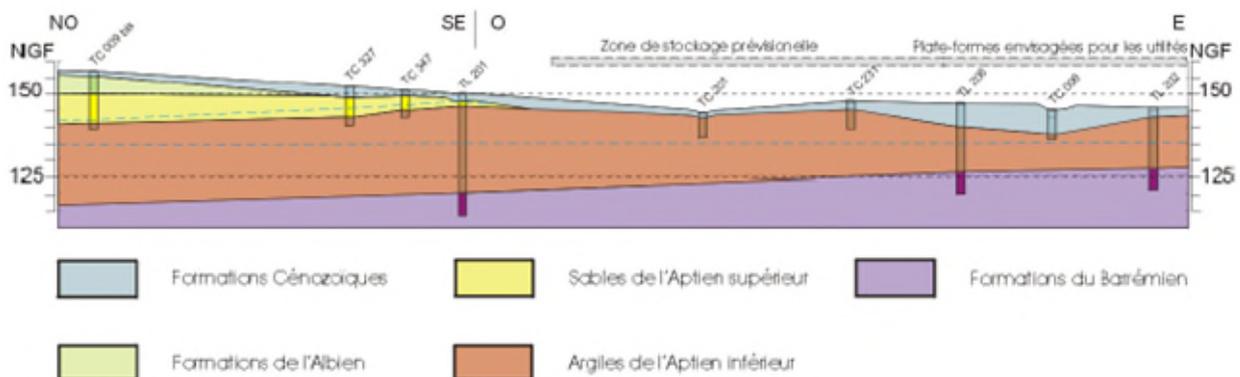


Figure 2.1-1 Coupe géologique au droit du stockage

Le terrain du Cires est entaillé au sud par le ruisseau Courgain et au nord par le ruisseau Loriguette qui représentait le point bas topographique avant l'aménagement du Centre. Ces ruisseaux, dont l'écoulement n'est qu'occasionnel, se jettent à environ un kilomètre vers l'est dans le ruisseau Forgeot, affluent de la rivière des Noues d'Amance (cf. Figure 2.1-2).

L'aquifère du Barrémien est situé à la base de la formation argilo-silteuse du Barrémien supérieur. Du fait de la grande variabilité des faciès composant le Barrémien, on peut considérer cet aquifère comme multicouche. Cette variabilité des faciès a une influence sur l'épaisseur véritablement aquifère de cette formation : au droit du Cires, seuls quelques mètres en base de la formation sont aquifères. En résumé, cet aquifère situé à la base de la formation silto-argileuse du Barrémien supérieur est très peu transmissif, la productivité des forages est variable mais globalement médiocre. Les eaux du Barrémien ont un faciès bicarbonaté sulfaté calcique riche en chlore et en fer. Une telle minéralisation s'accorde avec le faible renouvellement des eaux.

L'alimentation de l'aquifère du Barrémien paraît assurée le long du Graben de Soulaines. Les connaissances relatives aux écoulements souterrains permettent d'établir une direction approximativement du sud sud-ouest vers le nord nord-est au droit du Cires comme à l'aval hydraulique immédiat (cf. Figure 2.1-3).

L'alimentation de la nappe du Barrémien s'effectue le long du graben de Soulaines et via les zones d'affleurement au sud et au sud-est du Cires. Les écoulements sont organisés de manière convergente vers une dépression piézométrique centrée sur le sud du CSA, les Noues d'Amance et l'étang de Villemahu : les écoulements provenant de l'aplomb du Cires et de l'aplomb du CSA se dirigent vers le centre de la dépression, puis vers l'ouest-sud-ouest. Cette configuration, déjà retenue lors de la création du Cires avec quelques mesures, demeure aujourd'hui confirmée.

La dépression piézométrique centrée sur les Noues d'Amance près de l'étang de Villemahu coïncide avec un amincissement de l'argile de l'Aptien inférieur du fait de l'érosion : l'épaisseur serait comprise entre 10 et 20 m environ. En effet, les Noues d'Amance près de l'étang de Villemahu sont environ à la cote 130 m NGF, alors que le mur de l'argile de l'Aptien inférieur a été reconnu aux cotes 120 m NGF et 112 m NGF respectivement sur les piézomètres TL301B et DB03, situés de part et d'autre de l'étang (Figure 2.1-2 et Figure 2.1-3).

Compte tenu des considérations suivantes :

- propriétés hydrodynamiques de l'aquifère Barrémien peu propices aux écoulements rapides ;
- absence d'exutoire ponctuel connu à cet endroit naturel (source, résurgence, ...) ou artificiel (pompage, drainage...);
- amincissement de l'épaisseur des argiles de l'Aptien inférieur ;
- niveau piézométrique au-dessus de la surface du sol (artésianisme) dans ce secteur ;

l'exutoire de la nappe des Sables du Barrémien est certainement diffus vers la surface, par drainance ascendante au travers des Argiles de l'Aptien inférieur, et alimenterait de manière continue la zone humide constituée par l'étang de Villemahu et les Noues d'Amance (cf. Figure 2.1-2 et Figure 2.1-3). En effet, la nappe du Barrémien étant artésienne, il y a une pression d'eau continue vers le haut ; du fait de l'amincissement des argiles, celles-ci pourraient laisser sortir l'eau de la nappe, de façon très lente mais continue, provoquant ainsi une baisse de pression dans ce secteur de la nappe, matérialisé par la dépression piézométrique.

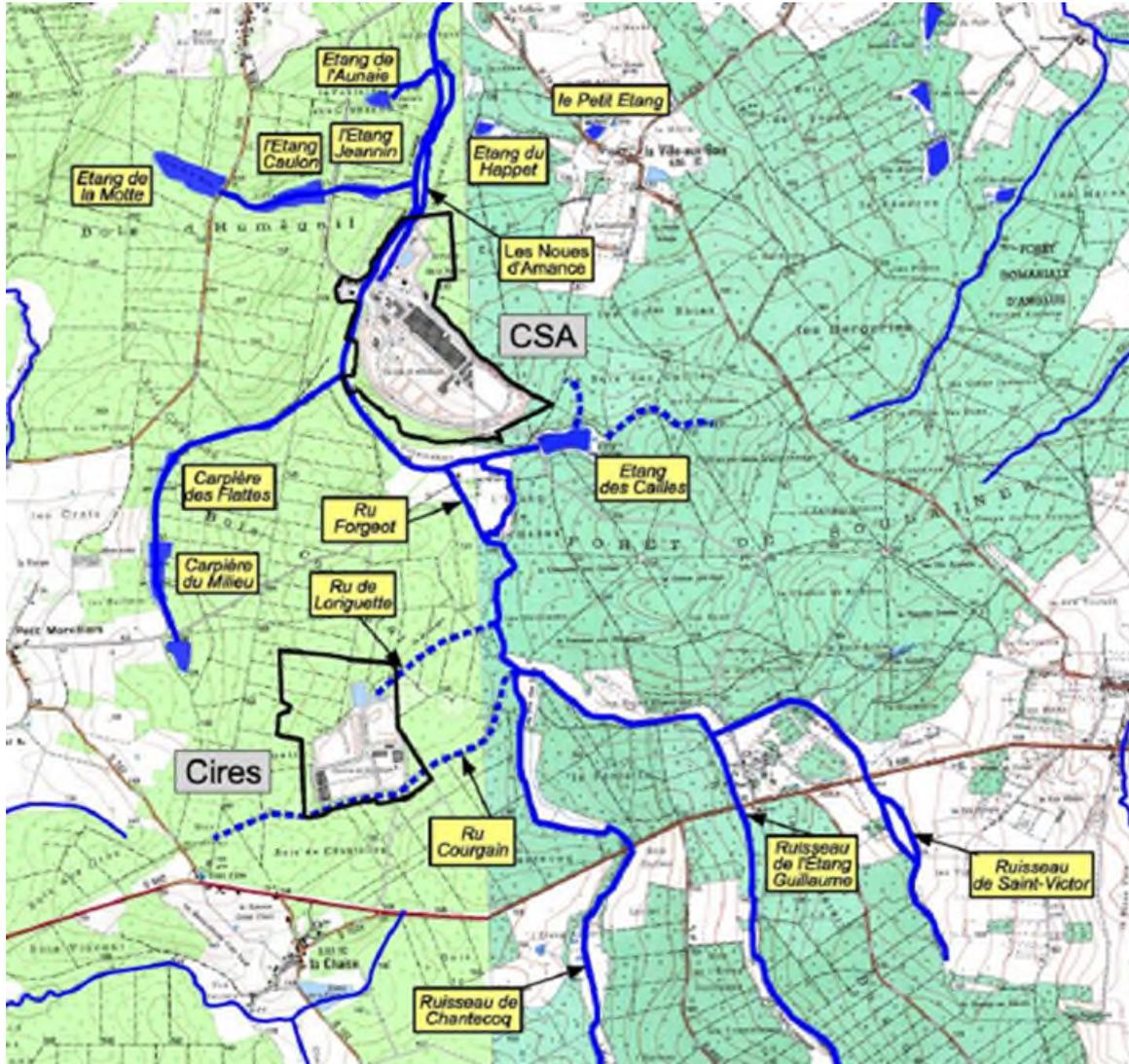


Figure 2.1-2 Réseau hydrographique de la zone du Cires

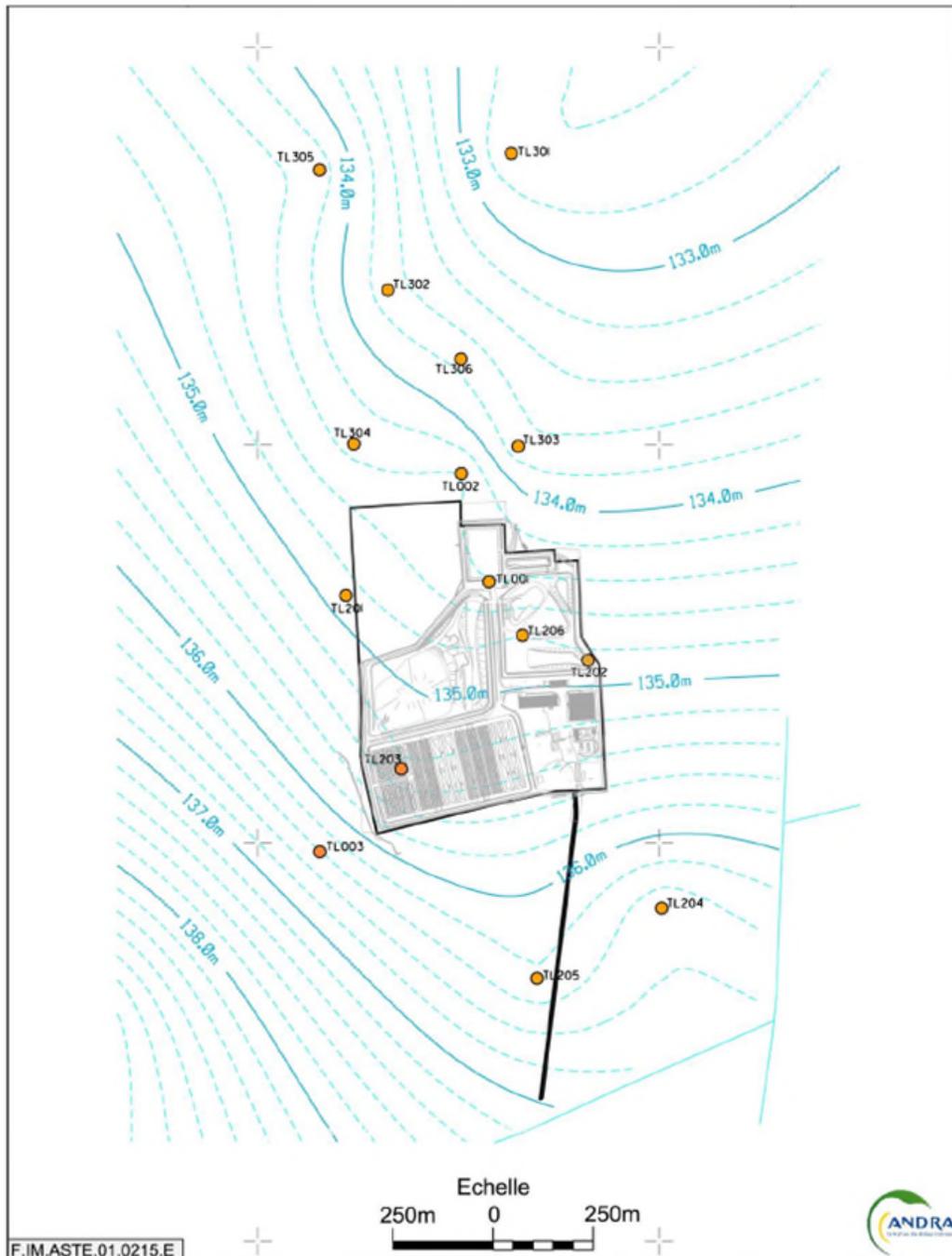


Figure 2.1-3 Carte piézométrique de l'aquifère du Barrémien supérieur (campagne de novembre- décembre 2000)

2.2 Analyse préalable du fonctionnement hydraulique du système et de la migration des radionucléides et toxiques chimiques

Les éléments de conception du stockage TFA du Cires en phases de surveillance et de post-surveillance, ainsi que l'évolution attendue du système sont présentés ci-dessous :

- Les déchets sont stockés dans des alvéoles creusés dans l'argile de l'Aptien (argile à Plicatules), de faible perméabilité à l'eau (Figure 3.1-6) ;
- Les vides dans les alvéoles exploitées sont comblés par des graves calcaires non traitées ;

- Les puits, membranes et drains utilisés pendant la phase d'exploitation pour recueillir les lixiviats sont supposés obturés ou neutralisés après 300 ans (durée du maintien d'un suivi allégé de l'évolution du stockage, en synergie avec la surveillance du CSA, faisant suite à la surveillance réglementaire de 30 ans) ;
- Une couverture d'argile compactée d'au moins deux mètres d'épaisseur (en apical) est en place au-dessus de ses alvéoles et assure une bonne étanchéité de la zone déchets pendant les phases d'exploitation et de surveillance ;
- La perte d'efficacité de la couverture au cours du temps se traduit par l'infiltration de la pluie efficace dans le système et par la saturation progressive en eau de la zone déchets jusqu'à la cote topographique et de la partie supérieure des Argiles à Plicatules sous l'ouvrage ;
- Pour les alvéoles en bord de plate-forme, le niveau d'eau finissant par dépasser la cote topographique, un écoulement latéral (« effet baignoire ») au travers de la base de la couverture argileuse se met en place vers les sols naturels autour des ouvrages.

L'évolution moyenne, calée sur la topographie du stockage à l'actuel, est indiquée à la Figure 2.2-1, qui illustre la circulation de l'eau dans et autour des ouvrages de stockage pendant les différentes phases de vie du stockage.

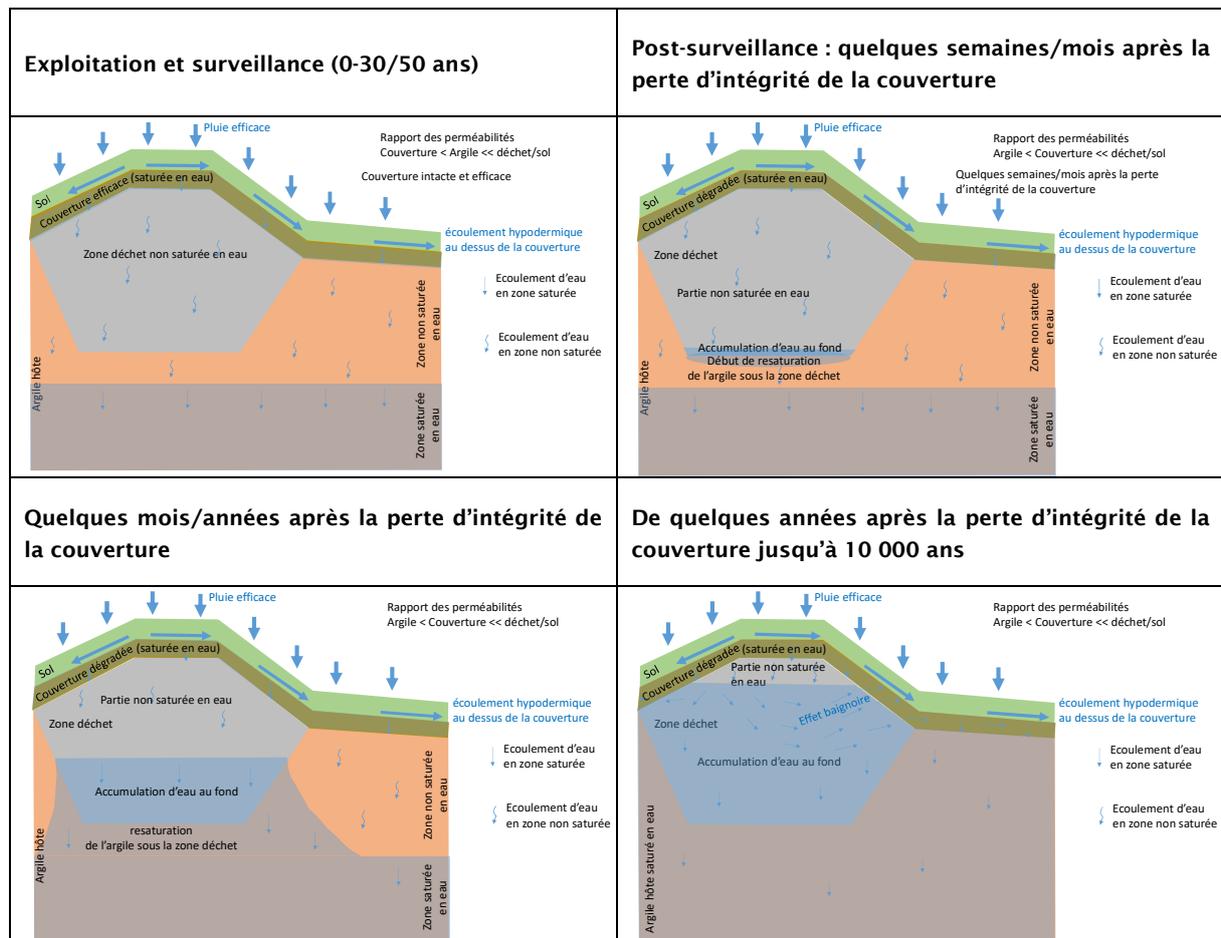


Figure 2.2-1 Évolution attendue de la circulation de l'eau dans et autour des alvéoles de stockage du Cires depuis la phase d'exploitation - surveillance jusqu'à 10 000 ans

Aussi les principales évolutions sont décrites comme suit :

- En phases d'exploitation et de surveillance, tant que la couverture est peu perméable à l'eau avec une efficacité hydraulique maîtrisée (perméabilité de la couverture du même ordre de grandeur que la perméabilité de l'argile hôte), le niveau d'infiltration dans l'ouvrage est faible (au plus de quelques litres/an/m²) : les ouvrages restent globalement non saturés en eau, notamment les graves (par effet gravitaire), ce qui constitue un frein à la migration des radionucléides et toxiques chimiques au sein de l'ouvrage. Les radionucléides et toxiques chimiques potentiellement relâchés des déchets pendant cette phase interagissent avec le matériau de remplissage des vides, les graves calcaires. L'essentiel de la pluie efficace ruisselle le long de la couverture sans contamination dans la zone déchets, et on n'observe pas d'écoulement latéral d'eau contaminée depuis les alvéoles de bord de plate-forme vers le sol autour des ouvrages.
- En phase de post-surveillance, dès que la performance hydraulique de la couverture n'est plus garantie, le niveau d'infiltration devient important (quelques dizaines à quelques centaines de litres/-m²/an) : un transitoire hydraulique de resaturation en eau de l'ouvrage et de l'argile autour de l'ouvrage se met en place, jusqu'à un équilibre hydraulique en quelques années, transitoire dont l'influence est négligeable à l'échelle des temps de transfert au sein des composants.
- Suite à ce transitoire, la migration des radionucléides et des toxiques chimiques au sein de l'ouvrage se fait principalement en conditions saturées en eau. La couche d'argile hôte peu perméable ne permettant pas d'évacuer le flux d'eau arrivant dans l'ouvrage, un écoulement latéral d'eau depuis les alvéoles de bord de plate-forme vers les sols autour des ouvrages se met en place : c'est ce qui est appelé dans la suite du document « l'effet baignoire ». Les radionucléides et toxiques chimiques relâchés des déchets interagissent par sorption avec les graves calcaires.
- Une partie des éléments chimiques les plus mobiles accompagnent le flux d'eau latéralement. La majorité des eaux sera ré-infiltrée dans le sol à proximité du point de sortie (dans les 10 à 15 m). Des phénomènes de ruissellement lors d'épisodes pluvieux pourraient néanmoins redistribuer les eaux sur quelques centaines de mètres en aval.
- L'autre partie des eaux issue des alvéoles s'infiltré depuis leur base dans les argiles à Plicatules. Au sein des argiles à Plicatules, les écoulements d'eau sont lents. Les minéraux argileux contenus dans les argiles à Plicatules lui confèrent des propriétés de sorption (d'immobilisation) des radionucléides et de toxiques chimiques ralentissant (selon les espèces chimiques) leur migration. Les radionucléides et les toxiques chimiques atteignant la base des argiles à Plicatules migrent ensuite au travers de l'aquifère du Barrémien.

3. La conceptualisation des évaluations

3.1 La conceptualisation physique

3.1.1 Les principales hypothèses sous-tendant la conceptualisation du stockage

En cohérence avec l'analyse préalable du fonctionnement hydraulique du stockage présentée au § 2.2, toutes les évaluations numériques des écoulements et du transport des radionucléides par l'eau s'infiltrant dans les ouvrages sont conduites en conditions saturées en eau dès l'instant initial dans tous les matériaux constitutifs du système (couverture argileuse, argile hôte, alvéoles de stockage et déchets). Cette hypothèse maximise le transfert en solution pendant le transitoire de resaturation en eau dans les ouvrages.

Les évaluations considèrent donc le transport convectif et diffusif en milieu poreux saturé en eau des espèces chimiques (radionucléides et toxiques chimiques), avec prise en compte de la géochimie (rétention/sorption sur la matrice solide et précipitation dans l'eau porale lorsque la limite de solubilité est atteinte) propre à chaque élément chimique (radionucléides et toxiques chimiques) dans les différents matériaux du stockage et l'argile environnant.

La conceptualisation géométrique des ouvrages de stockage, détaillée au paragraphe suivant vise à représenter fidèlement les grands éléments géométriques pilotant les transferts des lixiviats, à savoir :

- l'épaisseur verticale de la couverture argileuse au-dessus des alvéoles de stockage ;
- l'épaisseur latérale de la couverture argileuse de part et d'autre des tranches du stockage ;
- l'épaisseur d'argile hôte, oxydée et saine, sous les ouvrages jusqu'à la nappe aquifère du Barrémien. Au sein de la formation argileuse, il est distingué une zone oxydée à proximité de la surface (l'oxydation est liée au contact de l'oxygène atmosphérique) et une zone saine (non-oxydée = réductrice).

3.1.2 La représentation géométrique des ouvrages de stockage

En cohérence avec l'identification des principales voies de transfert hydrauliques, *i.e.* le transfert vertical à travers la couche d'argile à Plicatules jusqu'à l'aquifère du Barrémien d'une part, et le transfert latéral par débordement des alvéoles de bord de plate-forme vers les sols autour du stockage d'autre part, le modèle géométrique choisi pour les évaluations est une représentation 2D de la coupe transversale de chacune des tranches du stockage et de l'alvéole dédiée de la tranche 2, telle qu'illustrée sur la Figure 3.1-1.

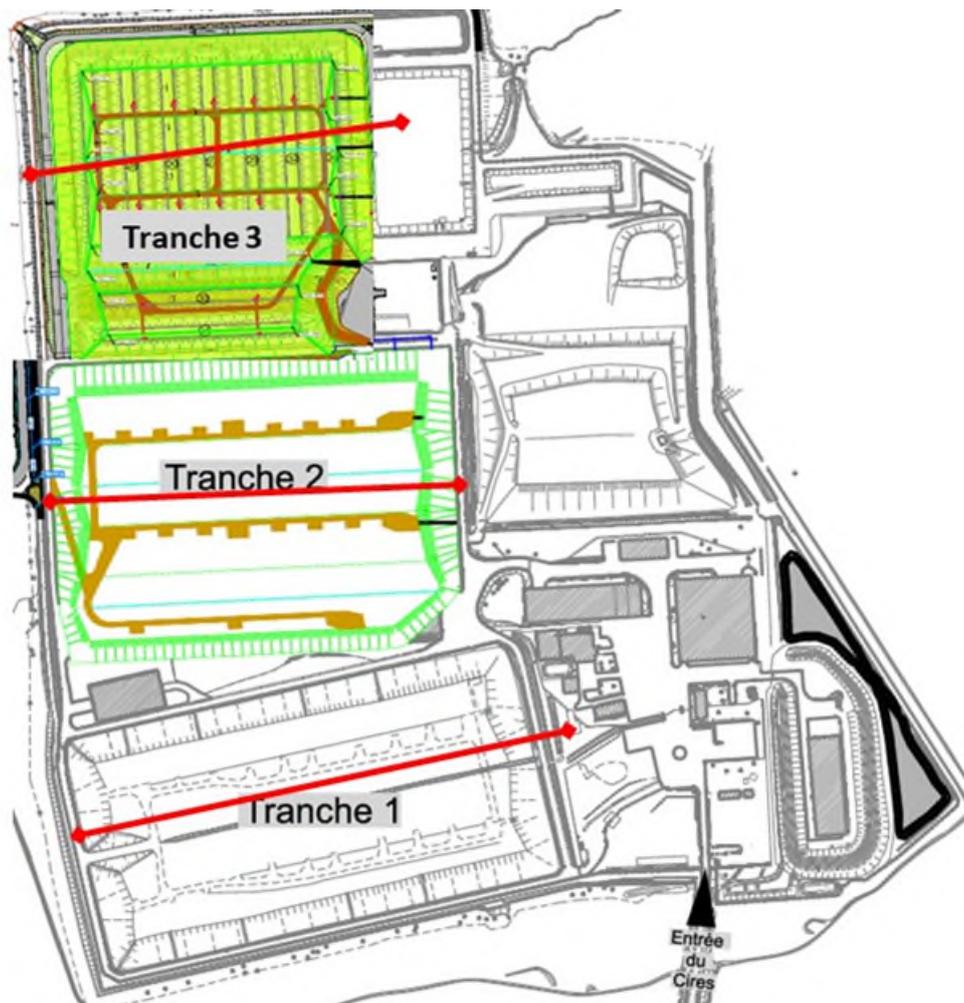


Figure 3.1-1 Plan d'occupation - Projet d'augmentation de la capacité de stockage du Cires

Quatre modèles sont considérés pour représenter le stockage :

- une coupe transversale 2D des 15 alvéoles de la Tranche 1 du Cires, illustrée selon la Figure 3.1-2. Ce modèle est spécifique à l'évaluation de l'impact radiologique de la seule Tranche 1, pour laquelle les inventaires des alvéoles correspondent aux déchets déjà stockés. Les « demi-alvéoles » 1 à 6 sont regroupés deux à deux (inventaires cumulés) pour un modèle qui comporte un total de 12 alvéoles représentés.

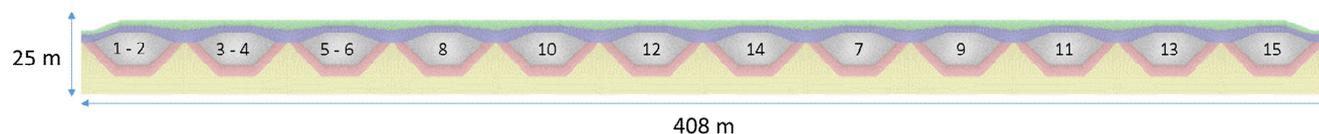


Figure 3.1-2 Modèle géométrique 2D d'une coupe transversale des 15 alvéoles de la Tranche 1 du Cires

- une coupe transversale 2D des 10 alvéoles de la Tranche 2 du Cires, illustrée par la Figure 3.1-3. Les évaluations prennent en compte l'inventaire stocké dans cette tranche au 31 décembre 2019, les alvéoles 16, 17, 18 étant remplis à cette date, ainsi qu'une faible part (4 % en volume) de l'alvéole 19 ;

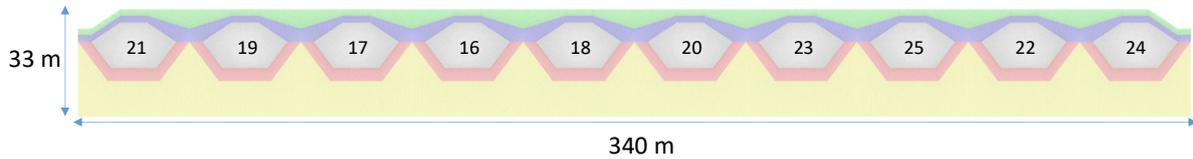


Figure 3.1-3 *Modèle géométrique 2D d'une coupe transversale des 10 alvéoles de la Tranche 2 du Cires*

- une coupe transversale 2D des 9 alvéoles de la Tranche 3 du Cires, illustrée par la Figure 3.1-4 ;

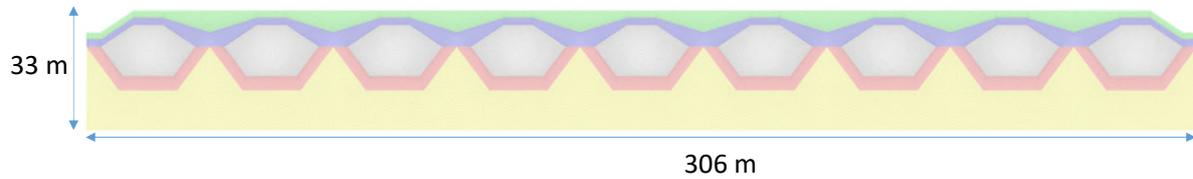


Figure 3.1-4 *Modèle géométrique 2D d'une coupe transversale des 9 alvéoles de la Tranche 3 du Cires*

- une coupe longitudinale 2D de l'alvéole dédié, qui diffère des autres alvéoles par son orientation et sa longueur (264 m au lieu de 175 m), illustrée par la Figure 3.1-5. Cet alvéole est partiellement rempli (à 15 % en volume) au 31 décembre 2019.



Figure 3.1-5 *Modèle géométrique 2D d'une coupe longitudinale de l'alvéole dédié*

La Figure 3.1-6 illustre les matériaux représentés et les dimensions caractéristiques des modèles « Tranche 2 » et « Tranche 3 » autour de l'une des alvéoles du bord de la plate-forme.

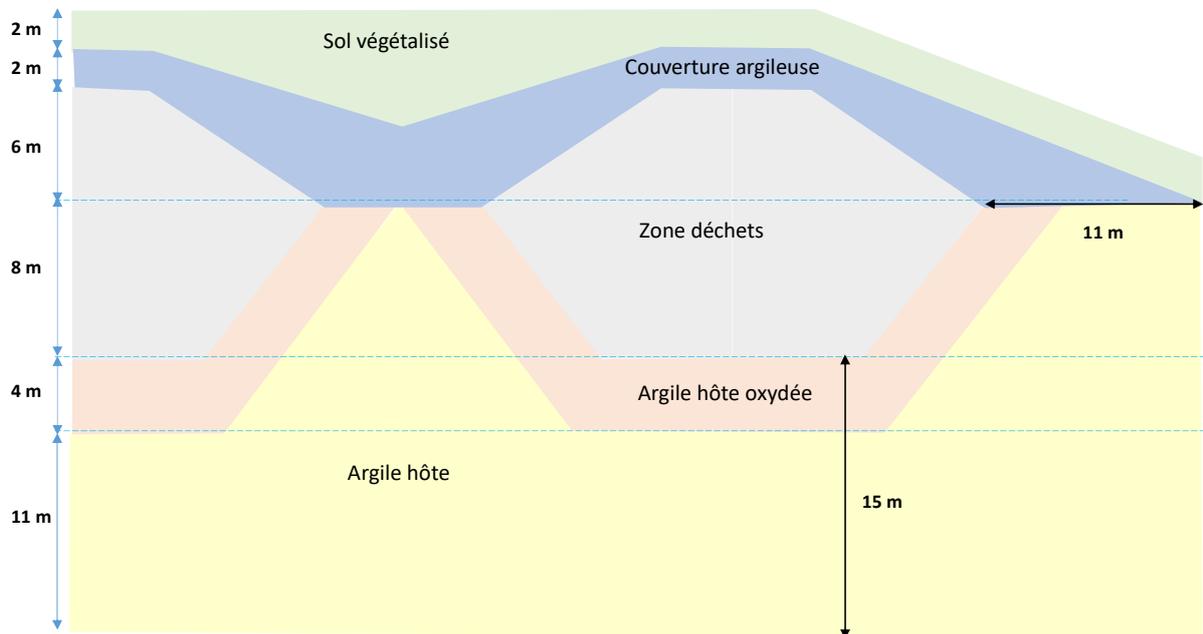


Figure 3.1-6 *Modèle 2D Tranches 2 et 3 – Matériaux et dimensions caractéristiques pour un alvéole de bord de plate-forme*

La conceptualisation géométrique des matériaux considérés est la suivante :

- une épaisseur d'argile hôte totale de 15 m sous les alvéoles, correspondant à la moyenne effective par tranche, dans laquelle on distingue :
 - une épaisseur d'argile hôte « oxydée » de 4 m autour des alvéoles,
 - une épaisseur d'argile hôte « saine » de 11 m ;
- une couverture argileuse :
 - d'épaisseur apicale minimale de 2 m au droit des ouvrages,
 - d'extension latérale (basale) à l'ouest et à l'est de la tranche 1 du stockage de 7 m,
 - d'extension latérale (basale) à l'ouest et à l'est des tranches 2 et 3 du stockage de 11 m ;
- un sol végétalisé de très forte perméabilité et d'épaisseur minimale de 2 m ;
- une zone déchets homogénéisée, sans distinction des déchets et de la grave calcaire de remplissage.
- l'épaisseur de déchets sous la cote topographique est prise égale à 8 m pour les modèles « Tranche 2 », « Tranche 3 » et « Alvéole dédié », et à 7,5 m pour le modèle « Tranche 1 », la hauteur de déchets au-dessus de la cote topographique étant prise à respectivement 6, 4 (« Alvéole dédié ») et 3,5 m (« Tranche-1 »).

Il est considéré les autres hypothèses suivantes :

- la couche de forme en altérites au-dessus de la couverture n'est pas représentée ;
- les puits, membranes et drains, supposés comblés, dégradés ou neutralisés ne sont pas représentés ;
- les drains pour l'eau débordant latéralement restent actifs pendant 300 ans après la fermeture du stockage. Dans ce contexte, la migration des radionucléides et toxiques chimiques étant évaluée sur la période 0-300 ans, les débits d'eau éventuellement contaminée sont évacués vers les drains.

3.1.3 L'inventaire en radionucléides et en toxiques chimiques

Les évaluations de sûreté se fondent sur un inventaire prévisionnel à terminaison margé, qui est considéré par la suite comme l'inventaire de référence.

L'inventaire radiologique et en toxiques chimiques (stocké à fin 2019 et à venir) est donné au chapitre 1 du volume 2 de la pièce 5 « étude d'impact » du présent dossier de demande d'autorisation environnementale.

L'inventaire en radionucléides

Sur la base d'évaluations préliminaires, de leur faible inventaire radiologique ou de la faible demi-vie des radionucléides associés, les éléments chimiques suivants n'ont pas été pris en compte : Ar, Ba, Bi, Ce, Cf, Co, Eu, Fe, Gd, Ge, Hf, Ho, Kr, Lu, Mn, Na, Pm, Po, Pt, Rh, Ru, Si, Sm, Ti, Tl, V, Zn.

Les radionucléides retenus pour les évaluations de sûreté sont ceux dont la liste est donnée dans le Tableau 3.1-1.

Tableau 3.1-1 *Liste des radionucléides retenus pour les évaluations de sûreté (chaînes de filiation incluses) et des périodes radioactives associées*

RN	Période (ans)	RN	Période (ans)
H3	1,23E+01	Ra226	1,60E+03
Be10	1,60E+06	Ra228	5,75E+00
C14	5,70E+03	Ac227	2,18E+01
Al26	7,17E+05	Th228	1,91E+00
Cl36	3,01E+05	Th229	7,34E+03
K40	1,26E+09	Th230	7,54E+04
Ca41	1,03E+05	Th232	1,41E+10
Ni59	7,60E+04	Pa231	3,28E+04
Ni63	1,01E+02	U233	1,59E+05
Se79	3,77E+05	U234	2,46E+05
Rb87	4,81E+10	U235	7,04E+08
Sr90	2,88E+01	U236	2,37E+07
Zr93	1,53E+06	U238	4,47E+09
Nb93m	1,61E+01	Np237	2,14E+06
Mo93	4,00E+03	Pu239	2,41E+04
Tc99	2,14E+05	Pu240	6,56E+03
Pd107	6,50E+06	Pu241	1,44E+01
Ag108m	4,18E+02	Pu242	3,74E+05
Sn126	2,30E+05	Am241	4,33E+02
I129	1,61E+07	Am243	7,36E+03
Cs135	2,30E+06	Cm244	1,80E+01
Cs137	3,00E+01	Cm245	8,50E+03
Pb210	2,22E+01	Cm246	4,73E+03

Chaînes de filiation considérées

Zr93 → Nb93m

4N (Cm244 → Pu240 → U236 → Th232 → Ra228 → Th228)

4N+1 (Cm245 → Pu241 → Am241 → Np237 → U233 → Th229)

4N+2 (Cm246 → Pu242 → U238 → U234 → Th230 → Ra226 → Pb210)

4N+3 (Am243 → Pu239 → U235 → Pa231 → Ac227)

Le carbone 14 est considéré sous forme organique pour 30 % de l'inventaire et sous forme inorganique pour les 70 % restants.

Les toxiques chimiques

L'amiante, non mobilisable par la voie eau, n'est pas considérée dans les évaluations.

Sur la base des évaluations de spéciations et de la géochimie des eaux des alvéoles du Cires, il est fait l'hypothèse que l'intégralité du chrome migrera sous la forme réduite Cr (+III) depuis le déchet, jusqu'à la biosphère.

Les toxiques chimiques ayant fait l'objet d'une évaluation de transfert par l'eau sont donnés dans le Tableau 3.1-2.

Tableau 3.1-2 Liste des toxiques chimiques retenus pour les évaluations de sûreté

Toxique	Symbole
Antimoine	Sb
Arsenic	As
Béryllium	Be
Bore	B
Cadmium	Cd
Chrome (III)	Cr
Cuivre	Cu
Cyanure	CN
Mercure	Hg
Nickel	Ni
Plomb	Pb
Sélénium	Se
Uranium	U

3.1.4 Les termes sources

Au regard des connaissances disponibles sur les performances potentielles associées au relâchement des radionucléides et des toxiques chimiques depuis les déchets (cinétique de corrosion, dégradation...), il est fait le choix d'assimiler le relâchement des solutés par les colis de déchets à un relâchement labile, représenté par une fonction de relâchement de l'ensemble de l'inventaire sur une durée d'un an. Cette hypothèse revêt un caractère très conservatif pour certains déchets, tels ceux immobilisés dans du béton ou les aciers inoxydables. Une fois relâchés, la concentration des solutés dans l'eau est potentiellement (selon leur nature) limitée par leur solubilité et leur rétention par la grave non traitée. Au sein des argiles à Plicatules, les concentrations sont également limitée par leur solubilité et leur rétention.

3.1.5 Les paramètres hydrauliques et de transfert des solutés

3.1.5.1 La perméabilité à l'eau des argiles à Plicatules

La valeur de la perméabilité à l'eau dans les argiles à Plicatules de la couche de l'Aptien (argile hôte) est basée sur un ensemble de données expérimentales issues :

- des phases de reconnaissance et de caractérisation des argiles de l'Aptien inférieur, avec :
 - des mesures *in situ* en forages sur des épaisseurs pluri-métriques (14 mesures en « pulse-test » → $K(\text{moyenne}/\text{médiane}) \approx 2.10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$). Le protocole de mesures retenu est celui en « pulse-test », donnant plutôt des ordres de grandeur de perméabilité et surévaluant les valeurs de perméabilité ;
 - des mesures *in situ* en surface (altération de surface) (6 mesures en « infiltromètre double anneau », → $K(\text{moyenne}/\text{médiane}) \approx 2.10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$) ;
 - des mesures en laboratoire sur échantillons de carotte (19 mesures « perméamètre paroi rigide », → $K(\text{moyenne}/\text{médiane}) \approx 7.10^{-11} \text{ m.s}^{-1}$) ;
- de la campagne de reconnaissance FA-VL, avec :
 - des mesures en laboratoire (régime permanent) sur les argiles téglines (12 mesures en cellule triaxiale, → $K(\text{moyenne}/\text{médiane}) \approx 2.10^{-11} \text{ m.s}^{-1}$). Ces valeurs, correspondant à des profondeurs plus importantes que celle du Cires, sous-évaluent la perméabilité d'une couche d'argiles à moins grande profondeur.

Compte tenu des informations mentionnées ci-avant, il est retenu une perméabilité à l'eau de l'argile hôte pour les évaluations de sûreté de $10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$.

La perméabilité à l'eau des remblais en argile compactée autour des alvéoles de stockage, et de la couverture argileuse intacte en phase de surveillance est supposée identique à celle des argiles à Plicatules dont ils sont constitués, et est donc prise égale à $10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$.

3.1.5.2 Le coefficient de diffusion effectif des espèces chimiques dans les argiles à Plicatules

La campagne de reconnaissance d'un site FA-VL a permis de mesurer le coefficient de diffusion effectif de l'eau tritiée (HTO) et du chlore 36 dans les argiles téglines à faible profondeur, tel qu'illustré Figure 3.1-7. Quelques mesures ont également été réalisées pour les argiles à Plicatules (3 pour HTO et 3 pour ^{36}Cl) comprise dans la gamme de valeurs obtenues pour les argiles téglines.

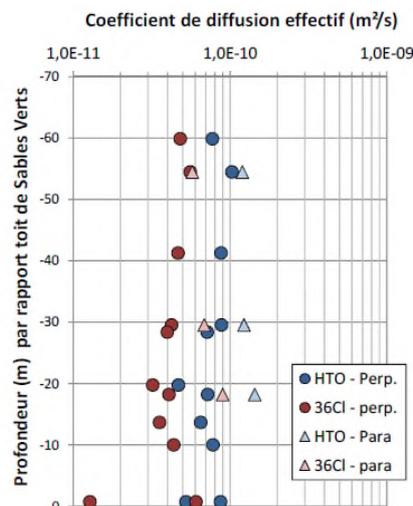


Figure 3.1-7

Campagne de reconnaissance FA-VL – Mesures du coefficient de diffusion effectif du tritium et du chlore 36 à diverses profondeurs

A partir de l'ensemble des valeurs de coefficient de diffusion, une valeur moyenne du coefficient de diffusion $D_e = 7.10^{-11} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ dans l'argile hôte est retenue pour les évaluations de sûreté. A noter qu'il n'a pas été distingué de valeurs propres à chaque radionucléides et toxiques et que la valeur choisie basée sur HTO et chlore 36 est représentative de l'ensemble des radionucléides et des toxiques chimiques.

La même valeur est retenue pour les argiles compactées autour des alvéoles de stockage et pour la couverture argileuse.

3.1.5.3 La porosité des argiles à Plicatules

Les argiles à Plicatules ont fait l'objet de mesures uniquement pour des échantillons profonds (> 20 m) lors de la campagne de reconnaissance de site FA-VL. Ces valeurs ne sont toutefois pas applicables car il est nécessaire de tenir compte des effets de décompaction de surface.

La campagne de reconnaissance FA-VL a permis de disposer de profil de porosité dans les argiles tégulines depuis la surface (comme illustré Figure 3.1-8).

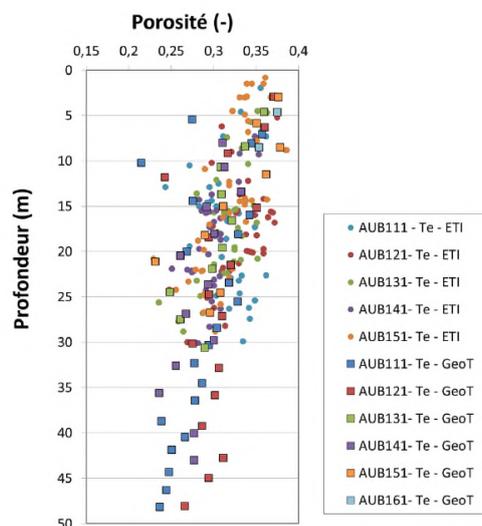


Figure 3.1-8 Campagne de reconnaissance FA-VL - Mesures de la porosité des argiles tégulines à diverses profondeurs

Compte tenu des niveaux d'analogie entre argiles tégulines et argiles à Plicatules, des valeurs et des évolutions comparables sont attendues pour les argiles à Plicatules. Une valeur de porosité de l'argile à Plicatules (argile hôte) de 35 % est retenue pour les évaluations de sûreté pour tenir compte de la faible profondeur.

3.1.5.4 Les paramètres de solubilité et de rétention des radionucléides et des toxiques chimiques dans l'argile hôte et dans la grave calcaire

Géochimie de la formation hôte des argiles à Plicatules

Les différentes campagnes de mesures réalisées sur les argiles à Plicatules lors de la caractérisation initiale du site du Cires puis lors des creusements de la tranche 2 et de la préparation de la tranche 3, ainsi que la campagne de caractérisation réalisée pour le projet FA-VL sur le site de la communauté de communes de Vendevre-Soulaines, ont permis d'analyser la composition minéralogique et de mesurer/estimer les propriétés de sorption et de solubilité de cette formation.

La composition chimique de l'eau interstitielle des argiles à Plicatules a été obtenue lors de la campagne de reconnaissance du site FA-VL ; celle-ci est régulée par le système carbonate et l'échangeur des minéraux argileux. Une géochimie similaire est attendu sur le site du Cires

La solubilité et la spéciation des radionucléides et des toxiques chimiques ont été évaluées à l'aide de la modélisation géochimique pour une eau porale représentative des argiles à Plicatules.

Les propriétés de rétention des argiles à Plicatules sont très largement dominées par la sorption sur les minéraux argileux. Le potentiel oxydo-réducteur des argiles à Plicatules est considéré comme « réducteur » (- 200 mV) en dessous de 4 m de profondeur du fait des échanges avec l'oxygène de l'atmosphère. Il est important de noter que la rétention de la plupart des radionucléides (hormis le technétium) n'est pas sensible aux conditions redox avec des domaines de stabilité de leur état d'oxydation indépendamment des conditions redox.

Les valeurs retenues pour les propriétés géochimiques (rétention et limite de solubilité) pour les évaluations de sûreté sont les valeurs phénoménologiques issues de ces différentes campagnes de mesure. Des analogies sont utilisées en absence de données (analogies entre radionucléides et analogies avec d'autres roches/matériaux argileux).

Le Tableau 3.1-4 présente les valeurs de K_d et C_{sat} appliquées en référence dans l'argile hôte aux différents radionucléides et toxiques chimiques.

Géochimie du matériau de remplissage des alvéoles (grave calcaire)

Les propriétés de transfert des radionucléides et des toxiques chimiques de la grave calcaire utilisée au Cires sont issues de deux approches complémentaires :

1. Mise en place de travaux expérimentaux dédiés visant à caractériser les capacités d'interactions et de rétention de la grave (Kd) avec plusieurs éléments chimiques d'intérêt (Sr, U, Ni, Ag, Eu, Th, Pu, Tc et ¹⁴C) ;
2. Réalisation de calculs géochimiques, dans l'eau porale représentative de la composition chimique au sein des alvéoles de stockage (eaux de drains) en contact avec la grave calcaire, visant à déterminer la spéciation, la solubilité de radionucléides et toxiques chimiques d'intérêt.

Des analogies sont utilisées en absence de données (analogies entre radionucléides et analogies avec des carbonates).

La prise en compte de l'effet sur la rétention des radionucléides et toxiques chimiques de la présence éventuelle de complexants —issus de la dégradation de la cellulose ou des plastiques présents dans le stockage— a été écartée, après analyse des conditions nécessaire à ces dégradations :

- En effet dans les conditions des alvéoles du Cires, à pH neutre tamponné par la grave calcaire, la dégradation des matières fermentescibles (cellulose) est dominée par un processus biotique (fermentation) conduisant à la formation de cellobiose non complexant. Il n'y a pas de formation d'ISA (acide isosaccharinique qui est connu pour son pouvoir complexant pouvant diminuer la sorption et augmenter la limite de solubilité) dans les conditions du stockage TFA car son occurrence est associée à de fort pH.
- L'analyse des conditions physico-chimiques indique qu'il ne devrait pas y avoir de relâchement précoce de phtalates et que ces derniers seraient en partie biodégradé au sein des alvéoles. Par ailleurs en considérant un taux de matières plastiques dans les déchets limité à 10-% (comme c'est le cas dans les alvéoles de déchets déjà fermés), et l'hypothèse pénalisante d'une dégradation instantanée de 30 % des matières plastiques contenues dans les déchets en ortho-phtalates complexants, la concentration en ortho-phtalates dans les alvéoles reste sous le seuil de complexation (10^{-2} mol.L⁻¹), ce qui n'induit pas d'effet pénalisant sur la sorption et la limite de solubilité des radionucléides et des toxiques chimiques.

Le Tableau 3.1-4 présente les valeurs de Kd et Csat appliquées en référence dans la grave calcaire des alvéoles de stockage aux différents radionucléides et toxiques chimique.

3.1.5.5 Synthèse des paramètres hydro-dispersifs et de rétention retenus pour les évaluations de sûreté

Les tableaux ci-après présentent les paramètres hydro-dispersifs et de rétention retenus **en référence** pour chacun des matériaux représentés dans le modèle conceptuel pris en compte dans les évaluations (cf. Figure 3.1-6).

Tableau 3.1-3 Paramètres hydrauliques et de transfert de solutés retenus pour les différents matériaux du modèle

Matériau	Densité sèche (kg.m ⁻³)	Porosité totale (-)	Perméabilité à l'eau (m.s ⁻¹)	Coefficient de diffusion effectif (m ² .s ⁻¹)	Prise en compte de la sorption	Prise en compte de la précipitation
Sol végétalisé	s.o.	0,3	10 ⁻⁴	6,9.10 ⁻¹⁰ (eau dans l'eau)	non	non
Couverture argileuse intacte	2000	0,35	10 ⁻¹⁰	7.10 ⁻¹¹	oui	non
Couverture argileuse dégradée	2000	0,35	10 ⁻⁹	7.10 ⁻¹¹	oui	non
Argile hôte et compacté oxydé	2000	0,35	10 ⁻¹⁰	7.10 ⁻¹¹	oui ¹	oui ¹
Argile hôte et compacté	2000	0,35	10 ⁻¹⁰	7.10 ⁻¹¹	oui	oui
Déchets + graves	2000	0,30	10 ⁻⁵	6,9.10 ⁻¹⁰ (eau dans l'eau)	oui	oui

Tableau 3.1-4 Coefficients de partage et limites de solubilités pris en compte dans les matériaux argileux et dans les alvéoles du Cires pour les éléments chimiques

Élément	Kd argile hôte (m ³ /kg)	Kd alvéoles (m ³ /kg)*	Csat argile hôte (mol/L)	Csat alvéoles (mol/L)
H	0	0	infinie	infinie
Be	5	0	5,0 ^E -06	3,0 ^E -07
C inorgan..	0	0,02	3,0 ^E -03	3,5 ^E -04
C organ.	0	0	infinie	infinie
Al	1	0	1,5 ^E -08	6,0 ^E -08
Cl	0	0	infinie	infinie
K	0,005	0	7,0 ^E -04	1,0 ^E -05
Ca	0,01	0	3,0 ^E -03	1,5 ^E -02
Fe	0,1	0,1	5,0 ^E -06	2,0 ^E -10
Co	0,1	0,1	3,0 ^E -05	8,0 ^E -04
Ni	0,1	0,1	1,0 ^E -03	1,0 ^E -04
Se	0	0	1,0 ^E -08	1,5 ^E -07
Rb	0,01	0	infinie	infinie
Sr	0,005	0	3,0 ^E -04	1,5 ^E -04

¹ Sauf pour le technétium, pour lequel aucune rétention n'est considérée dans l'argile oxydée.

Zr	10	0,25	2,0 ^{E-08}	6,0 ^{E-10}
Nb	1	0,1	1,0 ^{E-07}	6,0 ^{E-07}
Mo	0,003	0	5,0 ^{E-07}	2,5 ^{E-05}
Tc	5	0	4,5 ^{E-09}	1,0 ^{E+10}
Pd	0,1	0,1	5,0 ^{E-06}	1,0 ^{E-03}
Ag	0	0,5	7,5 ^{E-03}	infinie
Sn	1	0,25	5,0 ^{E-08}	9,0 ^{E-08}
I	0	0	infinie	infinie
Cs	0,1	0	infinie	infinie
Pb	0,1	0,1	8,0 ^{E-07}	1,0 ^{E-06}
Ra	0,15	0	8,0 ^{E-08}	4,5 ^{E-08}
Ac	5	1	5,0 ^{E-06}	5,0 ^{E-06}
Th	10	0,25	6,5 ^{E-08}	3,0 ^{E-08}
Pa	0,01	0,05	2,0 ^{E-09}	2,0 ^{E-09}
U	0,005	0,03	3,0 ^{E-07}	3,5 ^{E-06}
Np	0,01	0,03	1,0 ^{E-09}	2,0 ^{E-09}
Pu	20	1	5,0 ^{E-07}	1,5 ^{E-11}
Am	5	1	2,0 ^{E-06}	3,0 ^{E-06}
Cm	5	1	2,0 ^{E-06}	3,0 ^{E-06}

*Les coefficients de partage effectivement pris en compte dans le matériau supposé homogène des alvéoles, i.e. le mélange « Déchets + graves », tiennent compte de la proportion de graves dans les alvéoles, évaluée à partir des données issues des alvéoles déjà remplies à 35 %. Ainsi le Kd (Déchets + graves) pour l'uranium est pris à $0,35 \times 0,03 = 1,05 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m}^3$.

Les limites de solubilité prises en compte pour les différents isotopes de l'uranium dans les graves et l'argile sont ajustées pour tenir compte de la précipitation par élément. Ainsi par exemple :

$$C_{sat}(U234) = C_{sat}(U) \times \frac{\text{Inventaire}(U234)}{\text{Inventaire}(U)}$$

Tableau 3.1-5 Coefficients de partage et limites de solubilités pris en compte dans les matériaux argileux et dans les alvéoles du Cires pour les toxiques chimiques

TC	Kd argile hôte (m ³ /kg)	Kd alvéoles (m ³ /kg)*	Csat argile hôte (mol/L)	Csat alvéoles (mol/L)
As	0,05	0,03	infinie	infinie
B	0,01	0	Infinie	infinie
Be	5	0	5,0 ^{E-06}	3,0 ^{E-07}
Cd	0,05	1	8,0 ^{E-06}	4,0 ^{E-06}
Cr (III)	1	0	2,0 ^{E-07}	1,5 ^{E-07}
Cu	0,1	0,1	9,0 ^{E-09}	1,2 ^{E-07}
CN-	0	0	infinie	infinie
Hg	0,1	0	Infinie	Infinie
Ni	0,1	0,1	1,0 ^{E-03}	1,0 ^{E-04}
Pb	0,1	0,1	8,0 ^{E-07}	1,0 ^{E-06}
Sb	0,05	0	1,0 ^{E-07}	2,0 ^{E-05}
Se	0	0	1,0 ^{E-08}	1,5 ^{E-07}
U	0,005	0,03	3,0 ^{E-07}	3,5 ^{E-06}

3.1.6 Les exutoires considérés

3.1.6.1 Exutoire « Pompage dans le Barrémien »

La Figure 3.1-9 illustre la définition de cet exutoire, considérant la contamination de l'eau pompée par un puits alimentant un groupe de référence (« villageois », classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an ») par la migration des radionucléides à travers la couche d'argile de l'Aptien sous les ouvrages de stockage, puis dans la nappe du Barrémien.

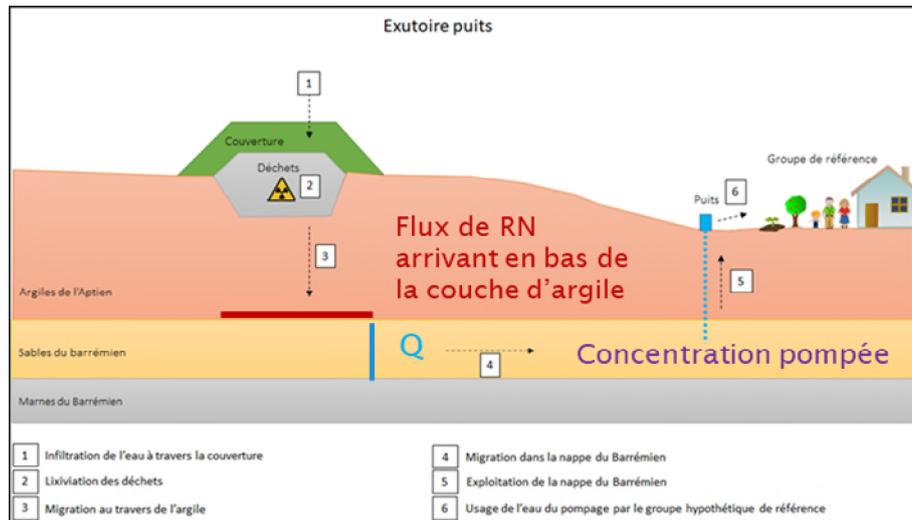


Figure 3.1-9 Voies de transfert des radionucléides pour l'exutoire « Pompage dans le Barrémien »

Le débit d'eau Q transitant dans le Barrémien est calé sur une transmissivité moyenne de la couche évaluée à 3.10^{-5} m²/s, et s'établit à environ 725 m³/an.

Dans le dossier en support à la demande d'autorisation de création du Cires (2001), cet exutoire est associé à un scénario d'évolution altérée, les ressources locales en eau (rivière des Noues d'Amance) rendant le recours à un puits d'exploitation de l'eau de l'aquifère du Barrémien peu probable. C'est toujours le cas dans les dernières hypothèses retenues. L'impact associé à ce scénario est donc présenté dans le volume 7 de l'étude de dangers.

3.1.6.2 Exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance »

La Figure 3.1-10 illustre la définition de cet exutoire, considérant la contamination de l'eau pompée dans la rivière des Noues d'Amance alimentant un groupe de référence (« multi-activités », classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an »).

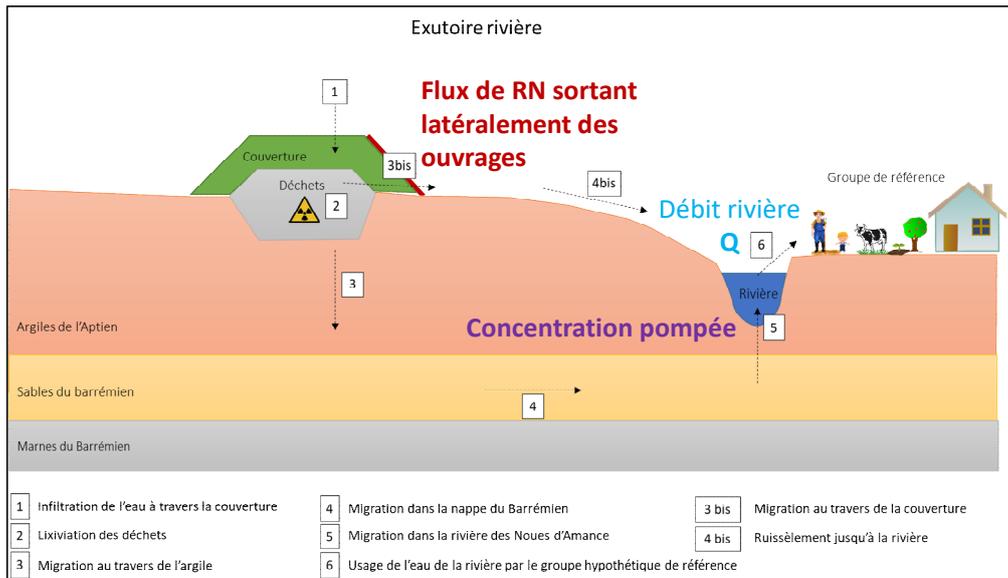


Figure 3.1-10 Voies de transfert des radionucléides pour l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance »

L'eau contaminée atteignant la rivière est considérée provenir :

- du débordement latéral des ouvrages vers les Noues d'Amance (« effet baignoire ») ;
- de la migration des radionucléides à travers la couche d'argile de l'Aptien sous les ouvrages de stockage, puis dans la nappe du Barrémien.

L'hypothèse est donc faite que la nappe du Barrémien est en communication avec les Noues d'Amance (résurgence).

Le débit de dilution est calé sur le débit moyen de la rivière, soit de l'ordre de 800 m³/h.

Cet exutoire est associé à un scénario d'évolution normale.

3.1.6.3 Exutoires « Sol potentiellement contaminé »

La Figure 3.1-11 illustre la définition de ces exutoires, considérant la contamination du sol au voisinage des talus du stockage par débordement et ruissellement (« effet baignoire »). En lien avec les effets locaux propres à chaque tranche du stockage (géométrie des alvéoles, épaisseur de couverture basale et inventaire spécifique) un exutoire « sol contaminé » est associé à chaque tranche (tranche 1, tranche 2, tranche 3 et alvéole dédiée).

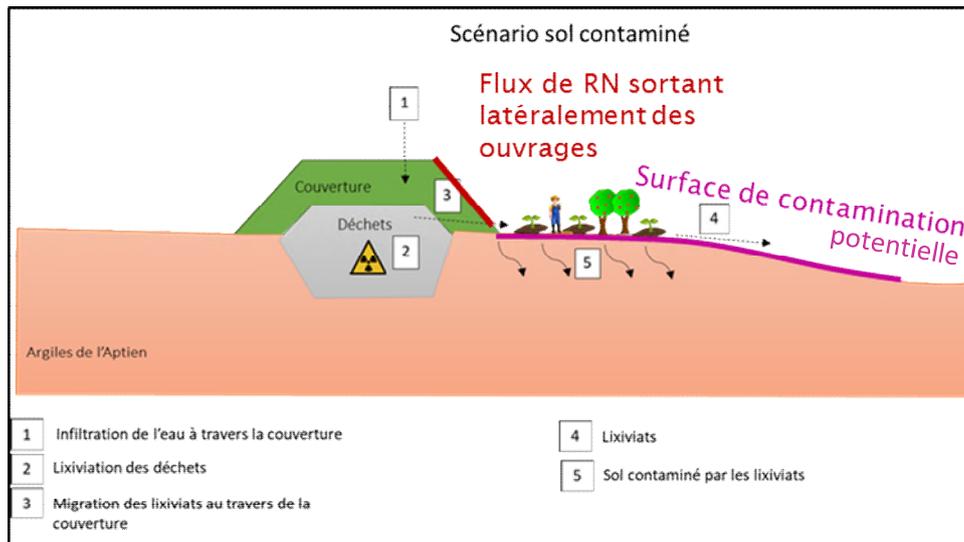


Figure 3.1-11 Voies de transfert des radionucléides pour les exutoires « Sol contaminé au voisinage des talus du stockage »

L'extension de la surface de contamination est choisie égale à la dimension (longueur) des alvéoles (environ 200 m) multipliée par la largeur L affectée par le ruissellement, conformément à la Figure 3.1-12 (exemple de la Tranche 2).

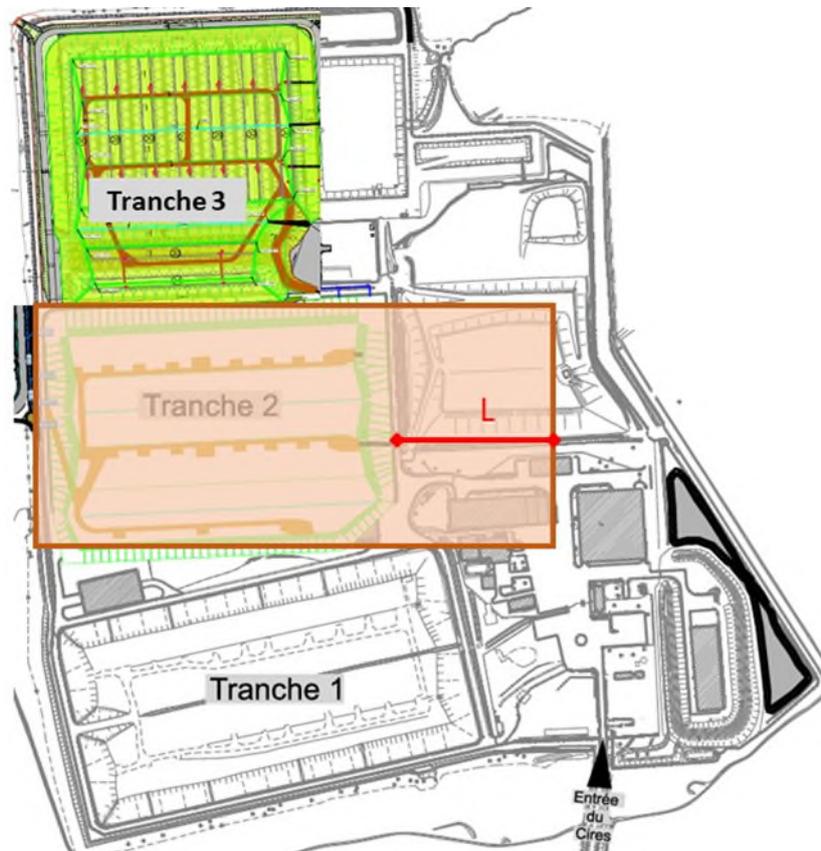


Figure 3.1-12 Représentation de l'extension de la surface contaminée (L) par débordement des eaux du stockage par « effet baignoire » pour la Tranche 2

Deux scénarios sont considérés, selon la largeur de la surface potentiellement contaminée L et le groupe de référence associé. Comme illustré Figure 3.1-13 :

1. L'analyse du devenir des eaux issues de l'effet « baignoire » par des calculs de ruissellement a montré qu'une grande partie de celles-ci sera ré-infiltrée dans les 10-15 m en aval de leur point de sortie. Les radionucléides et les toxiques chimiques contenus dans ces eaux sont redistribués sur le sol en surface. Pour prendre en compte, cette voie de contamination potentielle, il est considéré une surface contaminée par ruissellement sur 10 m de largeur (une largeur plus petite est conservatrice), exploitée par un groupe de référence de type « **jardin potager** ». Il s'agit d'un scénario d'évolution normale (SEN).
2. Une partie des eaux pourraient pour certaines conditions (perméabilité des sols, pluviométrie...) ruisseler sur des distances supérieures à 10 – 15 m. Au-delà de quelques milliers d'années, des phénomènes d'érosion pourrait également redistribuer une partie des radionucléides et toxiques chimiques en aval de leur point de sortie du stockage sur quelques centaines de mètres. Pour prendre en compte ces phénomènes (et incertitudes associées), il est considéré une surface contaminée sur une largeur de 100 m (NB : une largeur de contamination plus importante serait moins conservatrice car cela diminuerait la quantité de contaminant par unité de surface) permettant l'implantation d'un groupe de référence « **agriculteur multi-activités** ». Il s'agit d'un cas de sensibilité au scénario d'évolution normale du cas 1.

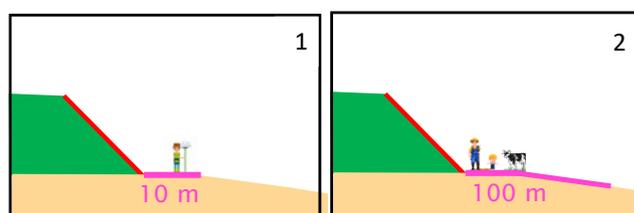


Figure 3.1-13 Exutoire « Sol contaminé » - Illustration des deux scénarios considérés : (1) « jardin potager » (L=10 m) ; (2) « multi-activités » (L=100 m)

3.1.7 La répartition de l'inventaire dans les modèles numériques

La répartition exacte de l'inventaire dans les alvéoles du Cires n'est connue que pour la tranche 1 et les alvéoles n°16, 17, 18, 19 et 50 (Alvéole dédié) de la tranche 2, totalement ou partiellement remplis au 31 décembre 2019 (cf. Tableau 6.1-1 et Tableau 6.2-1 en Annexes).

L'inventaire radiologique et toxicologique restant à stocker entre le 31 décembre 2019 et la fermeture du stockage est uniformément réparti, au prorata des volumes de stockage, dans les 15 alvéoles vides des tranches 2 et 3, et dans le volume disponible des alvéoles 19 et 50 (Alvéole dédié) de la tranche 2.

3.1.8 Les indicateurs retenus

Les principaux indicateurs sont les débits d'eau et les débits molaires instantanés des radionucléides sortant du stockage (i) par migration à travers l'argile hôte vers la nappe sous-jacente du Barrémien, et (ii) par débordement latéral (« effet baignoire ») et migration à travers la couverture et ruisselant vers les exutoires sol contaminé et rivière des Noues d'Amance.

La

Figure 3.1-14 illustre les différentes voies de transfert des radionucléides et toxiques chimiques pour chacun des quatre modèles numériques représentant les tranches du stockage.

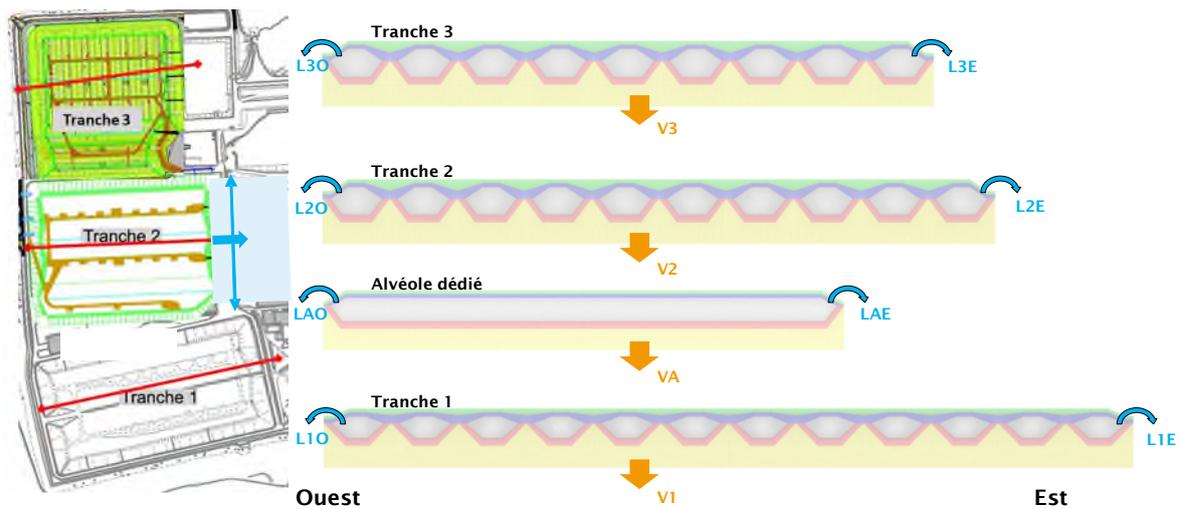


Figure 3.1-14 Voies verticales et latérales de transfert associées à chaque tranche du Cires

La voie de transfert verticale à travers l'argile hôte jusqu'à l'aquifère du Barrémien est associée aux deux exutoires « Pompage dans le Barrémien » et « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » : l'impact associé est la somme des impacts évalués pour chacun des quatre modèles numériques ($V1+V2+V3+VA$).

La voie de transfert latérale par débordement (« effet baignoire ») est évaluée, pour chacun des quatre modèles numériques, à l'ouest et à l'est du stockage.

Pour l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », la somme des impacts liés au débordement à l'est du stockage (en direction des Noues d'Amance, $L1E+L2E+L3E+LAE$) est ajoutée à la contribution de la voie de transfert à travers l'argile hôte.

Pour les exutoires « sol potentiellement contaminé », restreints par définition à une largeur de 200 m à l'ouest et à l'est du stockage, l'impact associé est le maximum des impacts évalués pour chacun des quatre modèles numériques ($\max(L10, L1E, L20, L2E, L30, L3E, LAO, LAE)$). La pente naturelle de 1% d'ouest en est et la répartition de l'inventaire conduit à un impact maximal associé au ruissellement des eaux contaminées à l'est de la tranche 2.

Les impacts radiologiques aux exutoires (historiques et maximum de dose et de cumul de doses sur la période de simulation) sont calculés pour les différents groupes de référence, et pour les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an ». Pour les impacts toxicologiques, seule la classe d'âge « adulte » est considérée.

3.2 La conceptualisation mathématique

3.2.1 La modélisation de l'équilibre hydraulique du milieu

Le mouvement de l'eau dans un milieu poreux est exprimé par la loi de conservation de la masse et la loi de Darcy (1) :

$$\vec{U} = -K \cdot \vec{\nabla} H \quad (1)$$

avec \vec{U} est la vitesse de Darcy [L.T⁻¹]
 K est le tenseur de perméabilité (conductivité hydraulique) [L.T⁻¹]
 H est la charge hydraulique [L]

En régime permanent l'équilibre hydraulique est alors donné par (2) :

$$\text{div}(\mathbf{K} \cdot \nabla \bar{H}) = q \quad (2)$$

où q est le flux volumique d'eau. $[T^{-1}]$

3.2.2 La modélisation de la migration des espèces chimiques dans le milieu poreux saturé en eau

Le transport par convection/diffusion/dispersion d'un radionucléide i soumis à la décroissance radioactive dans un milieu poreux saturé en eau est décrit par l'équation générique suivante (3) :

$$\omega R_i \frac{\partial C_i}{\partial t} = \text{div}(\mathbf{D} \nabla C_i - C_i \vec{U}) - \omega \lambda_i R_i C_i + \omega \sum_{j \in I} \sigma_{ji} \lambda_j R_j C_j + S_i + \rho \cdot \omega \cdot J_i \quad (3)$$

avec	ω	porosité	$[-]$
	R_i	coefficient de retard du RN i dans le milieu	$[-]$
	C_i	concentration en solution du RN i	$[\text{mol} \cdot \text{L}^{-3}]$
	\mathbf{D}	tenseur de dispersion-diffusion (cf. ci-après)	$[\text{L}^2 \cdot \text{T}^{-1}]$
	λ_i	constante de décroissance radioactive du RN i	$[\text{T}^{-1}]$
	I	ensemble des antécédents du RN i	
	σ_{ji}	fraction du radionucléide j se désintégrant en radionucléide i	$[-]$
	S_i	terme source du radionucléide i	$[\text{mol} \cdot \text{L}^{-3} \cdot \text{T}^{-1}]$
	ρ	masse volumique de l'eau interstitielle	$[\text{M} \cdot \text{L}^{-3}]$
	J_i	terme d'échange avec la phase solide	$[\text{mol} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}]$

Le tenseur de diffusion-dispersion est donné par (4) :

$$\mathbf{D} = D_e \cdot \delta_{ij} + \alpha_T \cdot |\vec{U}| \cdot \delta_{ij} + \frac{(\alpha_L - \alpha_T) \cdot u_i u_j}{|\vec{U}|} \quad (4)$$

avec	D_e	coefficient de diffusion effective	$[\text{L}^2 \cdot \text{T}^{-1}]$
	α_L	dispersivité longitudinale	$[\text{L}]$
	α_T	dispersivité transversale	$[\text{L}]$

La représentation des échanges avec la phase solide (rétention), traduisant les interactions des espèces en solution avec la roche, comprend la sorption sur la matrice solide et la précipitation/dissolution.

La sorption, considérée dans le cadre de cette étude comme réversible et instantanée, est modélisée via un coefficient de retard R , lié au coefficient de partage K_d par la relation (5) :

$$R = 1 + \frac{1 - \omega}{\omega} \cdot \rho \cdot K_d \quad (5)$$

avec	K_d	coefficient de partage entre les phases liquide et solide	$[\text{L}^3 \cdot \text{M}^{-1}]$
	ω	porosité	$[-]$
	ρ	masse volumique du solide	$[\text{M} \cdot \text{L}^{-3}]$

La précipitation des espèces chimiques en solution est modélisée via une limite de solubilité C_{sat} .

Dès que la concentration locale de l'espèce en solution dépasse C_{sat} , il y a formation d'un précipité solide. Cette phase solide peut se re-dissoudre au cours du temps et pour les espèces radioactives est soumise à la décroissance et à la filiation. Le terme d'échange avec la phase liquide J_i dans l'équation de transport (3) est donné par (6) :

$$J_i = \Omega_i \cdot (C_{\text{sat}i} - C_i) \cdot \delta_i \quad (6)$$

avec	J_i	terme d'échange avec la phase liquide (modèle linéaire)	$[\text{mol} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{T}^{-1}]$
	Ω_i	constante d'équilibre entre soluté et précipité pour l'isotope i	
	$C_{\text{sat}i}$	limite de solubilité effective de l'isotope i	
	δ_i	fonction correctrice du transfert pour l'isotope i : 0 si $C_i \leq C_{\text{sat}i}$ (cas soluble), 1 sinon (présence de précipité)	

3.2.3 La modélisation des impacts radiologiques et toxicologiques aux exutoires

3.2.3.1 Les doses aux différents exutoires

Dans le cas des radionucléides, les effets sur la santé sont évalués en termes de dose (ou impact radiologique) cumulant les effets des voies de transfert par ingestion, inhalation et exposition externe.

Les calculs de dose sont réalisés à partir des débits molaires instantanés aux exutoires issus des évaluations de la migration des radionucléides, ainsi que des facteurs de conversion biosphère évalués pour le groupe de référence associé à l'exutoire et les trois classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an », avec une période d'accumulation continue sur 10 000 ans.

Exutoire « Pompage dans le Barrémien »

La formule de passage du débit molaire sortant de l'argile hôte vers la nappe du Barrémien à la dose est la suivante :

$$Dose = \{(\text{débit molaire} * \text{facteur_Bq/mol}) / (\text{débit de dilution})\} * (\text{facteur de conversion biosphère})$$

Le débit de dilution Q associé à cet exutoire est donné au § 3.1.6.1. Le facteur de conversion biosphère est associé au groupe de référence hypothétique « villageois », et dépend du radionucléide et de la classe d'âge.

Exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance »

La formule de passage du débit molaire atteignant la rivière à la dose est identique à celle de l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », mais le débit de dilution Q est donné au § 3.1.6.2, et le groupe de référence hypothétique associé est « agriculteur multi-activités »

Exutoires « Sol potentiellement contaminé »

Ces exutoires correspondent à l'accumulation des radionucléides sortis latéralement par le pied de la couverture argileuse (par « effet baignoire ») à proximité immédiate des différentes tranches du stockage (un exutoire par tranche).

La formule de passage du débit molaire contaminant la surface à la dose est la suivante :

$$Dose = \{(\text{débit molaire} * \text{facteur_Bq/mol}) / (\text{surface contaminée})\} * (\text{facteur de conversion biosphère})$$

La surface contaminée est donnée au § 3.1.6.3, et vaut 200 X 10 m soit 2000 m² pour l'exutoire « Sol contaminé sur 10 m » associé au groupe de référence hypothétique « jardin potager » et 200 X 100 m = 20 000 m² pour l'exutoire « Sol contaminé sur 100 m » associé au groupe de référence hypothétique « agriculteur multi-activités ».

3.2.3.1 Les impacts toxicologiques aux différents exutoires

Dans le cas des toxiques chimiques, les paramètres suivants sont utilisés pour évaluer les effets sur la santé (impact sanitaire) :

- les quotients de dangers (QD) pour les effets systémiques (ou à seuil),
- les excès de risques individuels (ERI) pour les effets stochastiques (ou cancérigènes).

Ces indicateurs sont calculés à partir de :

- l'évaluation du niveau d'exposition : la dose journalière d'exposition (DJE) pour la voie ingestion et la concentration d'exposition (C_{exp}) pour la voie inhalation,
- des valeurs toxicologiques de référence (VTR),

Les effets des toxiques chimiques sur la santé sont calculés à partir des concentrations à l'exutoire comme suit :

$$QD_{ing} = QD_{c_{ing}} * C_{nappe \text{ ou rivière ou sol}}$$

$$QD_{inh} = QD_{c_{inh}} * C_{nappe \text{ ou rivière ou sol}}$$

$$ERI_{ing} = ERI_{cing} * C_{nappe \text{ ou rivi\ere ou sol}}$$

$$QD_{inh} = QD_{c_{inh}} * C_{nappe \text{ ou rivi\ere ou sol}}$$

Les indicateurs QD et ERI sont sans unité (-), tandis que les coefficients de conversion biosphère QDc et ERlc sont en (-) par µg/L pour des concentrations à l'exutoire généralement exprimées en µg/L.

Les niveaux considérés comme acceptables en scénario d'évolution normale (SEN) doivent respecter $QD < 1$ et $ERI < 10^{-5}$, et en scénario d'évolution altérée (SEA) $QD < 5$ et $ERI < 10^{-4}$.

Les valeurs des coefficients de conversion biosphère (QDc et ERlc) des toxiques chimiques sélectionnés sont relatives à la classe d'âge adulte et calculés pour une durée d'exposition aux toxiques chimiques de 30 ans.

3.3 La conceptualisation numérique

3.3.1 Les outils de simulation

Les calculs d'hydraulique et de transfert des solutés sont réalisés avec le code volumes finis « référent » Porflow. Cet outil permet la simulation numérique des écoulements de fluides, des transferts de chaleur et du transport de masse dans des milieux poreux saturés ou partiellement saturés en eau.

La mise en œuvre numérique des calculs avec Porflow est décrite à la Figure 3.3-1.

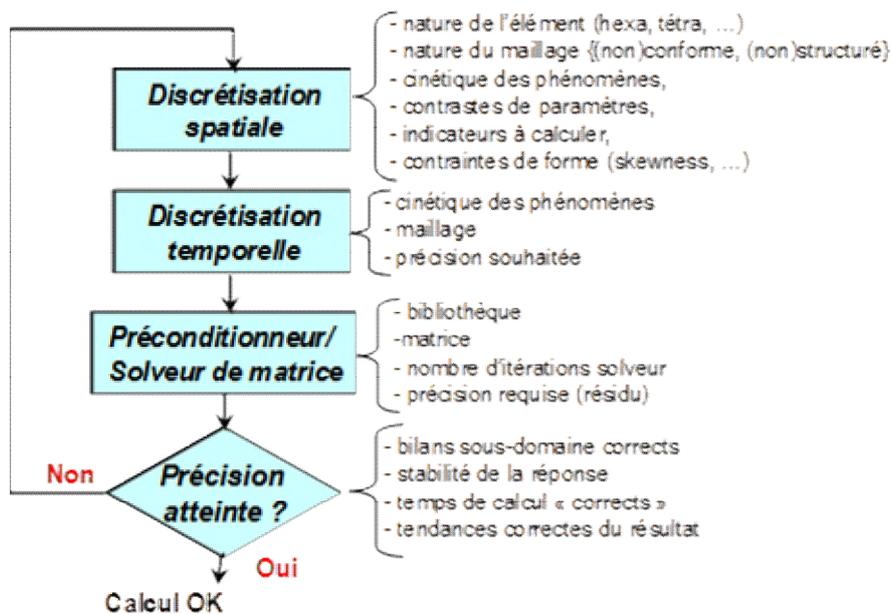


Figure 3.3-1 Schéma de construction numérique des calculs de performance et de sûreté

Les calculs d'impacts radiologiques et toxicologiques utilisent des facteurs de conversion biosphère calculés pour chacune des espèces, chacun des exutoires et des groupes de référence considérés, par le modèle de transfert biosphère CADHO (CALcul D'impact des RN/TC à l'Homme).

Ce modèle écrit en Python intègre les modèles Aquabios, Aquatoxi, AquaC_14 et AquaCl36, utilisés par l'Andra pour les évaluations d'impact des différents centres de stockage en exploitation ou en projet (CSM, CSA, Cires, Cigéo).

3.3.2 La discrétisation spatiale et temporelle

Comme indiqué dans la Figure 3.3-1, les discrétisations spatiales et temporelles utilisées pour les évaluations de transport des radionucléides et toxiques chimiques sont choisies pour garantir la stabilité et la convergence des calculs à la précision demandée, en tenant compte des contraintes géométriques (forme des composants modélisés), physiques (contrastes locaux de paramètres, cinétique des phénomènes), et mathématiques.

Les maillages mis en œuvre dans les simulations de transfert par l'eau des radionucléides et toxiques chimiques pour le projet Acaci sont bidimensionnels, et construits avec l'outil de maillage Gmsh disponible sous licence publique générale GNU (GPL). Ils sont conformes, non-structurés, et composés d'éléments 2D triangulaires.

Les maillages des « tranche 1 » et « tranche 2 » du stockage, illustrés respectivement par la Figure 3.1-3 et la Figure 3.1-2, comportent environ 240 000 triangles, contre environ 200 000 pour le maillage de la « Tranche 3 » (Figure 3.1-4) et 140 000 pour le maillage de l'Alvéole dédié (Figure 3.1-5).

3.3.3 Les conditions aux limites en hydraulique et en transport

Les conditions aux limites imposées pour les calculs hydrauliques sont (i) un flux d'eau nul à l'ouest et à l'est du modèle, (ii) une charge imposée égale à 8 m au mur du modèle (nappe du Barrémien), et (iii) une charge égale à la cote topographique z au toit du modèle (prenant en compte la pente de 1 % existant entre l'ouest et l'est des différentes tranches, cette pente n'étant pas représentée géométriquement).

Deux états hydrauliques permanents sont calculés, l'un avec une perméabilité de couverture de 10^{-10} m/s (couverture intacte), l'autre avec une perméabilité de couverture de 10^{-9} m/s (couverture altérée).

Les conditions aux limites imposées pour les calculs de transport de solutés sont (i) un flux de soluté nul à l'ouest et à l'est du modèle, (ii) un gradient de flux nul au toit et au mur du modèle.

3.4 Les évaluations menées

Toutes les évaluations sont conduites sur la période 0 - 10 000 ans, avec l'inventaire radiologique et toxicologique prévisionnel de référence.

Sur ces bases, il a été mené une évaluation de référence (dit « cas de référence »), assortie d'études de sensibilité destinées à tester la robustesse de l'évaluation au regard des incertitudes résiduelles de connaissance, et évaluer les paramètres clés qui pilotent les indicateurs de performance.

3.4.1 Cas de référence

Le cas de référence correspond à un ensemble d'hypothèses et de données s'appuyant sur la meilleure connaissance scientifique et technique disponible. Il est retenu pour chaque composant du stockage des processus, hypothèses et données au plus près de la connaissance disponible et étayés scientifiquement (modèles et données « best-estimate »), avec une cohérence d'ensemble des choix retenus.

Le cas de référence considéré prend en compte une durée de vie de la couverture définitive de 300 ans, avec une dégradation progressive de ses performances à partir de 50 ans après la fermeture du stockage.

Pendant la période de transition depuis la couverture intacte à la couverture dégradée, une résolution couplée de l'hydraulique et du transfert des solutés permet l'augmentation continue des niveaux d'infiltration d'eau, par augmentation (log-)linéaire en temps de la perméabilité de la couverture.

La couverture intacte limite l'infiltration d'eau dans le stockage à quelques litres par an et par mètre carré, modélisée par une perméabilité à l'eau égale à celle de l'argile hôte, soit 10^{-10} m.s⁻¹.

La perte de la performance de la couverture se traduit par une infiltration d'eau dans le stockage de l'ordre de quelques dizaines de litres par an et par mètre carré, modélisée par une perméabilité à l'eau 10 fois supérieure à celle de l'argile hôte, soit 10^{-9} m.s⁻¹.

3.4.2 Étude de sensibilité des impacts radiologiques et toxicologiques aux paramètres de rétention dans l'alvéole

Afin d'étudier le poids des incertitudes résiduelles de connaissance relatives aux valeurs de rétention par sorption et par précipitation dans le mélange déchets et grave calcaire des alvéoles sur les indicateurs de performance et de sûreté post-fermeture, les cas suivants sont étudiés :

- Cas 1 : effet d'une sorption dégradée dans la grave calcaire pour tous les radionucléides et toxiques chimiques concernés, avec des coefficients de partage divisés par 3 par rapport à l'évaluation de référence.
- Cas 2 : effet d'une solubilité dégradée dans la grave calcaire pour tous les radionucléides et toxiques chimiques concernés, avec des limites de solubilités multipliées par 10 par rapport à l'évaluation de référence.

3.4.3 Étude de sensibilité des impacts radiologiques et toxicologiques aux paramètres des argiles à Plicatules

Afin d'étudier le poids des incertitudes résiduelles de connaissance relatives aux valeurs des paramètres hydro-dispersifs et géochimiques des argiles à Plicatules sur les indicateurs de performance et de sûreté post-fermeture, les cas suivants sont étudiés, au regard des exutoires considérés (exutoire « sol contaminé », puits, rivière) et en fonction des voies de transfert principales mobilisées par ces exutoires :

- Cas 1 : Sensibilité visant à maximiser les transferts des solutés dans le milieu géologique vers les exutoires puits et rivière. Cette étude considère les valeurs « enveloppe » des paramètres de rétention géochimique par sorption (K_d), i.e. :
 - soit la valeur enveloppe du K_d d'analogues aux argiles à Plicatules (principalement les données provenant des argilites du Callovo-Oxfordien (projet Cigéo) car présentant la base de données la plus complète) ;
 - soit un K_d divisé par 3 par rapport à la valeur de référence lorsque la différence entre la valeur de référence et la valeur proposée ci-dessus est inférieure à un facteur 3.

Le Tableau 3.4-1 présente les valeurs considérées.

Tableau 3.4-1 *Coefficients de partage pris en compte dans les argiles à Plicatules (argile hôte) pour la sensibilité visant à maximiser les transferts vers la nappe du Barrémien*

RN	Kd argile hôte (m ³ /kg) Référence	Kd argile hôte (m ³ /kg) Enveloppe
H	0	0
Be	5	0,2
C	0	0
Al	1	0,1
Cl	0	0
K	0,005	0,001
Ca	0,01	0,001
Ni	0,1	0,01
Se	0	0
Rb	0,01	0,01
Sr	0,005	0,001
Zr	10	0,1
Nb	1	0,3
Mo	0,003	5.E-4
Tc	5	1,5
Pd	0,1	0,01
Ag	0	0
Sn	1	0,3
I	0	0
Cs	0,1	0,01
Pb	0,1	0,01

Ra	0,15	0,005
Ac	5	1,5
Th	10	1
Pa	0,01	0,003
U	0,005	0,0015
Np	0,01	0,003
Pu	20	0,1
Cm	5	1,5
As	0,05	0,015
B	0,01	0,002
Be	5	0,2
Cd	0,05	0,02
Cr	1	0,1
Cu	0,1	0,01
CN-	0	0
Hg	0,1	0,01
Ni	0,1	0,01
Pb	0,1	0,01
Sb	0,05	0,001
Se	0	0

- Cas 2 : Sensibilité visant à maximiser les transferts des solutés par la voie latérale vers l'exutoire « sol potentiellement contaminé ». À ce titre, cette étude de sensibilité considère les valeurs minimales du coefficient de diffusion effectif et de la conductivité hydraulique des argiles à Plicatules sur la base des gammes de valeurs disponibles.
 - Conductivité hydraulique K : $10^{-11} \text{ m.s}^{-1}$ (contre $10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$ en référence)
 - Coefficient de diffusion effectif De : $2.10^{-11} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ (contre $7.10^{-11} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ en référence)

3.4.4 Étude de sensibilité des impacts radiologiques et toxicologiques aux performances de la couverture

En sensibilité, il est considéré, au-delà de 300 ans, une infiltration d'eau atteignant une centaine de litres par an et par mètre carré, modélisée par une perméabilité à l'eau 30 fois supérieure à celle de l'argile hôte, soit $3.10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$.

Cette étude n'est appliquée que pour le SEN.

3.4.5 Étude de sensibilité des impacts radiologiques et toxicologiques à des dispositions d'exploitation du stockage

L'impact radiologique et toxicologique aux exutoires « sol contaminé » est largement piloté par les différents isotopes de l'uranium (^{233}U , ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U et ^{238}U) ainsi que par le protactinium ^{231}Pa et le technétium ^{99}Tc stockés dans les alvéoles de bord du stockage.

Pour évaluer l'effet de leviers d'action susceptibles de réduire ces impacts, on considère une limitation, dans les deux alvéoles à l'est des tranches 2 et 3 du stockage (alvéoles n°24 et 34),

- de l'inventaire en uranium à 2,5 t ;

- de l'inventaire en protactinium ^{231}Pa à 0,2 GBq ;
- de l'inventaire en technétium ^{99}Tc à 70 GBq.

La réduction de l'inventaire de chacun des isotopes de l'uranium est appliquée dans les mêmes proportions que pour l'uranium toxique chimique.

Pour les deux tranches considérées, la part d'inventaire retirée de l'alvéole de bord est répartie uniformément dans les autres alvéoles de la tranche.

Ces dispositions sont évaluées combinées aux cas de sensibilité les plus pénalisant pour les impacts « sol contaminés », i.e. :

- sensibilité aux paramètres de solubilité dans la grave calcaire des alvéoles, présentée au § 3.4.2, cas 2 ;
- sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules visant à maximiser les transferts des solutés par la voie latérale, présentée au § 3.4.3, cas 2 ;
- sensibilité à la performance de la couverture, présentée au § 3.4.4.

4. Les résultats

4.1 Le cas de référence

4.1.1 Le comportement hydraulique

Pendant la période post-exploitation du Cires, de 0 à 50 ans, l'absence de contraste de perméabilité entre l'argile de couverture intacte et l'argile hôte ($K=10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$) empêche tout débordement latéral d'eau en provenance des alvéoles de déchets à travers la base de la couverture.

Puis pendant la période de 50 à 300 ans, la couverture argileuse se dégrade progressivement, sa perméabilité augmentant linéairement jusqu'à 10^{-9} m.s^{-1} : un flux d'eau depuis les alvéoles à travers la base de la couverture se met en place (« effet baignoire »). Il atteint son maximum à 300 ans, date à laquelle le régime hydraulique avec couverture argileuse altérée est établi.

Avec la couverture altérée ($K=10^{-9} \text{ m/s}$), les débits d'eau pouvant déborder latéralement depuis les alvéoles de stockage sont présentés dans le Tableau 4.1-1 :

Tableau 4.1-1 *Débits d'eau débordant des alvéoles par « effet baignoire » pour les différentes tranches du stockage*

Modèle	Débit d'eau pouvant déborder des alvéoles vers l'est du stockage (m^3/an)
Tranche 1	17
Tranche 2	10
Tranche 3	10
Alvéole dédiée	2

La pente de 1 % d'ouest en est retenue pour l'évaluation (point bas du centre à l'est) conduit phénoménologiquement à un débordement uniquement vers l'est.

L'épaisseur latérale de la couverture argileuse est de 7 m pour le modèle tranche 1, et de 11 m pour les modèles tranche 2 et tranche 3, d'où des débordements d'eau plus faibles (d'environ 33 %) pour les tranches 2 et 3.

Le modèle « Alvéole dédiée », du fait de l'orientation transverse de l'alvéole, présente des surfaces de débordement bien inférieures, d'où des débits afférents réduits en proportion.

4.1.2 Le transfert des radionucléides

Les conditions hydrauliques ci-dessus conduisent à un transfert des radionucléides en convection dominante, à la fois pour le transfert vertical vers la nappe du Barrémien à travers la couche d'argile et pour le transfert latéral (« effet baignoire ») vers les sols contaminés à travers la couverture.

Les temps caractéristiques de transfert des radionucléides mobiles (non retardés dans l'argile (i) de l'ordre de 1 000 ans verticalement au travers des 15 m d'argile hôte, (ii) de l'ordre de 200 ans latéralement au travers de la base de la couverture dégradée.

Le Tableau 4.1-2 ci-dessous présente pour tous les radionucléides, hors éléments générés par filiation, la part des quantités sorties sur la période de post-surveillance de 300 à 10 000 ans par transfert dans l'argile hôte vers la nappe et par débordement latéral (« effet baignoire »), ainsi que le pourcentage de

l'inventaire initial sorti du stockage à 300 et 10 000 ans (hors part sortie par décroissance radioactive pour les éléments à vie courte et moyenne).

Le Tableau 4.1-3 et la Figure 4.1-1 présentent les bilans de masse à 10 000 ans, soit les pourcentages de l'inventaire initial (i) encore présent dans les alvéoles de stockage, (ii) en cours de migration dans l'argile hôte et la couverture argileuse, (iii) épuisé par décroissance radioactive, (iv) sorti à l'exutoire latéral (« effet baignoire ») et (v) sorti à l'exutoire nappe du Barrémien.

Ces données sont données à l'échelle de la Tranche 2 du stockage, pour laquelle l'homogénéité de l'inventaire dans la partie est de la tranche permet une analyse pertinente des voies de transfert préférentielles par radionucléide.

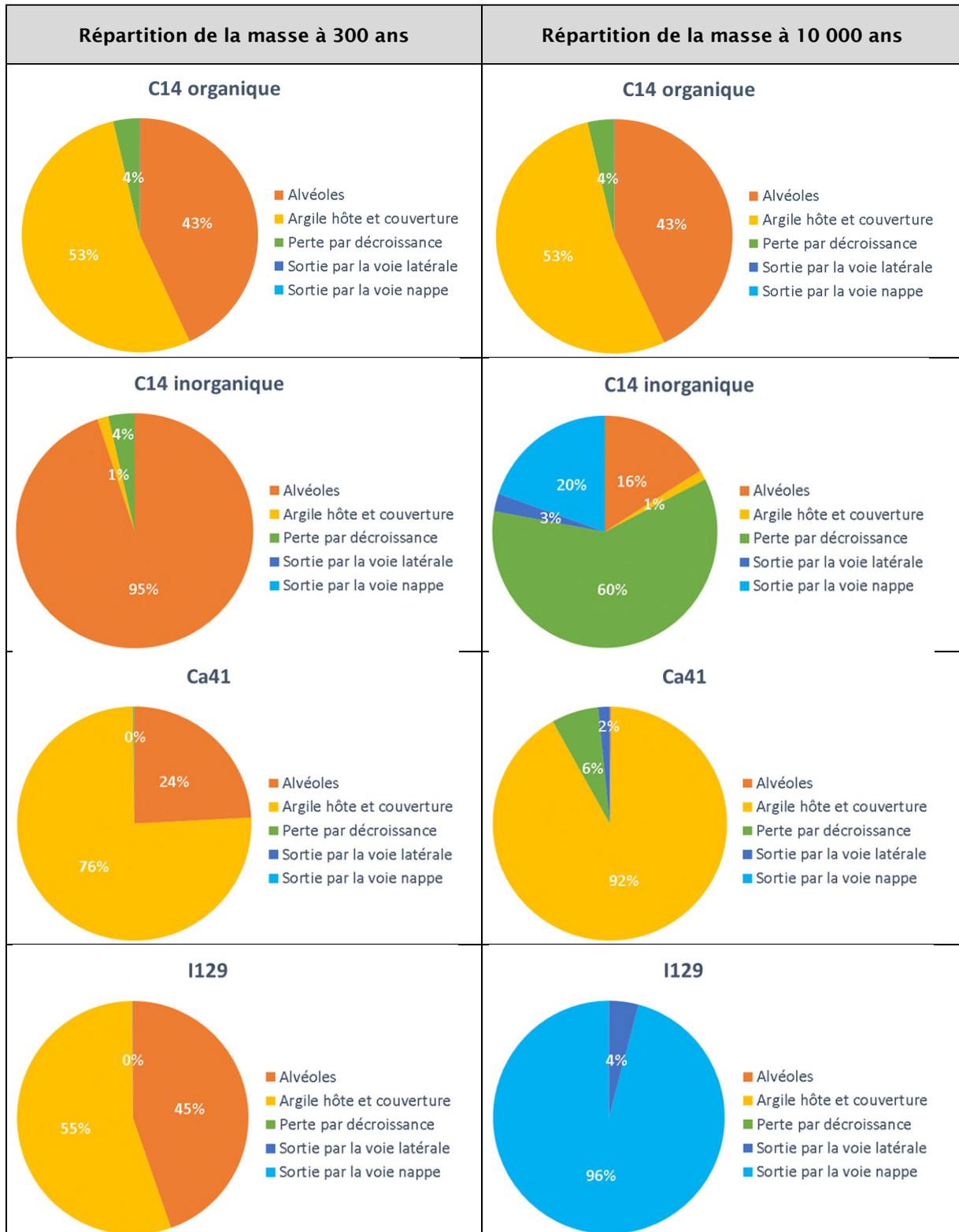
Tableau 4.1-2 Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Répartition entre les deux voies de transfert (« effet baignoire », nappe du Barrémien) en post-surveillance (300-10 000 ans) et part de l'inventaire initial sortie à 10 000 ans

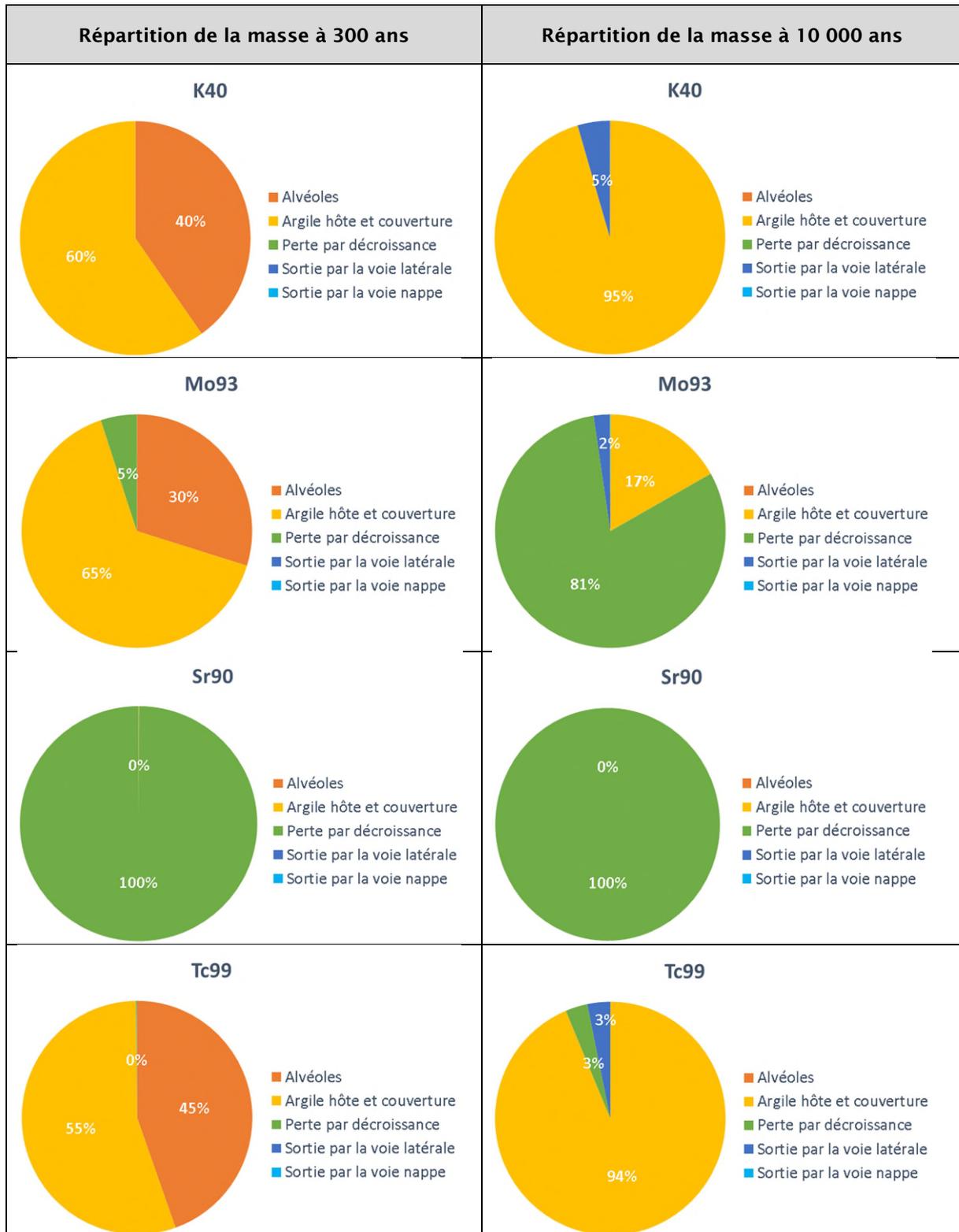
RN	Période (ans)	Part sortie par "effet baignoire" de 300 à 10 000 ans [%]	Part sortie à la nappe du Barrémien de 300 à 10 000 ans [%]	Part de l'inventaire initial sortie aux exutoires à 10 000 ans [%]
Ag108m	4,2E+02	28,5	71,5	0,0
Al26	7,2E+05	100,0	0,0	0,0
Be10	1,6E+06	100,0	0,0	0,0
C14 organique	5,7E+03	4,5	95,5	83,2
C14 inorganique	5,7E+03	11,2	88,8	22,2
Ca41	1,0E+05	100,0	0,0	1,6
Cl36	3,0E+05	4,1	95,9	99,7
Cs135	2,3E+06	100,0	0,0	0,0
Cs137	3,0E+01	100,0	0,0	0,0
H3	1,2E+01	100,0	0,0	0,0
I129	1,6E+07	4,1	95,9	100,0
K40	1,3E+09	100,0	0,0	4,5
Mo93	4,0E+03	96,9	3,1	2,3
Ni59	7,6E+04	100,0	0,0	0,0
Ni63	1,0E+02	100,0	0,0	0,0
Np237	2,1E+06	100,0	0,0	0,3
Pd107	6,5E+06	100,0	0,0	0,0
Rb87	4,8E+10	100,0	0,0	1,7
Se79	3,8E+05	4,1	95,9	99,7
Sn126	2,3E+05	100,0	0,0	0,0
Sr90	2,9E+01	100,0	0,0	0,0
Tc99	2,1E+05	100,0	0,0	3,2
Th232	1,4E+10	100,0	0,0	0,0
U235	7,0E+08	100,0	0,0	0,1
U238	4,5E+09	100,0	0,0	0,1
Zr93	1,5E+06	100,0	0,0	0,0

Tableau 4.1-3

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Répartition de la masse par radionucléide à 10 000 ans

RN	Période [ans]	Répartition de la masse à 10 000 ans [%]				
		Alvéoles	Argile hôte et couverture	Épuisé par décroissance	Sorti par la voie latérale	Sorti par la voie nappe
C14 organique	5,7E+03	0,0	0,0	16,9	3,8	79,4
C14 inorganique	5,7E+03	16,2	1,4	60,3	2,5	19,7
Ca41	1,0E+05	0,2	91,7	6,5	1,6	0,0
Cl36	3,0E+05	0,0	0,0	0,4	4,1	95,5
H3	1,2E+01	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
I129	1,6E+07	0,0	0,0	0,0	4,1	95,9
K40	1,3E+09	0,1	95,4	0,0	4,5	0,0
Mo93	4,0E+03	0,0	16,8	80,8	2,3	0,1
Se79	3,8E+05	0,0	0,0	0,3	4,2	95,6
Sr90	2,9E+01	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Tc99	2,1E+05	0,0	93,7	3,1	3,2	0,0
U238	4,5E+09	99,2	0,7	0,0	0,1	0,0





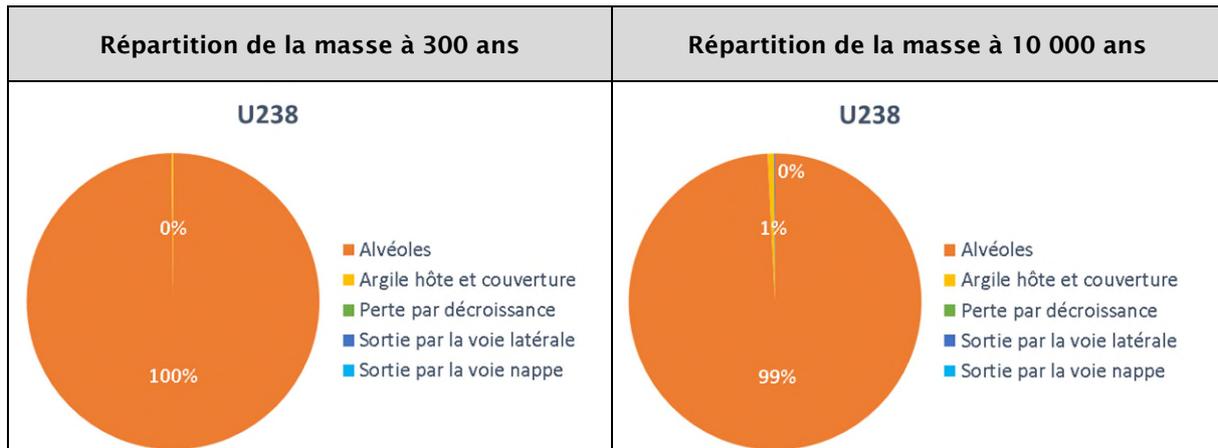


Figure 4.1-1 Cas de référence – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Répartition de la masse de quelques radionucléides représentatifs à 300 et 10 000 ans

Les principales remarques sont les suivantes :

- Les radionucléides à vie très courte (comme le tritium et le strontium 90, avec des périodes de 12 et 29 ans) sont rapidement épuisés par décroissance radioactive. Ils n'atteignent pas la nappe du Barrémien, et une part infime de leur inventaire initial migre hors de l'alvéole par débordement latéral (« effet baignoire ») à très court terme.
- Comme attendu au regard des temps caractéristiques de transfert dans l'argile hôte indiqués ci-dessus, aucun radionucléide n'atteint la nappe du Barrémien par transfert vertical pendant quelques centaines d'années.
- Au-delà de 300 ans, les radionucléides mobiles à vie moyenne ou longue (iode 129, carbone 14 organique, chlore 36, sélénium 79) migrent très majoritairement par la couche d'argile (voie verticale vers la nappe du Barrémien). Ainsi pour ces radionucléides, plus de 95 % de la quantité de radionucléides sortie du stockage a migré à travers l'argile hôte jusqu'à la nappe du Barrémien. La part sortie par débordement latéral (« effet baignoire ») atteint cet exutoire en quelques centaines d'années. À 10 000 ans, la quasi-totalité de leur inventaire initial est sorti du stockage, par migration vers les exutoires pour les radionucléides à vie longue (iode 129, chlore 36, sélénium 79) et pour une part par épuisement radioactif pour les vies moyennes (carbone 14 organique).
- Les radionucléides moyennement sorbés dans les argiles et mobiles dans la grave calcaire, comme le molybdène 93, le calcium 41 et le potassium 40, migrent aussi très majoritairement dans l'argile hôte vers la nappe du Barrémien mais n'atteignent pas celle-ci en 10 000 ans. Une faible part de leur inventaire (inférieure à 5 %) déborde latéralement par effet baignoire après 1000 ans. Une part importante s'épuise par décroissance radioactive pour le molybdène 93 (période 4000 ans). Pour les tranches 2 et 3 du stockage, environ 50 % de l'inventaire en potassium 40 précipite initialement dans les alvéoles, mais tout est à nouveau en solution au-delà d'environ 500 ans.
- Le carbone 14 inorganique étant moyennement sorbé dans la grave calcaire et mobile dans les argiles reste en partie dans les alvéoles de stockage (encore 16 % à 10 000 ans), s'épuise fortement par décroissance (60 %), ou atteint les exutoires au-delà de 1000 ans (20 % de l'inventaire à la nappe, 3 % à l'exutoire latéral par « effet baignoire »).
- Le technétium 99 est très fortement retardé (retard supérieur à 28 000) dans les 11 m d'argile hôte non oxydés sous le stockage, et mobile dans la grave calcaire et l'argile oxydée de la couverture et autour des alvéoles : à 10 000 ans il reste confiné dans l'argile hôte à 94 %, 3 % de son inventaire initial ayant atteint l'exutoire latéral de débordement.
- Les uraniums, moyennement retardés dans la grave calcaire et dans les argiles, restent essentiellement confinés dans les alvéoles (90 % de l'inventaire) du fait de l'atteinte de leur limite de précipitation. Le reste migre lentement dans les argiles et une très faible part (0,1 %) atteint l'exutoire latéral à 10 000 ans.
- Les radionucléides à rétention forte à très forte dans les argiles et les graves, comme les actinides, restent essentiellement dans le stockage, une très faible part (inférieure à 1 %) pouvant migrer à long terme jusqu'à l'exutoire latéral. C'est aussi le cas pour les radionucléides fins de chaîne de filiation,

tels le radium 226, le plomb 210 et le protactinium 231 (ce dernier est sensiblement moins retardé dans les argiles, avec un retard d'environ 58).

- Des évaluations spécifiques ont montré que la contamination des sols par la voie latérale (« effet baignoire ») provient essentiellement des déchets stockés dans les alvéoles de bord de plate-forme à l'est du stockage.
- Ainsi pour un radionucléide mobile à vie longue tel l'iode 129, environ 96 % de la quantité sortie latéralement par « effet baignoire » de la tranche 2 du stockage proviennent du seul inventaire de l'alvéole de bord (est) de la tranche.

4.1.3 Les impacts radiologiques aux exutoires

4.1.3.1 Exutoire « Pompage dans le Barrémien »

Les Figure 4.1-2, Figure 4.1-3 et Figure 4.1-4 présentent les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois », et respectivement pour les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an ». Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.1-4 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et cela pour les trois classes d'âge du groupe de référence « villageois ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

Les doses maximales obtenues sont les plus élevées pour la classe d'âge « enfant de 1 an » et pour les radionucléides mobiles à vie longue ou moyenne, comme l'iode 129, le chlore 36, et dans une moindre mesure le carbone 14. Elles sont atteintes environ 1300 ans après la fin de la phase de surveillance.

Les actinides, fortement retardés dans l'argile, présentent des doses maximales n'excédant pas 10^{-9} Sv.an⁻¹ à 10 000 ans.

Le cumul des doses atteint **5,8 mSv.an⁻¹** à 1300 ans pour l'enfant de 1 an et **3,7 mSv.an⁻¹** pour l'adulte.

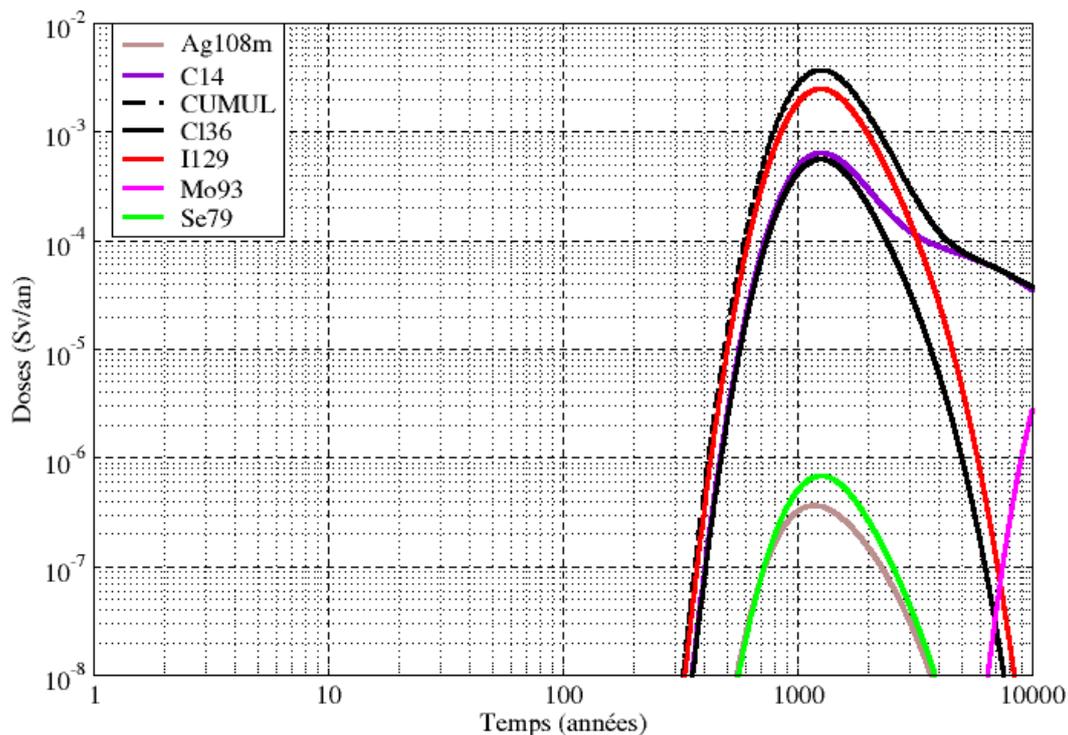


Figure 4.1-2 Cas de référence - Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « adulte »

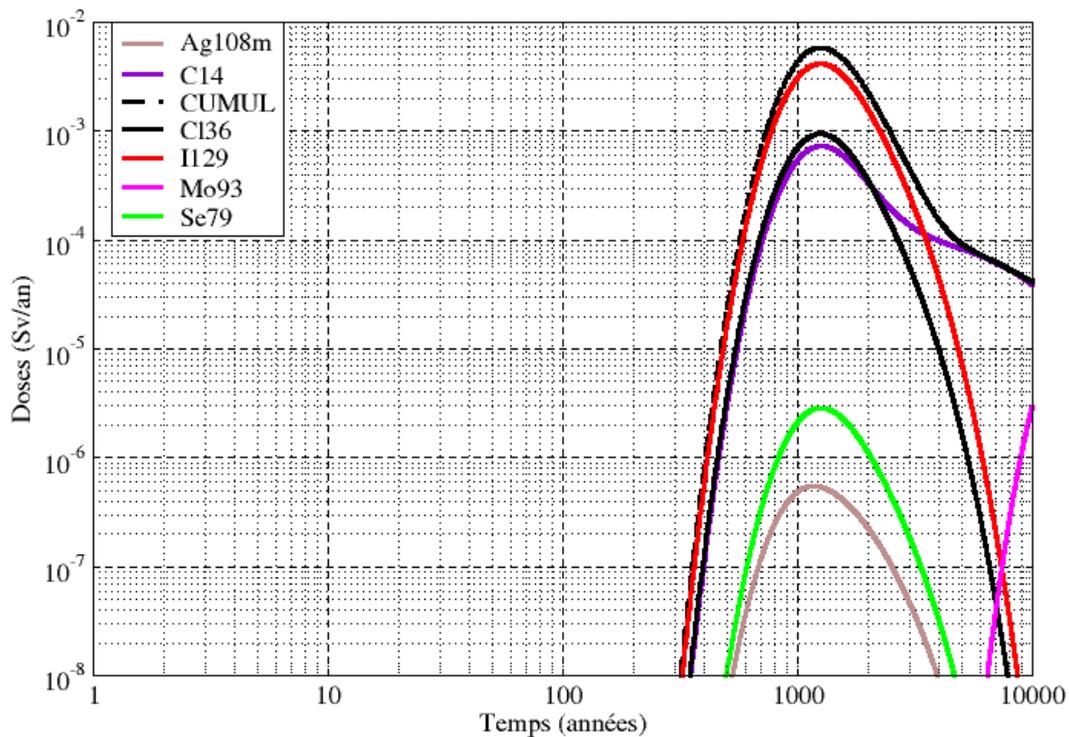


Figure 4.1-3 Cas de référence - Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 10 ans »

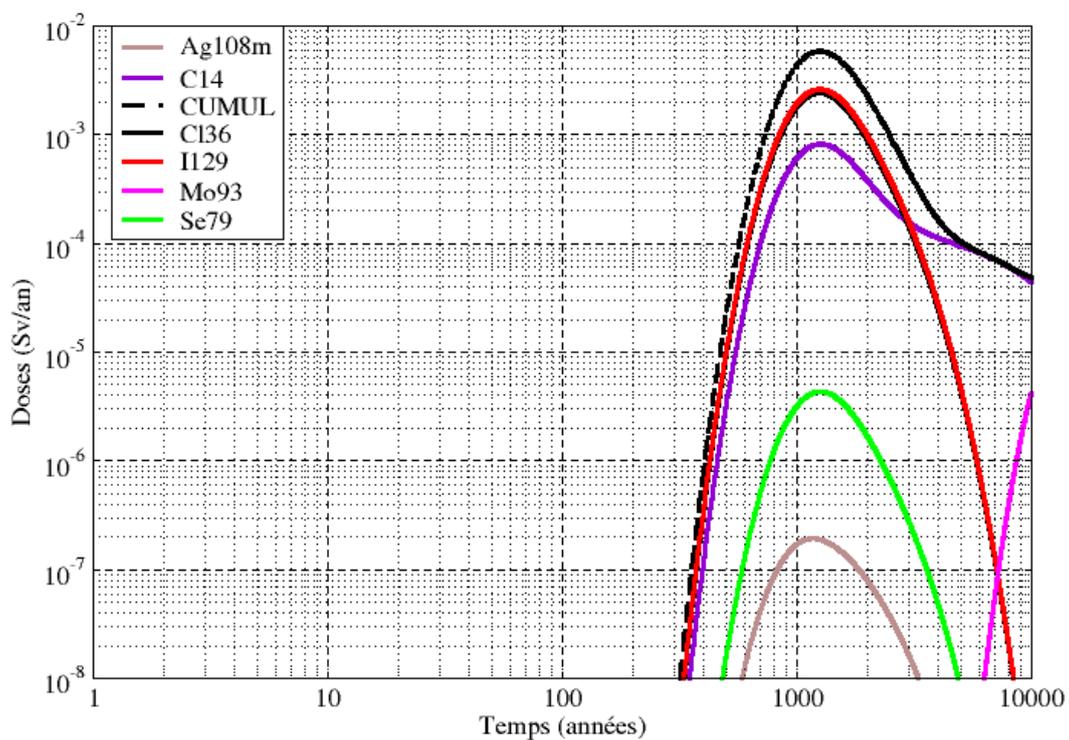


Figure 4.1-4 Cas de référence - Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.1-4 Cas de référence – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » pour le groupe de référence « villageois » et les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an »

Adulte			Enfant de 10 ans			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	3,7E-03	1,3E+03	CUMUL	5,8E-03	1,3E+03	CUMUL	5,8E-03	1,3E+03
I129	2,5E-03	1,3E+03	I129	4,1E-03	1,3E+03	I129	2,6E-03	1,3E+03
C14	6,4E-04	1,3E+03	Cl36	9,4E-04	1,3E+03	Cl36	2,4E-03	1,3E+03
Cl36	5,6E-04	1,3E+03	C14	7,3E-04	1,3E+03	C14	8,2E-04	1,3E+03
Mo93	2,8E-06	1,0E+04	Mo93	3,0E-06	1,0E+04	Se79	4,3E-06	1,3E+03
Se79	6,9E-07	1,3E+03	Se79	2,9E-06	1,3E+03	Mo93	4,2E-06	1,0E+04
Ag108m	3,7E-07	1,2E+03	Ag108m	5,5E-07	1,2E+03	Ag108m	1,9E-07	1,2E+03
K40	1,2E-09	1,0E+04	K40	2,0E-09	1,0E+04	K40	3,4E-09	1,0E+04
U234	1,8E-10	1,0E+04	U234	2,5E-10	1,0E+04	U234	2,5E-10	1,0E+04
U238	1,2E-10	1,0E+04	U238	1,8E-10	1,0E+04	U238	1,9E-10	1,0E+04

4.1.3.2 Exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance »

Les Figure 4.1-5, Figure 4.1-6 et Figure 4.1-7 présentent les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités », et respectivement pour les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an ». Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv.an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.1-5 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et cela pour les trois classes d'âge du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

Les impacts radiologiques sont pilotés à moyen terme, par l'iode 129, le chlore 36, le carbone 14, et le technétium 99 migrant par la couche d'argile.

Les actinides et les éléments produits par filiation (protactinium 231), fortement retardés dans l'argile, présentent des doses maximales de l'ordre de 10^{-5} mSv.an⁻¹ à 10 000 ans.

Les doses maximales obtenues sont les plus élevées pour la classe d'âge « enfant de 1 an » avec un cumul des doses atteignant un maximum d'environ **0,8 μSv.an⁻¹** (environ 0,4 μSv.an⁻¹ pour la classe d'âge « adulte ») à 1300 ans.

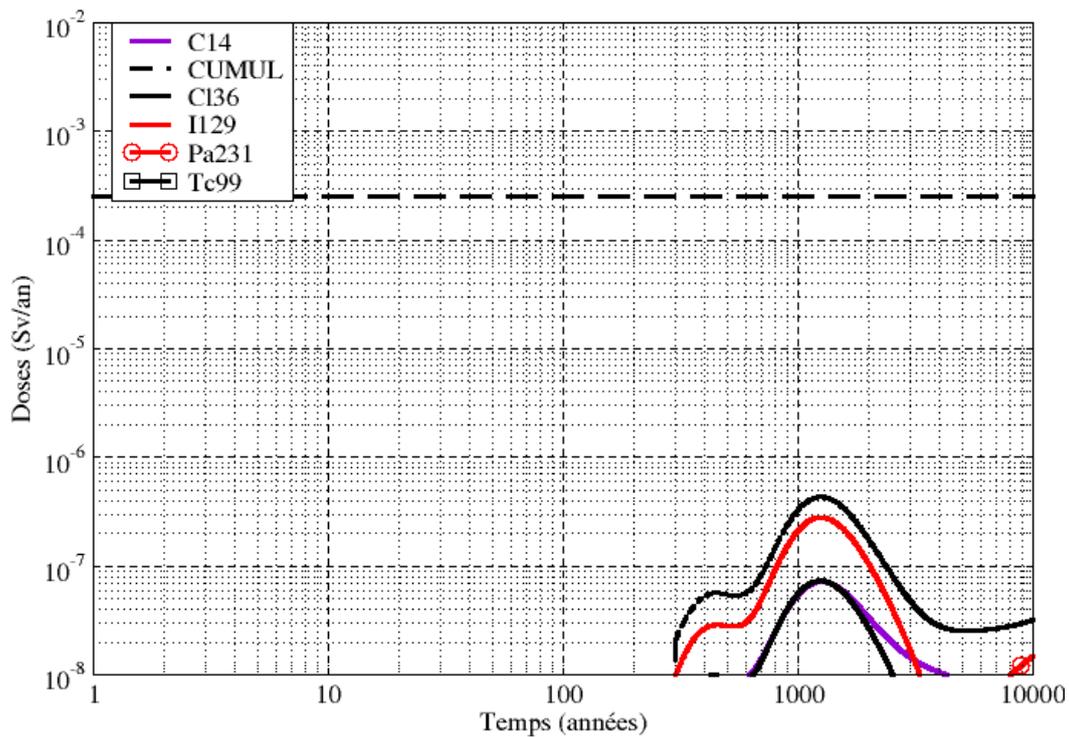


Figure 4.1-5 Situation de référence- Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »

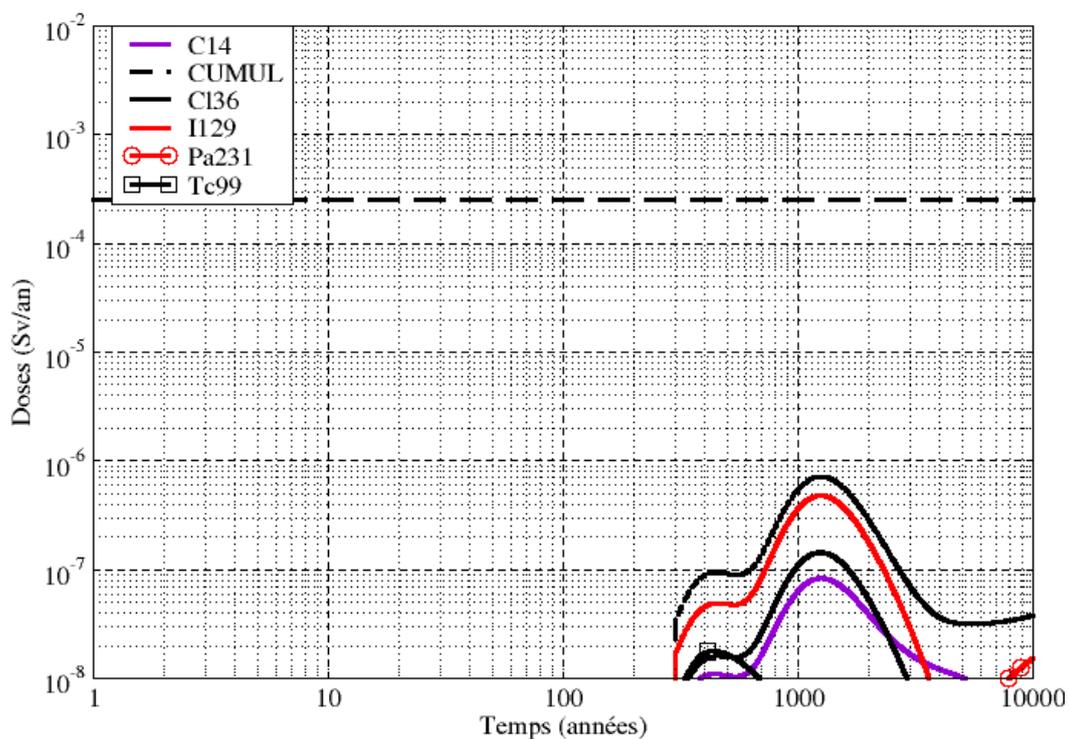


Figure 4.1-6 Cas de référence - Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 10 ans »

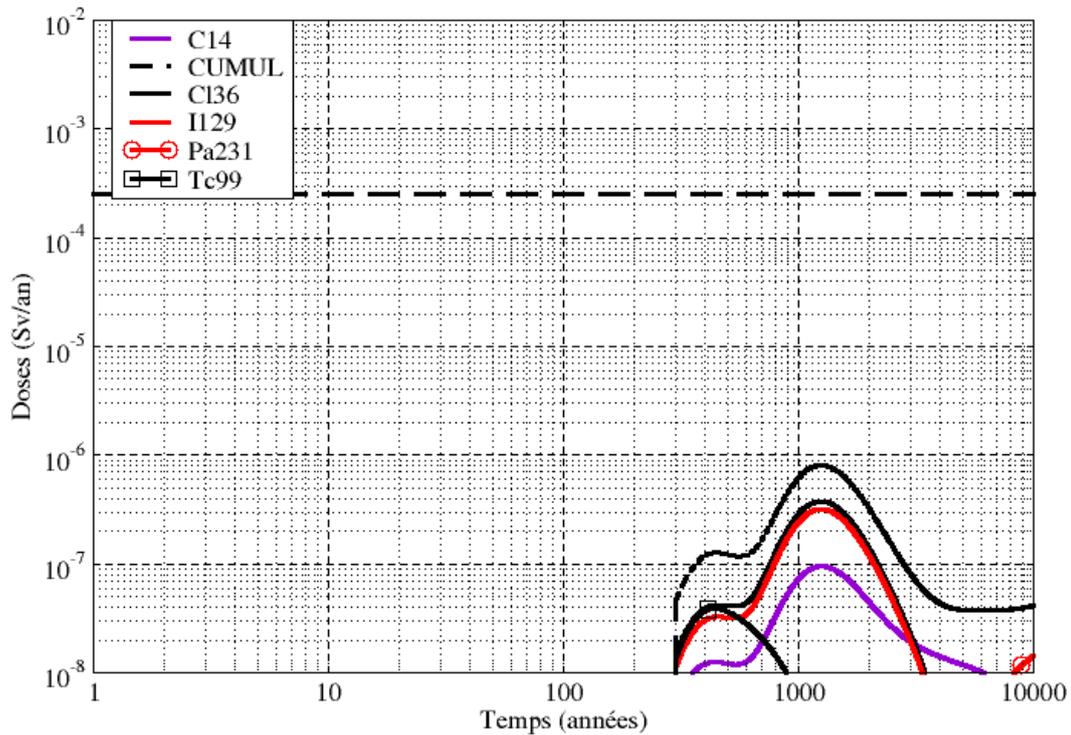


Figure 4.1-7

Cas de référence - Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.1-5

Cas de référence - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » pour le groupe de référence « multi-activités » et les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an »

Adulte			Enfant de 10 ans			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	4,3E-07	1,3E+03	CUMUL	7,2E-07	1,3E+03	CUMUL	8,1E-07	1,3E+03
I129	2,8E-07	1,3E+03	I129	4,8E-07	1,3E+03	Cl36	3,8E-07	1,2E+03
Cl36	7,3E-08	1,2E+03	Cl36	1,4E-07	1,3E+03	I129	3,2E-07	1,3E+03
C14	7,2E-08	1,3E+03	C14	8,4E-08	1,3E+03	C14	9,6E-08	1,3E+03
Pa231	1,5E-08	1,0E+04	Tc99	1,8E-08	4,4E+02	Tc99	3,9E-08	4,4E+02
Tc99	1,0E-08	4,4E+02	Pa231	1,5E-08	1,0E+04	Pa231	1,4E-08	1,0E+04
U238	5,4E-09	1,0E+04	U238	7,5E-09	1,0E+04	U238	9,3E-09	1,0E+04
U234	5,2E-09	1,0E+04	U234	7,0E-09	1,0E+04	U234	8,0E-09	1,0E+04
Mo93	4,1E-09	1,4E+03	Mo93	4,5E-09	1,4E+03	Mo93	6,5E-09	1,4E+03
K40	1,1E-09	2,1E+03	Se79	3,3E-09	1,3E+03	Se79	5,1E-09	1,3E+03
U235	1,0E-09	1,0E+04	K40	1,8E-09	2,1E+03	K40	3,7E-09	2,1E+03
Se79	8,5E-10	1,3E+03	U235	1,4E-09	1,0E+04	U235	1,6E-09	1,0E+04
U236	2,4E-10	1,0E+04	Pb210	5,2E-10	1,0E+04	Pb210	7,9E-10	1,0E+04
Pb210	2,3E-10	1,0E+04	U236	3,2E-10	1,0E+04	U236	3,9E-10	1,0E+04
Np237	1,9E-10	1,0E+04	Ra226	2,6E-10	1,0E+04	Ra226	2,5E-10	1,0E+04

4.1.3.3 Exutoires « Sol contaminé »

Groupe de référence « jardin potager », sur une largeur de contamination de 10 m (SEN)**Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage**

Les Figure 4.1-8, Figure 4.1-9 et Figure 4.1-10 présentent les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et respectivement pour les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an » à l'échelle de la seule tranche 1 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.1-6 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et cela pour les trois classes d'âge du groupe de référence « jardin potager ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

Les impacts radiologiques sont pilotés :

- à court terme, par le molybdène 93, le carbone 14, l'iode 129 et le technétium 99, mobiles dans la couverture ;
- à long terme, par les actinides uranium 234 et uranium 238 et le protactinium 231 produit par filiation, « moyennement » sorbés dans la couverture.

Les doses maximales obtenues sont les plus élevées pour la classe d'âge « enfant de 1 an » avec un cumul des doses atteignant un maximum d'environ **0,03 mSv.an⁻¹** (environ 0,02 mSv.an⁻¹ pour la classe d'âge « adulte ») à partir d'environ 3 000 ans (plateau de précipitation des uraniums dans la grave calcaire).

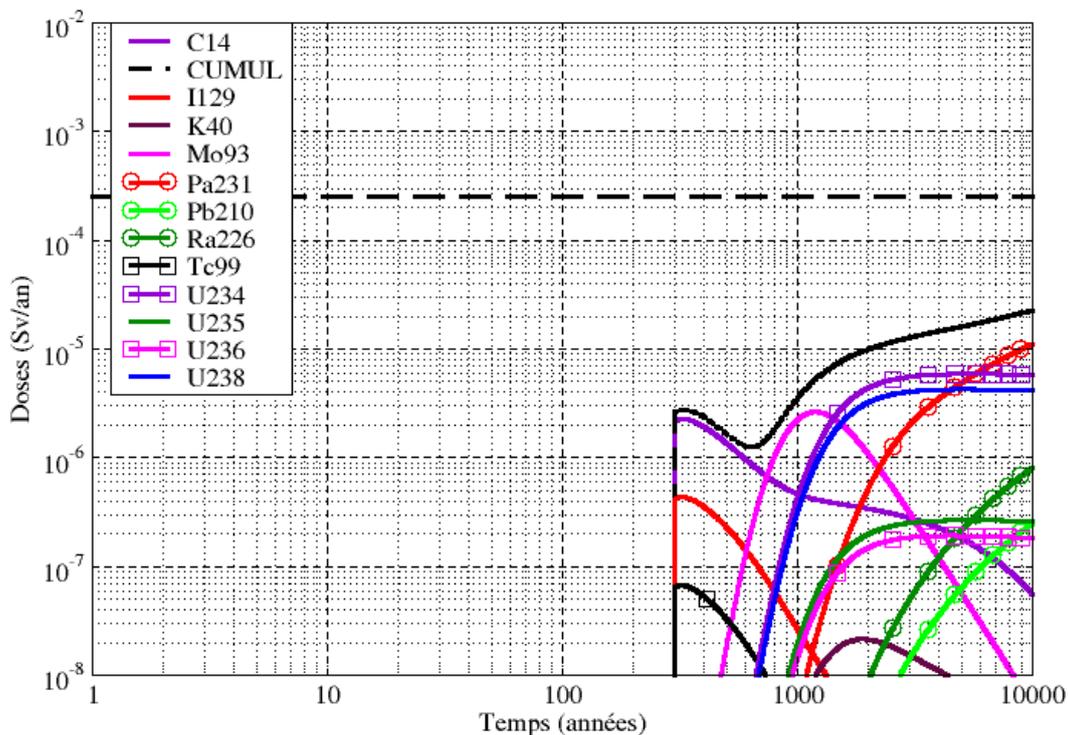


Figure 4.1-8

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »

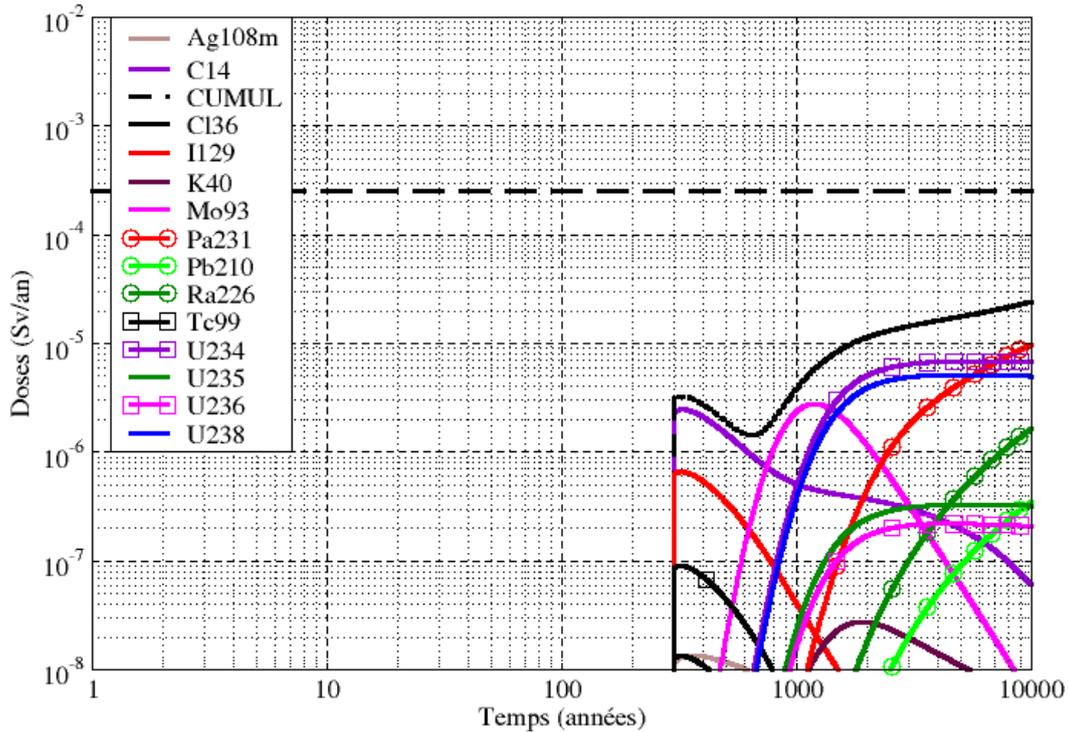


Figure 4.1-9

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 10 ans »

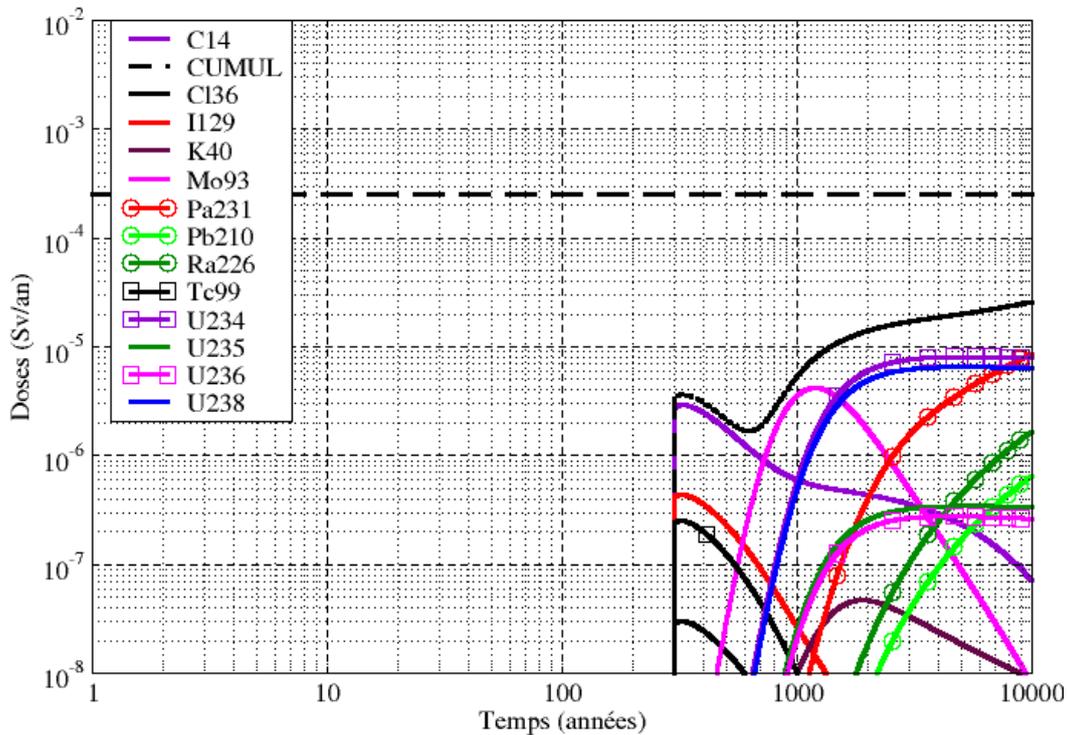


Figure 4.1-10

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Historique des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.1-6

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an »

Adulte			Enfant de 10 ans			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	2,3E-05	1,0E+04	CUMUL	2,4E-05	1,0E+04	CUMUL	2,6E-05	1,0E+04
Pa231	1,1E-05	1,0E+04	Pa231	9,8E-06	1,0E+04	Pa231	8,6E-06	1,0E+04
U234	5,9E-06	5,7E+03	U234	6,8E-06	5,7E+03	U234	8,1E-06	5,7E+03
U238	4,3E-06	5,1E+03	U238	5,1E-06	5,1E+03	U238	6,5E-06	5,1E+03
Mo93	2,6E-06	1,2E+03	Mo93	2,8E-06	1,2E+03	Mo93	4,2E-06	1,2E+03
C14	2,3E-06	3,3E+02	C14	2,5E-06	3,3E+02	C14	2,9E-06	3,3E+02
Ra226	8,1E-07	1,0E+04	Ra226	1,6E-06	1,0E+04	Ra226	1,7E-06	1,0E+04
I129	4,4E-07	3,2E+02	I129	6,6E-07	3,2E+02	Pb210	6,5E-07	1,0E+04
U235	2,7E-07	5,6E+03	Pb210	3,5E-07	1,0E+04	I129	4,4E-07	3,2E+02
Pb210	2,5E-07	1,0E+04	U235	3,3E-07	5,6E+03	U235	3,5E-07	5,6E+03
U236	1,9E-07	4,5E+03	U236	2,2E-07	4,5E+03	U236	2,8E-07	4,5E+03
Tc99	6,7E-08	3,2E+02	Tc99	9,1E-08	3,2E+02	Tc99	2,5E-07	3,2E+02
K40	2,2E-08	1,9E+03	K40	2,8E-08	1,9E+03	K40	4,7E-08	1,9E+03
Np237	1,0E-08	7,1E+03	Ag108m	1,4E-08	3,6E+02	Cl36	3,0E-08	3,2E+02
Cl36	9,3E-09	3,2E+02	Cl36	1,3E-08	3,2E+02	Np237	7,5E-09	7,1E+03
Ag108m	9,1E-09	3,6E+02	Np237	8,2E-09	7,1E+03	Th230	4,7E-09	1,0E+04
Th230	5,5E-09	1,0E+04	Th230	4,9E-09	1,0E+04	Ag108m	4,6E-09	3,6E+02
Ac227	2,0E-09	1,0E+04	Ra228	2,4E-09	6,9E+03	Ra228	2,6E-09	6,9E+03
U233	1,2E-09	7,9E+03	Ac227	1,7E-09	1,0E+04	Se79	2,1E-09	3,0E+02
Ra228	6,2E-10	6,9E+03	U233	1,3E-09	7,9E+03	U233	1,6E-09	7,9E+03
Ca41	3,4E-10	3,2E+03	Se79	1,1E-09	3,0E+02	Ac227	1,2E-09	1,0E+04
Se79	2,9E-10	3,0E+02	Ca41	6,7E-10	3,2E+03	Ca41	6,0E-10	3,2E+03
Rb87	1,2E-10	4,8E+03	Sr90	1,8E-10	3,1E+02	Rb87	3,0E-10	4,8E+03
Sr90	1,0E-10	3,1E+02	Rb87	1,5E-10	4,8E+03	Sr90	2,1E-10	3,1E+02

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

Les Figure 4.1-11, Figure 4.1-12 et Figure 4.1-13 présentent les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et respectivement pour les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an » à l'échelle de la tranche 2 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.1-7 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et cela pour les trois classes d'âge du groupe de référence « jardin potager ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

Les impacts restent maxima pour les modèles Tranche 2 et Tranche 3, et équivalents pour ces deux modèles, parce que les inventaires moyennés de l'alvéole de bord des tranches 2 et 3 sont supérieurs à celui de la tranche 1. Ils sont présentés ici pour le modèle Tranche 2.

Les impacts radiologiques sont pilotés :

- à court terme, par le technétium 99, l'iode 129 et le carbone 14, mobiles dans la couverture, avec un premier pic de doses cumulées à environ 0,06 mSv.an⁻¹ autour de 450 ans (enfant de 1 an) ;
- à moyen terme, par le molybdène 93, légèrement sorbé dans la grave calcaire et mobile dans la couverture, qui présente un pic autour de 3 000 ans ;
- à long terme, par le protactinium 231 produit par filiation et les uranium 234, 238 et 235, « moyennement » sorbés dans la couverture.

Les doses maximales obtenues sont les plus élevées pour la classe d'âge « enfant de 1 an » avec un cumul des doses atteignant un maximum d'environ **0,06 mSv.an⁻¹** à environ 450 ans.

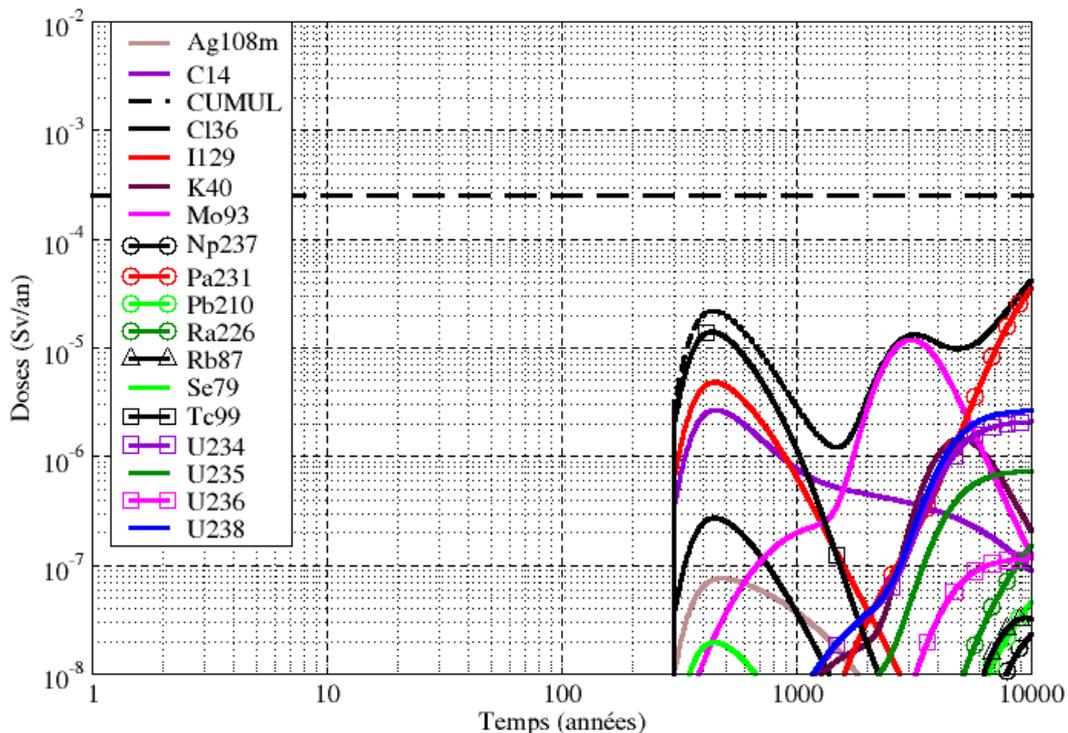


Figure 4.1-11

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »

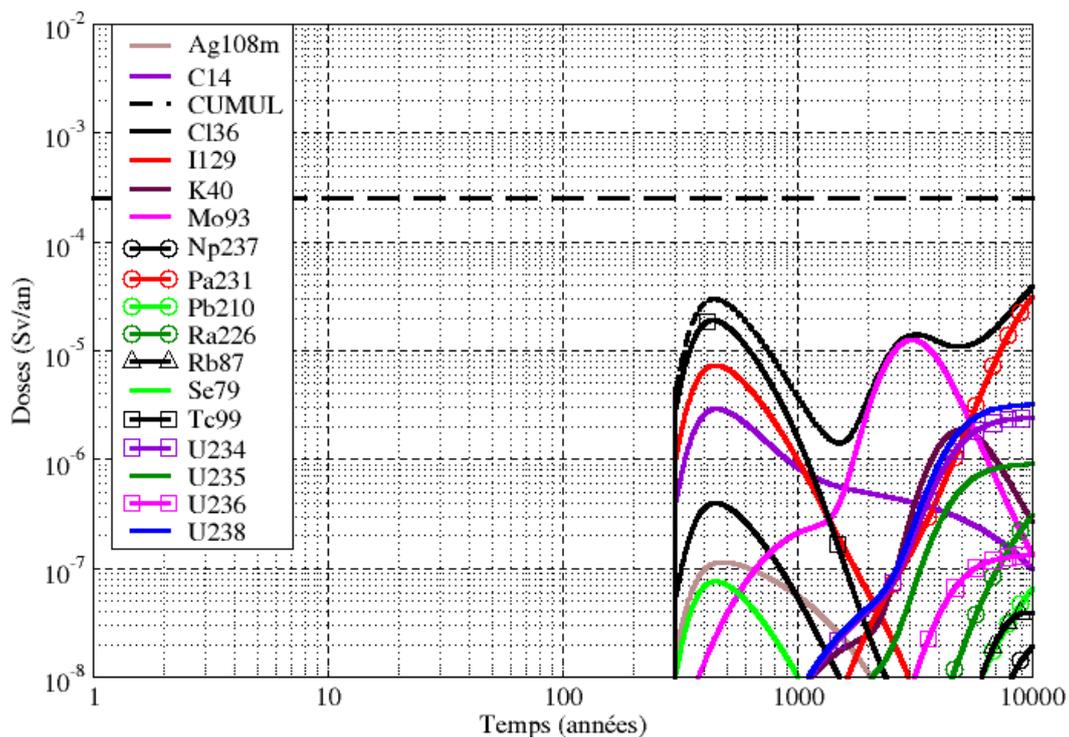


Figure 4.1-12

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 10 ans »

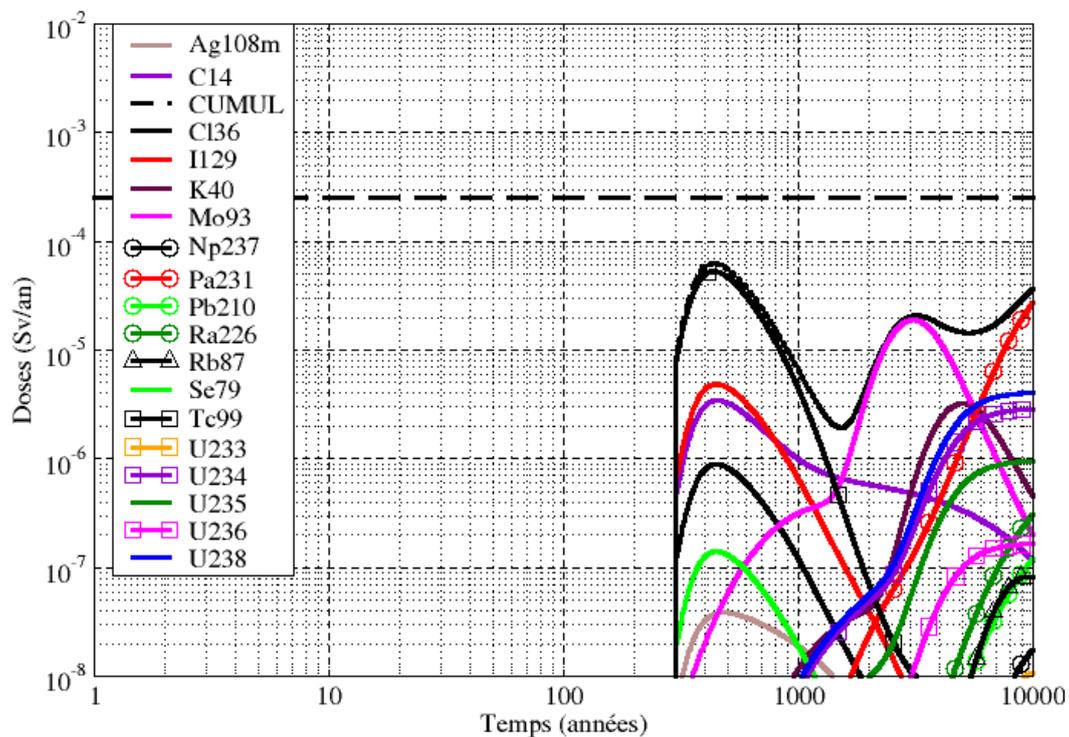


Figure 4.1-13

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Historique des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.1-7

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an »

Adulte			Enfant de 10 ans			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	4,2E-05	1,0E+04	CUMUL	3,9E-05	1,0E+04	CUMUL	6,2E-05	4,4E+02
Pa231	3,5E-05	1,0E+04	Pa231	3,1E-05	1,0E+04	Tc99	5,3E-05	4,4E+02
Tc99	1,4E-05	4,4E+02	Tc99	1,9E-05	4,4E+02	Pa231	2,7E-05	1,0E+04
Mo93	1,2E-05	3,1E+03	Mo93	1,3E-05	3,1E+03	Mo93	1,9E-05	3,1E+03
I129	4,8E-06	4,5E+02	I129	7,3E-06	4,5E+02	I129	4,9E-06	4,5E+02
C14	2,7E-06	4,5E+02	U238	3,2E-06	1,0E+04	U238	4,1E-06	1,0E+04
U238	2,6E-06	1,0E+04	C14	2,9E-06	4,5E+02	C14	3,4E-06	4,5E+02
U234	2,1E-06	1,0E+04	U234	2,4E-06	1,0E+04	K40	3,2E-06	5,0E+03
K40	1,5E-06	5,0E+03	K40	1,9E-06	5,0E+03	U234	2,9E-06	1,0E+04
U235	7,4E-07	1,0E+04	U235	9,1E-07	1,0E+04	U235	9,5E-07	1,0E+04
Cl36	2,7E-07	4,5E+02	Cl36	4,0E-07	4,5E+02	Cl36	8,9E-07	4,5E+02
Ra226	1,5E-07	1,0E+04	Ra226	3,1E-07	1,0E+04	Ra226	3,1E-07	1,0E+04
U236	1,2E-07	1,0E+04	U236	1,3E-07	1,0E+04	U236	1,7E-07	1,0E+04
Ag108m	7,6E-08	4,8E+02	Ag108m	1,1E-07	4,8E+02	Se79	1,4E-07	4,5E+02
Pb210	4,6E-08	1,0E+04	Se79	7,6E-08	4,5E+02	Pb210	1,2E-07	1,0E+04
Rb87	3,3E-08	9,5E+03	Pb210	6,5E-08	1,0E+04	Rb87	8,2E-08	9,5E+03
Np237	2,3E-08	1,0E+04	Rb87	4,0E-08	9,5E+03	Ag108m	3,9E-08	4,8E+02
Se79	2,0E-08	4,5E+02	Np237	1,9E-08	1,0E+04	Np237	1,7E-08	1,0E+04
U233	7,6E-09	1,0E+04	U233	8,9E-09	1,0E+04	U233	1,1E-08	1,0E+04
Ac227	3,6E-09	1,0E+04	Ca41	6,0E-09	9,4E+03	Ca41	5,4E-09	9,4E+03
Ca41	3,1E-09	9,4E+03	Ac227	3,1E-09	1,0E+04	Ra228	2,7E-09	1,2E+03
Th230	1,2E-09	1,0E+04	Ra228	2,4E-09	1,2E+03	Ac227	2,2E-09	1,0E+04
Ra228	6,4E-10	1,2E+03	Th230	1,1E-09	1,0E+04	Th230	1,0E-09	1,0E+04
Sr90	2,2E-10	3,8E+02	Sr90	3,8E-10	3,8E+02	Sr90	4,5E-10	3,8E+02

Groupe de référence « multi-activités », sur une largeur de contamination de 100 m (SEN)

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

Les Figure 4.1-14, Figure 4.1-15, et Figure 4.1-16 présentent les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et respectivement pour les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an » à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.1-8 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et cela pour les trois classes d'âge du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

Comme pour le groupe de référence « jardin potager » sur une largeur de contamination de 10 m, les impacts radiologiques sont pilotés :

- à court terme, par le molybdène 93, le carbone 14, l'iode 129 et le technétium 99, mobiles dans la couverture ;
- à long terme, par les actinides uranium 234 et uranium 238 et le protactinium 231 produit par filiation, « moyennement » sorbés dans la couverture.

Les doses maximales obtenues sont les plus élevées pour la classe d'âge « enfant de 1 an » avec un cumul des doses atteignant un maximum d'environ **6 μ Sv.an⁻¹** (environ 5 μ Sv.an⁻¹ pour la classe d'âge « adulte ») à partir de 2 000 ans (plateau de précipitation des uraniums).

Elles sont d'environ quatre à cinq fois inférieures à celles calculées pour le groupe de référence « jardin potager » sur une largeur de contamination de 10 m.

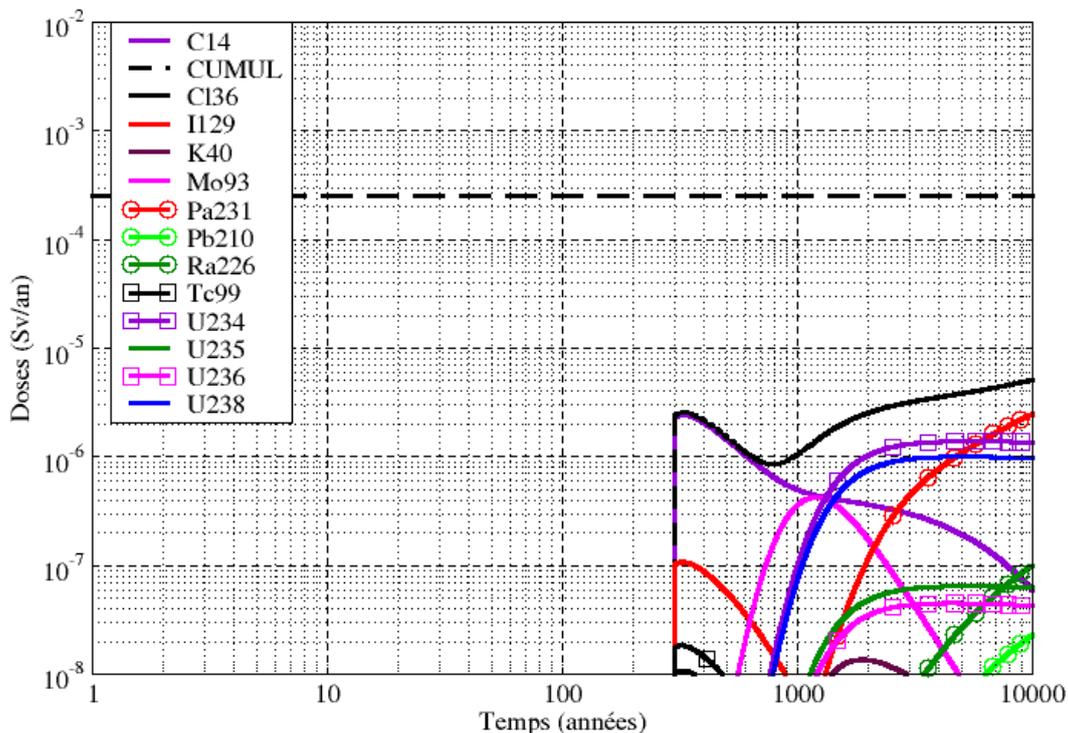


Figure 4.1-14

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »

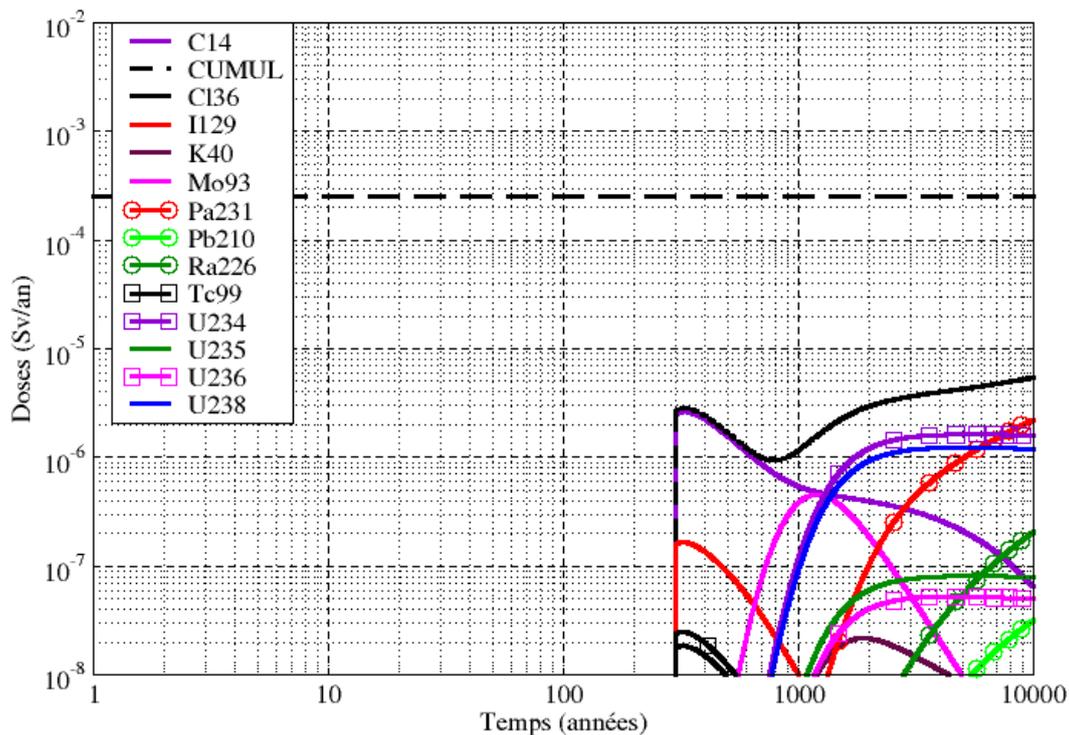


Figure 4.1-15 Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 10 ans »

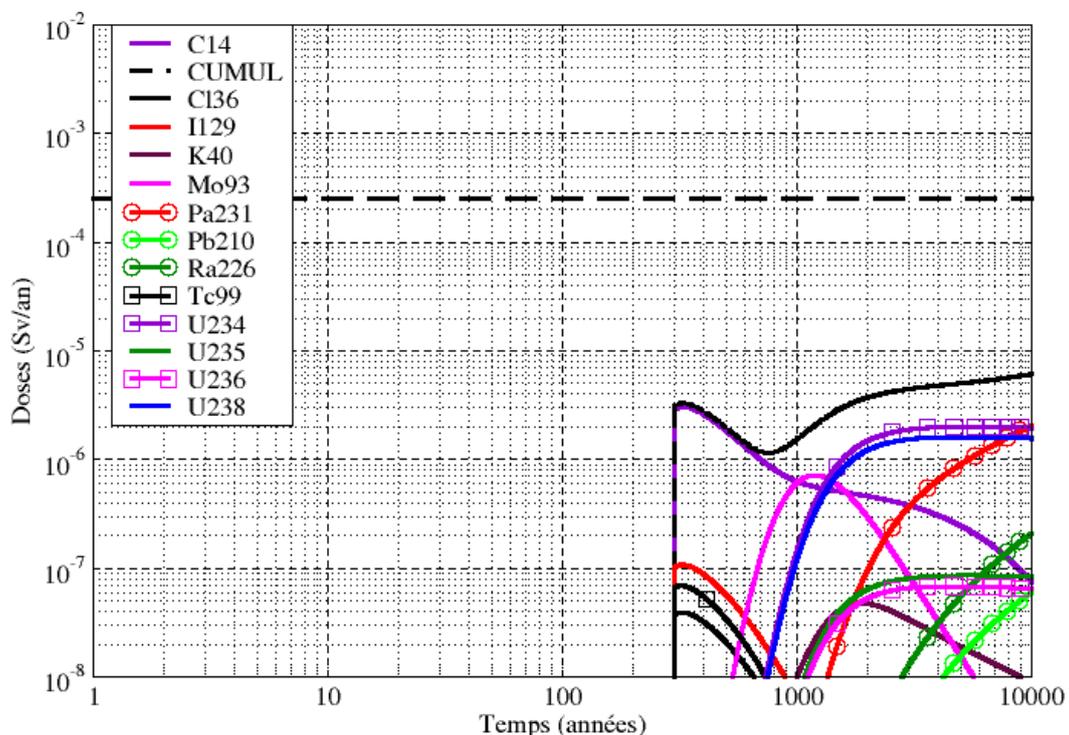


Figure 4.1-16 Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.1-8

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an »

Adulte			Enfant de 10 ans			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	5,1E-06	1,0E+04	CUMUL	5,4E-06	1,0E+04	CUMUL	6,1E-06	1,0E+04
Pa231	2,5E-06	1,0E+04	C14	2,6E-06	3,3E+02	C14	3,1E-06	3,3E+02
C14	2,4E-06	3,3E+02	Pa231	2,2E-06	1,0E+04	Pa231	2,1E-06	1,0E+04
U234	1,4E-06	5,7E+03	U234	1,6E-06	5,7E+03	U234	2,0E-06	5,7E+03
U238	1,0E-06	5,1E+03	U238	1,2E-06	5,1E+03	U238	1,6E-06	5,1E+03
Mo93	4,2E-07	1,2E+03	Mo93	4,5E-07	1,2E+03	Mo93	7,2E-07	1,2E+03
I129	1,1E-07	3,2E+02	Ra226	2,1E-07	1,0E+04	Ra226	2,1E-07	1,0E+04
Ra226	1,0E-07	1,0E+04	I129	1,7E-07	3,2E+02	I129	1,1E-07	3,2E+02
U235	6,5E-08	5,6E+03	U235	8,1E-08	5,6E+03	U235	8,6E-08	5,6E+03
U236	4,5E-08	4,5E+03	U236	5,3E-08	4,5E+03	Tc99	6,9E-08	3,2E+02
Pb210	2,3E-08	1,0E+04	Pb210	3,2E-08	1,0E+04	U236	6,8E-08	4,5E+03
Tc99	1,8E-08	3,2E+02	Tc99	2,5E-08	3,2E+02	Pb210	6,0E-08	1,0E+04
K40	1,4E-08	1,9E+03	K40	2,2E-08	1,9E+03	K40	4,8E-08	1,9E+03
Cl36	1,1E-08	3,2E+02	Cl36	1,8E-08	3,2E+02	Cl36	4,0E-08	3,2E+02
Np237	2,8E-09	7,1E+03	Se79	2,6E-09	3,0E+02	Se79	4,6E-09	3,0E+02
Ag108m	9,5E-10	3,6E+02	Np237	2,3E-09	7,1E+03	Np237	2,1E-09	7,1E+03
Se79	6,7E-10	3,0E+02	Ag108m	1,4E-09	3,6E+02	Th230	4,9E-10	1,0E+04
Th230	5,2E-10	1,0E+04	Th230	5,1E-10	1,0E+04	Ag108m	4,8E-10	3,6E+02
U233	2,7E-10	7,9E+03	U233	3,2E-10	7,9E+03	U233	4,0E-10	7,9E+03
Ac227	1,6E-10	1,0E+04	Ra228	2,4E-10	6,9E+03	Rb87	3,2E-10	4,8E+03
Ca41	9,8E-11	3,2E+03	Ca41	2,1E-10	3,2E+03	Ra228	2,7E-10	6,9E+03
Rb87	8,8E-11	4,8E+03	Rb87	1,4E-10	4,8E+03	Ca41	1,9E-10	3,2E+03
Ra228	6,3E-11	6,9E+03	Ac227	1,3E-10	1,0E+04	Ac227	6,3E-11	1,0E+04

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

Les Figure 4.1-17, Figure 4.1-18 et Figure 4.1-19 présentent les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et respectivement pour les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an » à l'échelle de la tranche 2 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.1-9 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et cela pour les trois classes d'âge du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

Les impacts sont toujours maxima pour les modèles Tranche 2 et Tranche 3, et équivalents pour ces deux modèles parce que les inventaires moyennés de l'alvéole de bord des tranches 2 et 3 sont supérieurs à celui de la tranche 1. Ils sont présentés ici pour le modèle Tranche 2.

Comme pour le groupe de référence « jardin potager » sur une largeur de contamination de 10 m, les impacts radiologiques sont pilotés :

- à court terme, par le technétium 99, le carbone 14 et l'iode 129 (et le chlore 36 dans une moindre mesure), mobiles dans la couverture, avec un premier pic de doses cumulées à environ 0,02 mSv.an⁻¹ autour de 450 ans (enfant de 1 an) ;
- à moyen terme, par le molybdène 93, légèrement sorbé dans la grave calcaire et mobile dans la couverture, qui présente un pic autour de 3 000 ans ;
- à long terme, par le protactinium 231 produit par filiation et les uranium 234, 238 et 235, « moyennement » sorbés dans la couverture.

Les doses maximales absolues obtenues sont les plus élevées pour la classe d'âge « enfant de 1 an » avec un cumul des doses atteignant un maximum d'environ **0,02 mSv.an⁻¹** à 450 ans.

Ces doses sont d'environ 3 fois inférieures à celles calculées pour le groupe de référence « jardin potager » sur une largeur de contamination de 10 m, ce qui s'explique par un effet de dilution des eaux contaminées sur la largeur de contamination de 100 m.

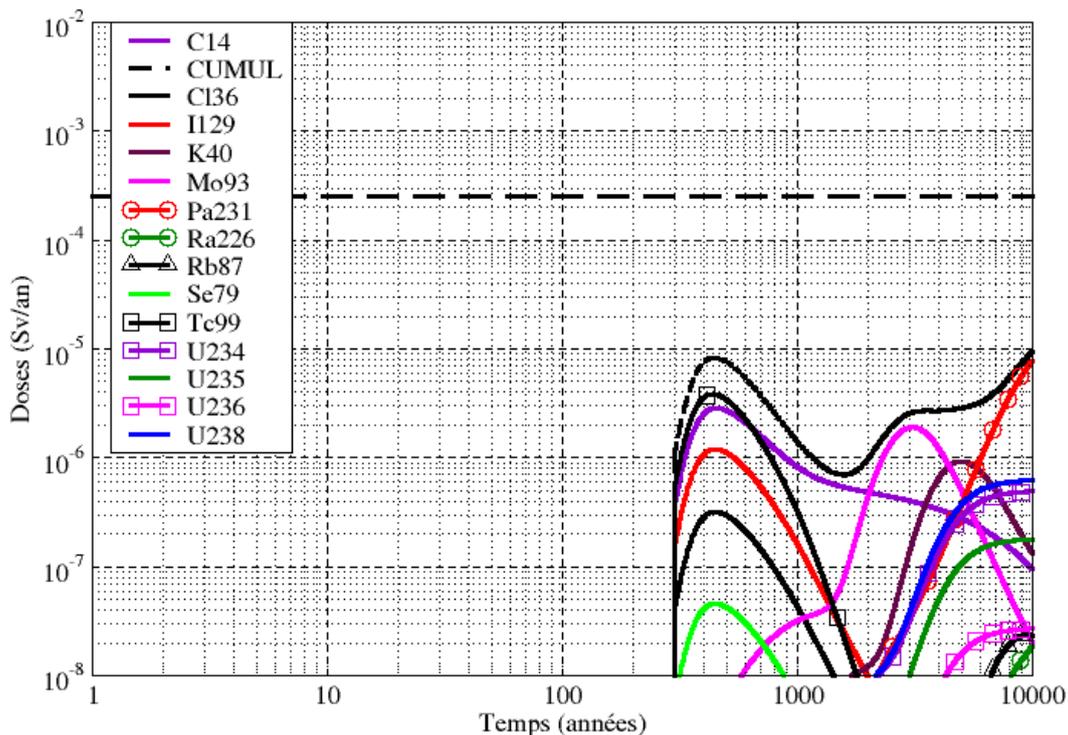


Figure 4.1-17

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »

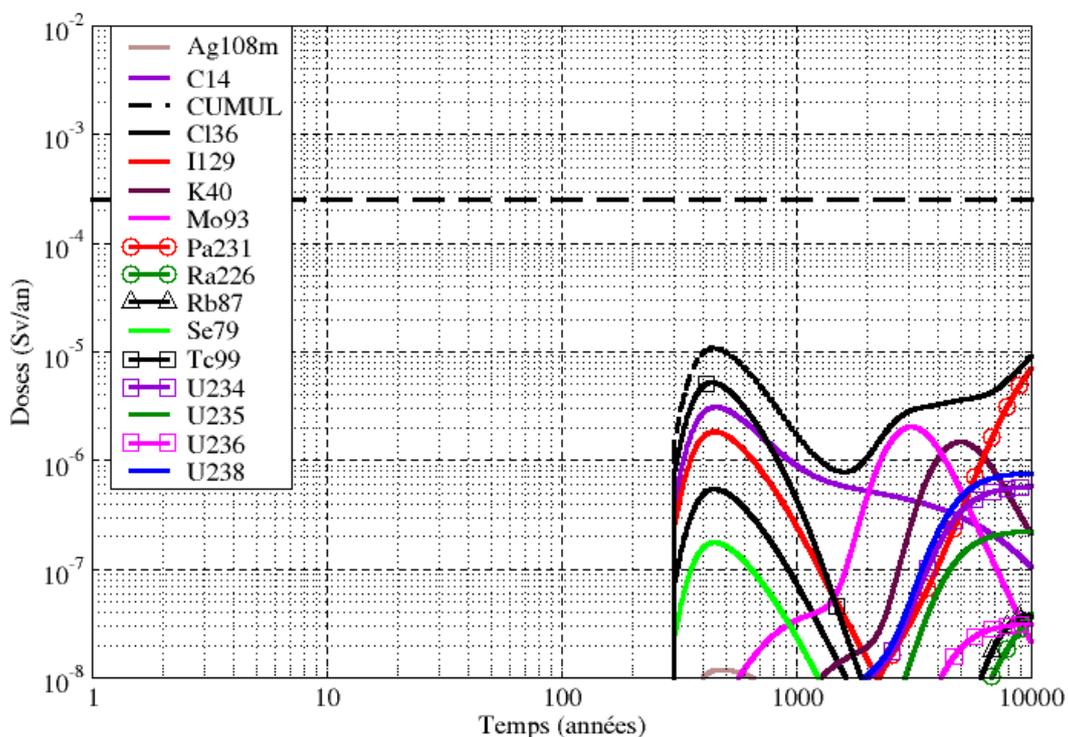


Figure 4.1-18

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 10 ans »

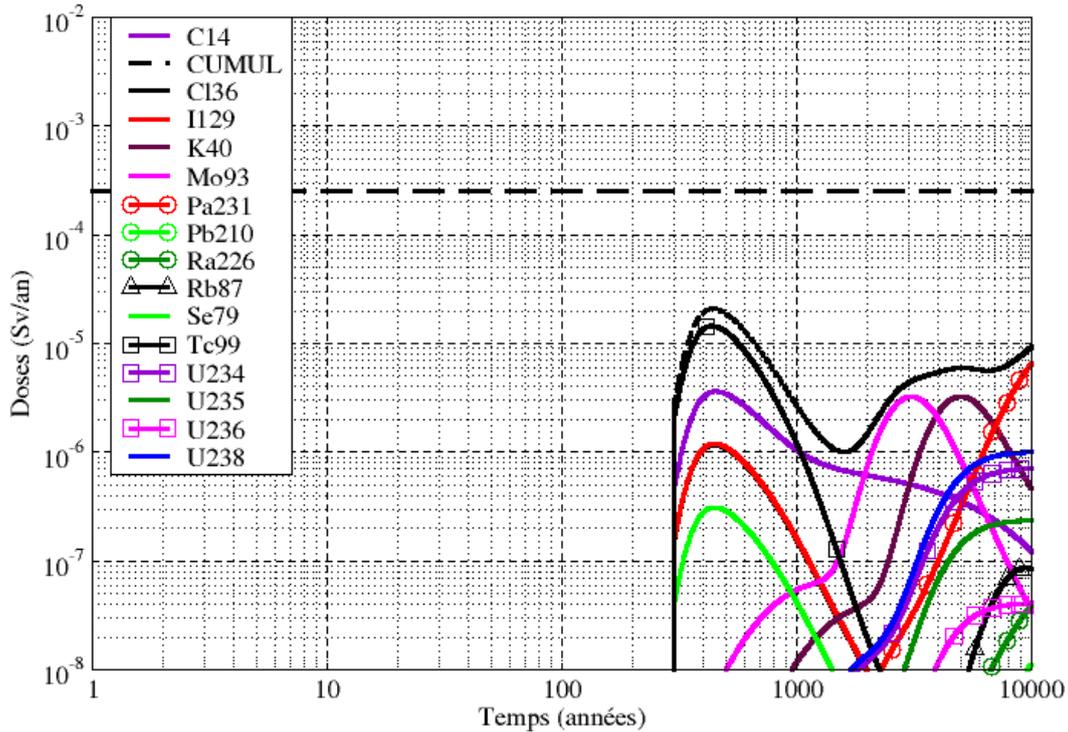


Figure 4.1-19

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.1-9

Cas de référence - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et les classes d'âge « adulte », « enfant de 10 ans » et « enfant de 1 an »

Adulte			Enfant de 10 ans			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	9,4E-06	1,0E+04	CUMUL	1,1E-05	4,4E+02	CUMUL	2,1E-05	4,4E+02
Pa231	7,8E-06	1,0E+04	Pa231	7,0E-06	1,0E+04	Tc99	1,5E-05	4,4E+02
Tc99	3,9E-06	4,4E+02	Tc99	5,2E-06	4,4E+02	Pa231	6,5E-06	1,0E+04
C14	2,9E-06	4,5E+02	C14	3,1E-06	4,5E+02	C14	3,6E-06	4,5E+02
Mo93	1,9E-06	3,1E+03	Mo93	2,0E-06	3,1E+03	K40	3,3E-06	5,0E+03
I129	1,2E-06	4,5E+02	I129	1,8E-06	4,5E+02	Mo93	3,2E-06	3,1E+03
K40	9,3E-07	5,0E+03	K40	1,5E-06	5,0E+03	I129	1,2E-06	4,5E+02
U238	6,2E-07	1,0E+04	U238	7,7E-07	1,0E+04	Cl36	1,2E-06	4,5E+02
U234	4,9E-07	1,0E+04	U234	5,8E-07	1,0E+04	U238	1,0E-06	1,0E+04
Cl36	3,2E-07	4,5E+02	Cl36	5,5E-07	4,5E+02	U234	7,1E-07	1,0E+04
U235	1,8E-07	1,0E+04	U235	2,2E-07	1,0E+04	Se79	3,1E-07	4,5E+02
Se79	4,6E-08	4,5E+02	Se79	1,8E-07	4,5E+02	U235	2,4E-07	1,0E+04
U236	2,7E-08	1,0E+04	Ra226	3,8E-08	1,0E+04	Rb87	8,6E-08	9,5E+03
Rb87	2,4E-08	9,5E+03	Rb87	3,7E-08	9,5E+03	U236	4,1E-08	1,0E+04
Ra226	1,9E-08	1,0E+04	U236	3,1E-08	1,0E+04	Ra226	3,9E-08	1,0E+04
Ag108m	8,0E-09	4,8E+02	Ag108m	1,2E-08	4,8E+02	Pb210	1,1E-08	1,0E+04

Np237	6,5E-09	1,0E+04	Pb210	5,9E-09	1,0E+04	Np237	4,9E-09	1,0E+04
Pb210	4,3E-09	1,0E+04	Np237	5,3E-09	1,0E+04	Ag108m	4,0E-09	4,8E+02
U233	1,8E-09	1,0E+04	U233	2,1E-09	1,0E+04	U233	2,6E-09	1,0E+04
Ca41	8,9E-10	9,4E+03	Ca41	1,9E-09	9,4E+03	Ca41	1,7E-09	9,4E+03
Ac227	2,9E-10	1,0E+04	Ra228	2,5E-10	1,2E+03	Ra228	2,8E-10	1,2E+03
Th230	1,1E-10	1,0E+04	Ac227	2,3E-10	1,0E+04	Ac227	1,1E-10	1,0E+04
Ra228	6,5E-11	1,2E+03	Th230	1,1E-10	1,0E+04	Th230	1,1E-10	1,0E+04

4.1.3.4 Synthèse des impacts radiologiques maximum par exutoire et par tranche du stockage

Le Tableau 4.1-10 présente les maxima des cumuls de doses pour les différents exutoires pour les différentes tranches du stockage, ainsi qu'à l'échelle de tout le stockage (Cires) quand celui-ci est pertinent.

Pour l'exutoire mobilisant la voie nappe, via le pompage dans le Barrémien, l'impact est maximal pour la tranche 3, du fait de son inventaire plus important que les autres tranches. Pour les autres exutoires, mobilisant la voie latérale, l'impact est maximal pour les tranches 2 et 3, dont les alvéoles de bord présentent le même inventaire. Les impacts correspondants sont calculés pour les débits latéraux vers l'est du stockage, qui, du fait de la pente d'ouest en est des ouvrages, sont supérieurs aux débits vers l'ouest.

Les impacts radiologiques maximum pour la seule tranche 1 sont inférieurs à ceux des tranches 2 et 3, les premiers étant pilotés à long terme par les actinides (protactinium et isotopes de l'uranium), les seconds pilotés à court terme par le technétium 99 et autres radionucléides mobiles.

Tableau 4.1-10 *Maximum des doses cumulées par exutoire et par tranche du stockage pour la classe d'âge à plus fort impact*

Modèle	Dose maximale cumulée (mSv.an ⁻¹)				
	Tranche 1	Tranche 2	Tranche 3	Alvéole dédié	Cires
Pompage dans le Barrémien (SEA) – Enfant de 1 an	0,13	2,4	3,0	0,32	5,8
Pompage dans les Noues d'Amance (SEN) – Enfant de 1 an	2.10 ⁻⁵	3.10 ⁻⁴	4.10 ⁻⁴	6.10 ⁻⁵	8.10⁻⁴
Sol contaminé sur 10 m « jardin potager » (SEN) – Enfant de 1 an	0,03	0,06	0,06	s.o.	s.o.
Sol contaminé sur 100 m « multi-activités » (SEN) – Enfant de 1 an	6.10 ⁻³	0,02	0,02	s.o.	s.o.

Pour les scénarios d'évolution normale (SEN), la dose maximale cumulée est toujours inférieure (d'un facteur 4 à 10) à l'objectif de dose de 0,25 mSv.an⁻¹ retenu par l'Andra.

Pour le scénario d'évolution altérée (SEA) « Pompage dans le Barrémien », l'impact radiologique est contenu en-deçà de 10 mSv.an⁻¹ (max. inférieur à 6 mSv.an⁻¹).

4.1.4 Les impacts toxicologiques aux exutoires

4.1.4.1 Concentrations en toxiques chimiques dans les eaux

Les Figure 4.1-20 et Figure 4.1-21 présentent les historiques de concentration massique des toxiques chimiques étudiés dans le cas des scénarios « Pompage dans le Barrémien » et « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », avec les seuils de potabilité issus des normes environnementales de qualité (NQE), données dans le Tableau 4.1-11.

Tableau 4.1-11 Limites de potabilité des toxiques chimiques (selon [1])

Toxique	As	B	Cd	Cr	Cu	CN-	Hg	Ni	Pb	Sb	Se	U
Limite NQE (µg/L)	10	1000	5	50	2000	50	1	20	10	5	10	15

Exutoire « Pompage dans le Barrémien »

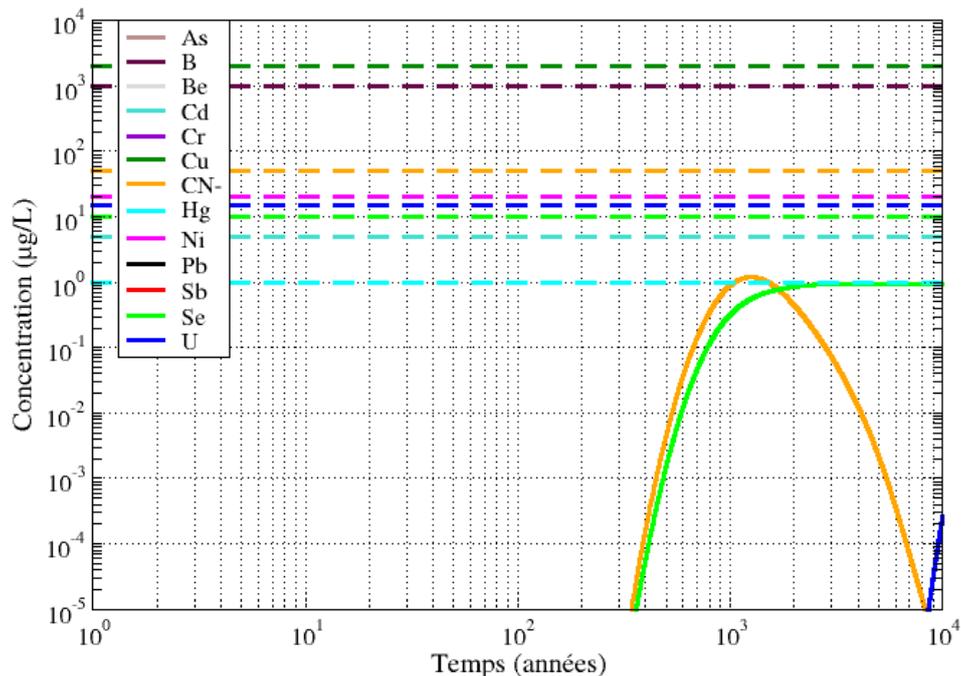


Figure 4.1-20 Cas de référence - Évolution des concentrations massiques en toxiques chimiques à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » et seuils de potabilité selon NQE

Exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance »

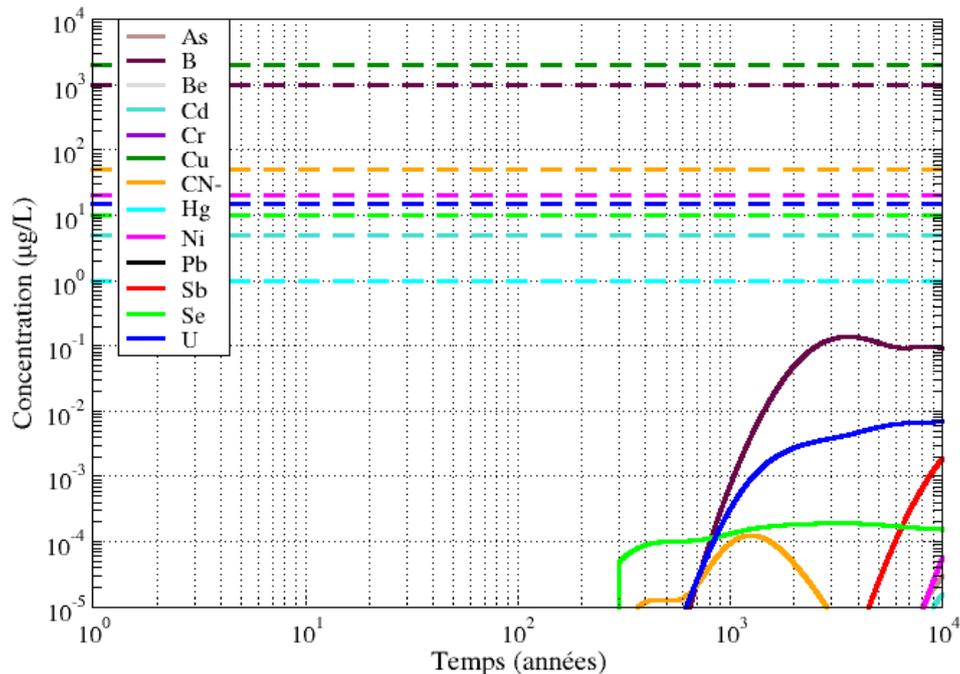


Figure 4.1-21 Cas de référence - Évolution des concentrations massiques en toxiques chimiques à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » et seuils de potabilité selon NQE

Pour les deux exutoires « Pompage dans le Barrémien » et « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », toutes les concentrations massiques maximales sont au moins un ordre de grandeur en-dessous des seuils de potabilité. Les normes de qualité n'étant pas dépassées, les impacts toxicologiques (QD/ERI) ne sont pas calculés.

4.1.4.2 Concentrations en toxiques chimiques dans le sol contaminé

Il n'existe pas à ce jour de normes de qualité pour les sols. L'Andra a procédé en 2015 à une campagne de caractérisation des sols sur la communauté de communes de Vendeuvre-Soulaines lors des investigations de site pour le projet FA-VL. Les valeurs issues de ces prélèvements ont été retenues pour servir de références pour réaliser l'état des milieux pour le projet Acaci.

Ainsi, une gamme de valeurs a pu être établie en considérant comme valeur moyenne, la moyenne de l'ensemble des prélèvements, et comme valeur haute, les valeurs maximales en toxiques chimiques relevées sur l'ensemble des prélèvements.

A défaut de mesure, ou à titre de comparaison, les valeurs de référence « ASPITET » pour les métaux lourds, issues du guide DGPR (méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués) sont également prises en compte.

Le Tableau 4.1-12 présente, par toxique chimique, les valeurs maximales de référence et les teneurs évaluées dans le sol contaminé, pour la tranche 1 et les tranches 2/3 du stockage, pour les deux exutoires considérés : « Sol contaminé sur 10 m - jardin potager » et « Sol contaminé sur 100 m - multi-activités ».

Pour chaque toxique chimique, si la teneur maximale évaluée dans le sol contaminé est supérieure à la valeur de référence, alors une évaluation quantitative des risques est réalisée, et l'on présente les QD (Quotient de danger) et ERI (Excès de risque individuel) pour les différents scénarios d'utilisation des sols envisagés.

Tableau 4.1-12 Cas de référence - Valeurs de référence et valeurs évaluées des teneurs en toxiques chimiques dans le sol naturel/contaminé (mg/kg de sol sec)

Toxique	Teneur maximale mesurée sur site FA-VL (mg/kg sec)	Guide ASPITET teneur maximale (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 1 sol contaminé sur <u>10 m</u> (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 1 sol contaminé sur <u>100 m</u> (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 2 sol contaminé sur <u>10 m</u> (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 2 sol contaminé sur <u>100 m</u> (mg/kg sec)
As	8,41E+01	2,50E+01	2,3E-02	2,6E-03	1,6E-04	1,8E-05
B	1,10E+02	-	7,0E-01	1,7E-01	1,5E+00	3,6E-01
Be	2,97E+00	-	1,1E-09	1,4E-10	< 1E-12	< 1E-12
Cd	8,20E-01	4,50E-01	5,1E-03	1,0E-03	8,0E-05	1,6E-05
Cr	2,19E+02	9,00E+01	1,3E-09	2,9E-10	< 1E-12	< 1E-12
Cu	1,93E+01	2,00E+01	2,1E-07	3,2E-08	5,0E-07	7,5E-08
CN	-	-	< 1E-12	< 1E-12	8,2E-06	2,3E-06
Hg	-	1,00E-01	4,0E-06	1,1E-06	4,3E-07	1,2E-07
Ni	1,37E+02	6,00E+01	7,0E-03	1,6E-03	5,7E-04	1,4E-04
Pb	4,35E+01	5,00E+01	5,2E-03	5,3E-04	2,2E-04	2,3E-05
Sb	2,07E+00	-	7,5E-01	2,0E-01	5,9E-03	1,6E-03
Se	-	7,00E-01	3,5E-02	4,7E-03	2,2E-02	2,9E-03
U	1,22E+01	-	4,4E+00	1,2E+00	2,8E+00	7,7E-01

Pour tous les toxiques chimiques les concentrations maximales évaluées dans le sol contaminé sur 10 ou 100 m, à l'échelle de la tranche 1 ou de la tranche 2, sont inférieures aux valeurs de référence.

Les valeurs de référence de teneur maximale dans les sols n'étant pas dépassées, les impacts toxicologiques (QD/ERI) ne sont pas calculés.

En l'absence de valeur de référence pour le cyanure, les impacts sanitaires ont systématiquement été évalués pour ce toxique. Pour les voies ingestion et inhalation, les quotients de danger maximaux évalués aux exutoires « sol contaminé » à l'échelle de la tranche 1 et de la tranche 2 sont très inférieurs -de plus de 8 ordres de grandeur- au seuil sanitaire de 1.

4.1.4.3 Synthèse des impacts toxicologiques maxima par exutoire et par tranche du stockage

Pour les scénarios d'évolution normale (SEN) :

- A l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », les seuils de potabilité dans les eaux de la rivière ne sont pas atteints.
- Aux exutoires « sol contaminé sur 10 m -jardin potager » et « sol contaminé sur 100 m -multi-activités » :

Pour la Tranche 1 du stockage :

- Les valeurs de référence de teneur maximale dans les sols ne sont dépassées pour aucun toxique chimique,

Pour les Tranches 2 et 3 du stockage :

- Les valeurs de référence de teneur maximale dans les sols ne sont dépassées pour aucun toxique chimique.

Pour le scénario d'évolution altérée (SEA) :

- A l'exutoire « Pompage dans la nappe du Barrémien » les seuils de potabilité dans les eaux de pompage dans le Barrémien ne sont pas atteints.

4.2 Les études de sensibilités

4.2.1 Les impacts radiologiques aux exutoires en sensibilité

Pour l'ensemble des études de sensibilités, les impacts radiologiques sont présentés et comparés à l'évaluation de référence pour la classe d'âge pour laquelle ils sont les plus élevés en sensibilité, ce qui peut ne pas être celle pour laquelle l'impact est maximal en référence.

4.2.1.1 Étude de sensibilité des impacts radiologiques aux paramètres de rétention dans l'alvéole

Cas 1 : effet d'une rétention (sorption) dégradée dans la grave calcaire

Ce chapitre présente une comparaison des historiques de doses aux différents exutoires entre le cas de référence et le cas de sensibilité aux paramètres de sorption dans la grave calcaire des alvéoles, sensibilité qui prend en compte de coefficients de partage divisés par 3 par rapport à l'évaluation de référence.

▪ Exutoire « Pompage dans le Barrémien »

La Figure 4.2-1 présente les historiques des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole. Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-1 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « villageois ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

L'examen des résultats montre que les paramètres de sorption dans l'alvéole sont sans effet sur l'impact radiologique cumulé à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », lequel est piloté par les radionucléides mobiles (iode 129, chlore 36, carbone 14) non retenus dans la grave calcaire.

Seuls le carbone 14 (+ 20 %), dont la part inorganique (70 %) est faiblement sorbée dans la grave, et l'argent 108m (X 3), voient leur dose maximale augmenter.

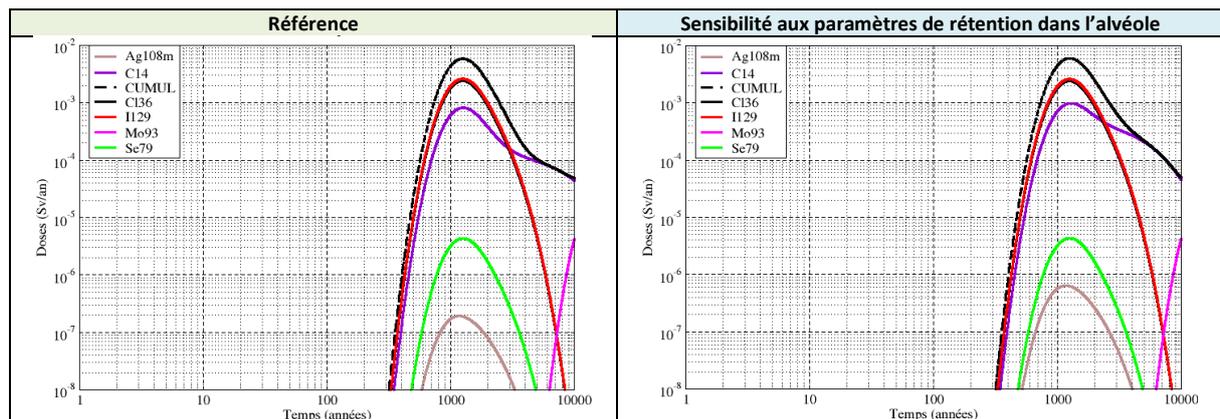


Figure 4.2-1 Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-1

Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	5,8E-03	1,3E+03	CUMUL	6,0E-03	1,3E+03
I129	2,6E-03	1,3E+03	I129	2,6E-03	1,3E+03
Cl36	2,4E-03	1,3E+03	Cl36	2,4E-03	1,3E+03
C14	8,2E-04	1,3E+03	C14	9,9E-04	1,3E+03
Se79	4,3E-06	1,3E+03	Se79	4,3E-06	1,3E+03
Mo93	4,2E-06	1,0E+04	Mo93	4,2E-06	1,0E+04
Ag108m	1,9E-07	1,2E+03	Ag108m	6,4E-07	1,2E+03
K40	3,4E-09	1,0E+04	K40	3,4E-09	1,0E+04
U234	2,5E-10	1,0E+04	U234	2,5E-10	1,0E+04
U238	1,9E-10	1,0E+04	U238	1,9E-10	1,0E+04

▪ **Exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance »**

La Figure 4.2-2 présente les historiques des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole. Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-2 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La diminution de la rétention (sorption) dans la grave calcaire affecte essentiellement le transfert vers la voie latérale (« effet baignoire ») du protactinium 231 : en termes d'impact radiologique, les doses maximales afférentes sont multipliées par un facteur environ 3 à 10 000 ans par rapport à l'évaluation de référence.

Le maximum de la courbe de cumul des doses est en augmentation d'environ 2,5 % à environ 1300 ans par rapport à l'évaluation de référence et s'établit à environ 0,8 μ Sv.an⁻¹. Il est très en-deçà de l'objectif de protection de 0,25 mSv an⁻¹ pour ce scénario SEN.

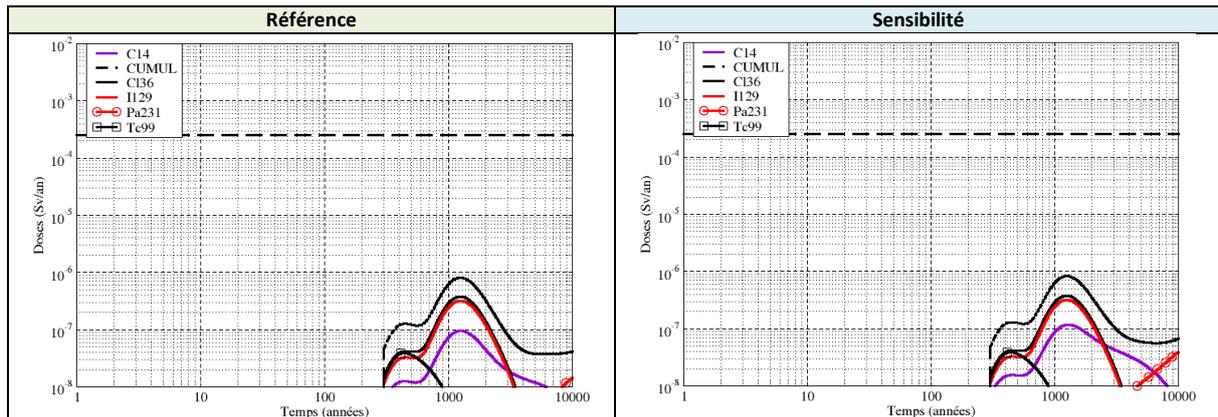


Figure 4.2-2

Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole - Évolution comparée des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-2

Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	8,1E-07	1,3E+03	CUMUL	8,3E-07	1,3E+03
Cl36	3,8E-07	1,2E+03	Cl36	3,8E-07	1,2E+03
I129	3,2E-07	1,3E+03	I129	3,2E-07	1,3E+03
C14	9,6E-08	1,3E+03	C14	1,2E-07	1,3E+03
Tc99	3,9E-08	4,4E+02	Pa231	3,9E-08	1,0E+04
Pa231	1,4E-08	1,0E+04	Tc99	3,9E-08	4,4E+02
U238	9,3E-09	1,0E+04	U238	9,4E-09	1,0E+04
U234	8,0E-09	1,0E+04	U234	8,0E-09	1,0E+04
Mo93	6,5E-09	1,4E+03	Mo93	6,5E-09	1,4E+03
Se79	5,1E-09	1,3E+03	Se79	5,1E-09	1,3E+03
K40	3,7E-09	2,1E+03	K40	3,7E-09	2,1E+03
U235	1,6E-09	1,0E+04	U235	1,6E-09	1,0E+04
Pb210	7,9E-10	1,0E+04	Pb210	8,0E-10	1,0E+04
U236	3,9E-10	1,0E+04	Np237	4,6E-10	1,0E+04
Ra226	2,5E-10	1,0E+04	U236	3,9E-10	1,0E+04
Np237	2,0E-10	1,0E+04	Ra226	2,5E-10	1,0E+04
Rb87	9,8E-11	3,7E+03	Ac227	1,3E-10	1,0E+04

▪ **Exutoires « Sol contaminé »**

Groupe de référence « jardin potager », sur une largeur de contamination de 10 m (SEN)

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-3 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole, à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-3 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « jardin potager ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La diminution de la rétention (sorption) dans la grave calcaire affecte essentiellement le transfert vers la voie latérale (« effet baignoire ») de l'élément de fin de chaîne protactinium 231 : en termes d'impact radiologique, les doses maximales afférentes sont augmentées d'un facteur 2 par rapport à l'évaluation de référence toujours à 10 000 ans.

Le maximum de la courbe de cumul des doses, atteint à 10 000 ans, s'établit à environ **0,04 mSv.an⁻¹**, en augmentation d'environ 40 % par rapport à l'évaluation de référence, toujours en-dessous de l'objectif de dose de 0,25 mSv.an⁻¹ pour ce scénario SEN.

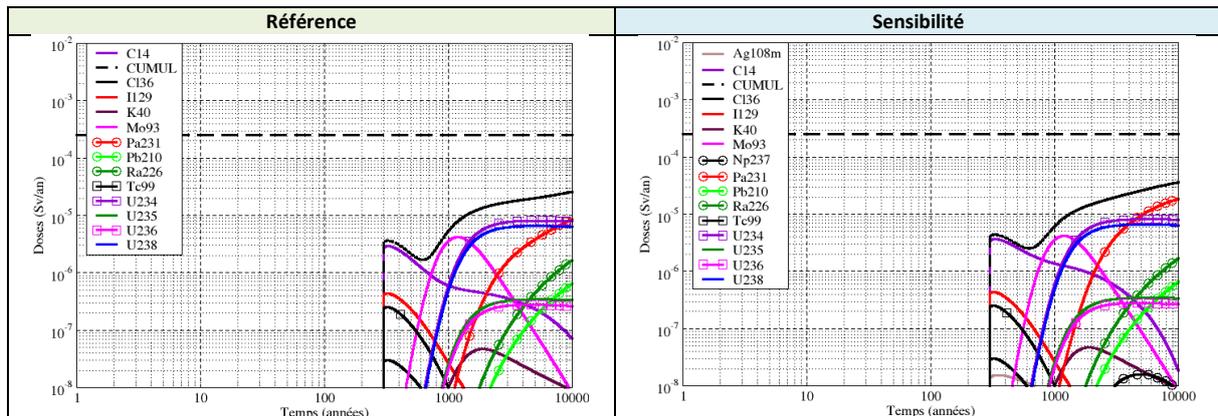


Figure 4.2-3 Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-3 Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	2,6E-05	1,0E+04	CUMUL	3,6E-05	1,0E+04
Pa231	8,6E-06	1,0E+04	Pa231	1,8E-05	1,0E+04

U234	8,1E-06	5,7E+03	U234	8,2E-06	5,8E+03
U238	6,5E-06	5,1E+03	U238	6,6E-06	5,3E+03
Mo93	4,2E-06	1,2E+03	Mo93	4,2E-06	1,2E+03
C14	2,9E-06	3,3E+02	C14	3,7E-06	3,3E+02
Ra226	1,7E-06	1,0E+04	Ra226	1,7E-06	1,0E+04
Pb210	6,5E-07	1,0E+04	Pb210	6,6E-07	1,0E+04
I129	4,4E-07	3,2E+02	I129	4,4E-07	3,2E+02
U235	3,5E-07	5,6E+03	U235	3,5E-07	5,6E+03
U236	2,8E-07	4,5E+03	U236	2,8E-07	4,4E+03
Tc99	2,5E-07	3,2E+02	Tc99	2,5E-07	3,2E+02
K40	4,7E-08	1,9E+03	K40	4,7E-08	1,9E+03
Cl36	3,0E-08	3,2E+02	Cl36	3,0E-08	3,2E+02
Np237	7,5E-09	7,1E+03	Np237	1,6E-08	5,0E+03
Th230	4,7E-09	1,0E+04	Ag108m	1,6E-08	3,5E+02
Ag108m	4,6E-09	3,6E+02	Th230	4,7E-09	1,0E+04
Ra228	2,6E-09	6,9E+03	Ra228	3,1E-09	7,9E+03
Se79	2,1E-09	3,0E+02	U233	2,6E-09	5,1E+03
U233	1,6E-09	7,9E+03	Ac227	2,4E-09	1,0E+04
Ac227	1,2E-09	1,0E+04	Se79	2,1E-09	3,0E+02
Ca41	6,0E-10	3,2E+03	Ca41	6,0E-10	3,2E+03
Rb87	3,0E-10	4,8E+03	Rb87	3,0E-10	4,8E+03
Sr90	2,1E-10	3,1E+02	Sr90	2,4E-10	5,0E+02

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

La Figure 4.2-4 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « adulte », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole, à l'échelle de la tranche 2 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-4 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « adulte » du groupe de référence « jardin potager ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La diminution de la rétention (sorption) dans la grave calcaire affecte essentiellement le transfert vers la voie latérale (« effet baignoire ») de l'élément fin de chaîne de filiation protactinium 231 : en termes d'impact radiologique, les doses maximales afférentes sont multipliées par un facteur d'environ 2,5 par rapport à la référence et sont toujours atteintes à 10 000 ans.

Le maximum de la courbe de cumul des doses s'établit à environ **0,1 mSv.an⁻¹** à 10 000 ans pour la classe d'âge « adulte », en augmentation d'environ 70 % par rapport à la référence pour la classe d'âge « enfant de 1 an » (0,06 mSv.an⁻¹).

Cet impact est au-dessous de l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹.

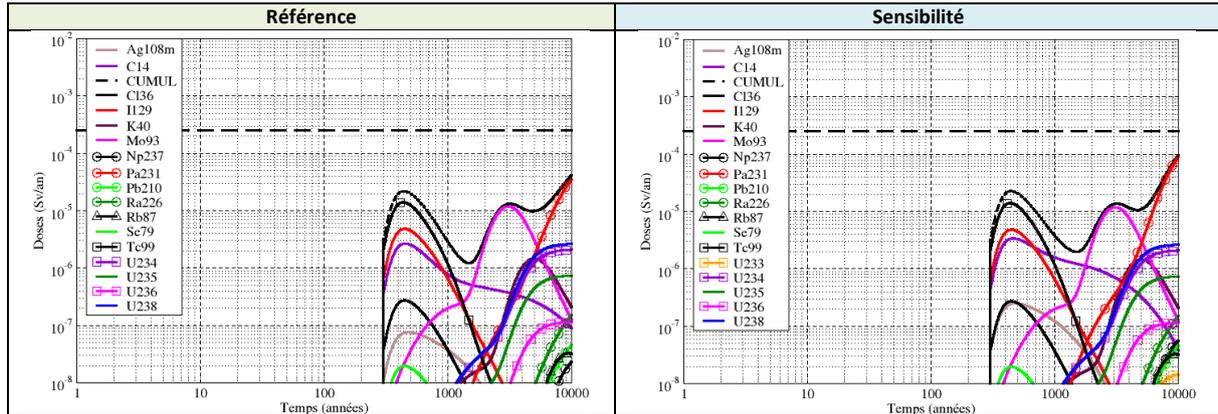


Figure 4.2-4

Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »

Tableau 4.2-4

Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »

Référence			Sensibilité		
Adulte			Adulte		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	4,2E-05	1,0E+04	CUMUL	9,6E-05	1,0E+04
Pa231	3,5E-05	1,0E+04	Pa231	8,9E-05	1,0E+04
Tc99	1,4E-05	4,4E+02	Tc99	1,4E-05	4,4E+02
Mo93	1,2E-05	3,1E+03	Mo93	1,2E-05	3,1E+03
I129	4,8E-06	4,5E+02	I129	4,8E-06	4,5E+02
C14	2,7E-06	4,5E+02	C14	3,4E-06	4,6E+02
U238	2,6E-06	1,0E+04	U238	2,7E-06	1,0E+04
U234	2,1E-06	1,0E+04	U234	2,1E-06	1,0E+04
K40	1,5E-06	5,0E+03	K40	1,5E-06	5,0E+03
U235	7,4E-07	1,0E+04	U235	7,4E-07	1,0E+04
Cl36	2,7E-07	4,5E+02	Cl36	2,7E-07	4,5E+02
Ra226	1,5E-07	1,0E+04	Ag108m	2,5E-07	4,8E+02
U236	1,2E-07	1,0E+04	Ra226	1,5E-07	1,0E+04
Ag108m	7,6E-08	4,8E+02	U236	1,2E-07	1,0E+04
Pb210	4,6E-08	1,0E+04	Np237	5,6E-08	1,0E+04
Rb87	3,3E-08	9,5E+03	Pb210	4,6E-08	1,0E+04
Np237	2,3E-08	1,0E+04	Rb87	3,3E-08	9,5E+03
Se79	2,0E-08	4,5E+02	Se79	2,0E-08	4,5E+02
U233	7,6E-09	1,0E+04	U233	1,4E-08	1,0E+04
Ac227	3,6E-09	1,0E+04	Ac227	8,4E-09	1,0E+04
Ca41	3,1E-09	9,4E+03	Ca41	3,1E-09	9,4E+03
Th230	1,2E-09	1,0E+04	Th230	1,2E-09	1,0E+04
Ra228	6,4E-10	1,2E+03	Ra228	5,3E-10	4,7E+03

Sr90	2,2E-10	3,8E+02	Sr90	2,6E-10	4,3E+02
Th229	7,9E-11	1,0E+04	Th229	1,5E-10	1,0E+04

Groupe de référence « multi-activités », sur une largeur de contamination de 100 m (SEN)

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-5 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole, à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-5 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La diminution de la rétention (sorption) dans la grave calcaire affecte essentiellement le transfert vers la voie latérale (« effet baignoire ») de l'élément de fin de chaîne de filiation, protactinium 231 : en termes d'impact radiologique, les doses maximales de ²³¹Pa sont augmentées d'un facteur environ 2 par rapport à l'évaluation de référence à 10 000 ans.

Le maximum de la courbe de cumul des doses est atteint à 10 000 ans et en augmentation d'environ 30 % par rapport à l'évaluation de référence. Il s'établit à environ **0,01 mSv.an⁻¹**.

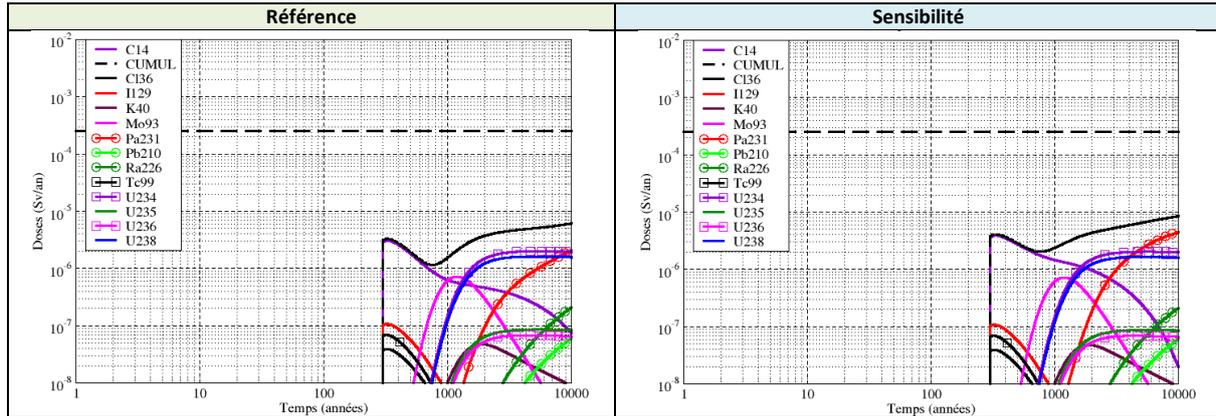


Figure 4.2-5 Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole- Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-5 Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	6,1E-06	1,0E+04	CUMUL	8,5E-06	1,0E+04
C14	3,1E-06	3,3E+02	Pa231	4,4E-06	1,0E+04
Pa231	2,1E-06	1,0E+04	C14	3,9E-06	3,3E+02
U234	2,0E-06	5,7E+03	U234	2,0E-06	5,8E+03
U238	1,6E-06	5,1E+03	U238	1,6E-06	5,3E+03
Mo93	7,2E-07	1,2E+03	Mo93	7,2E-07	1,2E+03
Ra226	2,1E-07	1,0E+04	Ra226	2,1E-07	1,0E+04
I129	1,1E-07	3,2E+02	I129	1,1E-07	3,2E+02
U235	8,6E-08	5,6E+03	U235	8,7E-08	5,6E+03
Tc99	6,9E-08	3,2E+02	Tc99	6,9E-08	3,2E+02
U236	6,8E-08	4,5E+03	U236	6,9E-08	4,4E+03
Pb210	6,0E-08	1,0E+04	Pb210	6,1E-08	1,0E+04
K40	4,8E-08	1,9E+03	K40	4,8E-08	1,9E+03
Cl36	4,0E-08	3,2E+02	Cl36	4,0E-08	3,2E+02
Se79	4,6E-09	3,0E+02	Se79	4,6E-09	3,0E+02
Np237	2,1E-09	7,1E+03	Np237	4,5E-09	5,0E+03
Th230	4,9E-10	1,0E+04	Ag108m	1,6E-09	3,5E+02
Ag108m	4,8E-10	3,6E+02	U233	6,5E-10	5,1E+03
U233	4,0E-10	7,9E+03	Th230	4,9E-10	1,0E+04
Rb87	3,2E-10	4,8E+03	Rb87	3,2E-10	4,8E+03
Ra228	2,7E-10	6,9E+03	Ra228	3,1E-10	7,9E+03
Ca41	1,9E-10	3,2E+03	Ca41	1,9E-10	3,2E+03

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

La Figure 4.2-6 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole, à l'échelle de la tranche 2 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-6 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La diminution de la rétention (sorption) dans la grave calcaire affecte essentiellement le transfert vers la voie latérale (« effet baignoire ») de l'élément de fin de chaîne protactinium 231 : en termes d'impact radiologique, la dose maximale afférente est multipliée par un facteur environ 2,5 par rapport à l'évaluation de référence à 10 000 ans.

Le maximum de la courbe de cumul des doses est piloté par le technétium 99 et autres radionucléides mobiles. Il est atteint vers 450 ans, quasiment inchangé par rapport à l'évaluation de référence et s'établit à environ **0,02 mSv.an⁻¹**.

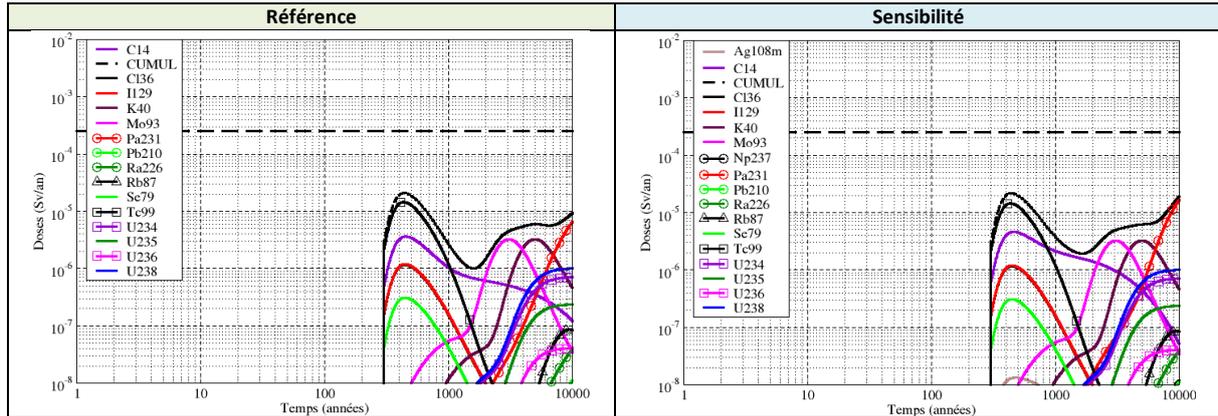


Figure 4.2-6

Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole- Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-6

Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	2,1 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}	CUMUL	2,2 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}
Tc99	1,5 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}	Pa231	1,6 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
Pa231	6,5 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	Tc99	1,5 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}
C14	3,6 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	C14	4,6 ^{E-06}	4,6 ^{E+02}
K40	3,3 ^{E-06}	5,0 ^{E+03}	K40	3,3 ^{E-06}	5,0 ^{E+03}
Mo93	3,2 ^{E-06}	3,1 ^{E+03}	Mo93	3,2 ^{E-06}	3,1 ^{E+03}
I129	1,2 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	I129	1,2 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}
Cl36	1,2 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	Cl36	1,2 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}
U238	1,0 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	U238	1,0 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
U234	7,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	U234	7,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Se79	3,1 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}	Se79	3,1 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}
U235	2,4 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	U235	2,4 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Rb87	8,6 ^{E-08}	9,5 ^{E+03}	Rb87	8,6 ^{E-08}	9,5 ^{E+03}
U236	4,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	U236	4,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Ra226	3,9 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Ra226	3,9 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Pb210	1,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Ag108m	1,3 ^{E-08}	4,8 ^{E+02}
Np237	4,9 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Np237	1,2 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Ag108m	4,0 ^{E-09}	4,8 ^{E+02}	Pb210	1,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
U233	2,6 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	U233	5,0 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ca41	1,7 ^{E-09}	9,4 ^{E+03}	Ca41	1,7 ^{E-09}	9,4 ^{E+03}
Ra228	2,8 ^{E-10}	1,2 ^{E+03}	Ac227	2,7 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}
Ac227	1,1 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Ra228	2,3 ^{E-10}	4,7 ^{E+03}

Th230	1,1 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Th230	1,1 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}
-------	---------------------	---------------------	-------	---------------------	---------------------

Cas 2 : effet d'une solubilité dégradée dans la grave calcaire

Ce chapitre présente une comparaison des historiques de doses aux différents exutoires entre le cas de référence et le cas de sensibilité aux paramètres de solubilité dans la grave calcaire des alvéoles, sensibilité qui prend en compte des limites de solubilités multipliées par 10 par rapport à l'évaluation de référence.

▪ Exutoire « Pompage dans le Barrémien »

La Figure 4.2-7 présente les historiques des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole. Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-7 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « villageois ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

L'examen des résultats montre que les paramètres de solubilité dans l'alvéole sont sans effet sur l'impact radiologique cumulé à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », lequel est piloté par les radionucléides mobiles (iode 129, chlore 36, carbone 14) non retenus dans la grave calcaire.

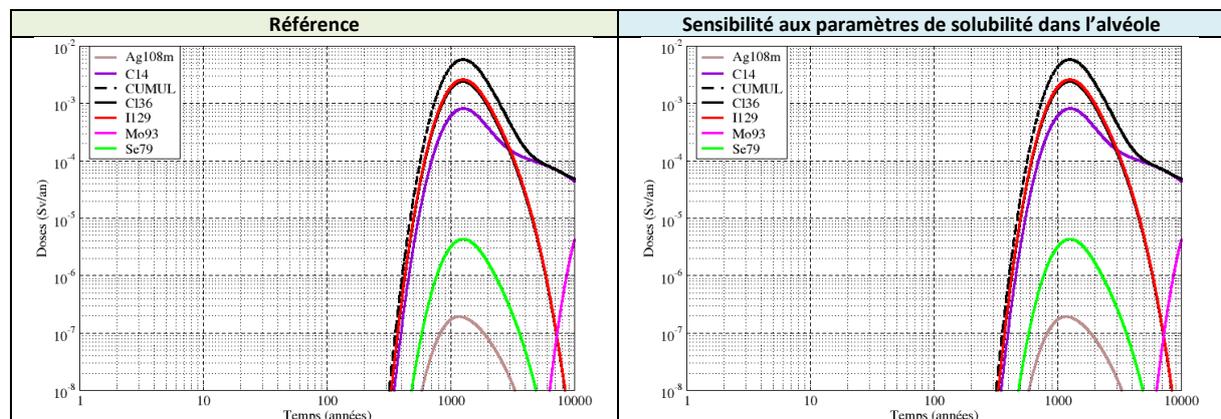


Figure 4.2-7

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole - Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-7

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	5,8 ^E -03	1,3 ^E +03	CUMUL	5,8 ^E -03	1,3 ^E +03
I129	2,6 ^E -03	1,3 ^E +03	I129	2,6 ^E -03	1,3 ^E +03
Cl36	2,4 ^E -03	1,3 ^E +03	Cl36	2,4 ^E -03	1,3 ^E +03
C14	8,2 ^E -04	1,3 ^E +03	C14	8,2 ^E -04	1,3 ^E +03
Se79	4,3 ^E -06	1,3 ^E +03	Se79	4,3 ^E -06	1,3 ^E +03
Mo93	4,2 ^E -06	1,0 ^E +04	Mo93	4,2 ^E -06	1,0 ^E +04
Ag108m	1,9 ^E -07	1,2 ^E +03	Ag108m	1,9 ^E -07	1,2 ^E +03
K40	3,4 ^E -09	1,0 ^E +04	K40	3,9 ^E -09	1,0 ^E +04
U234	2,5 ^E -10	1,0 ^E +04	U234	2,5 ^E -10	1,0 ^E +04
U238	1,9 ^E -10	1,0 ^E +04	U238	1,9 ^E -10	1,0 ^E +04

▪ **Exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance »**

La Figure 4.2-8 présente les historiques des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole. Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-8 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

L'augmentation de la limite de solubilité dans la grave calcaire affecte uniquement le transfert à long terme vers la voie latérale (« effet baignoire ») des actinides, essentiellement les uraniums 234 et 238 et le protactinium 231 : en termes d'impact radiologique, les doses maximales afférentes sont d'un facteur 5 à 10 par rapport à l'évaluation de référence à 10 000 ans.

Le maximum de la courbe de cumul des doses, toujours piloté par les éléments mobiles autour de 1300 ans est quasiment inchangé par rapport à l'évaluation de référence et s'établit à environ **0,8 μ Sv.an⁻¹**, très en-deçà de l'objectif de protection de 0,25 mSv an⁻¹ pour ce scénario SEN.

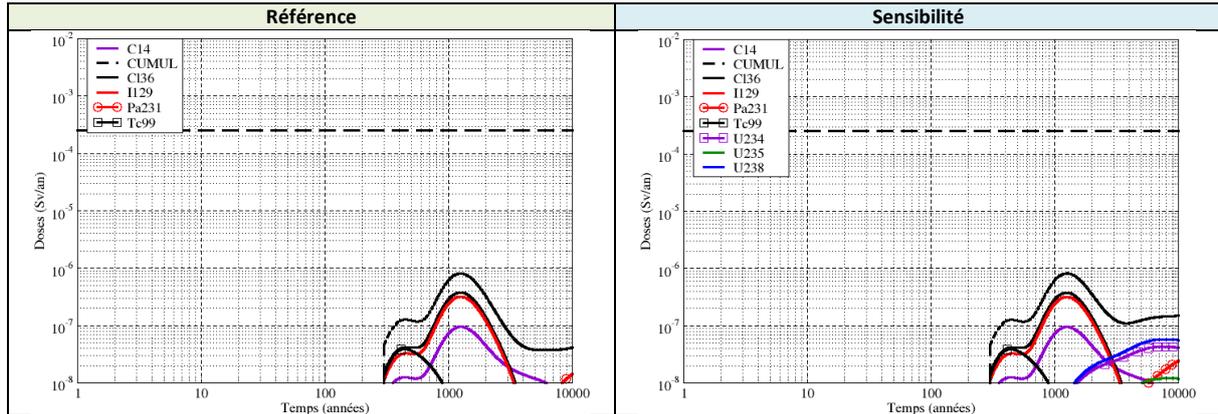


Figure 4.2-8

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole - Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-8

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	8,1 ^E -07	1,3 ^E +03	CUMUL	8,2 ^E -07	1,3 ^E +03
Cl36	3,8 ^E -07	1,2 ^E +03	Cl36	3,8 ^E -07	1,2 ^E +03
I129	3,2 ^E -07	1,3 ^E +03	I129	3,2 ^E -07	1,3 ^E +03
C14	9,6 ^E -08	1,3 ^E +03	C14	9,6 ^E -08	1,3 ^E +03
Tc99	3,9 ^E -08	4,4 ^E +02	U238	5,8 ^E -08	7,9 ^E +03
Pa231	1,4 ^E -08	1,0 ^E +04	U234	4,3 ^E -08	7,6 ^E +03
U238	9,3 ^E -09	1,0 ^E +04	Tc99	3,9 ^E -08	4,4 ^E +02
U234	8,0 ^E -09	1,0 ^E +04	Pa231	2,5 ^E -08	1,0 ^E +04
Mo93	6,5 ^E -09	1,4 ^E +03	U235	1,2 ^E -08	8,4 ^E +03
Se79	5,1 ^E -09	1,3 ^E +03	Mo93	6,5 ^E -09	1,4 ^E +03
K40	3,7 ^E -09	2,1 ^E +03	Se79	5,1 ^E -09	1,3 ^E +03
U235	1,6 ^E -09	1,0 ^E +04	Pb210	4,1 ^E -09	1,0 ^E +04
Pb210	7,9 ^E -10	1,0 ^E +04	K40	3,4 ^E -09	2,1 ^E +03
U236	3,9 ^E -10	1,0 ^E +04	U236	2,4 ^E -09	7,9 ^E +03
Ra226	2,5 ^E -10	1,0 ^E +04	Ra226	1,3 ^E -09	1,0 ^E +04

▪ **Exutoires « Sol contaminé »**

Groupe de référence « jardin potager », sur une largeur de contamination de 10 m (SEN)

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-9 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour les trois cas de sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole, à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-9 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « jardin potager ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

L'augmentation de la limite de solubilité (C_{sat} multipliés par 10) a un effet important sur les actinides, essentiellement les uraniums et les éléments de fin de chaîne protactinium 231, radium 226 et plomb 210 : en termes d'impact radiologique, les doses maximales afférentes sont augmentées d'un facteur 2 à 3 par rapport à l'évaluation de référence et avancées de près de 6000 ans peu avant 4000 ans.

La sensibilité à la solubilité dans la grave calcaire conduit à un maximum de la courbe de cumul des doses, atteint vers 5000 ans, et multiplié par un facteur environ 2 par rapport à l'évaluation de référence. Il est d'environ **0,05 mSv.an⁻¹** (Tranche 1) au-dessous de l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹.

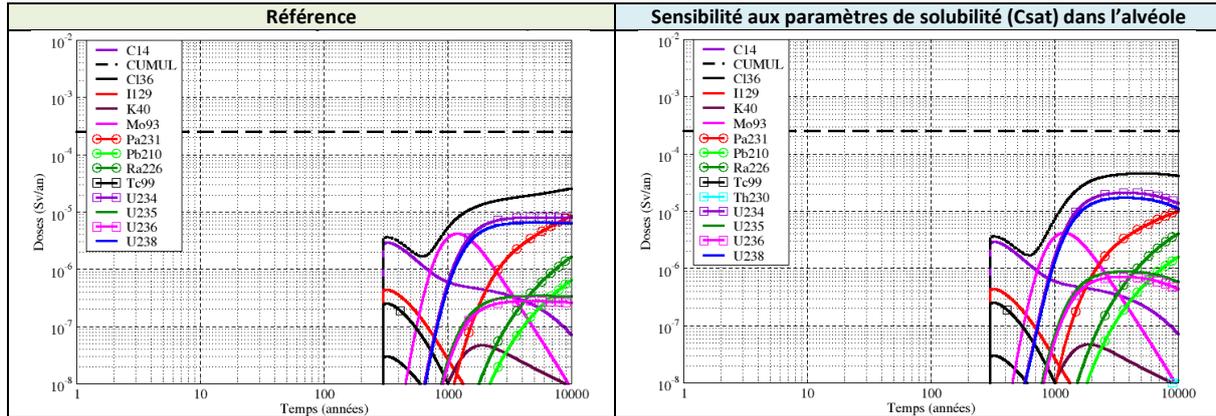


Figure 4.2-9

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-9

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Csat grave calcaire dégradés		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	2,6 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}	CUMUL	4,6 ^{EE-05}	5,2 ^{EE+03}
Pa231	8,6 ^{EE-06}	1,0 ^{EE+04}	U234	2,1 ^{EE-05}	3,7 ^{EE+03}
U234	8,1 ^{E-06}	5,7 ^{E+03}	U238	1,7 ^{E-05}	3,7 ^{E+03}
U238	6,5 ^{E-06}	5,1 ^{E+03}	Pa231	1,0 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
Mo93	4,2 ^{E-06}	1,2 ^{E+03}	Mo93	4,2 ^{E-06}	1,2 ^{E+03}
C14	2,9 ^{E-06}	3,3 ^{E+02}	Ra226	4,1 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
Ra226	1,7 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	C14	2,9 ^{E-06}	3,3 ^{E+02}
Pb210	6,5 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Pb210	1,6 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
I129	4,4 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}	U235	8,9 ^{E-07}	3,7 ^{E+03}
U235	3,5 ^{E-07}	5,6 ^{E+03}	U236	7,2 ^{E-07}	3,5 ^{E+03}
U236	2,8 ^{E-07}	4,5 ^{E+03}	I129	4,4 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}
Tc99	2,5 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}	Tc99	2,5 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}
K40	4,7 ^{E-08}	1,9 ^{E+03}	K40	4,7 ^{E-08}	1,9 ^{E+03}
Cl36	3,0 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}	Cl36	3,0 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}
Np237	7,5 ^{E-09}	7,1 ^{E+03}	Th230	1,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Th230	4,7 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Np237	7,5 ^{E-09}	7,1 ^{E+03}
Ag108m	4,6 ^{E-09}	3,6 ^{E+02}	Ra228	4,7 ^{E-09}	3,9 ^{E+03}
Ra228	2,6 ^{E-09}	6,9 ^{E+03}	Ag108m	4,6 ^{E-09}	3,6 ^{E+02}
Se79	2,1 ^{E-09}	3,0 ^{E+02}	U233	4,6 ^{E-09}	9,9 ^{E+03}
U233	1,6 ^{E-09}	7,9 ^{E+03}	Se79	2,1 ^{E-09}	3,0 ^{E+02}
Ac227	1,2 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Ac227	1,5 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ca41	6,0 ^{E-10}	3,2 ^{E+03}	Ca41	6,0 ^{E-10}	3,2 ^{E+03}

Rb87	3,0 ^E -10	4,8 ^E +03	Rb87	3,0 ^E -10	4,8 ^E +03
Sr90	2,1 ^E -10	3,1 ^E +02	Sr90	2,4 ^E -10	5,3 ^E +02

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

La Figure 4.2-10 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour les trois cas de sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole, à l'échelle de la tranche 2 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-10 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « jardin potager ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La dégradation de la limite de solubilité (C_{sat} multipliés par 10) a un effet important sur les actinides, essentiellement les uraniums et les éléments de fin de chaîne protactinium 231, radium 226 et plomb 210 : en termes d'impact radiologique, les doses maximales afférentes sont augmentées d'un facteur 7 par rapport à l'évaluation de référence.

La sensibilité à la solubilité dans la grave calcaire conduit à un maximum de la courbe de cumul des doses piloté par les actinides, atteint à 10 000 ans, et multiplié par un facteur environ 2 par rapport à l'évaluation de référence, pour laquelle il était piloté par les radionucléides mobiles et atteint vers 450 ans. Il est d'environ **0,12 mSv.an⁻¹** au-dessous de l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹.

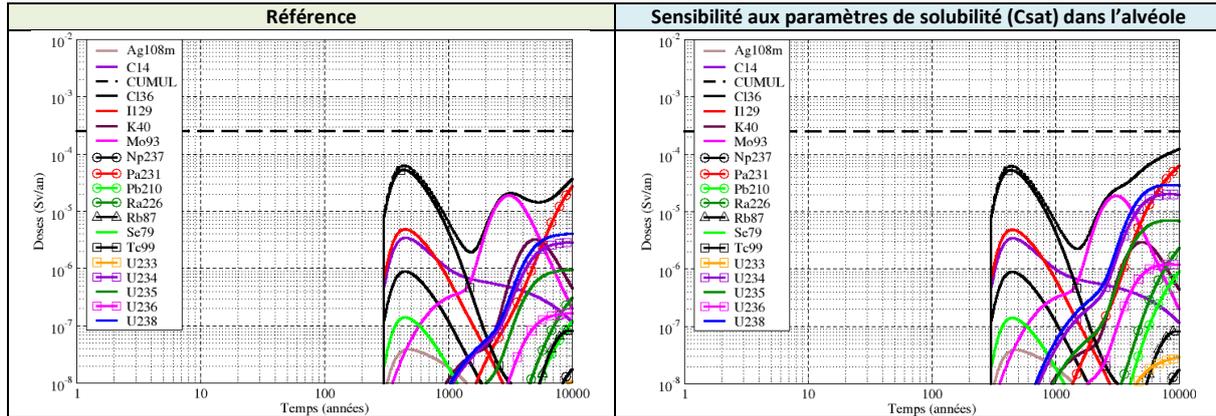


Figure 4.2-10

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-10

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Csat grave calcaire dégradés		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	6,2 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}	CUMUL	1,2 ^{E-04}	1,0 ^{E+04}
Tc99	5,3 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}	Pa231	6,3 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
Pa231	2,7 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}	Tc99	5,3 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}
Mo93	1,9 ^{E-05}	3,1 ^{E+03}	U238	2,9 ^{E-05}	8,3 ^{E+03}
I129	4,9 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	U234	2,0 ^{E-05}	8,4 ^{E+03}
U238	4,1 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	Mo93	1,9 ^{E-05}	3,1 ^{E+03}
C14	3,4 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	U235	7,1 ^{E-06}	8,4 ^{E+03}
K40	3,2 ^{E-06}	5,0 ^{E+03}	I129	4,9 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}
U234	2,9 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	C14	3,4 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}
U235	9,5 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	K40	3,0 ^{E-06}	5,0 ^{E+03}
Cl36	8,9 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}	Ra226	2,3 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
Ra226	3,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	U236	1,2 ^{E-06}	8,4 ^{E+03}
U236	1,7 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Pb210	9,0 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Se79	1,4 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}	Cl36	8,9 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}
Pb210	1,2 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Se79	1,4 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}
Rb87	8,2 ^{E-08}	9,5 ^{E+03}	Rb87	8,2 ^{E-08}	9,5 ^{E+03}
Ag108m	3,9 ^{E-08}	4,8 ^{E+02}	Ag108m	3,9 ^{E-08}	4,8 ^{E+02}
Np237	1,7 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	U233	2,9 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
U233	1,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Np237	1,7 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Ca41	5,4 ^{E-09}	9,4 ^{E+03}	Th230	7,5 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ra228	2,7 ^{E-09}	1,2 ^{E+03}	Ca41	5,4 ^{E-09}	9,4 ^{E+03}
Ac227	2,2 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Ra228	4,5 ^{E-09}	8,6 ^{E+03}

Th230	1,0 ^E -09	1,0 ^E +04	Ac227	4,4 ^E -09	1,0 ^E +04
Sr90	4,5 ^E -10	3,8 ^E +02	Sr90	4,1 ^E -10	4,1 ^E +02

Groupe de référence « multi-activités », sur une largeur de contamination de 100 m (SEN)

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-11 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole, à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-11 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La dégradation de la limite de solubilité (Csat multipliés par 10) dans la grave calcaire affecte fortement le transfert vers la voie latérale (« effet baignoire ») des actinides, essentiellement les uraniums et les éléments de fin de chaîne de filiation, protactinium 231, radium 226 et plomb 210 : en termes d'impact radiologique, les doses maximales de ²³⁴U et ²³⁸U sont augmentées d'un facteur 2 à 3 par rapport à l'évaluation de référence vers 4000 ans.

Le maximum de la courbe de cumul des doses, atteint vers 4000 ans et multiplié par un facteur d'environ 2 par rapport à l'évaluation de référence, s'établit à environ **0,01 mSv.an**.

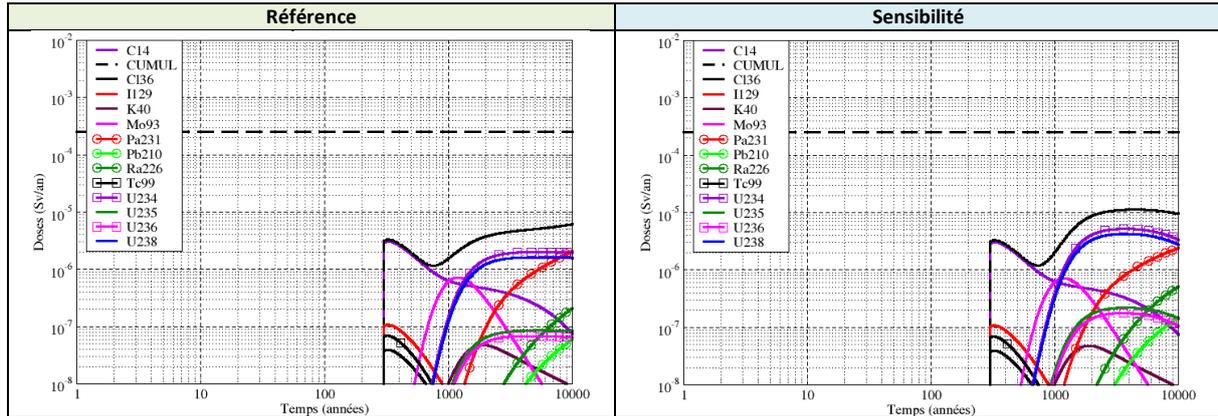


Figure 4.2-11

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole- Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-11

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	6,1 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	CUMUL	1,1 ^{E-05}	4,4 ^{E+03}
C14	3,1 ^{E-06}	3,3 ^{E+02}	U234	5,2 ^{E-06}	3,7 ^{E+03}
Pa231	2,1 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	U238	4,3 ^{E-06}	3,7 ^{E+03}
U234	2,0 ^{E-06}	5,7 ^{E+03}	C14	3,1 ^{E-06}	3,3 ^{E+02}
U238	1,6 ^{E-06}	5,1 ^{E+03}	Pa231	2,4 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
Mo93	7,2 ^{E-07}	1,2 ^{E+03}	Mo93	7,2 ^{E-07}	1,2 ^{E+03}
Ra226	2,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Ra226	5,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
I129	1,1 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}	U235	2,2 ^{E-07}	3,7 ^{E+03}
U235	8,6 ^{E-08}	5,6 ^{E+03}	U236	1,8 ^{E-07}	3,5 ^{E+03}
Tc99	6,9 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}	Pb210	1,5 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
U236	6,8 ^{E-08}	4,5 ^{E+03}	I129	1,1 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}
Pb210	6,0 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Tc99	6,9 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}
K40	4,8 ^{E-08}	1,9 ^{E+03}	K40	4,8 ^{E-08}	1,9 ^{E+03}
Cl36	4,0 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}	Cl36	4,0 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}
Se79	4,6 ^{E-09}	3,0 ^{E+02}	Se79	4,6 ^{E-09}	3,0 ^{E+02}
Np237	2,1 ^{E-09}	7,1 ^{E+03}	Np237	2,1 ^{E-09}	7,1 ^{E+03}
Th230	4,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Th230	1,1 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ag108m	4,8 ^{E-10}	3,6 ^{E+02}	U233	1,1 ^{E-09}	9,9 ^{E+03}
U233	4,0 ^{E-10}	7,9 ^{E+03}	Ag108m	4,8 ^{E-10}	3,6 ^{E+02}
Rb87	3,2 ^{E-10}	4,8 ^{E+03}	Ra228	4,8 ^{E-10}	3,9 ^{E+03}
Ra228	2,7 ^{E-10}	6,9 ^{E+03}	Rb87	3,2 ^{E-10}	4,8 ^{E+03}
Ca41	1,9 ^{E-10}	3,2 ^{E+03}	Ca41	1,9 ^{E-10}	3,2 ^{E+03}

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

La Figure 4.2-12 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole, à l'échelle de la tranche 2 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-12 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La dégradation de la limite de solubilité (C_{sat} multipliés par 10) dans la grave calcaire affecte le transfert vers la voie latérale (« effet baignoire ») des actinides, essentiellement les uraniums et le protactinium 231 : en termes d'impact radiologique, les doses maximales de ²³⁴U et ²³⁸U sont augmentées d'un facteur environ 7 par rapport à l'évaluation de référence, maximum autour de 8 000 ans.

Le maximum de la courbe de cumul des doses est atteint à 10 000 ans, multiplié par un facteur environ 1,5 par rapport à l'évaluation de référence et s'établit à environ **0,03 mSv.an⁻¹** (contre 0,02 mSv.an⁻¹ piloté par les éléments mobiles avant 500 ans pour le cas de référence).

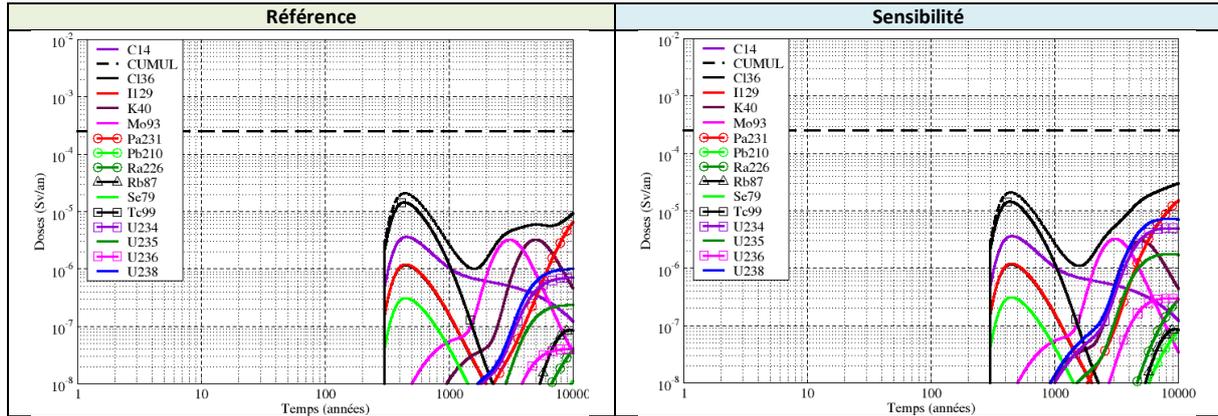


Figure 4.2-12

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole- Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-12

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	2,1 ^E -05	4,4 ^E +02	CUMUL	3,0 ^E -05	1,0 ^E +04
Tc99	1,5 ^E -05	4,4 ^E +02	Pa231	1,5 ^E -05	1,0 ^E +04
Pa231	6,5 ^E -06	1,0 ^E +04	Tc99	1,5 ^E -05	4,4 ^E +02
C14	3,6 ^E -06	4,5 ^E +02	U238	7,3 ^E -06	8,3 ^E +03
K40	3,3 ^E -06	5,0 ^E +03	U234	5,0 ^E -06	8,4 ^E +03
Mo93	3,2 ^E -06	3,1 ^E +03	C14	3,6 ^E -06	4,5 ^E +02
I129	1,2 ^E -06	4,5 ^E +02	Mo93	3,2 ^E -06	3,1 ^E +03
Cl36	1,2 ^E -06	4,5 ^E +02	K40	3,0 ^E -06	5,0 ^E +03
U238	1,0 ^E -06	1,0 ^E +04	U235	1,8 ^E -06	8,4 ^E +03
U234	7,1 ^E -07	1,0 ^E +04	I129	1,2 ^E -06	4,5 ^E +02
Se79	3,1 ^E -07	4,5 ^E +02	Cl36	1,2 ^E -06	4,5 ^E +02
U235	2,4 ^E -07	1,0 ^E +04	Se79	3,1 ^E -07	4,5 ^E +02
Rb87	8,6 ^E -08	9,5 ^E +03	U236	3,0 ^E -07	8,4 ^E +03
U236	4,1 ^E -08	1,0 ^E +04	Ra226	2,9 ^E -07	1,0 ^E +04
Ra226	3,9 ^E -08	1,0 ^E +04	Rb87	8,6 ^E -08	9,5 ^E +03
Pb210	1,1 ^E -08	1,0 ^E +04	Pb210	8,4 ^E -08	1,0 ^E +04
Np237	4,9 ^E -09	1,0 ^E +04	U233	7,1 ^E -09	1,0 ^E +04
Ag108m	4,0 ^E -09	4,8 ^E +02	Np237	4,9 ^E -09	1,0 ^E +04
U233	2,6 ^E -09	1,0 ^E +04	Ag108m	4,0 ^E -09	4,8 ^E +02
Ca41	1,7 ^E -09	9,4 ^E +03	Ca41	1,7 ^E -09	9,4 ^E +03
Ra228	2,8 ^E -10	1,2 ^E +03	Th230	7,8 ^E -10	1,0 ^E +04
Ac227	1,1 ^E -10	1,0 ^E +04	Ra228	4,6 ^E -10	8,6 ^E +03

4.2.1.2 Étude de sensibilité des impacts radiologiques aux paramètres des argiles à Plicatules visant à maximiser les transferts des solutés dans le milieu géologique vers la nappe du Barrémien

Exutoire « Pompage dans le Barrémien »

La Figure 4.2-13 présente les historiques des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules. Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-13 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « villageois ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La diminution de la rétention (sorption) dans les argiles à Plicatules conduit (i) à un transfert plus rapide du molybdène 93 et du potassium 40 vers la nappe, avec un maximum d'impact vers 4 000 et 7 000 ans respectivement, et (ii) à un transfert avancé dans le temps des actinides à travers l'argile hôte.

En termes d'impact radiologique global, le maximum de la courbe de cumul des doses est inchangé par rapport à l'évaluation de référence, étant, toujours piloté par les éléments mobiles dans l'argile hôte. Il s'établit à **5,8 mSv.an⁻¹** à 1 300 ans.

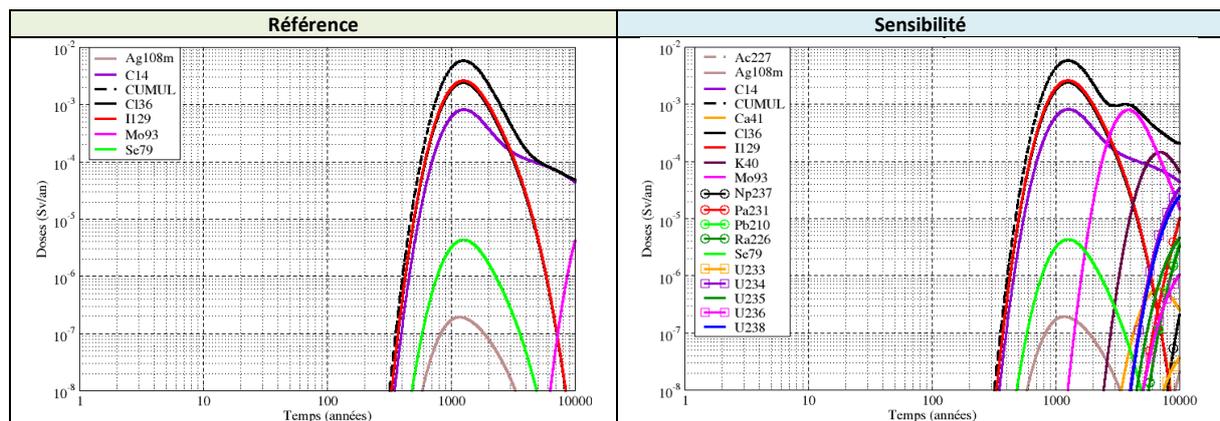


Figure 4.2-13 Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-13 Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	5,8 ^E -03	1,3 ^E +03	CUMUL	5,8 ^E -03	1,3 ^E +03
I129	2,6 ^E -03	1,3 ^E +03	I129	2,6 ^E -03	1,3 ^E +03
Cl36	2,4 ^E -03	1,3 ^E +03	Cl36	2,4 ^E -03	1,3 ^E +03

C14	8,2 ^{E-04}	1,3 ^{E+03}	C14	8,2 ^{E-04}	1,3 ^{E+03}
Se79	4,3 ^{E-06}	1,3 ^{E+03}	Mo93	8,0 ^{E-04}	3,9 ^{E+03}
Mo93	4,2 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	K40	1,5 ^{E-04}	7,0 ^{E+03}
Ag108m	1,9 ^{E-07}	1,2 ^{E+03}	U234	3,4 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
K40	3,4 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	U238	2,5 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
U234	2,5 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Pa231	1,0 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
U238	1,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	U235	4,6 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
U235	3,8 ^{E-11}	1,0 ^{E+04}	Se79	4,3 ^{E-06}	1,3 ^{E+03}
Pa231	9,2 ^{E-12}	1,0 ^{E+04}	Pb210	3,7 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
U236	8,0 ^{E-12}	1,0 ^{E+04}	Ra226	3,4 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
Pb210	6,6 ^{E-13}	1,0 ^{E+04}	U236	1,0 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
U233	2,8 ^{E-13}	1,0 ^{E+04}	Ca41	5,9 ^{E-07}	6,8 ^{E+03}
Ra226	2,2 ^{E-13}	1,0 ^{E+04}	Np237	2,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Ac227	1,7 ^{E-14}	1,0 ^{E+04}	Ag108m	1,9 ^{E-07}	1,2 ^{E+03}
Th230	2,2 ^{E-15}	1,0 ^{E+04}	U233	3,7 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Th229	1,1 ^{E-16}	1,0 ^{E+04}	Ac227	2,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
H3	3,2 ^{E-17}	3,6 ^{E+02}	Th230	3,9 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Rb87	2,6 ^{E-18}	1,0 ^{E+04}	Th229	1,8 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}

Exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance »

La Figure 4.2-14 présente les historiques des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules. Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-14 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La diminution de la rétention (sorption) dans les argiles à Plicatules conduit à un transfert plus rapide du molybdène 93 et du potassium 40 vers la nappe avec un maximum autour de 4 000 et 7 000 ans respectivement. Le transfert des uraniums, sorbés et précipitant dans la grave calcaire des alvéoles, est très peu affecté par cette sensibilité (transfert par la voie latérale légèrement retardé).

En termes d'impact radiologique, le maximum de la courbe de cumul des doses est inchangé par rapport à l'évaluation de référence, toujours piloté par les éléments mobiles dans l'argile hôte. Il atteint environ **0,8 μ Sv.an⁻¹**.

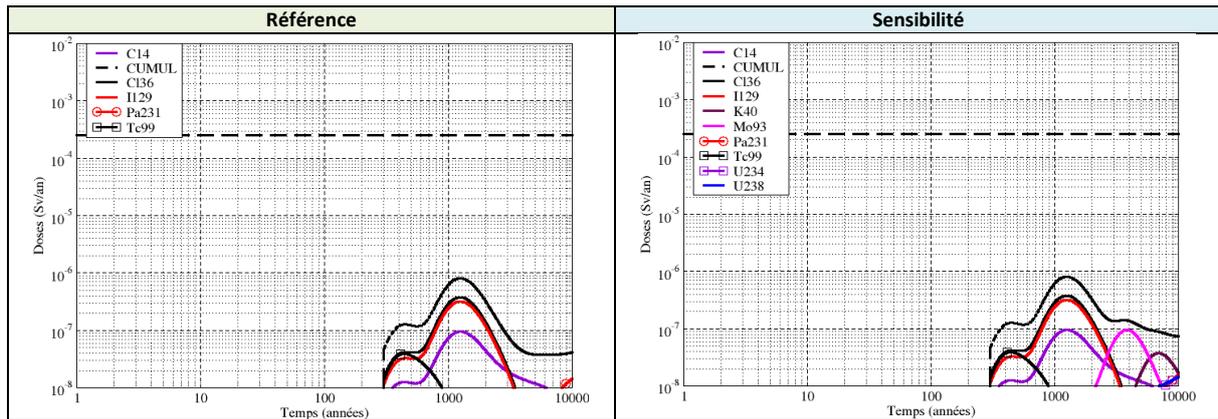


Figure 4.2-14

Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-14

Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	8,1 ^{E-07}	1,3 ^{E+03}	CUMUL	8,1 ^{E-07}	1,3 ^{E+03}
Cl36	3,8 ^{E-07}	1,2 ^{E+03}	Cl36	3,8 ^{E-07}	1,2 ^{E+03}
I129	3,2 ^{E-07}	1,3 ^{E+03}	I129	3,2 ^{E-07}	1,3 ^{E+03}
C14	9,6 ^{E-08}	1,3 ^{E+03}	C14	9,6 ^{E-08}	1,3 ^{E+03}
Tc99	3,9 ^{E-08}	4,4 ^{E+02}	Mo93	9,5 ^{E-08}	3,8 ^{E+03}
Pa231	1,4 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Tc99	3,9 ^{E-08}	4,4 ^{E+02}
U238	9,3 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	K40	3,8 ^{E-08}	6,9 ^{E+03}
Mo93	6,5 ^{E-09}	1,4 ^{E+03}	Pa231	1,6 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Se79	5,1 ^{E-09}	1,3 ^{E+03}	U234	1,5 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
K40	3,7 ^{E-09}	2,1 ^{E+03}	U238	1,4 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
U235	1,6 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Se79	5,1 ^{E-09}	1,3 ^{E+03}
Pb210	7,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	U235	2,5 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
U236	3,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Pb210	1,2 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ra226	2,5 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	U236	6,0 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}

Exutoires « Sol contaminé »

Groupe de référence « jardin potager », sur une largeur de contamination de 10 m (SEN)

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-15 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules, à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-15 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « jardin potager ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La diminution de la rétention (sorption) dans les argiles à Plicatules n'a quasiment pas d'effet sur le transfert latéral des radionucléides.

En termes d'impact radiologique, le maximum de la courbe de cumul des doses n'est pas affecté et s'établit à environ **0,03 mSv.an⁻¹** à 10 000 ans, comme en référence.

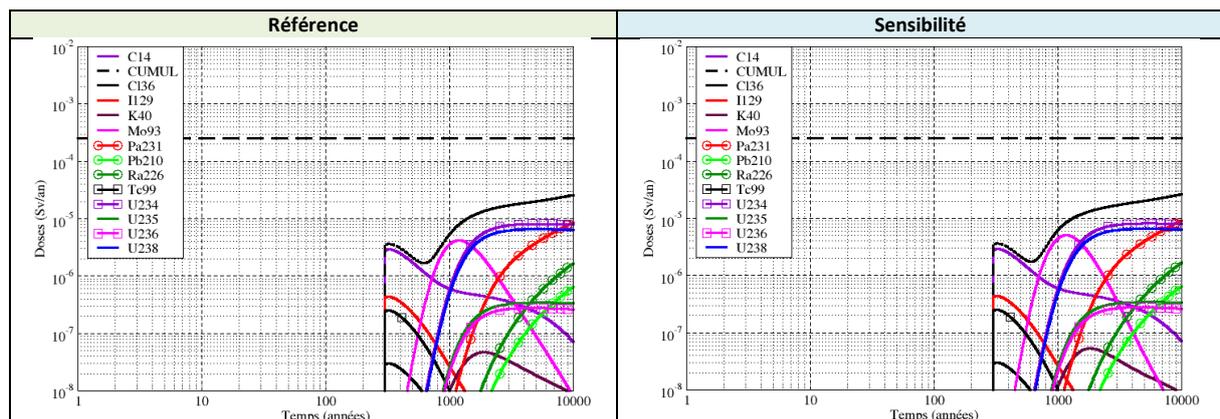


Figure 4.2-15 Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-15 Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	2,6 ^E -05	1,0 ^E +04	CUMUL	2,6 ^E -05	1,0 ^E +04
Pa231	8,6 ^E -06	1,0 ^E +04	Pa231	9,1 ^E -06	1,0 ^E +04
U234	8,1 ^E -06	5,7 ^E +03	U234	8,1 ^E -06	5,6 ^E +03
U238	6,5 ^E -06	5,1 ^E +03	U238	6,5 ^E -06	5,1 ^E +03
Mo93	4,2 ^E -06	1,2 ^E +03	Mo93	5,1 ^E -06	1,2 ^E +03

C14	2,9 ^{E-06}	3,3 ^{E+02}	C14	2,9 ^{E-06}	3,3 ^{E+02}
Ra226	1,7 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	Ra226	1,7 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
Pb210	6,5 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Pb210	6,5 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
I129	4,4 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}	I129	4,4 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}
U235	3,5 ^{E-07}	5,6 ^{E+03}	U235	3,5 ^{E-07}	5,5 ^{E+03}
U236	2,8 ^{E-07}	4,5 ^{E+03}	U236	2,8 ^{E-07}	4,5 ^{E+03}
Tc99	2,5 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}	Tc99	2,5 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}
K40	4,7 ^{E-08}	1,9 ^{E+03}	K40	5,3 ^{E-08}	1,8 ^{E+03}
Cl36	3,0 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}	Cl36	3,0 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}
Np237	7,5 ^{E-09}	7,1 ^{E+03}	Np237	8,0 ^{E-09}	7,2 ^{E+03}
Th230	4,7 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Th230	4,7 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ag108m	4,6 ^{E-09}	3,6 ^{E+02}	Ag108m	4,6 ^{E-09}	3,6 ^{E+02}
Ra228	2,6 ^{E-09}	6,9 ^{E+03}	Ra228	2,7 ^{E-09}	6,7 ^{E+03}
Se79	2,1 ^{E-09}	3,0 ^{E+02}	Se79	2,1 ^{E-09}	3,0 ^{E+02}
U233	1,6 ^{E-09}	7,9 ^{E+03}	U233	1,7 ^{E-09}	7,7 ^{E+03}
Ac227	1,2 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Ac227	1,2 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ca41	6,0 ^{E-10}	3,2 ^{E+03}	Ca41	7,5 ^{E-10}	3,0 ^{E+03}
Rb87	3,0 ^{E-10}	4,8 ^{E+03}	Rb87	3,0 ^{E-10}	4,8 ^{E+03}
Sr90	2,1 ^{E-10}	3,1 ^{E+02}	Sr90	2,9 ^{E-10}	5,2 ^{E+02}

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

La Figure 4.2-16 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules, à l'échelle de la tranche 2 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-16 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « jardin potager ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La diminution de la rétention (sorption) dans les argiles à Plicatules n'a quasiment pas d'effet sur le transfert latéral des radionucléides.

En termes d'impact radiologique, le maximum de la courbe de cumul des doses n'est pas affecté, s'établissant à **0,06 mSv.an⁻¹** à environ 450 ans.

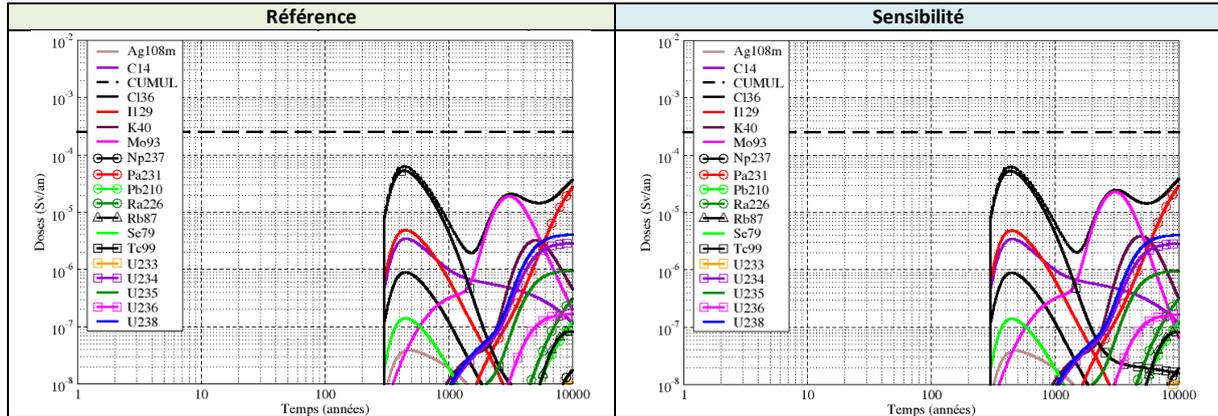


Figure 4.2-16

Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-16

Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	6,2 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}	CUMUL	6,2 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}
Tc99	5,3 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}	Tc99	5,3 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}
Pa231	2,7 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}	Pa231	2,9 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
Mo93	1,9 ^{E-05}	3,1 ^{E+03}	Mo93	2,3 ^{E-05}	3,1 ^{E+03}
I129	4,9 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	I129	4,9 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}
U238	4,1 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	U238	4,1 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
C14	3,4 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	K40	3,9 ^{E-06}	4,9 ^{E+03}
K40	3,2 ^{E-06}	5,0 ^{E+03}	C14	3,4 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}
U234	2,9 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	U234	2,9 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
U235	9,5 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	U235	9,5 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Cl36	8,9 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}	Cl36	8,9 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}
Ra226	3,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Ra226	3,2 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
U236	1,7 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	U236	1,7 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Se79	1,4 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}	Se79	1,4 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}
Pb210	1,2 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Pb210	1,2 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Rb87	8,2 ^{E-08}	9,5 ^{E+03}	Rb87	8,2 ^{E-08}	9,5 ^{E+03}
Ag108m	3,9 ^{E-08}	4,8 ^{E+02}	Ag108m	3,9 ^{E-08}	4,8 ^{E+02}
Np237	1,7 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Np237	1,9 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
U233	1,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	U233	1,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Ca41	5,4 ^{E-09}	9,4 ^{E+03}	Ca41	6,8 ^{E-09}	9,2 ^{E+03}
Ra228	2,7 ^{E-09}	1,2 ^{E+03}	Ra228	2,9 ^{E-09}	9,9 ^{E+03}
Ac227	2,2 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Ac227	2,3 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}

Th230	1,0 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Th230	1,0 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Sr90	4,5 ^{E-10}	3,8 ^{E+02}	Sr90	4,0 ^{E-10}	5,2 ^{E+02}

Groupe de référence « multi-activités », sur une largeur de contamination de 100 m (SEN)

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-17 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules, à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-17 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La diminution de la rétention (sorption) dans les argiles à Plicatules n'a quasiment pas d'effet sur le transfert latéral des radionucléides.

En termes d'impact radiologique, le maximum de la courbe de cumul des doses est inchangé par rapport à l'évaluation de référence à environ **6 μSv.an⁻¹** à 10 000 ans.

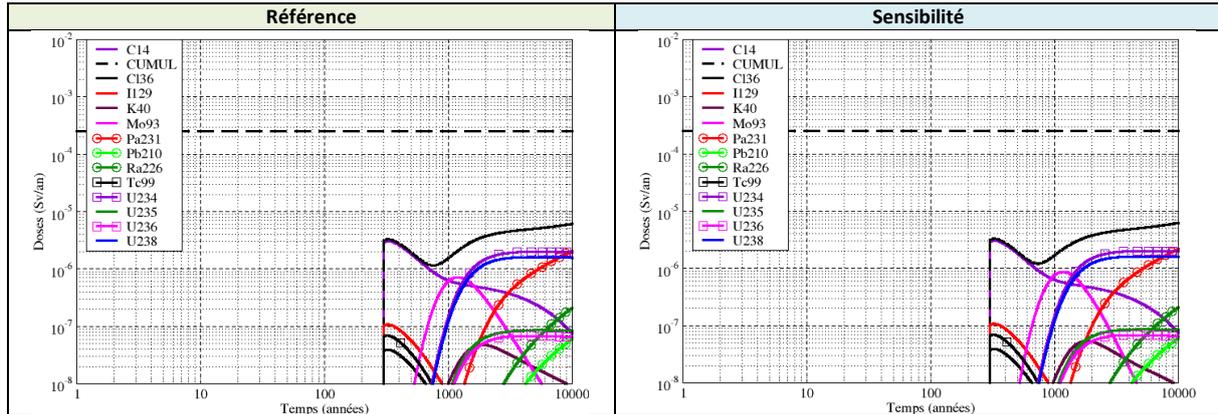


Figure 4.2-17

Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-17

Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	6,1 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	CUMUL	6,2 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
C14	3,1 ^{E-06}	3,3 ^{E+02}	C14	3,1 ^{E-06}	3,3 ^{E+02}
Pa231	2,1 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	Pa231	2,2 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
U234	2,0 ^{E-06}	5,7 ^{E+03}	U234	2,0 ^{E-06}	5,6 ^{E+03}
U238	1,6 ^{E-06}	5,1 ^{E+03}	U238	1,6 ^{E-06}	5,1 ^{E+03}
Mo93	7,2 ^{E-07}	1,2 ^{E+03}	Mo93	8,7 ^{E-07}	1,2 ^{E+03}
Ra226	2,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Ra226	2,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
I129	1,1 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}	I129	1,1 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}
U235	8,6 ^{E-08}	5,6 ^{E+03}	U235	8,6 ^{E-08}	5,5 ^{E+03}
Tc99	6,9 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}	Tc99	6,9 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}
U236	6,8 ^{E-08}	4,5 ^{E+03}	U236	6,9 ^{E-08}	4,5 ^{E+03}
Pb210	6,0 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Pb210	6,0 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
K40	4,8 ^{E-08}	1,9 ^{E+03}	K40	5,4 ^{E-08}	1,8 ^{E+03}
Cl36	4,0 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}	Cl36	4,0 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}
Se79	4,6 ^{E-09}	3,0 ^{E+02}	Se79	4,6 ^{E-09}	3,0 ^{E+02}
Np237	2,1 ^{E-09}	7,1 ^{E+03}	Np237	2,2 ^{E-09}	7,2 ^{E+03}
Th230	4,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Th230	4,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}
Ag108m	4,8 ^{E-10}	3,6 ^{E+02}	Ag108m	4,8 ^{E-10}	3,6 ^{E+02}
U233	4,0 ^{E-10}	7,9 ^{E+03}	U233	4,2 ^{E-10}	7,7 ^{E+03}
Rb87	3,2 ^{E-10}	4,8 ^{E+03}	Rb87	3,2 ^{E-10}	4,8 ^{E+03}
Ra228	2,7 ^{E-10}	6,9 ^{E+03}	Ra228	2,7 ^{E-10}	6,7 ^{E+03}
Ca41	1,9 ^{E-10}	3,2 ^{E+03}	Ca41	2,4 ^{E-10}	3,0 ^{E+03}

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

La Figure 4.2-18 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules, à l'échelle de la tranche 2 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-18 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La diminution de la rétention (sorption) dans les argiles à Plicatules n'a quasiment pas d'effet sur le transfert latéral des radionucléides.

En termes d'impact radiologique, le maximum de la courbe de cumul des doses est inchangé, à environ **0,02 mSv.an⁻¹** avant 500 ans, piloté par les éléments mobiles (technétium 99, carbone 14 et iode 129).

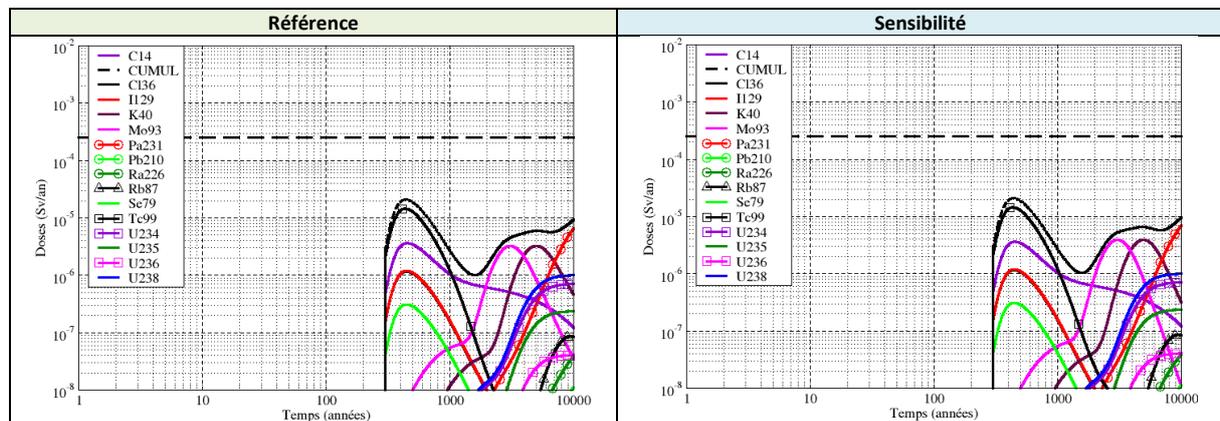


Figure 4.2-18

Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-18

Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	2,1 ^E -05	4,4 ^E +02	CUMUL	2,1 ^E -05	4,4 ^E +02
Tc99	1,5 ^E -05	4,4 ^E +02	Tc99	1,5 ^E -05	4,4 ^E +02
Pa231	6,5 ^E -06	1,0 ^E +04	Pa231	7,0 ^E -06	1,0 ^E +04
C14	3,6 ^E -06	4,5 ^E +02	K40	3,9 ^E -06	4,9 ^E +03
K40	3,3 ^E -06	5,0 ^E +03	Mo93	3,9 ^E -06	3,1 ^E +03
Mo93	3,2 ^E -06	3,1 ^E +03	C14	3,6 ^E -06	4,5 ^E +02
I129	1,2 ^E -06	4,5 ^E +02	I129	1,2 ^E -06	4,5 ^E +02

Cl36	1,2 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	Cl36	1,2 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}
U238	1,0 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	U238	1,0 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
U234	7,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	U234	7,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Se79	3,1 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}	Se79	3,1 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}
U235	2,4 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	U235	2,4 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Rb87	8,6 ^{E-08}	9,5 ^{E+03}	Rb87	8,6 ^{E-08}	9,5 ^{E+03}
U236	4,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	U236	4,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Ra226	3,9 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Ra226	3,9 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Pb210	1,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Pb210	1,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Np237	4,9 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Np237	5,3 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ag108m	4,0 ^{E-09}	4,8 ^{E+02}	Ag108m	4,0 ^{E-09}	4,8 ^{E+02}
U233	2,6 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	U233	2,7 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ca41	1,7 ^{E-09}	9,4 ^{E+03}	Ca41	2,2 ^{E-09}	9,2 ^{E+03}
Ra228	2,8 ^{E-10}	1,2 ^{E+03}	Ra228	2,9 ^{E-10}	9,9 ^{E+03}
Ac227	1,1 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Ac227	1,2 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}
Th230	1,1 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Th230	1,1 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}

4.2.1.3 Étude de sensibilité des impacts radiologiques aux paramètres des argiles à Plicatules visant à maximiser les transferts des solutés par la voie latérale vers l'exutoire « sol contaminé »

Exutoire « Pompage dans le Barrémien »

La Figure 4.2-19 présente les historiques des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules. Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-19 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « villageois ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La sensibilité aux paramètres hydro-dispersifs des argiles à Plicatules (perméabilité divisée par 10 à 10^{-11} -m.s⁻¹, coefficient de diffusion effective divisé par 3) réduit et retarde le transfert des radionucléides à travers l'argile hôte vers la nappe du Barrémien.

En termes d'impact radiologique, le maximum de la courbe de cumul des doses est divisé par environ 30 par rapport à l'évaluation de référence, et s'établit à **0,20 mSv.an⁻¹** à 10 000 ans (contre environ 6 mSv.an⁻¹ à 1 300 ans en référence).

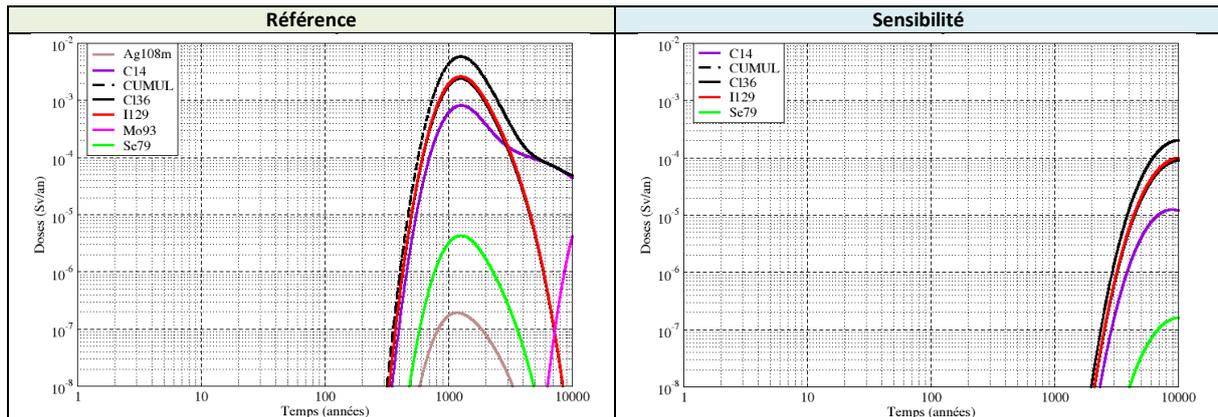


Figure 4.2-19

Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-19

Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	5,8 ^E -03	1,3 ^E +03	CUMUL	2,0 ^E -04	1,0 ^E +04
I129	2,6 ^E -03	1,3 ^E +03	I129	9,9 ^E -05	1,0 ^E +04
Cl36	2,4 ^E -03	1,3 ^E +03	Cl36	9,0 ^E -05	1,0 ^E +04
C14	8,2 ^E -04	1,3 ^E +03	C14	1,2 ^E -05	8,9 ^E +03
Se79	4,3 ^E -06	1,3 ^E +03	Se79	1,6 ^E -07	1,0 ^E +04
Mo93	4,2 ^E -06	1,0 ^E +04	Ag108m	4,0 ^E -12	4,1 ^E +03
Ag108m	1,9 ^E -07	1,2 ^E +03	Mo93	1,6 ^E -23	1,0 ^E +04
K40	3,4 ^E -09	1,0 ^E +04	K40	1,0 ^E -31	1,0 ^E +04
U234	2,5 ^E -10	1,0 ^E +04	U234	2,1 ^E -32	1,0 ^E +04
U238	1,9 ^E -10	1,0 ^E +04	U238	1,2 ^E -32	1,0 ^E +04

Exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance »

La Figure 4.2-20 présente les historiques des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules. Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-20 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La sensibilité aux paramètres hydro-dispersifs des argiles à Plicatules (perméabilité divisée par 10 à 10^{-11}-m.s^{-1} , coefficient de diffusion effective divisé par 3) conduit (i) à un transfert favorisé des radionucléides mobiles vers la voie latérale à court terme, (ii) à une diminution sensible du transfert des éléments mobiles par la voie de transfert verticale, et (iii) à une augmentation du transfert des actinides (^{234}U et ^{238}U) et du protactinium 231, descendant de ^{235}U vers la voie latérale à long terme.

En termes d'impact radiologique, le maximum de la courbe de cumul des doses est en diminution d'environ 35 % par rapport à l'évaluation de référence, et s'établit à environ $0,5 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ vers 500 ans, piloté par les éléments mobiles dans la couverture (^{99}Tc , ^{129}I , ^{36}Cl). En référence, la voie de transfert par la nappe pilotait le maximum des doses des éléments mobiles autour de 1300 ans.

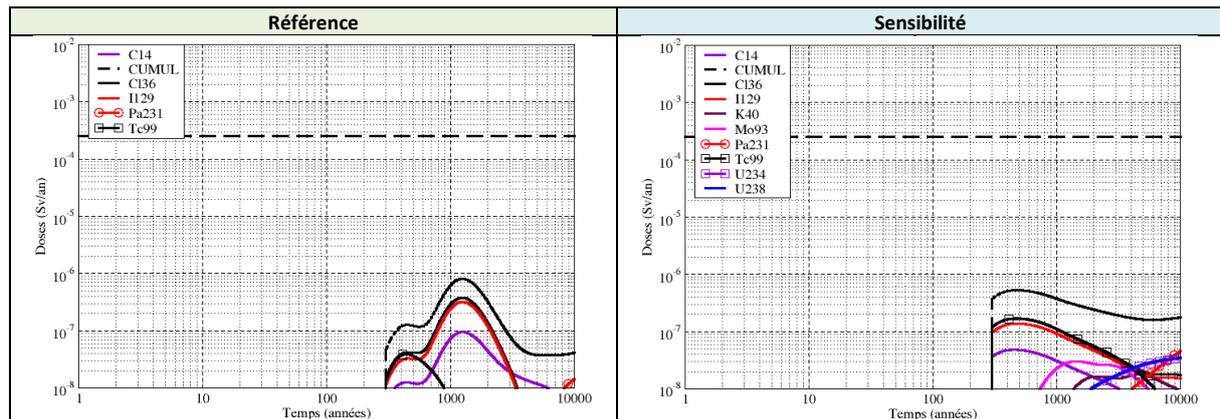


Figure 4.2-20

Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-20

Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	$8,1\text{E-}07$	$1,3\text{E}+03$	CUMUL	$5,3\text{E-}07$	$4,8\text{E}+02$
Cl36	$3,8\text{E-}07$	$1,2\text{E}+03$	Cl36	$1,7\text{E-}07$	$4,8\text{E}+02$
I129	$3,2\text{E-}07$	$1,3\text{E}+03$	Tc99	$1,7\text{E-}07$	$4,7\text{E}+02$
C14	$9,6\text{E-}08$	$1,3\text{E}+03$	I129	$1,4\text{E-}07$	$4,8\text{E}+02$
Tc99	$3,9\text{E-}08$	$4,4\text{E}+02$	C14	$4,8\text{E-}08$	$4,5\text{E}+02$
Pa231	$1,4\text{E-}08$	$1,0\text{E}+04$	Pa231	$4,5\text{E-}08$	$1,0\text{E}+04$
U238	$9,3\text{E-}09$	$1,0\text{E}+04$	U238	$3,5\text{E-}08$	$1,0\text{E}+04$
U234	$8,0\text{E-}09$	$1,0\text{E}+04$	U234	$3,4\text{E-}08$	$1,0\text{E}+04$
Mo93	$6,5\text{E-}09$	$1,4\text{E}+03$	Mo93	$3,0\text{E-}08$	$1,4\text{E}+03$
Se79	$5,1\text{E-}09$	$1,3\text{E}+03$	K40	$1,8\text{E-}08$	$4,6\text{E}+03$
K40	$3,7\text{E-}09$	$2,1\text{E}+03$	U235	$5,2\text{E-}09$	$1,0\text{E}+04$
U235	$1,6\text{E-}09$	$1,0\text{E}+04$	Pb210	$2,8\text{E-}09$	$1,0\text{E}+04$

Pb210	7,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Se79	2,2 ^{E-09}	4,8 ^{E+02}
U236	3,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	U236	1,2 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ra226	2,5 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Ra226	9,2 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}
Np237	2,0 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Np237	5,5 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}
Rb87	9,8 ^{E-11}	3,7 ^{E+03}	Rb87	5,0 ^{E-10}	8,6 ^{E+03}
Ac227	4,8 ^{E-11}	1,0 ^{E+04}	Ac227	3,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}

Exutoires « Sol contaminé »

Groupe de référence « jardin potager », sur une largeur de contamination de 10 m (SEN)

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-21 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules, à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-21 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « jardin potager ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La sensibilité aux paramètres hydro-dispersifs des argiles à Plicatules (perméabilité divisée par 10 à 10^{-11} -m.s⁻¹, coefficient de diffusion effective divisé par 3) conduit (i) à un transfert favorisé des radionucléides mobiles ou peu sorbés vers la voie latérale à court et moyen terme (p.ex. molybdène 93, technétium 99, potassium 40, iode 129), (ii) à une augmentation du transfert des actinides et des fins de chaîne de filiation (protactinium 231, radium 226, plomb 210) vers la voie latérale à moyen et long terme.

En termes d'impact radiologique, le maximum de la courbe de cumul des doses est multiplié par 5 par rapport à l'évaluation de référence, et s'établit à environ **0,12 mSv.an⁻¹** à 10 000 ans, au-dessous de la limite de 0,25 mSv.an⁻¹.

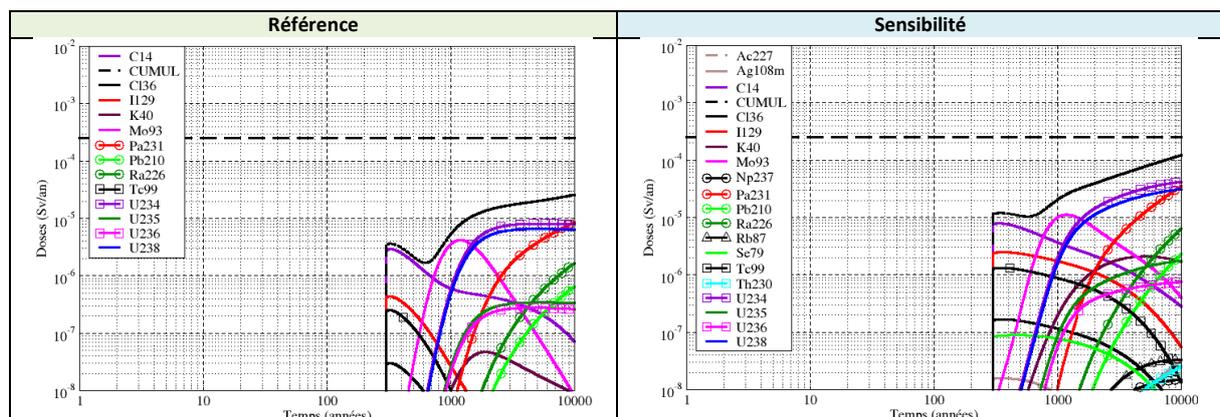


Figure 4.2-21

Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-21 *Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »*

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	2,6 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}	CUMUL	1,2 ^{E-04}	1,0 ^{E+04}
Pa231	8,6 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	U234	4,2 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
U234	8,1 ^{E-06}	5,7 ^{E+03}	Pa231	3,5 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
U238	6,5 ^{E-06}	5,1 ^{E+03}	U238	3,1 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
Mo93	4,2 ^{E-06}	1,2 ^{E+03}	Mo93	1,1 ^{E-05}	1,2 ^{E+03}
C14	2,9 ^{E-06}	3,3 ^{E+02}	C14	7,9 ^{E-06}	3,4 ^{E+02}
Ra226	1,7 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	Ra226	6,4 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
Pb210	6,5 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	I129	2,5 ^{E-06}	3,7 ^{E+02}
I129	4,4 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}	Pb210	2,3 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
U235	3,5 ^{E-07}	5,6 ^{E+03}	K40	2,1 ^{E-06}	5,1 ^{E+03}
U236	2,8 ^{E-07}	4,5 ^{E+03}	U235	1,8 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
Tc99	2,5 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}	Tc99	1,3 ^{E-06}	3,6 ^{E+02}
K40	4,7 ^{E-08}	1,9 ^{E+03}	U236	7,6 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Cl36	3,0 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}	Cl36	1,7 ^{E-07}	3,6 ^{E+02}
Np237	7,5 ^{E-09}	7,1 ^{E+03}	Se79	8,9 ^{E-08}	4,7 ^{E+02}
Th230	4,7 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Rb87	3,3 ^{E-08}	9,4 ^{E+03}
Ag108m	4,6 ^{E-09}	3,6 ^{E+02}	Ac227	3,2 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Ra228	2,6 ^{E-09}	6,9 ^{E+03}	Th230	2,5 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Se79	2,1 ^{E-09}	3,0 ^{E+02}	Ag108m	1,6 ^{E-08}	3,5 ^{E+02}
U233	1,6 ^{E-09}	7,9 ^{E+03}	Np237	1,5 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Ac227	1,2 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Ca41	6,4 ^{E-09}	8,2 ^{E+03}
Ca41	6,0 ^{E-10}	3,2 ^{E+03}	U233	4,4 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Rb87	3,0 ^{E-10}	4,8 ^{E+03}	Ra228	2,5 ^{E-09}	2,9 ^{E+03}
Sr90	2,1 ^{E-10}	3,1 ^{E+02}	Sr90	3,3 ^{E-10}	3,2 ^{E+02}

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

La Figure 4.2-22 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules, à l'échelle de la tranche 2 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-22 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « jardin potager ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La sensibilité aux paramètres hydro-dispersifs des argiles à Plicatules (perméabilité divisée par 10 à 10^{-11}-m.s^{-1} , coefficient de diffusion effective divisé par 3) conduit (i) à un transfert favorisé des radionucléides mobiles ou peu sorbés vers la voie latérale à court et moyen terme (p.ex. molybdène 93, technétium 99, potassium 40, iode 129), (ii) à une augmentation du transfert des actinides et en particulier des fins de chaîne (protactinium 231, radium 226, plomb 210) vers la voie latérale à moyen et long terme.

En termes d'impact radiologique, le maximum de la courbe de cumul des doses est en augmentation d'un facteur 5 par rapport à l'évaluation de référence, et s'établit à environ $0,28 \text{ mSv.an}^{-1}$ vers 500 ans, juste au-dessus de l'objectif de protection de $0,25 \text{ mSv.an}^{-1}$.

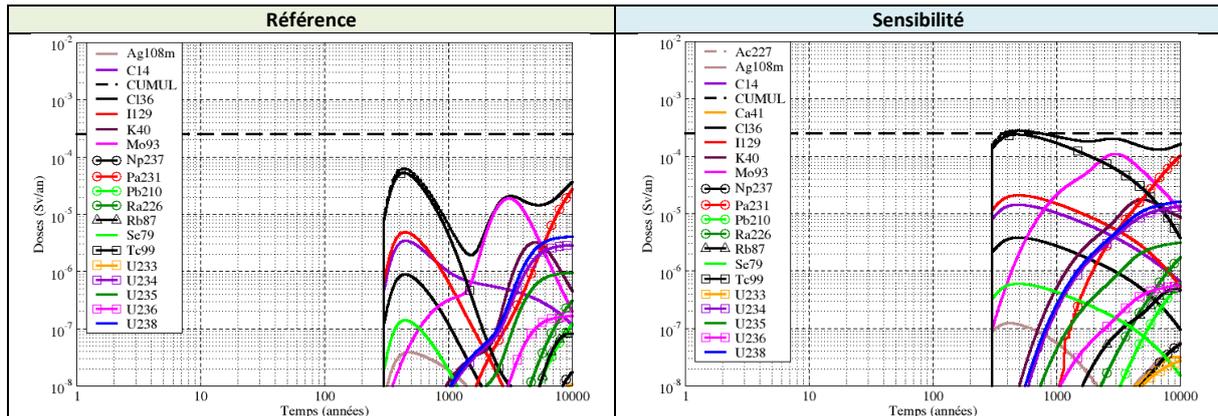


Figure 4.2-22

Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-22

Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	$6,2\text{E-}05$	$4,4\text{E}+02$	CUMUL	$2,8\text{E-}04$	$4,9\text{E}+02$
Tc99	$5,3\text{E-}05$	$4,4\text{E}+02$	Tc99	$2,4\text{E-}04$	$4,8\text{E}+02$
Pa231	$2,7\text{E-}05$	$1,0\text{E}+04$	Mo93	$1,1\text{E-}04$	$3,0\text{E}+03$
Mo93	$1,9\text{E-}05$	$3,1\text{E}+03$	Pa231	$1,0\text{E-}04$	$1,0\text{E}+04$
I129	$4,9\text{E-}06$	$4,5\text{E}+02$	I129	$2,1\text{E-}05$	$4,9\text{E}+02$
U238	$4,1\text{E-}06$	$1,0\text{E}+04$	K40	$1,8\text{E-}05$	$4,9\text{E}+03$
C14	$3,4\text{E-}06$	$4,5\text{E}+02$	U238	$1,6\text{E-}05$	$1,0\text{E}+04$
K40	$3,2\text{E-}06$	$5,0\text{E}+03$	C14	$1,4\text{E-}05$	$4,9\text{E}+02$
U234	$2,9\text{E-}06$	$1,0\text{E}+04$	U234	$1,4\text{E-}05$	$1,0\text{E}+04$
U235	$9,5\text{E-}07$	$1,0\text{E}+04$	Cl36	$3,8\text{E-}06$	$4,9\text{E}+02$
Cl36	$8,9\text{E-}07$	$4,5\text{E}+02$	U235	$3,1\text{E-}06$	$1,0\text{E}+04$
Ra226	$3,1\text{E-}07$	$1,0\text{E}+04$	Ra226	$1,7\text{E-}06$	$1,0\text{E}+04$
U236	$1,7\text{E-}07$	$1,0\text{E}+04$	Pb210	$6,3\text{E-}07$	$1,0\text{E}+04$
Se79	$1,4\text{E-}07$	$4,5\text{E}+02$	Se79	$6,0\text{E-}07$	$4,9\text{E}+02$

Pb210	1,2 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	U236	5,7 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Rb87	8,2 ^{E-08}	9,5 ^{E+03}	Rb87	4,9 ^{E-07}	9,1 ^{E+03}
Ag108m	3,9 ^{E-08}	4,8 ^{E+02}	Ag108m	1,2 ^{E-07}	4,3 ^{E+02}
Np237	1,7 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Ac227	5,7 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
U233	1,1 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Np237	5,4 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Ca41	5,4 ^{E-09}	9,4 ^{E+03}	Ca41	3,2 ^{E-08}	9,0 ^{E+03}
Ra228	2,7 ^{E-09}	1,2 ^{E+03}	U233	2,8 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
Ac227	2,2 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Th230	7,1 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Th230	1,0 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Ra228	2,4 ^{E-09}	6,9 ^{E+03}
Sr90	4,5 ^{E-10}	3,8 ^{E+02}	Sr90	3,6 ^{E-10}	3,2 ^{E+02}
Th229	8,6 ^{E-11}	1,0 ^{E+04}	Th229	3,2 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}

Groupe de référence « multi-activités », sur une largeur de contamination de 100 m (SEN)

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-23 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules, à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-23 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La sensibilité aux paramètres hydro-dispersifs des argiles à Plicatules (perméabilité divisée par 10 à 10^{-11} -m.s⁻¹, coefficient de diffusion effective divisé par 3) conduit (i) à un transfert favorisé des radionucléides mobiles vers la voie latérale à court et moyen terme (p.ex. pour potassium 40, iode 129), (ii) à une augmentation du transfert des actinides (²³⁴U et ²³⁸U) et des radionucléides de fin de chaîne vers la voie latérale à moyen et long terme.

En termes d'impact radiologique, le maximum de la courbe de cumul des doses est en augmentation d'un facteur 5 par rapport à l'évaluation de référence, et s'établit à environ **0,03 mSv.an⁻¹** à 10 000 ans.

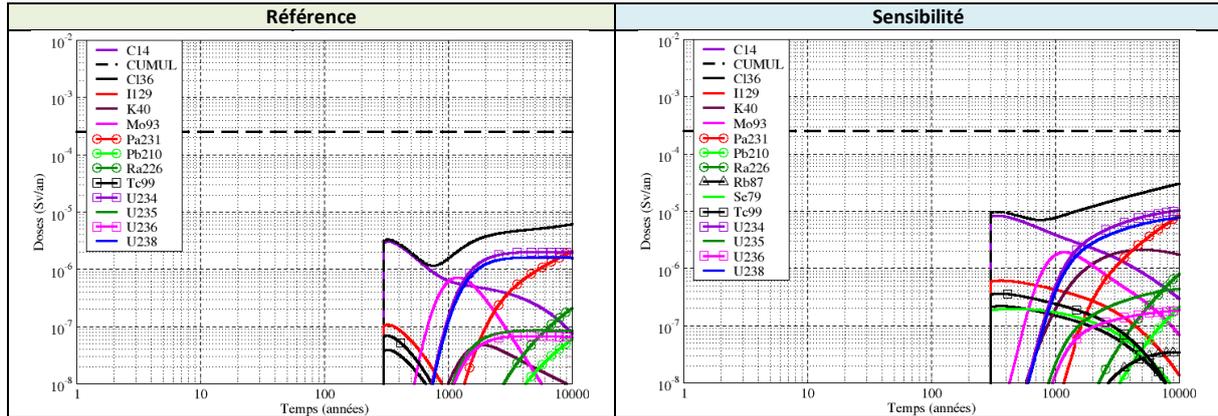


Figure 4.2-23

Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-23

Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	6,1 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	CUMUL	3,0 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
C14	3,1 ^{E-06}	3,3 ^{E+02}	U234	1,0 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
Pa231	2,1 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	Pa231	8,4 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
U234	2,0 ^{E-06}	5,7 ^{E+03}	C14	8,3 ^{E-06}	3,4 ^{E+02}
U238	1,6 ^{E-06}	5,1 ^{E+03}	U238	7,7 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
Mo93	7,2 ^{E-07}	1,2 ^{E+03}	K40	2,1 ^{E-06}	5,1 ^{E+03}
Ra226	2,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Mo93	1,9 ^{E-06}	1,2 ^{E+03}
I129	1,1 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}	Ra226	8,0 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
U235	8,6 ^{E-08}	5,6 ^{E+03}	I129	6,2 ^{E-07}	3,7 ^{E+02}
Tc99	6,9 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}	U235	4,4 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
U236	6,8 ^{E-08}	4,5 ^{E+03}	Tc99	3,6 ^{E-07}	3,6 ^{E+02}
Pb210	6,0 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Cl36	2,2 ^{E-07}	3,6 ^{E+02}
K40	4,8 ^{E-08}	1,9 ^{E+03}	Pb210	2,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Cl36	4,0 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}	Se79	2,0 ^{E-07}	4,7 ^{E+02}
Se79	4,6 ^{E-09}	3,0 ^{E+02}	U236	1,9 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Np237	2,1 ^{E-09}	7,1 ^{E+03}	Rb87	3,4 ^{E-08}	9,4 ^{E+03}
Th230	4,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Np237	4,2 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ag108m	4,8 ^{E-10}	3,6 ^{E+02}	Th230	2,6 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
U233	4,0 ^{E-10}	7,9 ^{E+03}	Ca41	2,1 ^{E-09}	8,2 ^{E+03}
Rb87	3,2 ^{E-10}	4,8 ^{E+03}	Ac227	1,7 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ra228	2,7 ^{E-10}	6,9 ^{E+03}	Ag108m	1,6 ^{E-09}	3,5 ^{E+02}
Ca41	1,9 ^{E-10}	3,2 ^{E+03}	U233	1,1 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

La Figure 4.2-24 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence et pour le cas de sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules, à l'échelle de la tranche 2 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-24 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

La sensibilité aux paramètres hydro-dispersifs des argiles à Plicatules (perméabilité divisée par 10 à 10^{-11} -m.s⁻¹, coefficient de diffusion effective divisé par 3) conduit (i) à un transfert favorisé des radionucléides mobiles vers la voie latérale à court et moyen terme (p.ex. pour potassium 40, technétium 99, iode 129), (ii) à une augmentation du transfert des actinides (²³⁴U et ²³⁸U) et des radionucléides de fin de chaîne vers la voie latérale à moyen et long terme.

En termes d'impact radiologique, le maximum de la courbe de cumul des doses est en augmentation d'un facteur de près de 5 par rapport à l'évaluation de référence, et s'établit à environ **0,09 mSv.an⁻¹** vers 500 ans, piloté par le technétium 99 et le carbone 14.

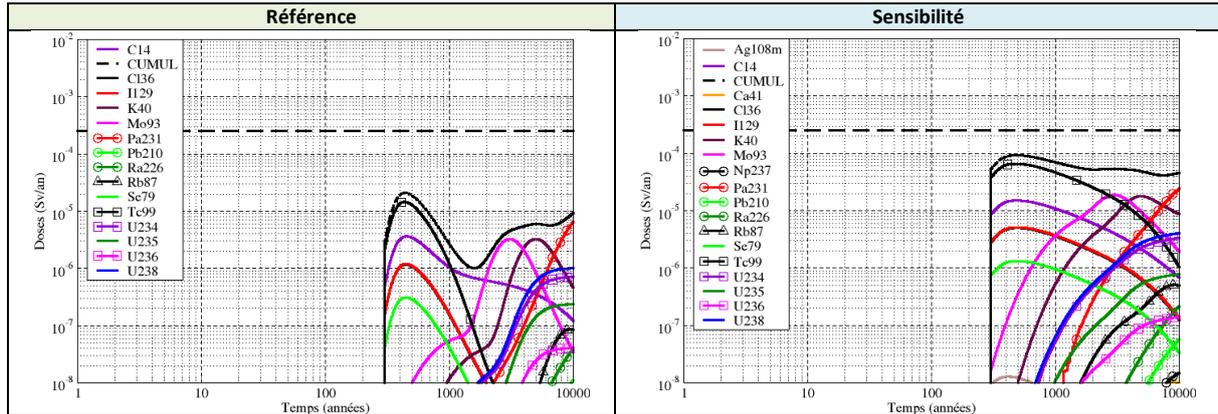


Figure 4.2-24

Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-24

Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence			Sensibilité		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	2,1 ^E -05	4,4 ^E +02	CUMUL	9,3 ^E -05	4,9 ^E +02
Tc99	1,5 ^E -05	4,4 ^E +02	Tc99	6,6 ^E -05	4,8 ^E +02
Pa231	6,5 ^E -06	1,0 ^E +04	Pa231	2,4 ^E -05	1,0 ^E +04
C14	3,6 ^E -06	4,5 ^E +02	Mo93	1,9 ^E -05	3,0 ^E +03
K40	3,3 ^E -06	5,0 ^E +03	K40	1,8 ^E -05	4,9 ^E +03
Mo93	3,2 ^E -06	3,1 ^E +03	C14	1,5 ^E -05	4,9 ^E +02
I129	1,2 ^E -06	4,5 ^E +02	I129	5,2 ^E -06	4,9 ^E +02
Cl36	1,2 ^E -06	4,5 ^E +02	Cl36	5,0 ^E -06	4,9 ^E +02
U238	1,0 ^E -06	1,0 ^E +04	U238	4,0 ^E -06	1,0 ^E +04
U234	7,1 ^E -07	1,0 ^E +04	U234	3,4 ^E -06	1,0 ^E +04
Se79	3,1 ^E -07	4,5 ^E +02	Se79	1,3 ^E -06	4,9 ^E +02
U235	2,4 ^E -07	1,0 ^E +04	U235	7,8 ^E -07	1,0 ^E +04
Rb87	8,6 ^E -08	9,5 ^E +03	Rb87	5,1 ^E -07	9,1 ^E +03
U236	4,1 ^E -08	1,0 ^E +04	Ra226	2,2 ^E -07	1,0 ^E +04
Ra226	3,9 ^E -08	1,0 ^E +04	U236	1,4 ^E -07	1,0 ^E +04
Pb210	1,1 ^E -08	1,0 ^E +04	Pb210	5,8 ^E -08	1,0 ^E +04
Np237	4,9 ^E -09	1,0 ^E +04	Np237	1,5 ^E -08	1,0 ^E +04
Ag108m	4,0 ^E -09	4,8 ^E +02	Ag108m	1,3 ^E -08	4,3 ^E +02
U233	2,6 ^E -09	1,0 ^E +04	Ca41	1,0 ^E -08	9,0 ^E +03
Ca41	1,7 ^E -09	9,4 ^E +03	U233	6,8 ^E -09	1,0 ^E +04
Ra228	2,8 ^E -10	1,2 ^E +03	Ac227	3,0 ^E -09	1,0 ^E +04
Ac227	1,1 ^E -10	1,0 ^E +04	Th230	7,4 ^E -10	1,0 ^E +04

4.2.1.4 Étude de sensibilité des impacts radiologiques à la performance de la couverture

En sensibilité, il est considéré, au-delà de 300 ans, une infiltration d'eau atteignant une centaine de litres par an et par mètre carré, modélisée par une perméabilité à l'eau 30 fois supérieure à celle de l'argile hôte, soit $3 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$.

Cette étude n'est appliquée que par rapport au SEN.

Exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance »

La Figure 4.2-25 présente les historiques des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence (perméabilité de couverture en phase de post-surveillance de 10^{-9} m.s^{-1}) et pour le cas de sensibilité à la perméabilité de couverture ($K=3 \cdot 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$). Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de $10^{-8} \text{ Sv an}^{-1}$ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-25 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède $10^{-10} \text{ Sv an}^{-1}$), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

L'augmentation de la perméabilité de la couverture argileuse en phase de post-surveillance augmente le contraste de perméabilité avec l'argile hôte, et favorise la migration par la voie latérale (« effet baignoire»). Les maxima de doses des éléments mobiles (technétium 99, iode 129, carbone 14) à très court terme (avant 500 ans) augmentent de près d'un ordre de grandeur, et les actinides (uranium) et le protactinium 231 sortent beaucoup plus tôt par la voie latérale.

Cependant le maximum de la courbe de cumul des doses, toujours piloté par le transfert par la voie nappe des éléments mobiles est peu affecté, et s'établit à environ $0,9 \mu\text{Sv.an}^{-1}$ vers 1 200 ans, et quasiment inchangé (+ 10 %) par rapport à l'évaluation de référence.

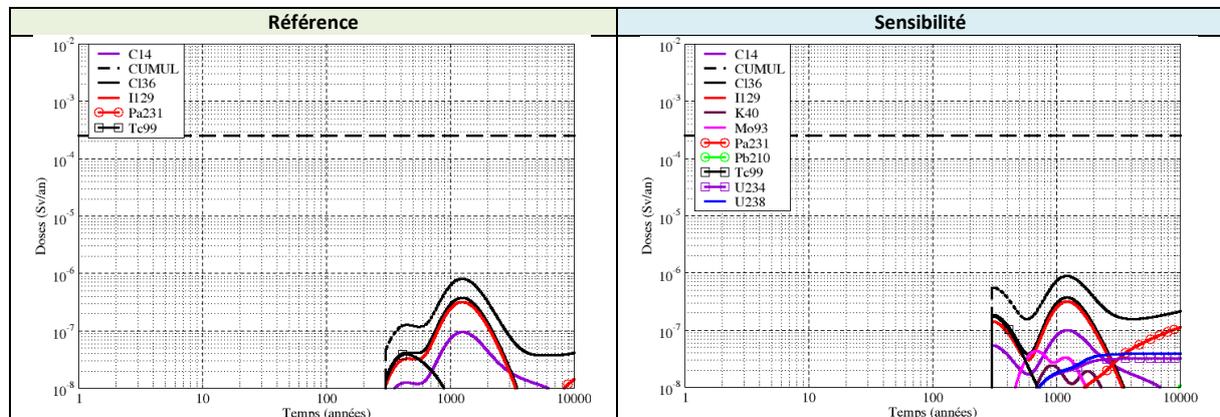


Figure 4.2-25

Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Évolution des doses à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-25

Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence (K=10 ⁻⁹ m/s)			Sensibilité (K=3,10 ⁻⁹ m/s)		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	8,1 ^E -07	1,3 ^E +03	CUMUL	8,9 ^E -07	1,2 ^E +03
Cl36	3,8 ^E -07	1,2 ^E +03	Cl36	3,7 ^E -07	1,2 ^E +03
I129	3,2 ^E -07	1,3 ^E +03	I129	3,2 ^E -07	1,2 ^E +03
C14	9,6 ^E -08	1,3 ^E +03	Tc99	1,8 ^E -07	3,1 ^E +02
Tc99	3,9 ^E -08	4,4 ^E +02	Pa231	1,1 ^E -07	1,0 ^E +04
Pa231	1,4 ^E -08	1,0 ^E +04	C14	1,0 ^E -07	1,2 ^E +03
U238	9,3 ^E -09	1,0 ^E +04	Mo93	4,3 ^E -08	6,9 ^E +02
U234	8,0 ^E -09	1,0 ^E +04	U238	3,9 ^E -08	7,0 ^E +03
Mo93	6,5 ^E -09	1,4 ^E +03	U234	3,2 ^E -08	7,2 ^E +03
Se79	5,1 ^E -09	1,3 ^E +03	K40	2,4 ^E -08	9,2 ^E +02
K40	3,7 ^E -09	2,1 ^E +03	Pb210	1,1 ^E -08	1,0 ^E +04
U235	1,6 ^E -09	1,0 ^E +04	U235	6,9 ^E -09	8,2 ^E +03
Pb210	7,9 ^E -10	1,0 ^E +04	Se79	5,1 ^E -09	1,2 ^E +03
U236	3,9 ^E -10	1,0 ^E +04	Ra226	3,3 ^E -09	1,0 ^E +04
Ra226	2,5 ^E -10	1,0 ^E +04	U236	1,6 ^E -09	5,2 ^E +03
Np237	2,0 ^E -10	1,0 ^E +04	Np237	1,1 ^E -09	5,6 ^E +03
Rb87	9,8 ^E -11	3,7 ^E +03	Rb87	6,2 ^E -10	1,4 ^E +03
Ac227	4,8 ^E -11	1,0 ^E +04	Ac227	3,3 ^E -10	1,0 ^E +04

Exutoires « Sol contaminé »

Groupe de référence « jardin potager », sur une largeur de contamination de 10 m (SEN)

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-26 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « adulte », pour le cas de référence (perméabilité de couverture en phase de post-surveillance de 10⁻⁹ m.s⁻¹) et pour le cas de sensibilité à la perméabilité de couverture (K=3.10⁻⁹ m.s⁻¹), à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10⁻⁸ Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-26 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10⁻¹⁰ Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « adulte » du groupe de référence « jardin potager ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

L'augmentation de la perméabilité de la couverture argileuse en phase de post-surveillance augmente le contraste de perméabilité avec l'argile hôte, et favorise la migration par la voie latérale (« effet baignoire»). Cela se traduit par des doses maximales en carbone 14, iode 129, technétium 99 et protactinium 231

multipliées par 3 ; en augmentation d'un facteur 4 pour les uraniums, et de plus d'un ordre de grandeur pour le radium 226 et le plomb 210 fins de chaîne de filiation.

Le maximum de la courbe de cumul des doses s'établit à environ **0,10 mSv.an⁻¹** (classe d'âge « enfant de 1 an »), soit environ 4 fois plus que pour le cas de référence, et en-dessous de l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹.

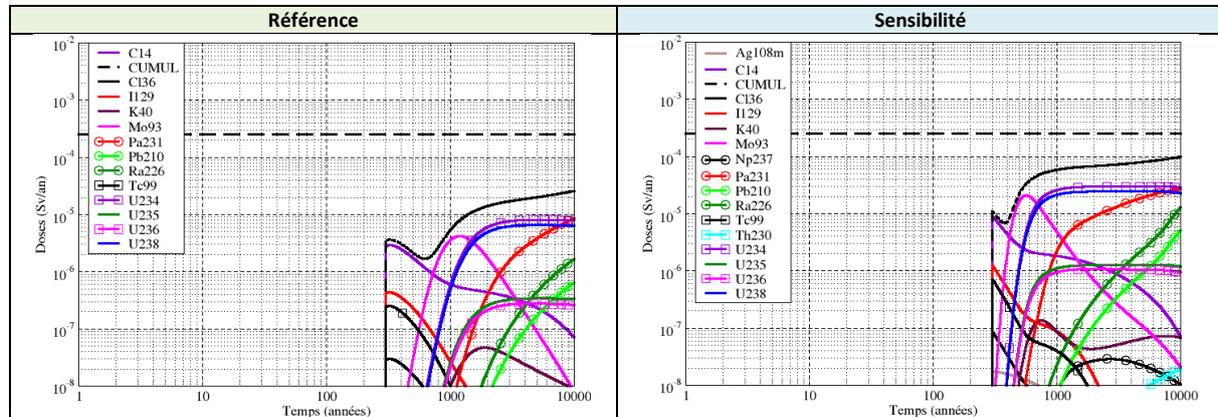


Figure 4.2-26 Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-26 Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence (K=10 ⁻⁹ m/s)			Sensibilité (K=3,10 ⁻⁹ m/s)		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	2,6 ^E -05	1,0 ^E +04	CUMUL	9,9 ^E -05	1,0 ^E +04
Pa231	8,6 ^E -06	1,0 ^E +04	U234	3,0 ^E -05	5,6 ^E +03
U234	8,1 ^E -06	5,7 ^E +03	Pa231	2,7 ^E -05	1,0 ^E +04
U238	6,5 ^E -06	5,1 ^E +03	U238	2,4 ^E -05	5,2 ^E +03
Mo93	4,2 ^E -06	1,2 ^E +03	Mo93	2,1 ^E -05	5,6 ^E +02
C14	2,9 ^E -06	3,3 ^E +02	Ra226	1,3 ^E -05	1,0 ^E +04
Ra226	1,7 ^E -06	1,0 ^E +04	C14	9,0 ^E -06	3,0 ^E +02
Pb210	6,5 ^E -07	1,0 ^E +04	Pb210	5,1 ^E -06	1,0 ^E +04
I129	4,4 ^E -07	3,2 ^E +02	U235	1,3 ^E -06	5,5 ^E +03
U235	3,5 ^E -07	5,6 ^E +03	I129	1,2 ^E -06	3,0 ^E +02
U236	2,8 ^E -07	4,5 ^E +03	U236	1,1 ^E -06	2,1 ^E +03
Tc99	2,5 ^E -07	3,2 ^E +02	Tc99	7,2 ^E -07	3,0 ^E +02
K40	4,7 ^E -08	1,9 ^E +03	K40	1,4 ^E -07	7,5 ^E +02
Cl36	3,0 ^E -08	3,2 ^E +02	Cl36	8,6 ^E -08	3,0 ^E +02
Np237	7,5 ^E -09	7,1 ^E +03	Np237	2,9 ^E -08	2,7 ^E +03
Th230	4,7 ^E -09	1,0 ^E +04	Th230	1,9 ^E -08	1,0 ^E +04
Ag108m	4,6 ^E -09	3,6 ^E +02	Ag108m	1,8 ^E -08	3,1 ^E +02

Ra228	2,6 ^{E-09}	6,9 ^{E+03}	Se79	4,9 ^{E-09}	6,7 ^{E+02}
Se79	2,1 ^{E-09}	3,0 ^{E+02}	Ra228	3,8 ^{E-09}	3,0 ^{E+03}
U233	1,6 ^{E-09}	7,9 ^{E+03}	Ac227	3,5 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ac227	1,2 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	U233	3,3 ^{E-09}	2,8 ^{E+03}
Ca41	6,0 ^{E-10}	3,2 ^{E+03}	Ca41	2,6 ^{E-09}	1,2 ^{E+03}
Rb87	3,0 ^{E-10}	4,8 ^{E+03}	Rb87	9,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}
Sr90	2,1 ^{E-10}	3,1 ^{E+02}	Sr90	3,8 ^{E-10}	4,1 ^{E+02}

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

La Figure 4.2-27 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « adulte », pour le cas de référence (perméabilité de couverture en phase de post-surveillance de 10^{-9} m.s^{-1}) et pour le cas de sensibilité à la perméabilité de couverture ($K= 3.10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$), à l'échelle de la tranche 2 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de $10^{-8} \text{ Sv an}^{-1}$ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-27 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède $10^{-10} \text{ Sv an}^{-1}$), et pour la classe d'âge « adulte » du groupe de référence « jardin potager ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

L'augmentation de la perméabilité de la couverture argileuse en phase de post-surveillance augmente le contraste de perméabilité avec l'argile hôte, et favorise la migration par la voie latérale (« effet baignoire»). Cela se traduit par des doses maximales en carbone 14, iode 129, technétium 99 multipliées par 3 ; en augmentation d'un facteur 4 pour les uraniums, et de plus d'un ordre de grandeur pour le protactinium 231, le radium 226 et le plomb 210 élément en fin de chaîne de filiation.

Le maximum de la courbe de cumul des doses s'établit à environ **0,43 mSv.an⁻¹** (classe d'âge « adulte »), soit environ 10 fois plus que pour le cas de référence (même classe d'âge), au-delà de l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹.

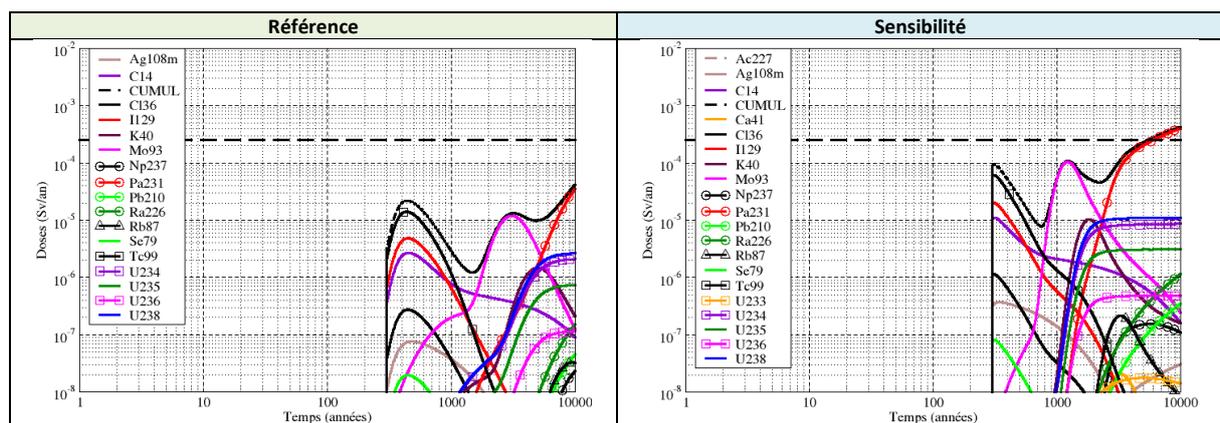


Figure 4.2-27

Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »

Tableau 4.2-27

Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance - Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »

Référence (K=10 ⁻⁹ m/s)			Sensibilité (K=3,10 ⁻⁹ m/s)		
Adulte			Adulte		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	4,2 ^E -05	1,0 ^E +04	CUMUL	4,3 ^E -04	1,0 ^E +04
Pa231	3,5 ^E -05	1,0 ^E +04	Pa231	4,0 ^E -04	1,0 ^E +04
Tc99	1,4 ^E -05	4,4 ^E +02	Mo93	1,0 ^E -04	1,2 ^E +03
Mo93	1,2 ^E -05	3,1 ^E +03	Tc99	6,2 ^E -05	3,1 ^E +02
I129	4,8 ^E -06	4,5 ^E +02	I129	2,0 ^E -05	3,1 ^E +02
C14	2,7 ^E -06	4,5 ^E +02	U238	1,1 ^E -05	1,0 ^E +04
U238	2,6 ^E -06	1,0 ^E +04	C14	1,1 ^E -05	3,1 ^E +02
U234	2,1 ^E -06	1,0 ^E +04	K40	1,0 ^E -05	1,8 ^E +03
K40	1,5 ^E -06	5,0 ^E +03	U234	8,7 ^E -06	9,9 ^E +03
U235	7,4 ^E -07	1,0 ^E +04	U235	3,1 ^E -06	8,4 ^E +03
Cl36	2,7 ^E -07	4,5 ^E +02	Ra226	1,1 ^E -06	1,0 ^E +04
Ra226	1,5 ^E -07	1,0 ^E +04	Cl36	1,1 ^E -06	3,1 ^E +02
U236	1,2 ^E -07	1,0 ^E +04	U236	4,8 ^E -07	8,3 ^E +03
Ag108m	7,6 ^E -08	4,8 ^E +02	Ag108m	3,7 ^E -07	3,4 ^E +02
Pb210	4,6 ^E -08	1,0 ^E +04	Pb210	3,5 ^E -07	1,0 ^E +04
Rb87	3,3 ^E -08	9,5 ^E +03	Rb87	2,2 ^E -07	3,3 ^E +03
Np237	2,3 ^E -08	1,0 ^E +04	Np237	1,5 ^E -07	5,7 ^E +03
Se79	2,0 ^E -08	4,5 ^E +02	Se79	8,1 ^E -08	3,1 ^E +02
U233	7,6 ^E -09	1,0 ^E +04	Ac227	3,1 ^E -08	1,0 ^E +04
Ac227	3,6 ^E -09	1,0 ^E +04	Ca41	2,1 ^E -08	3,3 ^E +03
Ca41	3,1 ^E -09	9,4 ^E +03	U233	1,8 ^E -08	5,0 ^E +03
Th230	1,2 ^E -09	1,0 ^E +04	Th230	7,7 ^E -09	1,0 ^E +04
Ra228	6,4 ^E -10	1,2 ^E +03	Ra228	8,1 ^E -10	8,2 ^E +03
Sr90	2,2 ^E -10	3,8 ^E +02	Th229	3,2 ^E -10	1,0 ^E +04
Th229	7,9 ^E -11	1,0 ^E +04	Sr90	1,9 ^E -10	6,5 ^E +02

Groupe de référence « multi-activités », sur une largeur de contamination de 100 m (SEN)

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-28 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour le cas de référence (perméabilité de couverture en phase de post-surveillance de 10^{-9} m.s⁻¹) et pour le cas de sensibilité à la perméabilité de couverture ($K=3.10^{-9}$ m.s⁻¹), à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-28 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

L'augmentation de la perméabilité de la couverture argileuse en phase de post-surveillance augmente le contraste de perméabilité avec l'argile hôte, et favorise la migration par la voie latérale (« effet baignoire»). Cela se traduit par des doses maximales en carbone 14, iode 129, technétium 99 et protactinium 231 multipliées par 3 ; en augmentation d'un facteur 4 pour les uraniums, et de près d'un ordre de grandeur pour le radium 226 et le plomb 210 fins de chaîne de filiation.

Le maximum de la courbe de cumul des doses s'établit à environ **0,02 mSv.an⁻¹** (classe d'âge « enfant de 1 an »), soit environ 4 fois plus que pour le cas de référence, et en-dessous de l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹.

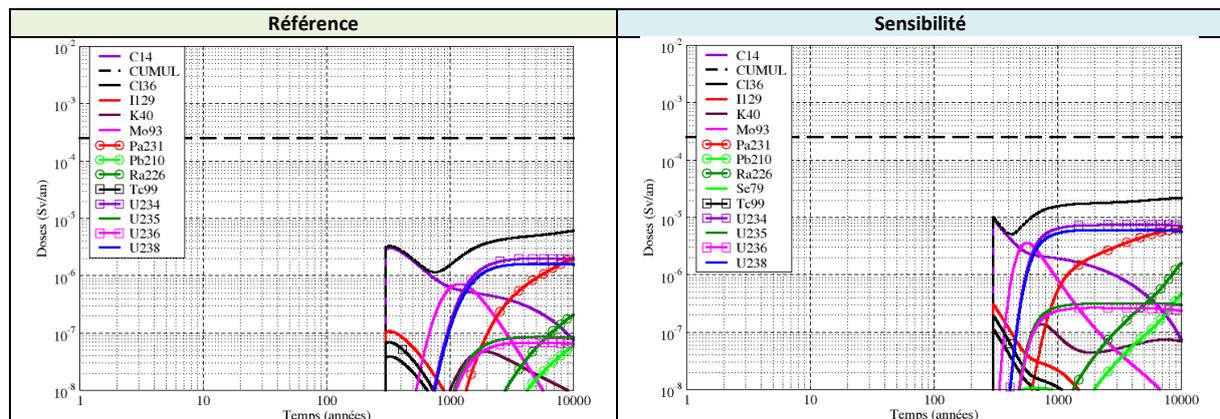


Figure 4.2-28

Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-28

Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évaluation à l'échelle Tranche 1 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Référence (K=10 ⁻⁹ m/s)			Sensibilité (K=3,10 ⁻⁹ m/s)		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	6,1E-06	1,0E+04	CUMUL	2,2E-05	1,0E+04
C14	3,1E-06	3,3E+02	C14	9,5E-06	3,0E+02

Pa231	2,1 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	U234	7,5 ^{E-06}	5,6 ^{E+03}
U234	2,0 ^{E-06}	5,7 ^{E+03}	Pa231	6,5 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
U238	1,6 ^{E-06}	5,1 ^{E+03}	U238	6,1 ^{E-06}	5,2 ^{E+03}
Mo93	7,2 ^{E-07}	1,2 ^{E+03}	Mo93	3,6 ^{E-06}	5,6 ^{E+02}
Ra226	2,1 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Ra226	1,6 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
I129	1,1 ^{E-07}	3,2 ^{E+02}	Pb210	4,7 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
U235	8,6 ^{E-08}	5,6 ^{E+03}	U235	3,2 ^{E-07}	5,5 ^{E+03}
Tc99	6,9 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}	I129	3,1 ^{E-07}	3,0 ^{E+02}
U236	6,8 ^{E-08}	4,5 ^{E+03}	U236	2,7 ^{E-07}	2,1 ^{E+03}
Pb210	6,0 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Tc99	2,0 ^{E-07}	3,0 ^{E+02}
K40	4,8 ^{E-08}	1,9 ^{E+03}	K40	1,4 ^{E-07}	7,5 ^{E+02}
Cl36	4,0 ^{E-08}	3,2 ^{E+02}	Cl36	1,1 ^{E-07}	3,0 ^{E+02}
Se79	4,6 ^{E-09}	3,0 ^{E+02}	Se79	1,1 ^{E-08}	6,7 ^{E+02}
Np237	2,1 ^{E-09}	7,1 ^{E+03}	Np237	8,1 ^{E-09}	2,7 ^{E+03}
Th230	4,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Th230	2,0 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Ag108m	4,8 ^{E-10}	3,6 ^{E+02}	Ag108m	1,8 ^{E-09}	3,1 ^{E+02}
U233	4,0 ^{E-10}	7,9 ^{E+03}	Rb87	1,0 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Rb87	3,2 ^{E-10}	4,8 ^{E+03}	Ca41	8,5 ^{E-10}	1,2 ^{E+03}
Ra228	2,7 ^{E-10}	6,9 ^{E+03}	U233	8,1 ^{E-10}	2,8 ^{E+03}
Ca41	1,9 ^{E-10}	3,2 ^{E+03}	Ra228	3,9 ^{E-10}	3,0 ^{E+03}
Ac227	6,3 ^{E-11}	1,0 ^{E+04}	Ac227	1,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

La Figure 4.2-31 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « adulte », pour le cas de référence (perméabilité de couverture en phase de post-surveillance de 10^{-9} m.s⁻¹) et pour le cas de sensibilité à la perméabilité de couverture ($K= 3.10^{-9}$ m.s⁻¹), à l'échelle de la tranche 2 du stockage.

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-31 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « adulte » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

L'augmentation de la perméabilité de la couverture argileuse en phase de post-surveillance augmente le contraste de perméabilité avec l'argile hôte, et favorise la migration par la voie latérale (« effet baignoire»). Cela se traduit par des doses maximales en carbone 14, iode 129, technétium 99 multipliées par 3 ; en augmentation d'un facteur 4 pour les uraniums, et de plus d'un ordre de grandeur pour le protactinium 231, le radium 226 et le plomb 210 élément en fin de chaîne de filiation.

Le maximum de la courbe de cumul des doses s'établit à environ **0,09 mSv.an⁻¹** (classe d'âge « adulte »), soit environ 10 fois plus que pour le cas de référence (même classe d'âge), en-deçà de l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹.

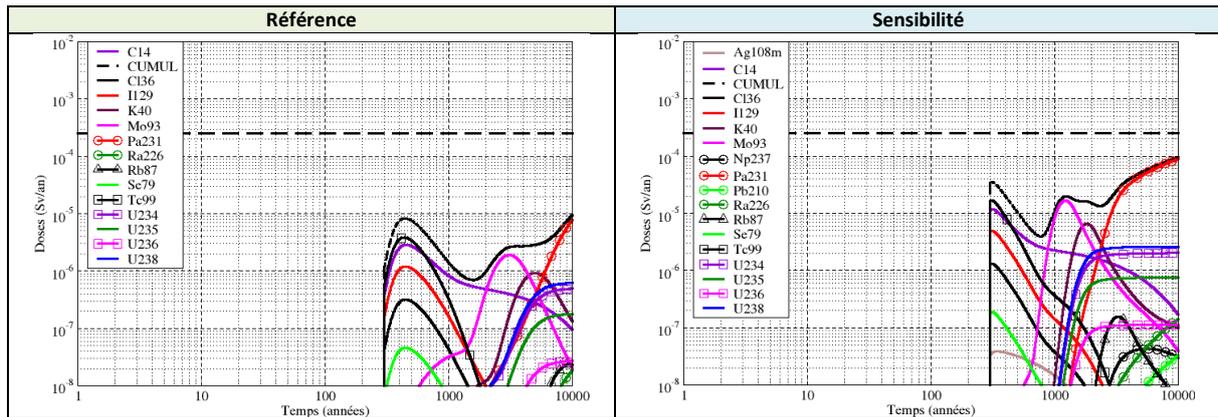


Figure 4.2-29

Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évaluation à l'échelle Tranche 2 – Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »

Tableau 4.2-29

Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »

Référence (K=10 ⁻⁹ m/s)			Sensibilité (K=3,10 ⁻⁹ m/s)		
Adulte			Adulte		
RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]	RN	Dose maximale [Sv/an]	Temps de la dose maximale [ans]
CUMUL	9,4 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	CUMUL	9,5 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
Pa231	7,8 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	Pa231	8,9 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
Tc99	3,9 ^{E-06}	4,4 ^{E+02}	Tc99	1,7 ^{E-05}	3,1 ^{E+02}
C14	2,9 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	Mo93	1,7 ^{E-05}	1,2 ^{E+03}
Mo93	1,9 ^{E-06}	3,1 ^{E+03}	C14	1,2 ^{E-05}	3,1 ^{E+02}
I129	1,2 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	K40	6,6 ^{E-06}	1,8 ^{E+03}
K40	9,3 ^{E-07}	5,0 ^{E+03}	I129	5,0 ^{E-06}	3,1 ^{E+02}
U238	6,2 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	U238	2,6 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
U234	4,9 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	U234	2,0 ^{E-06}	9,9 ^{E+03}
Cl36	3,2 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}	Cl36	1,3 ^{E-06}	3,1 ^{E+02}
U235	1,8 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	U235	7,5 ^{E-07}	8,4 ^{E+03}
Se79	4,6 ^{E-08}	4,5 ^{E+02}	Se79	1,9 ^{E-07}	3,1 ^{E+02}
U236	2,7 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Rb87	1,6 ^{E-07}	3,3 ^{E+03}
Rb87	2,4 ^{E-08}	9,5 ^{E+03}	Ra226	1,4 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Ra226	1,9 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	U236	1,1 ^{E-07}	8,3 ^{E+03}
Ag108m	8,0 ^{E-09}	4,8 ^{E+02}	Np237	4,3 ^{E-08}	5,7 ^{E+03}
Np237	6,5 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Ag108m	3,9 ^{E-08}	3,4 ^{E+02}
Pb210	4,3 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Pb210	3,3 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}
U233	1,8 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Ca41	6,1 ^{E-09}	3,3 ^{E+03}
Ca41	8,9 ^{E-10}	9,4 ^{E+03}	U233	4,2 ^{E-09}	5,0 ^{E+03}
Ac227	2,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Ac227	2,5 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}
Th230	1,1 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Th230	7,3 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}

4.2.1.5 Étude de sensibilité des impacts radiologiques à des dispositions d'exploitation visant à limiter les impacts latéraux des Tranches 2 et 3 du stockage

Comme expliqué au § 3.4.5, cette sensibilité est basée sur les paramètres des sensibilités enveloppes maximisant les voies de transferts latérales, soit la sensibilité aux paramètres de solubilité dans la grave calcaire, aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules, et à la performance de la couverture.

Les résultats ne sont présentés que pour les scénarios « sol contaminé », sachant que la redistribution de l'inventaire des uraniums, du protactinium et du technétium au sein de la tranche est sans effet sur les impacts liés à la voie de transfert verticale et les scénarios associés.

Exutoires « Sol contaminé »

Groupe de référence « jardin potager », sur une largeur de contamination de 10 m (SEN)

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

La Figure 4.2-30 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour les trois cas de sensibilité maximisant les transferts par la voie latérale (« effet baignoire ») **sans et avec limitation de l'inventaire en uranium, en protactinium et en technétium dans l'alvéole de bord (est) de la tranche 2 du stockage.**

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Tableau 4.2-30 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « jardin potager ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

Pour les trois sensibilités pénalisantes considérées, une limitation de l'inventaire en protactinium 231 et en technétium 99 dans l'alvéole de bord des tranches 2 et 3 du stockage conduit à une diminution sensible des impacts radiologiques afférents pour l'exutoire « sol contaminé sur une largeur de 10 m » et le groupe de référence « jardin potager ». L'impact du protactinium 231, fin de la chaîne de filiation 4N+3, est en partie réduit par la limitation de l'inventaire de son père l'uranium 235.

Dans le cas de la sensibilité aux paramètres de solubilité dans la grave calcaire, les impacts des uraniums sont également réduits par la limitation de leur inventaire en bord de plate-forme, d'un facteur 3 environ.

Par contre ils sont très peu affectés pour les deux autres sensibilités, pour lesquelles le transfert des uraniums par la voie latérale reste piloté par la limite de solubilité inchangée, l'inventaire réduit ne permettant pas de descendre les concentrations dans l'alvéole en-dessous de cette limite.

La réduction de l'inventaire de l'alvéole de bord conduit à un maximum de la courbe de cumul des doses de :

- **0,05 mSv.an⁻¹** vers 450 ans au lieu 0,12 mSv.an⁻¹ à 10 000 ans pour la sensibilité à la solubilité dans la grave calcaire ;
- **0,26 mSv.an⁻¹** au lieu de 0,28 mSv.an⁻¹, toujours vers 500 ans, pour la sensibilité aux paramètres hydro-dispersifs de l'argile à Plicatules ;
- **0,22 mSv.an⁻¹** vers 300 ans au lieu de 0,35 mSv.an⁻¹ (et même 0,43 mSv.an⁻¹ pour la classe d'âge « adulte ») à 10 000 ans pour la sensibilité à la performance de la couverture.

Les dispositions d'exploitation étudiées permettent donc de ramener l'impact radiologique pour l'exutoire « sol contaminé » et le groupe de référence « jardin potager », au niveau ou en-dessous de l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹.

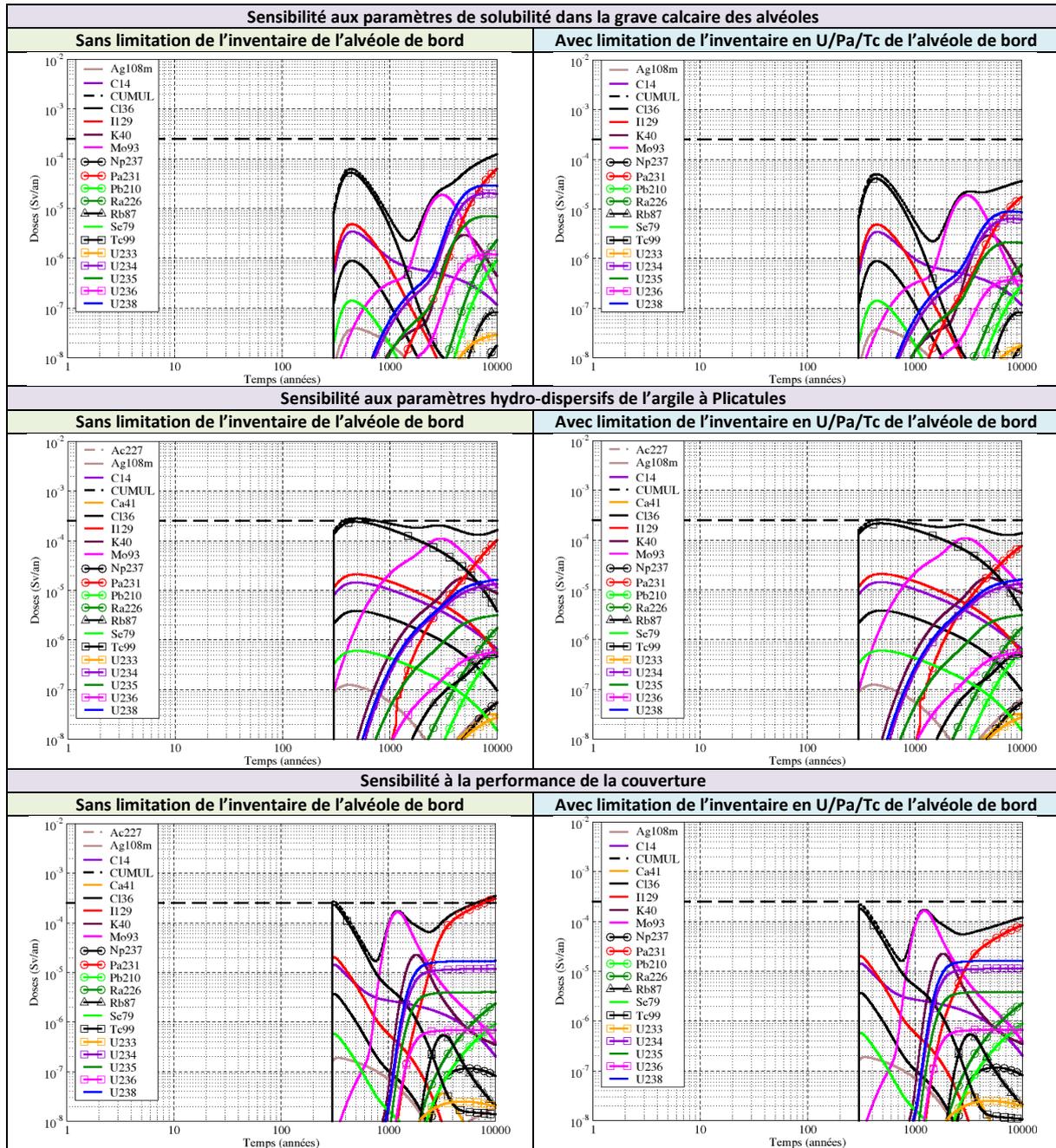


Figure 4.2-30

Sensibilité aux dispositions d'exploitation de la Tranche 2 -Évaluation pour les sensibilités maximisant la voie latérale, sans et avec limitation de l'inventaire en uranium, protactinium et technétium dans l'alvéole de bord - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-30

Sensibilité aux dispositions d'exploitation de la Tranche 2 –Évaluation pour les sensibilités maximisant la voie latérale, sans et avec limitation de l'inventaire en uranium, protactinium et technétium dans l'alvéole de bord - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m » pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans la grave calcaire						Sensibilité aux paramètres hydro-dispersifs de l'argile hôtes						Sensibilité à la performance de la couverture					
Sans limitation de l'inventaire de l'alvéole de bord			Avec limitation de l'inventaire de l'alvéole de bord			Sans limitation de l'inventaire de l'alvéole de bord			Avec limitation de l'inventaire de l'alvéole de bord			Sans limitation de l'inventaire de l'alvéole de bord			Avec limitation de l'inventaire de l'alvéole de bord		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an			Enfant de 1 an			Enfant de 1 an			Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose max, [Sv/an]	Temps de la dose max, [ans]	RN	Dose max, [Sv/an]	Temps de la dose max, [ans]	RN	Dose max, [Sv/an]	Temps de la dose max, [ans]	RN	Dose max, [Sv/an]	Temps de la dose max, [ans]	RN	Dose max, [Sv/an]	Temps de la dose max, [ans]	RN	Dose max, [Sv/an]	Temps de la dose max, [ans]
CUMUL	1,2 ^{E-04}	1,0 ^{E+04}	CUMUL	5,1 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}	CUMUL	2,8 ^{E-04}	4,9 ^{E+02}	CUMUL	2,6 ^{E-04}	5,0 ^{E+02}	CUMUL	3,5 ^{E-04}	1,0 ^{E+04}	CUMUL	2,2 ^{E-04}	3,1 ^{E+02}
Pa231	6,3 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}	Tc99	4,1 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}	Tc99	2,4 ^{E-04}	4,8 ^{E+02}	Tc99	2,2 ^{E-04}	4,8 ^{E+02}	Pa231	3,1 ^{E-04}	1,0 ^{E+04}	Tc99	1,8 ^{E-04}	3,1 ^{E+02}
Tc99	5,3 ^{E-05}	4,4 ^{E+02}	Mo93	1,9 ^{E-05}	3,1 ^{E+03}	Mo93	1,1 ^{E-04}	3,0 ^{E+03}	Mo93	1,1 ^{E-04}	3,0 ^{E+03}	Tc99	2,3 ^{E-04}	3,1 ^{E+02}	Mo93	1,6 ^{E-04}	1,2 ^{E+03}
U238	2,9 ^{E-05}	8,3 ^{E+03}	Pa231	1,7 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}	Pa231	1,0 ^{E-04}	1,0 ^{E+04}	Pa231	7,7 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}	Mo93	1,6 ^{E-04}	1,2 ^{E+03}	Pa231	8,4 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}
U234	2,0 ^{E-05}	8,4 ^{E+03}	U238	8,9 ^{E-06}	8,2 ^{E+03}	I129	2,1 ^{E-05}	4,9 ^{E+02}	I129	2,1 ^{E-05}	4,9 ^{E+02}	K40	2,3 ^{E-05}	1,8 ^{E+03}	K40	2,3 ^{E-05}	1,8 ^{E+03}
Mo93	1,9 ^{E-05}	3,1 ^{E+03}	U234	6,3 ^{E-06}	8,3 ^{E+03}	K40	1,8 ^{E-05}	4,9 ^{E+03}	K40	1,8 ^{E-05}	4,9 ^{E+03}	I129	2,0 ^{E-05}	3,1 ^{E+02}	I129	2,0 ^{E-05}	3,1 ^{E+02}
U235	7,1 ^{E-06}	8,4 ^{E+03}	I129	4,9 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	U238	1,6 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}	U238	1,6 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}	U238	1,7 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}	U238	1,6 ^{E-05}	6,3 ^{E+03}
I129	4,9 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	C14	3,4 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	C14	1,4 ^{E-05}	4,9 ^{E+02}	C14	1,4 ^{E-05}	4,9 ^{E+02}	C14	1,4 ^{E-05}	3,1 ^{E+02}	C14	1,4 ^{E-05}	3,1 ^{E+02}
C14	3,4 ^{E-06}	4,5 ^{E+02}	K40	3,0 ^{E-06}	5,0 ^{E+03}	U234	1,4 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}	U234	1,4 ^{E-05}	1,0 ^{E+04}	U234	1,2 ^{E-05}	9,9 ^{E+03}	U234	1,1 ^{E-05}	9,4 ^{E+03}
K40	3,0 ^{E-06}	5,0 ^{E+03}	U235	2,2 ^{E-06}	8,2 ^{E+03}	Cl36	3,8 ^{E-06}	4,9 ^{E+02}	Cl36	3,8 ^{E-06}	4,9 ^{E+02}	U235	4,0 ^{E-06}	8,4 ^{E+03}	U235	3,8 ^{E-06}	4,8 ^{E+03}
Ra226	2,3 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	Cl36	8,9 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}	U235	3,1 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	U235	3,1 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	Cl36	3,7 ^{E-06}	3,1 ^{E+02}	Cl36	3,7 ^{E-06}	3,1 ^{E+02}
U236	1,2 ^{E-06}	8,4 ^{E+03}	Ra226	7,5 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Ra226	1,7 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	Ra226	1,7 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	Ra226	2,4 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}	Ra226	2,3 ^{E-06}	1,0 ^{E+04}
Pb210	9,0 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	U236	3,7 ^{E-07}	8,2 ^{E+03}	Pb210	6,3 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Pb210	6,3 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Pb210	9,3 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Pb210	8,9 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}
Cl36	8,9 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}	Pb210	2,9 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Se79	6,0 ^{E-07}	4,9 ^{E+02}	Se79	6,0 ^{E-07}	4,9 ^{E+02}	U236	7,0 ^{E-07}	8,3 ^{E+03}	U236	6,6 ^{E-07}	4,7 ^{E+03}
Se79	1,4 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}	Se79	1,4 ^{E-07}	4,5 ^{E+02}	U236	5,7 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	U236	5,6 ^{E-07}	1,0 ^{E+04}	Se79	5,8 ^{E-07}	3,1 ^{E+02}	Se79	5,8 ^{E-07}	3,1 ^{E+02}
Rb87	8,2 ^{E-08}	9,5 ^{E+03}	Rb87	8,2 ^{E-08}	9,5 ^{E+03}	Rb87	4,9 ^{E-07}	9,1 ^{E+03}	Rb87	4,9 ^{E-07}	9,1 ^{E+03}	Rb87	5,4 ^{E-07}	3,3 ^{E+03}	Rb87	5,4 ^{E-07}	3,3 ^{E+03}
Ag108m	3,9 ^{E-08}	4,8 ^{E+02}	Ag108m	3,9 ^{E-08}	4,8 ^{E+02}	Ag108m	1,2 ^{E-07}	4,3 ^{E+02}	Ag108m	1,2 ^{E-07}	4,3 ^{E+02}	Ag108m	1,9 ^{E-07}	3,4 ^{E+02}	Ag108m	1,9 ^{E-07}	3,4 ^{E+02}
U233	2,9 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	U233	1,8 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Ac227	5,7 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Ac227	6,3 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Np237	1,2 ^{E-07}	5,7 ^{E+03}	Np237	1,2 ^{E-07}	5,7 ^{E+03}
Np237	1,7 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Np237	1,7 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Np237	5,4 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Np237	5,4 ^{E-08}	1,0 ^{E+04}	Ca41	3,7 ^{E-08}	3,3 ^{E+03}	Ca41	3,7 ^{E-08}	3,3 ^{E+03}
Th230	7,5 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Ca41	5,4 ^{E-09}	9,4 ^{E+03}	Ca41	3,2 ^{E-08}	9,0 ^{E+03}	Ca41	3,2 ^{E-08}	9,0 ^{E+03}	U233	2,5 ^{E-08}	5,0 ^{E+03}	U233	2,5 ^{E-08}	5,0 ^{E+03}

ACACI.NT.AEPS.23.0004/A

Ca41	5,4 ^E -09	9,4 ^E +03	Ra228	4,3 ^E -09	7,7 ^E +03	U233	2,8 ^E -08	1,0 ^E +04	U233	2,8 ^E -08	1,0 ^E +04	Ac227	1,8 ^E -08	1,0 ^E +04	Ac227	7,1 ^E -09	1,0 ^E +04
Ra228	4,5 ^E -09	8,6 ^E +03	Th230	2,5 ^E -09	1,0 ^E +04	Th230	7,1 ^E -09	1,0 ^E +04	Th230	7,1 ^E -09	1,0 ^E +04	Th230	6,6 ^E -09	1,0 ^E +04	Th230	6,4 ^E -09	1,0 ^E +04
Ac227	4,4 ^E -09	1,0 ^E +04	Ac227	2,2 ^E -09	1,0 ^E +04	Ra228	2,4 ^E -09	6,9 ^E +03	Ra228	2,8 ^E -09	9,2 ^E +03	Ra228	3,4 ^E -09	8,2 ^E +03	Ra228	3,0 ^E -09	3,1 ^E +02
Sr90	4,1 ^E -10	4,1 ^E +02	Sr90	4,1 ^E -10	4,1 ^E +02	Sr90	3,6 ^E -10	3,2 ^E +02	Sr90	3,6 ^E -10	3,2 ^E +02	Sr90	3,9 ^E -10	6,5 ^E +02	Sr90	3,9 ^E -10	6,5 ^E +02
Th229	2,8 ^E -10	1,0 ^E +04	Th229	1,5 ^E -10	1,0 ^E +04	Th229	3,2 ^E -10	1,0 ^E +04	Th229	3,2 ^E -10	1,0 ^E +04	Th229	3,4 ^E -10	1,0 ^E +04	Th229	3,4 ^E -10	1,0 ^E +04

Groupe de référence « multi-activités », sur une largeur de contamination de 100 m (SEN)

Impacts radiologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

La Figure 4.2-31 présente les graphes des historiques des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « enfant de 1 an », pour les trois cas de sensibilité maximisant les transferts par la voie latérale (« effet baignoire ») **sans et avec limitation de l'inventaire en uranium, en protactinium et en technétium dans l'alvéole de bord (est) de la tranche 2 du stockage.**

Par souci de lisibilité, seuls les radionucléides dont la dose maximale excède la valeur de 10^{-8} Sv an⁻¹ sont représentés. La courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides est aussi représentée.

Le Figure 4.2-31 présente les valeurs maximales de dose et les occurrences de ces maxima pour chaque radionucléide (dont la dose maximale excède 10^{-10} Sv an⁻¹), et pour la classe d'âge « enfant de 1 an » du groupe de référence « multi-activités ». Ces valeurs sont aussi données pour la courbe d'historique du cumul des doses de tous les radionucléides considérés.

Pour les trois sensibilités pénalisantes considérées, une limitation de l'inventaire en protactinium 231 et en technétium 99 dans l'alvéole de bord des tranches 2 et 3 du stockage conduit à une diminution sensible des impacts radiologiques afférents pour l'exutoire « sol contaminé sur une largeur de 100 m » et le groupe de référence « multi-activités ». L'impact du protactinium 231, fin de la chaîne de filiation 4N+3, est en partie réduit par la limitation de l'inventaire de son père l'uranium 235.

Dans le cas de la sensibilité aux paramètres de solubilité dans la grave calcaire, les impacts des uraniums sont également réduits par la limitation de leur inventaire en bord de plate-forme, d'un facteur 3 environ.

Par contre ils sont très peu affectés pour les deux autres sensibilités, pour lesquelles le transfert des uraniums par la voie latérale reste piloté par la limite de solubilité inchangée, l'inventaire réduit ne permettant pas de descendre les concentrations dans l'alvéole en-dessous de cette limite.

La réduction de l'inventaire de l'alvéole de bord conduit à un maximum de la courbe de cumul des doses de :

- **0,02 mSv.an⁻¹** vers 450 ans au lieu 0,03 mSv.an⁻¹ à 10 000 ans pour la sensibilité à la solubilité dans la grave calcaire ;
- **0,09 mSv.an⁻¹** quasiment inchangé pour la sensibilité aux paramètres hydro-dispersifs de l'argile à Plicatules, toujours vers 500 ans ;
- **0,08 mSv.an⁻¹** au lieu de 0,09 mSv.an⁻¹ vers 300 ans pour la sensibilité à la performance de la couverture.

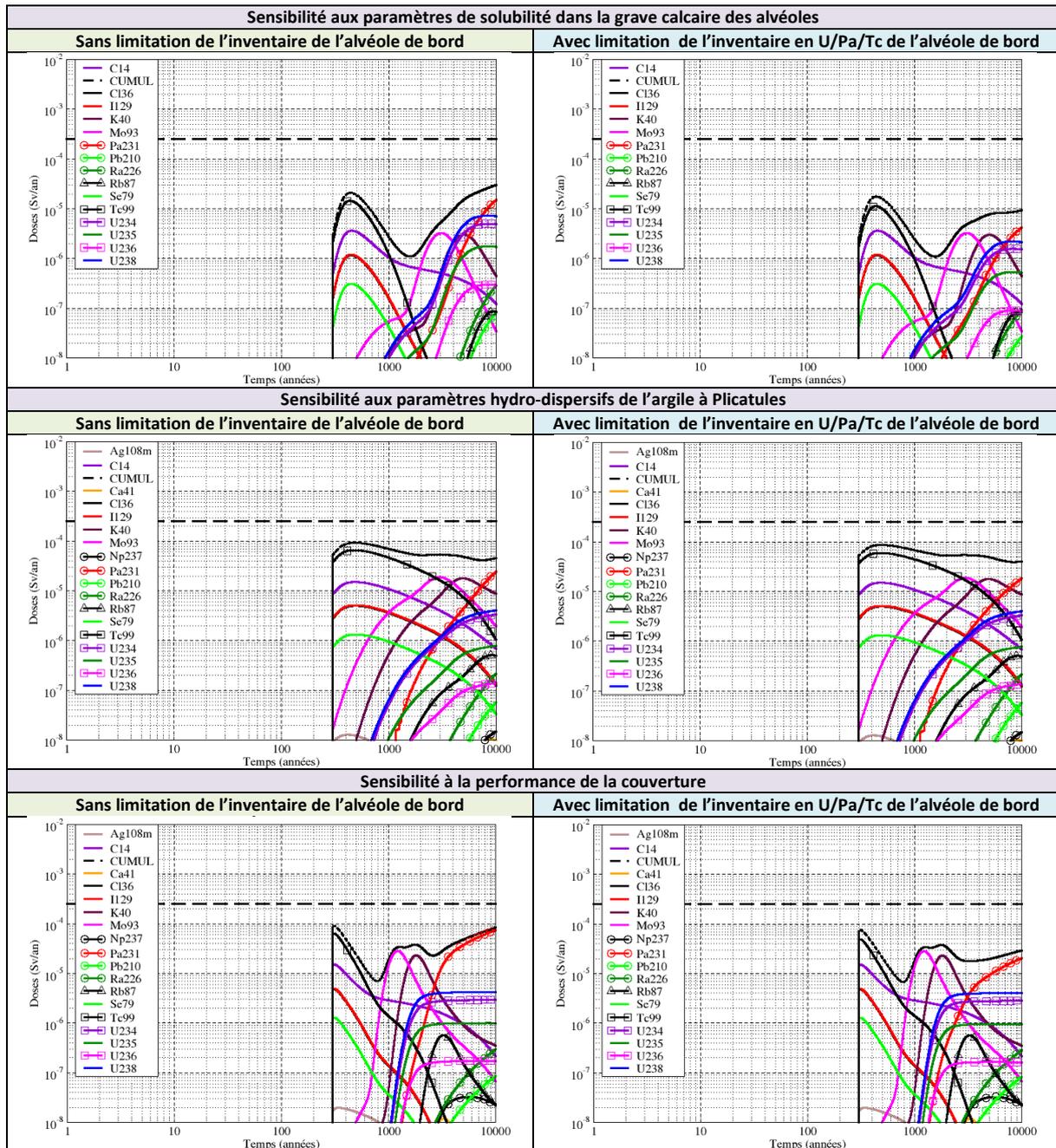


Figure 4.2-31

Sensibilité aux dispositions d'exploitation de la Tranche 2 - Évaluation pour les sensibilités maximisant la voie latérale, sans et avec limitation de l'inventaire en uranium, protactinium et technétium dans l'alvéole de bord - Évolution des doses à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Tableau 4.2-31

Sensibilité aux dispositions d'exploitation de la Tranche 2 –Évaluation pour les sensibilités maximisant la voie latérale, sans et avec limitation de l'inventaire en uranium, protactinium et technétium dans l'alvéole de bord - Doses maximales et temps d'occurrence des doses maximales à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m » pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « enfant de 1 an »

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans la grave calcaire						Sensibilité aux paramètres hydro-dispersifs de l'argile hôtes						Sensibilité à la performance de la couverture					
Sans limitation de l'inventaire de l'alvéole de bord			Avec limitation de l'inventaire de l'alvéole de bord			Sans limitation de l'inventaire de l'alvéole de bord			Avec limitation de l'inventaire de l'alvéole de bord			Sans limitation de l'inventaire de l'alvéole de bord			Avec limitation de l'inventaire de l'alvéole de bord		
Enfant de 1 an			Enfant de 1 an			Enfant de 1 an			Enfant de 1 an			Enfant de 1 an			Enfant de 1 an		
RN	Dose max, [Sv/an]	Temps de la dose max, [ans]	RN	Dose max, [Sv/an]	Temps de la dose max, [ans]	RN	Dose max, [Sv/an]	Temps de la dose max, [ans]	RN	Dose max, [Sv/an]	Temps de la dose max, [ans]	RN	Dose max, [Sv/an]	Temps de la dose max, [ans]	RN	Dose max, [Sv/an]	Temps de la dose max, [ans]
CUMUL	3,0 ^E -05	1,0 ^E +04	CUMUL	1,8 ^E -05	4,4 ^E +02	CUMUL	9,3 ^E -05	4,9 ^E +02	CUMUL	8,7 ^E -05	4,9 ^E +02	CUMUL	9,0 ^E -05	3,1 ^E +02	CUMUL	7,5 ^E -05	3,1 ^E +02
Pa231	1,5 ^E -05	1,0 ^E +04	Tc99	1,1 ^E -05	4,4 ^E +02	Tc99	6,6 ^E -05	4,8 ^E +02	Tc99	6,0 ^E -05	4,8 ^E +02	Pa231	7,4 ^E -05	1,0 ^E +04	Tc99	4,9 ^E -05	3,1 ^E +02
Tc99	1,5 ^E -05	4,4 ^E +02	Pa231	4,2 ^E -06	1,0 ^E +04	Pa231	2,4 ^E -05	1,0 ^E +04	Mo93	1,9 ^E -05	3,0 ^E +03	Tc99	6,4 ^E -05	3,1 ^E +02	Mo93	2,8 ^E -05	1,2 ^E +03
U238	7,3 ^E -06	8,3 ^E +03	C14	3,6 ^E -06	4,5 ^E +02	Mo93	1,9 ^E -05	3,0 ^E +03	Pa231	1,8 ^E -05	1,0 ^E +04	Mo93	2,8 ^E -05	1,2 ^E +03	K40	2,3 ^E -05	1,8 ^E +03
U234	5,0 ^E -06	8,4 ^E +03	Mo93	3,2 ^E -06	3,1 ^E +03	K40	1,8 ^E -05	4,9 ^E +03	K40	1,8 ^E -05	4,9 ^E +03	K40	2,3 ^E -05	1,8 ^E +03	Pa231	2,0 ^E -05	1,0 ^E +04
C14	3,6 ^E -06	4,5 ^E +02	K40	3,0 ^E -06	5,0 ^E +03	C14	1,5 ^E -05	4,9 ^E +02	C14	1,5 ^E -05	4,9 ^E +02	C14	1,5 ^E -05	3,1 ^E +02	C14	1,5 ^E -05	3,1 ^E +02
Mo93	3,2 ^E -06	3,1 ^E +03	U238	2,2 ^E -06	8,2 ^E +03	I129	5,2 ^E -06	4,9 ^E +02	I129	5,2 ^E -06	4,9 ^E +02	I129	5,0 ^E -06	3,1 ^E +02	I129	5,0 ^E -06	3,1 ^E +02
K40	3,0 ^E -06	5,0 ^E +03	U234	1,6 ^E -06	8,3 ^E +03	Cl36	5,0 ^E -06	4,9 ^E +02	Cl36	5,0 ^E -06	4,9 ^E +02	Cl36	4,8 ^E -06	3,1 ^E +02	Cl36	4,8 ^E -06	3,1 ^E +02
U235	1,8 ^E -06	8,4 ^E +03	I129	1,2 ^E -06	4,5 ^E +02	U238	4,0 ^E -06	1,0 ^E +04	U238	4,0 ^E -06	1,0 ^E +04	U238	4,2 ^E -06	1,0 ^E +04	U238	4,0 ^E -06	6,3 ^E +03
I129	1,2 ^E -06	4,5 ^E +02	Cl36	1,2 ^E -06	4,5 ^E +02	U234	3,4 ^E -06	1,0 ^E +04	U234	3,3 ^E -06	1,0 ^E +04	U234	2,9 ^E -06	9,9 ^E +03	U234	2,8 ^E -06	9,4 ^E +03
Cl36	1,2 ^E -06	4,5 ^E +02	U235	5,4 ^E -07	8,2 ^E +03	Se79	1,3 ^E -06	4,9 ^E +02	Se79	1,3 ^E -06	4,9 ^E +02	Se79	1,3 ^E -06	3,1 ^E +02	Se79	1,3 ^E -06	3,1 ^E +02
Se79	3,1 ^E -07	4,5 ^E +02	Se79	3,1 ^E -07	4,5 ^E +02	U235	7,8 ^E -07	1,0 ^E +04	U235	7,8 ^E -07	1,0 ^E +04	U235	1,0 ^E -06	8,4 ^E +03	U235	9,5 ^E -07	4,8 ^E +03
U236	3,0 ^E -07	8,4 ^E +03	Ra226	9,4 ^E -08	1,0 ^E +04	Rb87	5,1 ^E -07	9,1 ^E +03	Rb87	5,1 ^E -07	9,1 ^E +03	Rb87	5,7 ^E -07	3,3 ^E +03	Rb87	5,7 ^E -07	3,3 ^E +03
Ra226	2,9 ^E -07	1,0 ^E +04	U236	9,1 ^E -08	8,2 ^E +03	Ra226	2,2 ^E -07	1,0 ^E +04	Ra226	2,2 ^E -07	1,0 ^E +04	Ra226	2,9 ^E -07	1,0 ^E +04	Ra226	2,8 ^E -07	1,0 ^E +04
Rb87	8,6 ^E -08	9,5 ^E +03	Rb87	8,6 ^E -08	9,5 ^E +03	U236	1,4 ^E -07	1,0 ^E +04	U236	1,4 ^E -07	1,0 ^E +04	U236	1,7 ^E -07	8,3 ^E +03	U236	1,6 ^E -07	4,7 ^E +03
Pb210	8,4 ^E -08	1,0 ^E +04	Pb210	2,7 ^E -08	1,0 ^E +04	Pb210	5,8 ^E -08	1,0 ^E +04	Pb210	5,8 ^E -08	1,0 ^E +04	Pb210	8,5 ^E -08	1,0 ^E +04	Pb210	8,3 ^E -08	1,0 ^E +04
U233	7,1 ^E -09	1,0 ^E +04	Np237	4,9 ^E -09	1,0 ^E +04	Np237	1,5 ^E -08	1,0 ^E +04	Np237	1,5 ^E -08	1,0 ^E +04	Np237	3,3 ^E -08	5,7 ^E +03	Np237	3,3 ^E -08	5,7 ^E +03
Np237	4,9 ^E -09	1,0 ^E +04	U233	4,3 ^E -09	1,0 ^E +04	Ag108m	1,3 ^E -08	4,3 ^E +02	Ag108m	1,3 ^E -08	4,3 ^E +02	Ag108m	2,0 ^E -08	3,4 ^E +02	Ag108m	2,0 ^E -08	3,4 ^E +02
Ag108m	4,0 ^E -09	4,8 ^E +02	Ag108m	4,0 ^E -09	4,8 ^E +02	Ca41	1,0 ^E -08	9,0 ^E +03	Ca41	1,0 ^E -08	9,0 ^E +03	Ca41	1,2 ^E -08	3,3 ^E +03	Ca41	1,2 ^E -08	3,3 ^E +03
Ca41	1,7 ^E -09	9,4 ^E +03	Ca41	1,7 ^E -09	9,4 ^E +03	U233	6,8 ^E -09	1,0 ^E +04	U233	6,8 ^E -09	1,0 ^E +04	U233	6,2 ^E -09	5,0 ^E +03	U233	6,1 ^E -09	5,0 ^E +03

ACACI.NT.AEPS.23.0004/A

Th230	7,8 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Ra228	4,5 ^{E-10}	7,7 ^{E+03}	Ac227	3,0 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Ac227	3,4 ^{E-09}	1,0 ^{E+04}	Ac227	9,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Th230	6,7 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}
Ra228	4,6 ^{E-10}	8,6 ^{E+03}	Th230	2,6 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Th230	7,4 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Th230	7,4 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Th230	6,9 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Ac227	3,8 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}
Ac227	2,3 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Ac227	1,2 ^{E-10}	1,0 ^{E+04}	Ra228	2,5 ^{E-10}	6,9 ^{E+03}	Ra228	2,8 ^{E-10}	9,2 ^{E+03}	Ra228	3,5 ^{E-10}	8,2 ^{E+03}	Ra228	3,1 ^{E-10}	3,1 ^{E+02}

4.2.2 Les impacts toxicologiques aux exutoires en sensibilité

Pour l'ensemble des sensibilités, en cas de dépassement des seuils de concentration dans les eaux de pompage ou des teneurs de référence dans les sols contaminés, on ne présente qu'une comparaison avec les impacts toxicologiques à l'exutoire le plus pénalisant en référence : l'exutoire « Sol contaminé » pour le groupe de référence « jardin potager » sur une largeur de contamination de 10 m (SEN) pour les sensibilités maximisant la voie latérale de transfert, et l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » pour les sensibilités maximisant la migration à travers l'argile hôte vers la nappe.

4.2.2.1 Étude de sensibilité des impacts toxicologiques aux paramètres de rétention dans l'alvéole

Cas 1 : effet d'une rétention (sorption) dégradée dans la grave calcaire

Ce chapitre présente les concentrations en toxiques chimiques aux exutoires « sol contaminé » pour l'étude de sensibilité aux paramètres de sorption dans la grave calcaire des alvéoles, sensibilité qui prend en compte des coefficients de partage divisés par 3 par rapport à l'évaluation de référence.

Si les seuils sanitaires sont dépassés, les historiques de QD/ERI aux différents exutoires sont présentés.

▪ Exutoires « Sol contaminé »

Concentrations en toxiques chimiques dans le sol contaminé

Le Tableau 4.2-32 présente, par toxique chimique, et pour le cas de **sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole**, les valeurs maximales de référence et les teneurs évaluées dans le sol contaminé, pour les tranches 1 et 2/3 du stockage, pour les deux exutoires considérés : « Sol contaminé sur 10 m - jardin potager » et « Sol contaminé sur 100 m - multi-activités ».

Tableau 4.2-32 *Sensibilité aux paramètres de sorption dans l'alvéole- Valeurs de référence et valeurs évaluées des teneurs en toxiques chimiques dans le sol naturel/contaminé (mg/kg de sol sec)*

Toxique	Teneur maximale mesurée sur site FA-VL (mg/kg sec)	Guide ASPITET teneur maximale (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 1 sol contaminé sur 10 m (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 1 sol contaminé sur 100 m (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 2 sol contaminé sur 10 m (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 2 sol contaminé sur 100 m (mg/kg sec)
As	8,41 ^{E+01}	2,50 ^{E+01}	5,1 ^{E-02}	5,7 ^{E-03}	2,9 ^{E-04}	3,3 ^{E-05}
B	1,10 ^{E+02}	-	7,0 ^{E-01}	1,7 ^{E-01}	1,5 ^{E+00}	3,6 ^{E-01}
Be	2,97 ^{E+00}	-	1,1 ^{E-09}	1,4 ^{E-10}	< 1 ^{E-12}	< 1 ^{E-12}
Cd	8,20 ^{E-01}	4,50 ^{E-01}	1,6 ^{E-02}	3,2 ^{E-03}	2,4 ^{E-04}	4,6 ^{E-05}
Cr	2,19 ^{E+02}	9,00 ^{E+01}	1,4 ^{E-09}	2,5 ^{E-10}	< 1 ^{E-12}	< 1 ^{E-12}
Cu	1,93 ^{E+01}	2,00 ^{E+01}	2,1 ^{E-07}	3,2 ^{E-08}	5,0 ^{E-07}	7,5 ^{E-08}
CN	-	-	< 1 ^{E-12}	< 1 ^{E-12}	8,2 ^{E-06}	2,3 ^{E-06}
Hg	-	1,00 ^{E-01}	4,0 ^{E-06}	1,1 ^{E-06}	4,3 ^{E-07}	1,2 ^{E-07}
Ni	1,37 ^{E+02}	6,00 ^{E+01}	1,4 ^{E-02}	3,3 ^{E-03}	5,7 ^{E-04}	1,4 ^{E-04}
Pb	4,35 ^{E+01}	5,00 ^{E+01}	5,2 ^{E-03}	5,3 ^{E-04}	2,2 ^{E-04}	2,3 ^{E-05}
Sb	2,07 ^{E+00}	-	7,5 ^{E-01}	2,0 ^{E-01}	5,9 ^{E-03}	1,6 ^{E-03}
Se	-	7,00 ^{E-01}	3,5 ^{E-02}	4,7 ^{E-03}	2,2 ^{E-02}	2,9 ^{E-03}
U	1,22 ^{E+01}	-	4,4 ^{E+00}	1,2 ^{E+00}	2,8 ^{E+00}	7,7 ^{E-01}

Pour tous les toxiques chimiques les concentrations maximales évaluées dans le sol contaminé sur 10 ou 100 m, à l'échelle de la tranche 1 ou de la tranche 2, sont inférieures aux valeurs de référence.

Les valeurs de référence de teneur maximale dans les sols n'étant pas dépassées, les impacts toxicologiques (QD/ERI) ne sont pas calculés.

En l'absence de valeur de référence pour le cyanure, les impacts sanitaires ont systématiquement été évalués pour ce toxique. Pour les voies ingestion et inhalation, les quotients de danger maximaux évalués aux exutoires « sol contaminé » à l'échelle de la tranche 1 et de la tranche 2 sont très inférieurs -de plus de 8 ordres de grandeur- au seuil sanitaire de 1.

Cas 2 : effet d'une solubilité dégradée dans la grave calcaire

Ce chapitre présente les concentrations en toxiques chimiques aux exutoires « sol contaminé » pour l'étude de sensibilité aux paramètres de solubilité dans la grave calcaire des alvéoles, sensibilité qui prend en compte des limites de solubilité multipliées par 10 par rapport à l'évaluation de référence.

Si les seuils sanitaires sont dépassés, les historiques de QD/ERI aux différents exutoires sont présentés.

▪ *Exutoires « Sol contaminé »*

Concentrations en toxiques chimiques dans le sol contaminé

Le Tableau 4.2-33 présente, par toxique chimique, et pour le cas de **sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole**, les valeurs maximales de référence et les teneurs évaluées dans le sol contaminé, pour les tranches 1 et 2/3 du stockage, pour les deux exutoires considérés : « Sol contaminé sur 10 m - jardin potager » et « Sol contaminé sur 100 m - multi-activités ».

Tableau 4.2-33 *Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole - Valeurs de référence et valeurs évaluées des teneurs en toxiques chimiques dans le sol naturel/contaminé (mg/kg de sol sec)*

Toxique	Teneur maximale mesurée sur site FA-VL (mg/kg sec)	Guide ASPITET teneur maximale (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 1 sol contaminé sur 10 m (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 1 sol contaminé sur 100 m (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 2 sol contaminé sur 10 m (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 2 sol contaminé sur 100 m (mg/kg sec)
As	8,41 ^E +01	2,50 ^F +01	2,3 ^F -02	2,6 ^F -03	1,6 ^F -04	1,8 ^F -05
B	1,10 ^F +02	-	7,0 ^E -01	1,7 ^E -01	1,5 ^F +00	3,6 ^F -01
Be	2,97 ^F +00	-	9,2 ^F -09	1,3 ^F -09	4,9 ^F -09	7,3 ^F -10
Cd	8,20 ^F -01	4,50 ^F -01	5,1 ^F -03	1,0 ^F -03	8,0 ^F -05	1,6 ^F -05
Cr	2,19 ^F +02	9,00 ^F +01	2,9 ^F -10	4,0 ^F -11	< 1 ^F -12	< 1 ^F -12
Cu	1,93 ^F +01	2,00 ^F +01	2,1 ^F -06	3,2 ^F -07	6,6 ^F -06	1,0 ^F -06
CN	-	-	< 1 ^F -12	< 1 ^F -12	8,2 ^F -06	2,3 ^F -06
Hg	-	1,00 ^F -01	4,0 ^F -06	1,1 ^F -06	4,3 ^F -07	1,2 ^F -07
Ni	1,37 ^F +02	6,00 ^F +01	1,3 ^F -02	3,2 ^F -03	3,3 ^F -03	8,2 ^F -04
Pb	4,35 ^F +01	5,00 ^F +01	5,1 ^F -02	5,3 ^F -03	2,2 ^F -03	2,3 ^F -04
Sb	2,07 ^F +00	-	4,9 ^F +00	1,3 ^F +00	3,5 ^F -02	9,5 ^F -03
Se	-	7,00 ^F -01	2,3 ^F -01	2,9 ^F -02	1,7 ^F -01	2,3 ^F -02
U	1,22 ^F +01	-	1,2 ^F +01	3,2 ^F +00	2,0 ^F +01	5,6 ^F +00

La concentration maximale en antimoine Sb évaluée dans le sol contaminé sur 10 m dépasse la valeur de référence pour la tranche 1.

La concentration maximale en uranium U évaluée dans le sol contaminé sur 10 m est aussi supérieure à la valeur de référence pour la tranche 2.

Les impacts toxicologiques correspondant (QD) doivent donc être évalués dans ces deux cas.

En l'absence de valeur de référence pour le cyanure, les impacts sanitaires ont systématiquement été évalués pour ce toxique. Pour les voies ingestion et inhalation, les quotients de danger maximaux évalués

aux exutoires « sol contaminé » à l'échelle de la tranche 1 et de la tranche 2 sont très inférieurs -de plus de 8 ordres de grandeur- au seuil sanitaire de 1.

Groupe de référence « jardin potager », sur une largeur de contamination de 10 m (SEN)

Impacts toxicologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-32 présente les graphes des historiques de QD de l'antimoine pour les voies ingestion et inhalation à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « adulte », pour le cas de sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole, à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Le Tableau 4.2-34 présente les valeurs maximales de QD et la date d'occurrences de ces maxima.

La dégradation de la limite de solubilité (C_{sat} multipliés par 10) induit une augmentation sensible des impacts toxicologiques de l'antimoine.

Pour la voie ingestion, le QD maximal de l'antimoine est légèrement supérieur à 1 (1,2) à 10 000 ans.

Pour la voie inhalation, le QD de l'antimoine reste en-deçà des seuils.

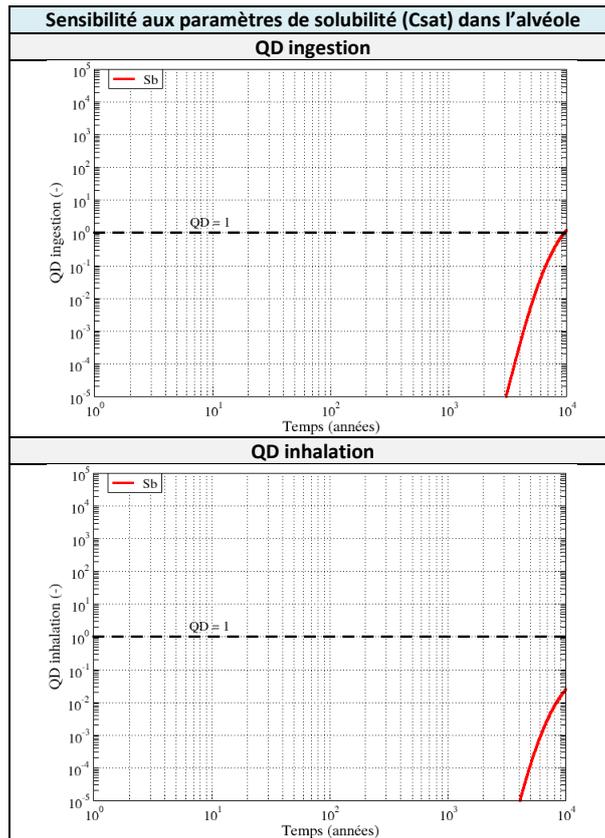


Figure 4.2-32

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole- Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des QD de l'antimoine à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »

Tableau 4.2-34

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole- Évaluation à l'échelle Tranche 1 – QD/ERI maximaux pour la voie ingestion à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »

TC	QD ingestion max. [-]	QD inhalation max. [-]	ERI ingestion max. [-]	ERI inhalation max. [-]	Temps des QD/ERI max. [ans]
Sb	1,2 ^E +00	2,5 ^E -02	---	---	1,0 ^E +04

Impacts toxicologiques à l'échelle de la tranche 2 du stockage

La Figure 4.2-33 présente les graphes des historiques de QD de l'uranium pour les voies ingestion et inhalation à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « adulte », pour le cas de sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole, à l'échelle de la tranche 2 du stockage.

Le Tableau 4.2-35 présente les valeurs maximales de QD/ERI et la date d'occurrences de ces maxima pour l'uranium.

La dégradation de la limite de solubilité (C_{sat} multipliés par 10) induit une augmentation sensible des impacts toxicologiques de l'uranium, dont le transfert est limité par la précipitation dans les alvéoles de déchets.

Pour la voie ingestion, le QD de l'uranium culmine à environ 5,7 vers 8 000 ans, au-delà du seuil sanitaire de 1.

Pour la voie inhalation, le QD de l'uranium culmine à environ 0,5 vers 8 000 ans.

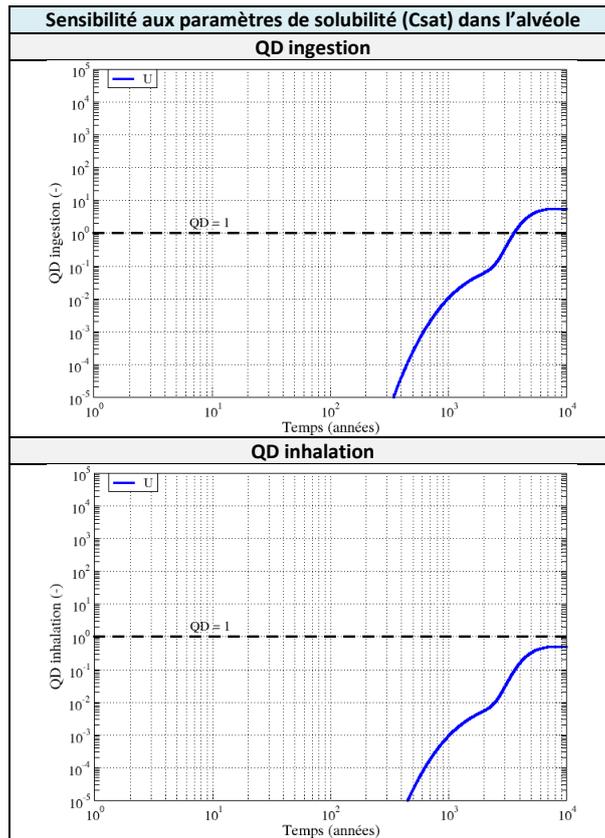


Figure 4.2-33

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole- Évaluation à l'échelle Tranche 2 - Évolution des QD de l'uranium à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »

Tableau 4.2-35

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans l'alvéole- Évaluation à l'échelle Tranche 2 - QD/ERI maximaux pour la voie ingestion à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »

TC	QD ingestion max. [-]	QD inhalation max. [-]	ERI ingestion max. [-]	ERI inhalation max. [-]	Temps des QD/ERI max. [ans]
U	5,7 ^E +00	5,0 ^E -01	---	---	8,4 ^E +03

4.2.2.2 Étude de sensibilité des impacts toxicologiques aux paramètres des argiles à Plicatules visant à maximiser les transferts des solutés dans le milieu géologique vers la nappe du Barrémien

Exutoire « Pompage dans le Barrémien »

Impacts toxicologiques à l'échelle du Cires

La diminution de la rétention (sorption) dans les argiles à Plicatules conduit à un transfert plus rapide des toxiques chimiques peu à moyennement sorbés dans l'argile hôte, bore, arsenic, cadmium, antimoine et uranium. Les valeurs enveloppe des coefficients de partage (K_d) de ces éléments sont 5 à 50 fois inférieures aux valeurs de référence.

La Figure 4.2-34 compare les historiques de concentration dans les eaux de pompage dans le Barrémien aux seuils de potabilité issus des normes environnementales de qualité (NQE).

Ces seuils sont dépassés pour le bore, l'antimoine et l'uranium, pour lesquels on doit donc considérer les facteurs de risque QD/ERI.

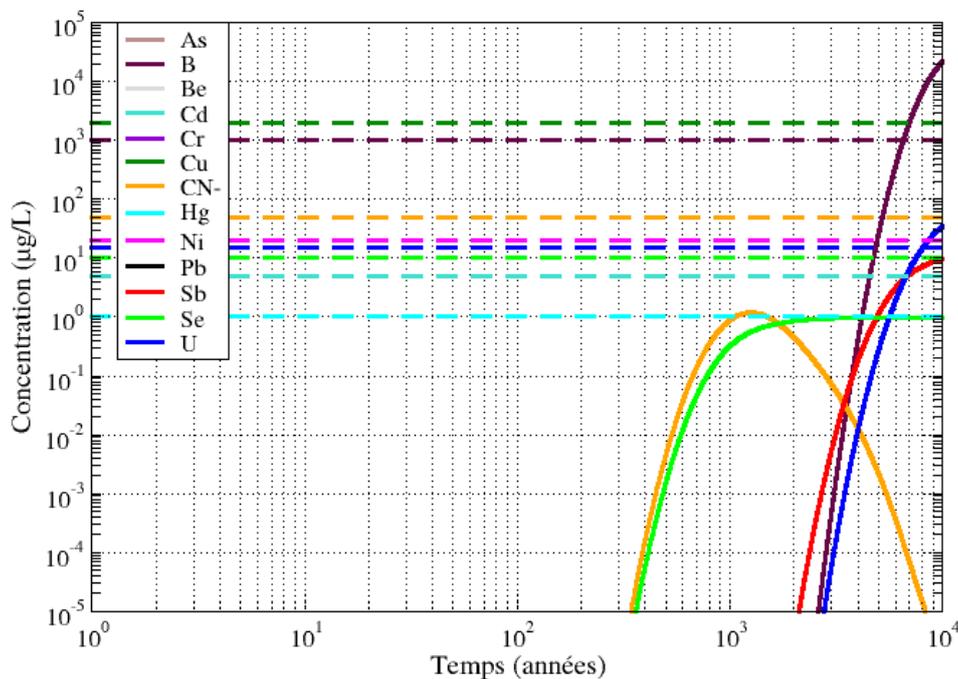


Figure 4.2-34 Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Évolution des concentrations massiques en toxiques chimiques à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien » et seuils de potabilité selon NQE

La Figure 4.2-35 présente les graphes des historiques de QD du bore, de l'antimoine et de l'uranium pour la voie ingestion à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « adulte », pour le cas de sensibilité aux paramètres des argiles à Plicatules maximisant la voie nappe, à l'échelle du stockage.

Le Tableau 4.2-36 présente les valeurs maximales de QD/ERI et la date d'occurrences de ces maxima pour le bore, l'antimoine et l'uranium.

Pour la voie ingestion, le QD du bore (11) dépasse la limite admissible de 5 à partir d'environ 8 500 ans. Le QD de l'uranium (5) est au niveau de cette limite, celui de l'antimoine (0,7) restant en deçà.

Pour la voie inhalation, les QD restent très en-dessous des limites.

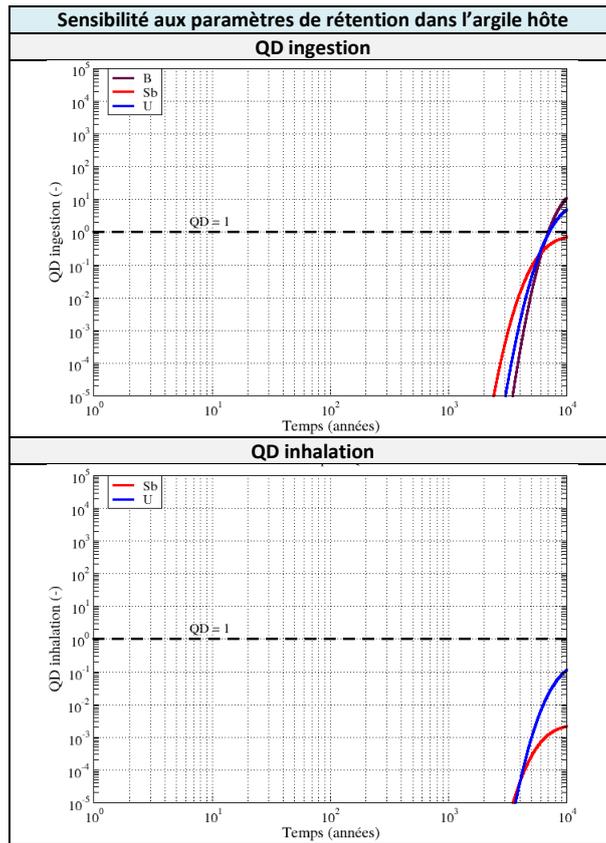


Figure 4.2-35

Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – Evolution des QD du bore, de l'antimoine et de l'uranium à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « adulte »

Tableau 4.2-36

Sensibilité aux paramètres de rétention dans les argiles à Plicatules – QD/ERI maximaux à l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », pour le groupe de référence « villageois » et la classe d'âge « adulte »

TC	QD ingestion max. [-]	QD inhalation max. [-]	ERI ingestion max. [-]	ERI inhalation max. [-]	Temps des QD/ERI max. [ans]
B	1,1 ^E +01	---	---	---	1,0 ^E +04
Sb	7,1 ^E -01	2,2 ^E -03	---	---	1,0 ^E +04
U	5,0 ^E +00	1,1 ^E -01	---	---	1,0 ^E +04

4.2.2.3 Étude de sensibilité des impacts toxicologiques aux paramètres des argiles à Plicatules visant à maximiser les transferts des solutés par la voie latérale vers l'exutoire « sol contaminé »

Exutoires « Sol contaminé »

Concentrations en toxiques chimiques dans le sol contaminé

Le Tableau 4.2-37 présente, par toxique chimique, et pour le cas de **sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules**, les valeurs maximales de référence et les teneurs évaluées dans le sol contaminé, pour la tranche 1 et les tranches 2/3 du stockage, pour les deux exutoires considérés : « Sol contaminé sur 10 m – jardin potager » et « Sol contaminé sur 100 m – multi-activités ».

Tableau 4.2-37 Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Valeurs de référence et valeurs évaluées des teneurs en toxiques chimiques dans le sol naturel/contaminé (mg/kg de sol sec)

Toxique	Teneur maximale mesurée sur site FA-VL (mg/kg sec)	Guide ASPITET teneur maximale (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 1 sol contaminé sur 10 m (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 1 sol contaminé sur 100 m (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 2 sol contaminé sur 10 m (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 2 sol contaminé sur 100 m (mg/kg sec)
As	8,41 ^{E+01}	2,50 ^{E+01}	6,0 ^{E-02}	6,6 ^{E-03}	6,1 ^{E-03}	6,8 ^{E-04}
B	1,10 ^{E+02}	-	1,2 ^{E+01}	2,9 ^{E+00}	1,0 ^{E+01}	2,4 ^{E+00}
Be	2,97 ^{E+00}	-	1,1 ^{E-09}	1,3 ^{E-10}	< 1 ^{E-12}	< 1 ^{E-12}
Cd	8,20 ^{E-01}	4,50 ^{E-01}	1,2 ^{E-02}	2,3 ^{E-03}	2,6 ^{E-03}	5,0 ^{E-04}
Cr	2,19 ^{E+02}	9,00 ^{E+01}	1,9 ^{E-09}	4,1 ^{E-10}	< 1 ^{E-12}	< 1 ^{E-12}
Cu	1,93 ^{E+01}	2,00 ^{E+01}	4,1 ^{E-06}	5,9 ^{E-07}	1,6 ^{E-05}	2,5 ^{E-06}
CN	-	-	< 1 ^{E-12}	< 1 ^{E-12}	3,5 ^{E-05}	9,7 ^{E-06}
Hg	-	1,00 ^{E-01}	4,3 ^{E-05}	1,2 ^{E-05}	2,3 ^{E-05}	6,4 ^{E-06}
Ni	1,37 ^{E+02}	6,00 ^{E+01}	3,7 ^{E-02}	9,0 ^{E-03}	1,5 ^{E-02}	3,7 ^{E-03}
Pb	4,35 ^{E+01}	5,00 ^{E+01}	2,4 ^{E-02}	2,5 ^{E-03}	5,6 ^{E-03}	5,8 ^{E-04}
Sb	2,07 ^{E+00}	-	1,7 ^{E+00}	4,7 ^{E-01}	1,9 ^{E-01}	5,1 ^{E-02}
Se	-	7,00 ^{E-01}	1,9 ^{E-01}	2,5 ^{E-02}	1,0 ^{E-01}	1,4 ^{E-02}
U	1,22 ^{E+01}	-	2,1 ^{E+01}	5,7 ^{E+00}	1,1 ^{E+01}	3,1 ^{E+00}

La concentration maximale en uranium évaluée dans le sol contaminé sur 10 m est supérieure à la valeur de référence à l'échelle de la tranche 1.

Les impacts toxicologiques correspondant (QD) doivent donc être évalués.

En l'absence de valeur de référence pour le cyanure, les impacts sanitaires ont systématiquement été évalués pour ce toxique. Pour les voies ingestion et inhalation, les quotients de danger maximaux évalués aux exutoires « sol contaminé » à l'échelle de la tranche 1 et de la tranche 2 sont très inférieurs -de plus de 8 ordres de grandeur- au seuil sanitaire de 1.

Groupe de référence « jardin potager », sur une largeur de contamination de 10 m (SEN)

Impacts toxicologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-36 présente les graphes des historiques de QD de l'uranium pour les voies ingestion et inhalation à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « adulte », pour le cas de sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules, à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Le Tableau 4.2-38 présente les valeurs maximales de QD/ERI et la date d'occurrences de ces maxima pour l'uranium.

La sensibilité aux paramètres hydro-dispersifs des argiles à Plicatules (perméabilité divisée par 10 à 10^{-11}m.s^{-1} , coefficient de diffusion effective divisé par 3) conduit à une augmentation à long terme des impacts toxicologiques de l'uranium associés à la voie latérale « sol contaminé ».

À l'échelle de la tranche 1 du stockage, pour la voie ingestion, le maximum du QD de l'uranium (5,8) dépasse le seuil sanitaire de 1.

Pour la voie inhalation, le maximum du QD de l'uranium (0,5) reste en-dessous du seuil sanitaire de 1.

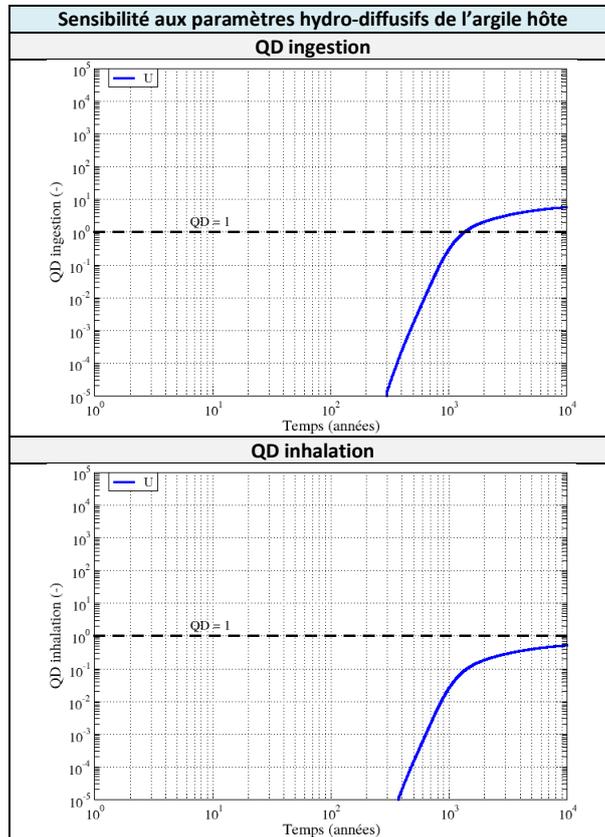


Figure 4.2-36

Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des QD de l'uranium à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »

Tableau 4.2-38

Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – QD/ERI maximaux à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »

TC	QD ingestion max. [-]	QD inhalation max. [-]	ERI ingestion max. [-]	ERI inhalation max. [-]	Temps des QD/ERI max. [ans]
U	5,8 ^E +00	5,2 ^E -01	---	---	1,0 ^E +04

4.2.2.4 Étude de sensibilité des impacts toxicologiques à la performance de la couverture

En sensibilité, il est considéré, au-delà de 300 ans, une infiltration d'eau atteignant une centaine de litres par an et par mètre carré, modélisée par une perméabilité à l'eau 30 fois supérieure à celle de l'argile hôte, soit 3.10^9 m.s^{-1} .

Cette étude n'est appliquée que par rapport au SEN.

Exutoires « Sol contaminé »

Concentrations en toxiques chimiques dans le sol contaminé

Le Tableau 4.2-39 présente, par toxique chimique, et pour le cas de **sensibilité à la perméabilité de la couverture**, les valeurs maximales de référence et les teneurs évaluées dans le sol contaminé, pour les tranches 1 et 2/3 du stockage et pour les deux exutoires considérés : « Sol contaminé sur 10 m – jardin potager » et « Sol contaminé sur 100 m – multi-activités ».

Tableau 4.2-39 Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Valeurs de référence et valeurs évaluées des teneurs en toxiques chimiques dans le sol naturel/contaminé (mg/kg de sol sec)

Toxique	Teneur maximale mesurée sur site FA-VL (mg/kg sec)	Guide ASPITET teneur maximale (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 1 sol contaminé sur <u>10 m</u> (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 1 sol contaminé sur <u>100 m</u> (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 2 sol contaminé sur <u>10 m</u> (mg/kg sec)	Teneur max, calculée tranche 2 sol contaminé sur <u>100 m</u> (mg/kg sec)
As	8,41 ^{E+01}	2,50 ^{E+01}	4,4 ^{E-01}	5,0 ^{E-02}	1,0 ^{E-02}	1,2 ^{E-03}
B	1,10 ^{E+02}	-	2,8 ^{E+00}	6,8 ^{E-01}	9,8 ^{E+00}	2,4 ^{E+00}
Be	2,97 ^{E+00}	-	5,2 ^{E-10}	6,3 ^{E-11}	< 1 ^{E-12}	< 1 ^{E-12}
Cd	8,20 ^{E-01}	4,50 ^{E-01}	1,0 ^{E-01}	2,1 ^{E-02}	3,1 ^{E-03}	5,8 ^{E-04}
Cr	2,19 ^{E+02}	9,00 ^{E+01}	1,6 ^{E-09}	3,3 ^{E-10}	< 1 ^{E-12}	< 1 ^{E-12}
Cu	1,93 ^{E+01}	2,00 ^{E+01}	2,5 ^{E-07}	3,7 ^{E-08}	6,5 ^{E-07}	9,7 ^{E-08}
CN	-	-	< 1 ^{E-12}	< 1 ^{E-12}	3,4 ^{E-05}	9,4 ^{E-06}
Hg	-	1,00 ^{E-01}	2,8 ^{E-03}	7,9 ^{E-04}	5,5 ^{E-07}	1,5 ^{E-07}
Ni	1,37 ^{E+02}	6,00 ^{E+01}	1,7 ^{E+01}	4,7 ^{E+00}	7,3 ^{E-04}	1,8 ^{E-04}
Pb	4,35 ^{E+01}	5,00 ^{E+01}	2,6 ^{E+01}	2,8 ^{E+00}	2,8 ^{E-04}	2,9 ^{E-05}
Sb	2,07 ^{E+00}	-	1,4 ^{E+01}	4,0 ^{E+00}	2,2 ^{E-01}	5,5 ^{E-02}
Se	-	7,00 ^{E-01}	1,4 ^{E-01}	1,8 ^{E-02}	9,1 ^{E-02}	1,2 ^{E-02}
U	1,22 ^{E+01}	-	1,6 ^{E+01}	4,5 ^{E+00}	1,2 ^{E+01}	3,2 ^{E+00}

À l'échelle de la tranche 1, les concentrations maximales en antimoine évaluées dans le sol contaminé sur 10 m et le sol contaminé sur 100 m sont supérieures à la valeur de référence.

C'est aussi le cas pour l'uranium dans le sol contaminé sur 10 m.

Les impacts toxicologiques correspondant (QD) doivent donc être évalués.

En l'absence de valeur de référence pour le cyanure, les impacts sanitaires ont systématiquement été évalués pour ce toxique. Pour les voies ingestion et inhalation, les quotients de danger maximaux évalués aux exutoires « sol contaminé » à l'échelle de la tranche 1 et de la tranche 2 sont très inférieurs -de plus de 8 ordres de grandeur- au seuil sanitaire de 1.

Groupe de référence « jardin potager », sur une largeur de contamination de 10 m (SEN)

Impacts toxicologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-37 présente les graphes des historiques de QD de l'antimoine et de l'uranium pour les voies ingestion et inhalation à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager », et la classe d'âge « adulte », pour le cas de sensibilité à la perméabilité de couverture ($K=3.10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$), à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Le Tableau 4.2-40 présente les valeurs maximales de QD/ERI et la date d'occurrences de ces maxima pour l'antimoine et l'uranium.

L'augmentation de la perméabilité de la couverture argileuse en phase de post-surveillance augmente le contraste de perméabilité avec l'argile hôte, et favorise la migration par la voie latérale (« effet baignoire»), ce qui se traduit par des impacts toxiques pour les exutoires « sol contaminé » augmentés et avancés dans le temps par rapport au cas de référence.

À l'exutoire « Sol contaminé » pour le groupe de référence « jardin potager », et pour la voie ingestion, les QD de l'uranium (environ 5) et de l'antimoine (4) dépassent le seuil sanitaire de 1.

Ces valeurs sont atteintes à moyen terme (après 1 000 ans) pour l'uranium, et à 10 000 ans pour l'antimoine.

Pour la voie inhalation, les QD maximum de l'uranium et de l'antimoine restent en-deçà des seuils sanitaires.

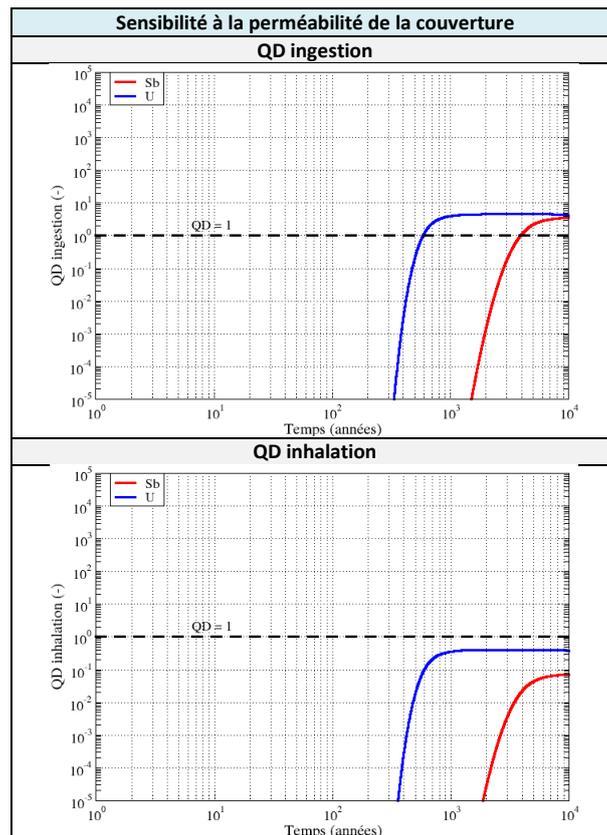


Figure 4.2-37

Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des QD de l'antimoine et de l'uranium à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »

Tableau 4.2-40 *Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – QD/ERI maximaux à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 10 m », pour le groupe de référence « jardin potager » et la classe d'âge « adulte »*

TC	QD ingestion max. [-]	QD inhalation max. [-]	ERI ingestion max. [-]	ERI inhalation max. [-]	Temps des QD/ERI max. [ans]
Sb	3,6 ^E +00	7,1 ^E -02	---	---	1,0 ^E +04
U	4,6 ^E +00	4,1 ^E -01	---	---	5,2 ^E +03

Groupe de référence « multi-activités », sur une largeur de contamination de 100 m (SEN)

Impacts toxicologiques à l'échelle de la tranche 1 du stockage

La Figure 4.2-38 présente les graphes des historiques de QD de l'antimoine pour les voies ingestion et inhalation à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités », et la classe d'âge « adulte », pour le cas de sensibilité à la perméabilité de la couverture ($K=3.10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$), à l'échelle de la tranche 1 du stockage.

Le Tableau 4.2-41 présente les valeurs maximales de QD/ERI et la date d'occurrences de ces maxima pour l'antimoine.

Pour la voie ingestion, le QD de l'antimoine atteint 0,1, en-deçà du seuil sanitaire de 1.

Pour la voie inhalation, le QD de l'antimoine atteint 0,02, en-deçà du seuil sanitaire de 1.

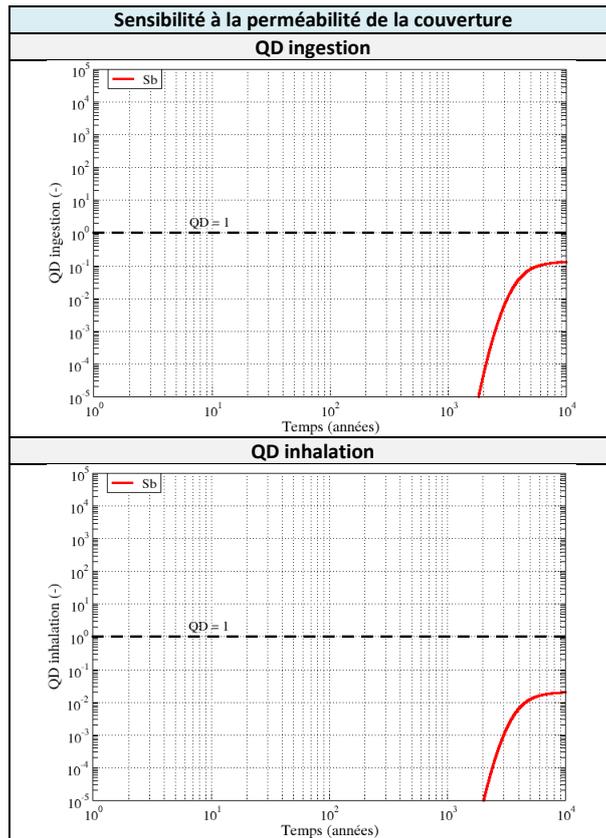


Figure 4.2-38

Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – Évolution des QD de l'antimoine à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »

Tableau 4.2-41

Sensibilité à la perméabilité de la couverture en phase de post-surveillance – Évaluation à l'échelle Tranche 1 – QD/ERI maximaux à l'exutoire « Sol contaminé sur une largeur de 100 m », pour le groupe de référence « multi-activités » et la classe d'âge « adulte »

TC	QD ingestion max. [-]	QD inhalation max. [-]	ERI ingestion max. [-]	ERI inhalation max. [-]	Temps des QD/ERI max. [ans]
Sb	1,3 ^E -01	2,0 ^E -02	---	---	1,0 ^E +04

4.2.2.5 Étude de sensibilité des impacts toxicologiques à des dispositions d'exploitation visant à limiter les impacts latéraux des Tranches 2 et 3 du stockage

Comme expliqué au § 3.4.5, cette sensibilité est basée sur les paramètres des sensibilités enveloppes maximisant les voies de transferts latérales, soit la sensibilité aux paramètres de solubilité dans la grave calcaire, aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules, et à la performance de la couverture.

Les résultats ne sont présentés que pour les scénarios « sol contaminé », sachant que la redistribution de l'inventaire en uranium au sein de la tranche est quasiment sans effet sur les impacts liés à la voie de transfert verticale et les scénarios associés.

Exutoires « Sol contaminé »

Concentrations en toxiques chimiques dans le sol contaminé

Le Tableau 4.2-42 présente pour les trois cas de **sensibilité maximisant les transferts par la voie latérale** (« effet baignoire ») **avec limitation de l'inventaire en uranium dans l'alvéole de bord (est) de la tranche 2 du stockage**, les valeurs maximales de référence et les teneurs en uranium évaluées dans le sol contaminé, pour les deux exutoires considérés : « Sol contaminé sur 10 m - jardin potager » et « Sol contaminé sur 100 m - multi-activités ».

Tableau 4.2-42 Sensibilité aux dispositions d'exploitation de la Tranche 2 – Valeurs de référence et valeurs évaluées des teneurs en uranium dans le sol naturel/contaminé (mg/kg de sol sec) pour les trois sensibilités maximisant la voie latérale avec limitation de l'inventaire en uranium dans l'alvéole de bord

Sensibilité aux paramètres de solubilité dans la grave calcaire des alvéoles			
	Teneur maximale mesurée sur site FA-VL (mg/kg sec)	Teneur max, calculée, tranche 2 sol contaminé sur <u>10 m</u> (mg/kg sec)	Teneur max, calculée, tranche 2 sol contaminé sur <u>100 m</u> (mg/kg sec)
U	1,2 ^E +01	6,2 ^E +00	1,7 ^E +00
Sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs des argiles à Plicatules			
	Teneur maximale mesurée sur site FA-VL (mg/kg sec)	Teneur max, calculée, tranche 2 sol contaminé sur <u>10 m</u> (mg/kg sec)	Teneur max, calculée, tranche 2 sol contaminé sur <u>100 m</u> (mg/kg sec)
U	1,2 ^E +01	1,1 ^E +01	3,1 ^E +00
Sensibilité à la performance de la couverture			
	Teneur maximale mesurée sur site FA-VL (mg/kg sec)	Teneur max, calculée, tranche 2 sol contaminé sur <u>10 m</u> (mg/kg sec)	Teneur max, calculée, tranche 2 sol contaminé sur <u>100 m</u> (mg/kg sec)
U	1,2 ^E +01	1,1 ^E +01	3,0 ^E +00

En limitant l'inventaire en uranium de l'alvéole de bord, la concentration maximale en uranium évaluée dans le sol contaminé sur 10 m ou 100 m est inférieure à la valeur de référence pour les trois sensibilités favorisant la voie latérale.

Les impacts toxicologiques de l'uranium (QD) ne sont donc pas évalués.

5. Synthèse des impacts radiologiques et toxicologiques et enseignements

5.1 Le cas de référence

Le cas de référence considéré prend en compte une durée de vie de la couverture argileuse définitive de 300 ans, avec une dégradation progressive de ses performances à partir de 50 ans après la fermeture du stockage. La perméabilité de la couverture argileuse passe ainsi de $10^{-10} \text{ m.s}^{-1}$ à 10^{-9} m.s^{-1} .

5.1.1 Les impacts radiologiques

Le Tableau 5.1-1 ci-dessous synthétise les impacts radiologiques pour les différents cas traités, en présentant les maxima des courbes de cumul de doses aux différents exutoires.

Tableau 5.1-1 *Cas de référence - Synthèse des impacts radiologiques évalués aux différents exutoires (maxima des courbes de cumul de doses)*

Exutoire	Dose max. Adulte [mSv/an]	Dose max. Enfant de 10 ans [mSv/an]	Dose max. Enfant de 1 an [mSv/an]	Type de scénario (objectif de protection [mSv/an])
Pompage dans le Barrémien	3,7	5,8	5,8	SEA (10)
Pompage dans la rivière des Noues d'Amance	4.10^{-4}	7.10^{-4}	8.10^{-4}	SEN (0,25)
Sol contaminé sur 10 m (jardin potager) à proximité de la tranche 2 ou 3	0,04	0,04	0,06	SEN (0,25)
Sol contaminé sur 100 m (multi-activités) à proximité de la tranche 2 ou 3	0,01	0,01	0,02	SEN (0,25)
Sol contaminé sur 10 m (jardin potager) à proximité de la tranche 1	0,02	0,02	0,03	SEN (0,25)
Sol contaminé sur 100 m (multi-activités) à proximité de la tranche 1	5.10^{-3}	5.10^{-3}	6.10^{-3}	SEN (0,25)

Les cumuls de doses sont généralement maximaux pour la classe d'âge « enfant de 1 an ».

Les principaux résultats sont les suivants :

- Pour l'exutoire « Pompage dans le Barrémien », les doses maximales sont pilotées à moyen terme (1 200 ans) par les radionucléides mobiles iode 129, chlore 36 et dans une moindre mesure par le carbone 14. Le maximum de la courbe des doses cumulées évaluées à l'échelle Cires s'établit à **5,8 mSv.an⁻¹**, en deçà de l'objectif de protection de 10 mSv.an⁻¹ (SEA).
- Les maxima de doses à l'exutoire « Pompage dans les Noues d'Amance » sont pilotés à moyen terme (1 300 ans) par les radionucléides mobiles iode 129, chlore 36 et carbone 14, et restent inférieurs au $\mu\text{Sv.an}^{-1}$, ce qui correspond à une marge d'environ 2 ordres de grandeur inférieure à l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹.

- Pour les exutoires « Sol contaminé », les doses maximales, évaluées localement pour chacune des tranches du stockage, sont pilotées (i) à court terme (avant 500 ans) par les radionucléides mobiles dans la grave calcaire et l'argile, technétium 99, carbone 14, iode 129 et chlore 36 ; (ii) à long terme, par les uraniums de la chaîne 4N+2 ^{234}U et ^{238}U et par le protactinium 231 (chaîne de filiation 4N+3). Pour la tranche 1 du stockage, la contribution long terme des actinides pilote la dose maximale, alors que les contributions court terme (technétium 99 et radionucléides mobiles) et long termes (actinides) sont sensiblement du même niveau pour la tranche 2.
- Les impacts radiologiques maximums pour la seule tranche 1 sont inférieurs à ceux des tranches 2 et 3 du stockage : l'effet de l'inventaire de l'alvéole de bord des tranches 2/3 (supérieur à celui de la tranche 1) est cependant en partie contrebalancé par une moindre épaisseur de couverture basale de la tranche 1 (7 m au lieu de 11 m).
- Pour le groupe de référence « jardin potager » (SEN, contamination sur une largeur de 10 m), le cumul de dose maximal est de **0,03** (tranche 1) et **0,06** (tranches 2/3) mSv.an⁻¹, soit environ 4 à 10 fois inférieur à l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹.
- Pour le groupe de référence « multi-activités », (sensibilité au SEN, contamination sur une largeur de 100 m), le cumul de dose maximal est au maximum de **0,02** mSv.an⁻¹ pour les tranches 2 et 3 du stockage, soit un ordre de grandeur inférieur à l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹.

5.1.2 Les impacts toxicologiques

Dans le cas de référence, pour tous les toxiques chimiques :

- les concentrations maximales évaluées dans les eaux pompées dans les exutoires « Pompage dans le Barrémien » et « Pompage dans la rivière des Noues d'Amance » restent inférieures aux seuils de potabilité.
- les teneurs maximales évaluées dans les sols contaminés (exutoires « Sol contaminé sur 10 - jardin potager » et « Sol contaminé sur 100 m - multi-activités ») restent également inférieures aux valeurs de référence des sols naturels.

Les impacts toxicologiques (QD/ERI) ne sont donc pas évalués, les objectifs de limitation de la contamination des eaux et des sols étant atteints.

5.2 Les études de sensibilité

5.2.1 Les impacts radiologiques

Le Tableau 5.2-1 ci-dessous résume les impacts radiologiques pour les différentes études de sensibilités traitées, en présentant les maxima des courbes de cumul de doses aux différents exutoires pour la classe d'âge « enfant de 1 an » (ou pour la classe d'âge « adulte » quand celle-ci présente un maximum supérieur, ce qui est le cas par exemple pour l'exutoire « sol contaminé sur 10 m », le groupe de référence « jardin potager », et les sensibilités à la sorption dans la grave calcaire et à la perméabilité de la couverture).

Pour l'étude de sensibilité dont le périmètre était limité aux scénarios SEN (étude de sensibilité à la performance de la couverture), le maximum relatif au scénario SEA est donné à titre indicatif en *italique* sur fond blanc.

Tableau 5.2-1 Synthèse des impacts radiologiques évalués pour les sensibilités étudiées aux différents exutoires (maxima des courbes de cumul de doses)

Exutoire	Dose cumulée maximale [mSv.an ⁻¹]								
	Scénario de référence pour les études de sûreté (inventaire margé)	Paramètres de sorption (Kd) dans la grave calcaire dégradés	Paramètres de solubilité (C _{sat}) dans la grave calcaire dégradés	Paramètres de l'argile à Plicatules favorisant la voie nappe	Paramètres de l'argile à Plicatules favorisant la voie latérale	Performance de la couverture (K 3.10 ⁻⁹ au lieu de 10 ⁻⁹ m.s ⁻¹)	Paramètres de solubilité (C _{sat}) dans la grave calcaire dégradés et inv. U/Pa/Tc99 limité dans alv. 24 & 34	Paramètres argile favorisant la voie latérale et inv. U/Pa/Tc99 limité dans alv. 24 & 34	Perméabilité de la couverture dégradée (3.10 ⁻⁹ au lieu de 10 ⁻⁹ m.s ⁻¹) et inv. U/Pa/Tc99 limité dans alv. 24 & 34
Pompage dans le Barrémien (SEA)	5.8	6.0	5.8	5.8	0.20	5.8	5.8	0.20	5.8
Pompage dans les Noues d'Amance (SEN)	8. ^E -04	8. ^E -04	8. ^E -04	0.001	5. ^E -04	9. ^E -04	8. ^E -04	5. ^E -04	9. ^E -04
Sol contaminé sur 10 m – Jardin potager (SEN) à proximité de la tranche 2 ou 3	0.06	0.10*	0.12	0.06	0.28	0.43*	0.05	0.26	0.22
Sol contaminé sur 100 m – Multi-activités (SEN) à proximité de la tranche 2 ou 3	0.02	0.02	0.03	0.02	0.09	0.09*	0.02	0.09	0.08
Sol contaminé sur 10 m – Jardin potager (SEN) à proximité de la tranche 1	0,03	0,04	0,05	0,03	0,12	0,10	-	-	-
Sol contaminé sur 100 m – Multi-activités (SEN) à proximité de la tranche 1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	-	-	-

- Dose maximale pour la classe d'âge « adulte »

L'analyse des résultats met en évidence les points suivants :

- Les écarts entre les impacts évalués pour le cas de référence et les différentes études de sensibilités restent limités, toujours inférieurs à un ordre de grandeur. Aucun effet de seuil n'est observé sur les indicateurs considérés avec l'exploration des bornes d'incertitude sur les paramètres de rétention et les paramètres hydro-dispersifs des différents matériaux.
- Les impacts par transfert via l'argile hôte vers la nappe du Barrémien (exutoire « Pompage dans le Barrémien ») sont pilotés par les radionucléides mobiles, insensibles à la géochimie des argiles à Plicatules, à l'exception du molybdène 93 : la prise en compte de valeurs minimales de rétention pour cet élément augmente et avance dans le temps son maximum de dose, mais n'affecte pas le maximum de dose cumulé qui intervient plus tôt (vers 1 300 ans) ;

Dans tous les cas les impacts par transfert via l'argile hôte ne dépassent pas environ 6 mSv.an⁻¹, sous les 10 mSv.an⁻¹ de l'objectif de protection.

- Les impacts par transfert latéral et débordement des alvéoles de bord de plate-forme (« effet baignoire ») sont sensibles (i) à la géochimie de la grave calcaire dans les alvéoles qui limite le transfert latéral, et particulièrement à la limite de solubilité (C_{sat}), (ii) au contraste de perméabilité entre la couverture argileuse et l'argile hôte.

Des valeurs minimales des paramètres de solubilité (C_{sat}) dans la grave calcaire conduisent à des doses maximales « Sol contaminé sur 10 m » qui restent inférieures (d'un facteur au moins 2) à l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹ : maximum de **0,05 mSv.an⁻¹** pour la tranche 1 du stockage, et de **0,12 mSv.an⁻¹** pour les tranches 2 et 3.

La prise en compte d'une borne inférieure de la conductivité hydraulique des argiles à Plicatules (10⁻¹¹ m.s⁻¹ au lieu de 10⁻¹⁰ m.s⁻¹) conduit à des doses maximales « Sol contaminé sur 10 m » de **0,12 mSv.an⁻¹** pour la tranche 1 du stockage, et de **0,28 mSv.an⁻¹** pour les tranches 2 et 3, légèrement au-dessus de l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹.

De même une performance dégradée de la couverture (conductivité hydraulique de 3.10⁻⁹ m.s⁻¹ au lieu de 10⁻⁹ m.s⁻¹), accentuant le contraste de perméabilité avec l'argile hôte, augmente les impacts liés au transfert latéral d'un facteur 4 à 8, jusqu'à un maximum de **0,43 mSv.an⁻¹** pour le groupe de référence « jardin potager » et les tranches 2 et 3 du stockage (**0,10 mSv.an⁻¹** pour la tranche 1).

Les dispositions d'exploitation limitant l'inventaire en uranium, technétium et protactinium des alvéoles de bord des tranches 2 et 3 permettent de réduire les impacts radiologiques maximums par transfert latéral et débordement en-dessous ou au niveau de l'objectif de protection de 0,25 mSv.an⁻¹.

- Les impacts maximums par transfert latéral et débordement sont pilotés à long terme par les actinides (uraniums) et le protactinium 231 (issu par filiation de l'uranium 235) pour la tranche 1 du stockage et, suivant les études de sensibilité, par ces mêmes radionucléides à long terme ou par le technétium 99 et les autres radionucléides mobiles à court terme pour les tranches 2 et 3 du stockage.

5.2.2 Les impacts toxicologiques

L'analyse des résultats met en évidence les points suivants :

Impacts par transfert vertical dans l'argile hôte :

- Les concentrations en **bore**, **antimoine** et **uranium** dans les eaux captées à l'exutoire « **Pompage dans le Barrémien** » dépassent les seuils de potabilités pour l'étude de sensibilité aux paramètres de rétention (Kd) dans les argiles à Plicatules (Figure 4.2-34), et conduisent donc à évaluer les QD.

Pour cette sensibilité et la voie ingestion, le QD du **bore** (11) dépasse l'objectif de protection de 5 (SEA), ceux de l'uranium (5) et de l'antimoine (0,7) sont respectivement au niveau et en-deçà de cette limite.

- Pour toutes les sensibilités étudiées, les concentrations dans les eaux pompées à l'exutoire « **Pompage dans la rivière des Noues d'Amance** » sont inférieures aux seuils de potabilité pour tous les toxiques chimiques. En conséquence les QD et ERI ne sont pas calculés.

Impacts par transfert latéral (« effet baignoire ») :

- Pour les exutoires « **sol contaminé** » et la **tranche 1** du stockage, la teneur maximale en **antimoine** dans le sol dépasse la valeur de référence pour :
 - o L'étude de sensibilité à la solubilité dans la grave calcaire pour le sol contaminé sur 10 m et le groupe de référence « jardin potager ». Pour cette étude, le QD maximal de **l'antimoine** pour la voie ingestion dépasse légèrement le seuil sanitaire (env. 1,2) à 10 000 ans (§-4.2.2.1).
 - o L'étude de sensibilité à la performance de la couverture, pour le sol contaminé sur 10-m et le groupe de référence « jardin potager » et pour le sol contaminé sur 100 m et le groupe de référence « multi-activités ». Pour la contamination sur 10 m, le QD maximal de **l'antimoine** pour la voie ingestion dépasse le seuil sanitaire (env. 4) à 10 000 ans (§-4.2.2.4).
- Pour les exutoires « **sol contaminé** » et la **tranche 1** du stockage, la teneur maximale en **uranium** dans le sol dépasse la valeur de référence pour :
 - o L'étude de sensibilité aux paramètres hydro-diffusifs de l'argile favorisant la voie latérale pour le sol contaminé sur 10 m et le groupe de référence « jardin potager ». Pour cette étude, le QD maximal de **l'uranium** pour la voie ingestion dépasse le seuil sanitaire (env. 6) à 10 000 ans (§-4.2.1.3).
 - o L'étude de sensibilité à la performance de la couverture, pour le sol contaminé sur 10 m et le groupe de référence « jardin potager ». Pour cette étude le QD maximal de **l'uranium** pour la voie ingestion culmine à environ 5 à 5 000 ans, au-dessus du seuil sanitaire (§-4.2.2.4).

Ces résultats, qui dépassent les objectifs en termes de QD, sont toutefois à mettre en perspective avec les hypothèses conservatives prises en compte dans les évaluations et plus particulièrement :

- la prise en compte pour les transferts par l'eau d'un modèle de relâchement labile pour la totalité de l'inventaire contenu dans les déchets. Cette hypothèse est très pénalisante pour le bore, dont une part significative de l'inventaire est associé à du carbure de bore (B4C), qui est un matériau peu soluble, ainsi qu'à du béton boré, pour lequel de la rétention pourrait être valorisée, limitant d'autant le transfert vers la nappe. De la même manière, l'essentiel de la masse d'antimoine est lié aux écrans et blindages en plomb, utilisés sur les installations nucléaires à des fins de protection radiologique. Il s'agit d'objets massifs, souvent de fortes épaisseurs, dont la libération potentielle sera progressive au cours du temps en lien avec les phénomènes de corrosion ;

- les hypothèses considérées dans les études de sensibilités, notamment dans le cas de la sensibilité des paramètres hydro-dispersifs de l'argile pour favoriser le transfert latéral, sont très pénalisantes par rapport au retour d'expérience disponible sur ces argiles, ce qui majore fortement le contraste de perméabilité avec l'argile de couverture supposée dégradée, et donc l'impact associé ;
- l'impact est évalué en considérant un groupe hypothétique de référence constitué de personnes vivant en autarcie au niveau des exutoires.

Dans ces conditions, les résultats des études de sensibilité, bien que présentant des QD supérieurs à l'objectif retenu ne sont pas jugés comme inacceptables au regard des conservatismes mentionnés ci-avant.

Malgré le caractère conservatif de ces évaluations, il est proposé de mettre en œuvre pour les tranches 2 et 3 des dispositions d'exploitation destinées à limiter les inventaires stockés dans les alvéoles de bord, notamment en uranium, afin de limiter les impacts associés.

- Pour les exutoires « **sol contaminé** » et la **tranche 2** du stockage, la teneur maximale en **uranium** dans le sol dépasse la valeur de référence pour :
 - o L'étude de sensibilité à la solubilité dans la grave calcaire pour le sol contaminé sur 10 m et le groupe de référence « jardin potager ». Pour cette étude, le QD maximal de **l'uranium** pour la voie ingestion atteint environ 6 vers 8 000 ans, au-delà du seuil sanitaire de 1 (§-4.2.2.1).
- Pour les exutoires « **sol contaminé** » et la **tranche 2** du stockage, les études de sensibilité aux dispositions d'exploitation réduisant l'inventaire en **uranium** dans les alvéoles de bord, conduisent à une teneur maximale en **uranium** dans le sol inférieure à la valeur de référence, et ceci pour les trois sensibilités favorisant la voie latérale (§-4.2.2.5).

6. Annexes

6.1 Répartition de l'inventaire radiologique stocké au 31 décembre 2019

Le Tableau 6.1-1 présente, en pourcentage de l'activité totale, la répartition par alvéole de l'inventaire radiologique stocké au 31 décembre 2019 en chacun des 46 radionucléides considérés pour les évaluations de sûreté. Les demi-alvéoles (n° 1 à 6) sont regroupés deux à deux, conformément à la modélisation retenue. Il est rappelé qu'à cette date, seuls les alvéoles n°1 à 17 étaient fermés. L'alvéole n°18 a été fermé le 22 janvier 2020, donc son inventaire était quasi complet au 31 décembre 2019. En revanche l'alvéole 19, ouvert le 15 octobre 2019, était loin d'être rempli.

Tableau 6.1-1 Répartition de l'inventaire radiologique stocké au 31 décembre 2019 par radionucléide et par alvéole de stockage

RN	TRANCHE 1												TRANCHE 2				
	1+2	3+4	5+6	8	10	12	14	7	9	11	13	15	16	17	18	19	50
Ac227	0,0	0,1	0,0	10,6	10,4	35,7	1,8	0,9	9,7	15,4	4,6	3,5	1,5	1,2	4,6	0,0	0,0
Ag108m	7,0	5,7	1,6	2,0	2,1	2,0	10,1	1,1	0,3	3,6	14,7	5,4	14,2	15,2	11,3	0,1	3,7
Al26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	47,0	23,7	22,6	0,0	6,1
Am241	4,2	4,1	1,5	2,8	3,1	5,1	14,1	2,2	1,4	3,7	9,6	9,2	9,6	12,7	12,1	0,4	4,1
Am243	0,1	0,2	1,8	1,0	2,7	7,3	3,9	1,2	1,0	2,9	10,1	10,1	6,2	22,6	24,6	4,3	0,0
Be10	0,1	0,1	0,4	9,9	0,4	1,2	0,4	0,3	9,4	0,9	2,0	1,4	40,3	16,8	13,0	0,0	3,4
C14	1,4	5,6	5,5	4,1	2,9	2,0	6,8	13,8	1,9	4,1	5,4	24,0	3,5	6,4	2,3	0,0	10,0
Ca41	0,8	35,5	5,4	8,8	3,9	0,2	0,3	15,0	5,5	3,3	0,1	2,3	0,8	7,0	1,9	0,0	8,9
Cl36	0,0	1,7	0,9	10,6	3,5	0,1	1,8	2,9	5,2	0,3	5,8	3,5	2,1	12,8	2,6	0,0	46,3
Cm244	0,8	2,2	2,6	4,3	3,8	10,0	7,5	2,7	2,1	7,5	10,6	13,9	8,2	14,4	7,8	0,1	1,4
Cm245	0,0	0,0	0,0	0,9	1,4	0,6	1,3	0,0	0,9	9,1	1,6	1,7	7,8	15,6	52,2	4,5	2,3
Cm246	0,0	0,0	0,0	0,4	2,1	1,6	2,4	0,0	1,2	59,1	0,6	3,1	8,4	3,9	17,2	0,0	0,0
Cs135	0,9	1,0	1,4	39,2	1,1	4,2	3,8	1,1	2,3	1,8	28,6	1,7	3,7	4,3	3,7	0,0	1,1
Cs137	6,7	10,6	5,2	3,4	5,1	7,1	9,4	4,4	3,9	10,6	13,3	5,4	4,4	5,0	4,2	0,1	1,2
H3	28,8	4,7	2,4	8,4	1,3	4,3	1,9	4,8	4,2	1,8	3,6	3,3	7,4	5,8	14,2	0,2	3,0
I129	0,0	0,0	0,0	0,2	12,3	19,5	5,1	0,0	34,1	1,0	3,0	8,0	0,0	9,2	7,6	0,1	0,0
K40	62,1	0,7	0,1	27,7	0,4	0,3	0,7	2,9	0,2	0,2	0,9	0,2	0,3	3,1	0,3	0,0	0,1
Mo93	0,0	0,0	0,0	0,5	0,2	0,0	6,2	0,1	0,2	0,0	29,0	13,0	30,8	8,1	9,3	0,0	2,6
Nb93m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,8	63,7	16,1	18,8	0,0	0,1
Ni59	0,3	0,1	0,1	14,2	0,2	0,2	0,8	0,1	12,9	0,1	2,1	1,8	33,4	17,8	11,3	0,0	4,5
Ni63	0,2	0,4	0,9	14,1	0,9	4,0	3,5	3,8	6,0	0,2	1,8	3,8	4,0	5,9	3,9	0,0	46,6
Np237	0,1	8,4	6,0	0,2	0,3	5,0	1,0	1,5	0,2	6,5	43,4	16,1	1,7	1,0	8,4	0,2	0,0
Pa231	0,2	0,1	0,0	10,6	11,3	34,5	2,1	0,9	9,5	15,0	4,5	3,5	1,5	1,4	4,7	0,0	0,0
Pb210	1,6	0,3	0,1	10,1	9,5	38,5	7,9	0,8	9,1	9,1	2,8	2,4	2,3	2,0	3,5	0,0	0,1
Pd107	0,4	0,1	0,3	0,3	3,0	12,4	4,8	0,5	0,7	2,0	37,5	4,2	15,4	8,8	8,5	0,0	1,1
Pu239	14,6	9,5	2,9	2,8	5,5	7,1	7,7	3,1	3,3	9,3	9,1	10,8	4,1	3,7	5,7	0,3	0,4

ACACI.NT.AEPS.23.0004/A

Pu240	2,6	10,8	2,1	4,0	7,5	8,7	8,4	2,9	3,2	6,6	12,7	10,4
Pu241	0,1	6,8	1,7	6,2	6,0	13,8	11,1	3,2	2,7	7,4	14,9	5,4
Pu242	0,0	0,3	0,4	1,1	2,3	3,8	2,0	0,9	1,3	2,2	4,3	1,6
Ra226	1,8	0,3	0,1	12,3	11,8	35,3	7,9	0,8	11,4	6,4	2,3	1,2
Ra228	5,9	1,5	0,5	9,8	10,0	38,8	0,8	1,5	8,8	7,8	3,3	3,2
Rb87	45,2	0,0	0,0	45,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Se79	0,2	0,2	0,2	0,1	0,6	0,8	0,5	0,3	2,3	0,7	90,9	0,1
Sn126	0,7	0,9	1,2	0,7	0,5	2,7	2,2	1,0	1,8	0,7	1,0	2,4
Sr90	7,3	3,0	3,7	6,6	3,0	5,6	11,2	4,9	3,2	6,1	12,8	6,7
Tc99	0,3	0,2	0,0	0,7	2,9	23,6	21,8	0,1	0,5	4,7	21,3	8,5
Th228	0,6	1,4	0,5	9,5	10,2	39,3	1,4	1,5	8,7	9,9	3,8	4,7
Th230	2,8	0,7	0,1	10,7	10,9	25,3	1,1	2,9	9,9	10,9	5,9	7,4
Th232	0,3	2,1	0,5	10,5	10,3	40,6	0,8	1,5	9,3	7,6	3,5	3,5
U233	95,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,5	0,4	0,2	0,3	1,0	0,8	0,7
U234	3,8	6,8	6,5	7,4	10,0	5,2	5,5	6,3	14,6	7,0	6,3	4,4
U235	2,7	5,4	5,7	7,5	11,9	5,0	5,5	5,9	16,4	7,3	6,1	4,2
U236	4,1	2,3	4,5	4,7	7,8	6,6	6,1	4,7	7,7	13,9	9,8	12,0
U238	2,1	6,0	4,2	4,4	18,4	3,8	4,0	3,8	20,3	9,7	4,2	4,1
Zr93	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	8,9	0,1	0,1	0,1	0,3	80,9

5,4	4,6	6,8	0,4	2,8
7,5	6,9	5,7	0,2	0,3
6,3	0,8	68,9	3,8	0,0
2,2	2,0	4,0	0,0	0,0
1,5	1,8	4,7	0,0	0,0
0,7	7,5	1,3	0,0	0,0
0,4	0,6	2,0	0,0	0,0
1,7	5,5	6,4	70,4	0,2
7,1	7,9	9,0	0,4	1,6
6,7	4,5	2,9	0,3	0,9
1,5	2,1	5,0	0,1	0,0
2,4	2,1	7,0	0,0	0,0
1,7	2,5	5,2	0,0	0,0
0,2	0,3	0,0	0,0	0,0
5,4	5,1	4,9	0,3	0,4
5,9	5,3	4,7	0,3	0,3
3,9	5,8	3,8	0,9	1,3
6,1	4,9	3,5	0,1	0,3
4,0	2,7	1,4	0,0	0,8

6.2 Répartition de l'inventaire toxicologique stocké au 31 décembre 2019

Le Tableau 6.1-1 présente, en pourcentage de la masse totale, la répartition par alvéole de l'inventaire toxicologique stocké au 31 décembre 2019 en chacun des 13 toxiques chimiques considérés pour les évaluations de sûreté. Les demi-alvéoles (n° 1 à 6) sont regroupés deux à deux, conformément à la modélisation retenue. Il est rappelé qu'à cette date, seuls les alvéoles n°1 à 17 étaient fermés. L'alvéole n°18 a été fermé le 22 janvier 2020, donc son inventaire était quasi complet au 31 décembre 2019. En revanche l'alvéole 19, ouvert le 15 octobre 2019, était loin d'être rempli.

Tableau 6.2-1 Répartition de l'inventaire toxicologique stocké au 31 décembre 2019 par toxique chimique et par alvéole de stockage

TC	TRANCHE 1												TRANCHE 2				
	1+2	3+4	5+6	8	10	12	14	7	9	11	13	15	19	17	16	18	50
As	4.9	6.1	1.7	16.3	0.0	8.0	11.0	0.0	0.7	7.1	15.6	5.6	0.0	0.3	8.1	14.1	0.0
B	6.2	7.3	7.7	14.3	5.8	5.9	5.5	7.3	7.2	6.4	6.8	1.2	0.8	5.8	6.8	3.7	1.3
Be	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	20.4	0.0	35.3	17.6	24.6	0.1
Cd	0.0	0.2	0.4	0.2	0.0	0.6	1.5	0.5	0.0	40.3	0.0	9.4	1.3	20.1	8.6	16.8	0.1
Cr	0.0	0.0	0.1	18.8	12.1	4.3	0.2	6.8	12.2	13.4	0.0	0.0	0.2	12.9	14.9	4.0	0.0
Cu	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	77.8
Hg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	32.8	0.0	0.0	14.8	0.8	3.3	0.0	1.6	9.0	13.9	0.0
Ni	0.0	0.0	0.1	18.3	11.7	4.7	0.0	6.7	11.9	13.2	0.2	0.4	0.2	12.9	14.9	4.7	0.0
Pb	8.0	4.2	6.7	8.3	2.7	5.6	8.3	3.4	5.0	4.6	7.7	6.9	0.1	7.7	9.9	10.4	0.4
Sb	0.0	0.0	0.0	12.4	0.6	8.6	6.7	0.0	1.0	1.9	19.4	4.6	0.0	8.8	2.5	33.4	0.0
Se	6.1	8.2	7.1	5.1	3.1	3.1	7.1	5.1	4.1	3.1	4.1	5.1	1.0	9.2	15.3	10.2	4.1
U	2.1	6.0	4.2	4.4	18.4	3.8	4.0	3.8	20.3	9.7	4.3	4.1	0.1	4.9	6.1	3.5	0.3

REFERENCES

- [1] Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R.1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique
- [2] Guide Ineris 2013 - Évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires. Démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées, réf. INERIS-DRC-12-125929-13162B



**AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION
DES DÉCHETS RADIOACTIFS**

1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
Tél. : 01 46 11 80 00

www.andra.fr

