

2 décembre 2015

NOTE TECHNIQUE

DDAE TDN

Evaluation environnementale des risques liés aux rejets radioactifs du projet TDN

Rév.	Rédaction	Vérification	Approbation
C	O. DE GREGORIO Le 18/11/2015	T. GEILLE Le 18/11/2015	A. CIAVALDINI Le 18/11/2015

HISTORIQUE DES REVISIONS

Rév.	Signataire et repérages des paragraphes modifiés	
A	Rédacteur : O. DE GREGORIO Vérificateur : T. GEILLE Approbateur : A. CIAVALDINI	
B	Rédacteur : O. DE GREGORIO Vérificateur : T. GEILLE Approbateur : A. CIAVALDINI	Intégration des commentaires MOA, DJ et DSQE
C	Rédacteur : O. DE GREGORIO Vérificateur : T. GEILLE Approbateur : A. CIAVALDINI	Intégration des modifications suite au comité de relecture final

SOMMAIRE

1	GLOSSAIRE	5
2	CONTEXTE DE L'ETUDE	6
3	OUTIL ERICA	7
3.1	GENERALITES SUR LE PROJET ERICA	7
3.2	PRESENTATION DE L'OUTIL ERICA	8
3.3	METHODOLOGIE DE L'OUTIL ERICA.....	9
3.3.1	Principe de l'outil au niveau 1	10
3.3.2	Principe de l'outil au niveau 2.....	11
3.3.3	Interprétation du quotient de risque.....	11
4	DONNEES D'ENTREE RELATIVES A L'OUTIL ERICA.....	12
4.1	NIVEAU 1 DE L'OUTIL ERICA.....	12
4.1.1	Radionucléides disponibles	12
4.1.2	Ecosystèmes concernés	13
4.1.3	Valeur de débit de dose sans effet	13
4.1.4	Rejets atmosphériques.....	14
4.1.5	Rejets aqueux.....	14
4.2	NIVEAU 2 DE L'OUTIL ERICA.....	15
4.2.1	Organismes de référence	15
4.2.2	Facteur d'incertitude.....	16
4.2.3	Paramètres radioécologiques	16
4.2.4	Facteur d'occupation	17
4.2.5	Facteur de pondération radiologique	17

5	DONNEES D'ENTREE LIEES AU PROJET TDN	18
5.1	DEBIT DE DOSE SANS EFFETS.....	18
5.2	TERMES SOURCES.....	18
5.2.1	Rejets atmosphériques.....	18
5.2.2	Hypothèses prises dans le logiciel ERICA sur les rejets atmosphériques.....	25
5.3	DUREE DE FONCTIONNEMENT	26
5.4	DONNEES METEOROLOGIQUES.....	26
5.5	CHOIX DES POINTS D'ETUDE.....	27
5.6	ORGANISME DE REFERENCE	28
5.7	FACTEUR D'INCERTITUDE	28
5.8	FACTEUR D'OCCUPATION	28
5.9	PARAMETRES RADIOECOLOGIQUES ET FACTEURS DE PONDERATION RADIOLOGIQUE.....	29
6	EVALUATION ENVIRONNEMENTALE DES REJETS ATMOSPHERIQUES RADIOACTIFS DE L'INSTALLATION TDN	30
6.1	EVALUATION AU NIVEAU DE LA ZONE D'EXPOSITION MAXIMALE DANS L'ENVIRONNEMENT, HORS SITE AREVA NC DE MALVESI	30
6.2	INCIDENCES DES REJETS SUR LES ESPACES REMARQUABLES ET PROTEGES	33
6.2.1	Evaluation au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Colline de Moussan »	33
6.2.2	Evaluation au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Marais de la Livière »	36
7	CONCLUSION	39

1 GLOSSAIRE

COTRAM	COefficient de TRansfert surfacique et Atmosphérique Moyen
CR	Concentration Ratio (facteur de concentration)
CTA	Coefficient de Transfert Atmosphérique
DDT	Débit de Dépôt
DR	Dose Rate (débit de dose)
EMCL	Environmental Media Concentration Limits
ERICA	Environmental Risk for Ionising Contaminants : Assessment and management
FASSET	Framework for ASSessment of EnvironmenTal impact
IAEA	Agence Internationale pour l'Energie Atomique
Kd	Coefficient de distribution
PCRD	Programme Cadre de Recherche et de Développement
PNEDR	Predicted No Effect Dose Rate (débit de dose sans effet)
RQ	Risk Quotient (quotient de risque)
SRS	Safety Report Series
SSD	Species Sensitivity Distribution
TDN	Traitement Des Nitrates
UF	Uncertainty Factor (facteur d'incertitude)
UNSCEAR	United Nations Scientific Committe on the Effects of Atomic Radiation
ZNIEFF	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique

2 CONTEXTE DE L'ETUDE

L'établissement AREVA NC de Malvési a pour activité la transformation des concentrés uranifères en tétrafluorure d'uranium (UF₄), première étape de la conversion de l'uranium, opération préalable aux opérations d'enrichissement isotopique.

Le procédé de conversion de l'uranium naturel génère des effluents liquides chargés en nitrates. Ces effluents liquides subissent une étape de décantation naturelle, dans des bassins. Les effluents épurés des matières en suspension sont transférés vers des bassins d'évaporation (lagunes) où ils sont concentrés sous l'effet du vent et du soleil.

Afin de traiter ces effluents liquides concentrés en sels, renfermant des traces de radionucléides, AREVA NC a lancé le projet de mise en place d'une installation industrielle de traitement, dénommée TDN (Traitement Des Nitrates).

La présente étude a pour objectif d'évaluer l'impact environnemental lié aux rejets radioactifs, atmosphériques de cette installation. Cette évaluation est réalisée à l'aide de l'outil ERICA.

Les résultats présentés ci-après sont basés sur les données et les hypothèses fournies et validées par AREVA NC.

3 OUTIL ERICA

3.1 GENERALITES SUR LE PROJET ERICA

Le projet européen ERICA (*Environmental Risk for Ionising Contaminants : Assessment and Management*) du 6^{ème} PCRD (Programme Cadre de Recherche et de Développement) EURATOM a été lancé en mars 2004 et s'est achevé en février 2007. Ce projet a rassemblé 15 partenaires dont des universités, des entreprises et des instituts de recherche, issus de sept pays européens.

Ce projet a abouti aux résultats suivants :

- la mise à jour de la base de données FREDERICA¹ concernant les effets des rayonnements ionisants sur les organismes non-humains ;
- l'exploitation de cette base de données pour définir des critères de protection des écosystèmes ;
- la conception d'une méthode qui permet de caractériser le risque écologique en analysant des expositions de la faune et de la flore aux rayonnements ionisants et les effets de cette exposition.

Ce projet s'inscrit dans un consensus international pour développer des méthodes d'évaluation du risque radiologique pour l'environnement, à l'image de ce qui existe pour les substances chimiques.

Son objectif est de concevoir une approche intégrée pour évaluer les effets des contaminants radioactifs sur l'environnement. Il s'agit d'envisager les plans scientifiques, décisionnels et sociétaux, en mettant l'accent sur la protection de la faune, de la flore et des écosystèmes. Pour ce faire, ERICA s'est fondé sur les acquis du projet européen FASSET (Framework for Assessment of Environmental Impact) (5^{ème} PCRD), qui a formalisé le cadre conceptuel de l'évaluation de l'impact environnemental des radionucléides.

¹ FREDERICA : FASSET and ERICA Radiation Effect Database (www.frederica-online.org/)

3.2 PRESENTATION DE L'OUTIL ERICA

L'outil ERICA, né de ce projet, est utilisé dans le cadre de cette étude. Il permet d'évaluer le risque pour l'environnement de rejets chroniques de substances radioactives. Ce logiciel peut être obtenu à partir du site internet : <http://www.ERICA-tool.com/>.

La version utilisée dans le cadre de cette étude est : ERICA Assessment Tool 1.2 de novembre 2014 mise à jour en décembre 2014.

Cet outil fonctionne avec trois niveaux de précision croissants (appelés Tiers) permettant une approche graduée.

Le premier niveau est une étude simple qui requiert un minimum de données d'entrée. Les résultats obtenus sont conservatifs et permettent d'écarter les sites où le risque radiologique pour l'environnement est négligeable. Les concentrations d'activité calculées dans les différents milieux sont comparées aux *Environmental Media Concentration Limits* (EMCL) qui ont été calculées pour chaque radionucléide pour l'organisme le plus sensible (faune ou flore). L'EMCL correspond à la concentration d'activité à l'origine d'un débit de dose sans effet.

Le deuxième niveau constitue une étude plus détaillée qui nécessite des données d'entrée supplémentaires pour mieux définir la situation, notamment en ce qui concerne les conditions d'exposition et les paramètres de transfert. Pour chaque organisme de référence, le débit de dose absorbé est estimé et est comparé à une valeur de débit de dose sans effet. Les résultats obtenus peuvent être interprétés par comparaison aux niveaux d'effets des radiations ionisantes ainsi qu'aux valeurs de bruit de fond naturel.

Enfin, le troisième niveau est réservé pour des situations complexes et ne sera pas détaillé ici. Ce niveau peut nécessiter de considérer les données des effets biologiques contenues dans la base de données FREDERICA, ou d'entreprendre des études écologiques. Le niveau 3 contrairement aux deux premiers niveaux est une étude probabiliste. L'utilisateur estime la probabilité d'occurrence et la gravité des effets radiologiques sur l'environnement susceptibles de se produire, ce qui permet de discuter de l'acceptabilité du risque pour les espèces non-humaines.

3.3 METHODOLOGIE DE L'OUTIL ERICA

L'outil ERICA permet de caractériser le risque radiologique pour l'environnement en calculant un quotient de risque à partir des données de concentration d'activité dans les différents milieux. Ces concentrations peuvent soit être issues de campagnes de mesures réalisées par le site, soit être déterminées à l'aide d'un modèle de dispersion. L'outil ERICA propose un modèle de dispersion propre pour les effluents atmosphériques et liquides. Ce modèle repose sur le Safety Reports Series (SRS) n°19 de l'IAEA.

En ce qui concerne les effluents atmosphériques, l'utilisation du modèle de dispersion proposé par le logiciel COMODORE² (logiciel spécifique de calcul d'impact dosimétrique utilisé par les sites AREVA notamment ceux du Tricastin, Romans-sur-Isère et Malvési) a été jugée plus pertinente car ce dernier permet une intégration plus précise et plus représentative des données météorologiques.

Le schéma de principe de l'outil ERICA est présenté par la figure suivante :



Figure 1 : Schéma de principe de l'outil ERICA

Le calcul du quotient de risque est réalisé suivant une approche différente pour les niveaux 1 et 2.

² Le logiciel COMODORE est une synthèse de trois logiciels validés par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) : ACADIE, COTRAM et AQUAREJ. Il est destiné au calcul d'impact dosimétrique de rejets chroniques (en fonctionnement normal des installations) de produits radioactifs liquides et gazeux, en prenant en compte les transferts de contamination dans l'environnement, ainsi que les transferts dans la chaîne alimentaire jusqu'à l'homme.

3.3.1 Principe de l'outil au niveau 1

Pour le niveau 1, la concentration d'activité est comparée à l'Environmental Media Concentration Limit (EMCL) correspondante. Les EMCL ont été calculées pour l'organisme le plus limitant et pour chaque combinaison radionucléide-écosystème.

L'EMCL correspond à la concentration d'activité d'un radionucléide qui provoquerait un débit de dose égal au débit de dose sans effet, déterminé par l'utilisateur (cf. § 4.1.3 « Valeur de débit de dose sans effet »). Il est déterminé par la formule :

$$EMCL_n = \frac{PNEDR}{F_n}$$

Où :

- $EMCL_n$: EMCL de l'organisme le plus limitant pour le radionucléide n ($Bq.L^{-1}$ dans l'eau, $Bq.kg^{-1}$ dans le sol ou les sédiments et $Bq.m^{-3}$ dans l'air), pour le milieu considéré ;
- PNEDR (Predicted No Effect Dose Rate) : valeur de débit de dose sans effet ($\mu Gy.h^{-1}$) ;
- F_n est le débit de dose reçu par un organisme qui serait confronté à une concentration d'activité unitaire d'1 $Bq.L^{-1}$ pour le milieu aquatique, d'1 $Bq.kg^{-1}$ pour le milieu terrestre et d'1 $Bq.m^{-3}$ pour le milieu atmosphérique ; F s'exprime donc en $\mu Gy.h^{-1}$ par $Bq.L^{-1}$ ou $Bq.kg^{-1}$ ou $Bq.m^{-3}$.

Le quotient de risque est ensuite défini par l'équation :

$$RQ_n = \frac{M_n}{EMCL_n}$$

Où :

- RQ_n : quotient de risque pour le radionucléide n (sans unité) ;
- M_n : concentration d'activité en radionucléide n dans le milieu ($Bq.L^{-1}$ dans l'eau, $Bq.kg^{-1}$ dans le sol ou les sédiments et $Bq.m^{-3}$ dans l'air) ;
- $EMCL_n$: EMCL de l'organisme le plus limitant pour le radionucléide et le milieu considéré.

Le quotient de risque correspond au ratio entre la concentration d'activité et la concentration d'activité sans effet.

Un quotient de risque global est ensuite déterminé en sommant les quotients de risque obtenus pour chacun des radionucléides étudiés. Il convient de souligner que cette approche est majorante, étant donné que les quotients de risques sommés ne correspondent pas nécessairement aux mêmes organismes de référence.

3.3.2 Principe de l'outil au niveau 2

Au niveau 2, des organismes de référence proposés dans l'outil ERICA sont considérés (voir § 4.2.1 « Organismes de référence »). Le débit de dose total (interne et externe) est calculé pour chaque organisme de référence. Ce dernier est ensuite comparé au débit de dose sans effet. Pour chaque organisme et chaque radionucléide, un quotient de risque est calculé. Il est défini par :

$$RQ_n = \frac{DR_n}{PNEDR}$$

Où :

- RQ_n : quotient de risque pour le radionucléide n (sans unité) ;
- DR_n : débit de dose estimé total ($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$) pour chaque radionucléide n ;
- $PNEDR$: débit de dose sans effet ($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$).

Un quotient de risque global pour chaque organisme est ensuite déterminé en sommant les quotients de risque obtenus pour chacun des radionucléides étudiés.

3.3.3 Interprétation du quotient de risque

Aux niveaux 1 et 2, le quotient de risque est comparé à la valeur de référence de 1. S'il est inférieur à 1, le risque pour l'environnement lié aux rejets radioactifs peut donc être considéré comme acceptable et l'étude peut alors être conclue.

Un quotient de risque supérieur à 1 nécessite une analyse plus poussée afin de pouvoir statuer sur l'acceptabilité du risque. Cette analyse plus poussée peut être réalisée en affinant les données d'entrée ou les paramètres utilisés, ou encore en passant au niveau supérieur de l'outil. Ce second niveau d'approche est destiné à réduire les incertitudes et réévaluer les hypothèses retenues, souvent majorantes en première approche, pour mener une étude plus représentative de la situation à analyser. Ce niveau d'approche est toutefois plus complexe à déployer.

4 DONNEES D'ENTREE RELATIVES A L'OUTIL ERICA

Les données d'entrée nécessaires à l'utilisation de l'outil ERICA varient en fonction du niveau de précision choisi, mais également en fonction du milieu considéré (air, rivière, etc.).

Les données d'entrée détaillées pour les deux premiers niveaux de l'outil ERICA sont présentées ci-après.

4.1 NIVEAU 1 DE L'OUTIL ERICA

Au premier niveau, la réalisation de l'étude nécessite de déterminer :

- la liste des radionucléides rejetés ;
- l'écosystème concerné (terrestre, eau douce ou marin) ;
- le débit de dose sans effet ;
- la méthodologie de modélisation des rejets atmosphériques et aqueux dans les écosystèmes qui font l'objet de l'évaluation.

4.1.1 Radionucléides disponibles

La liste des radionucléides proposés par défaut par l'outil ERICA est présentée dans la figure suivante :

Element	Isotopes	Element	Isotopes
Ag	Silver Ag-110m	P	Phosphorus P-32, P-33
Am	Americium Am-241	Pa	Protactinium Pa-231
Ba	Barium Ba-140	Pb	Lead Pb-210
C	Carbon C-14	Po	Polonium Po-210
Ca	Calcium Ca-45	Pu	Plutonium Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241
Cd	Cadmium Cd-109	Ra	Radium Ra-226, Ra-228
Ce	Cerium Ce-141, Ce-144		
Cf	Californium Cf-252	Ru	Ruthenium Ru-103, Ru-106
Cl	Chlorine Cl-36	S	Sulphur S-35
Cm	Curium Cm-242, Cm-243, Cm-244	Sb	Antimony Sb-124, Sb-125
Co	Cobalt Co-57, Co-58, Co-60		
Cr	Chromium Cr-51	Se	Selenium Se-75, Se-79
Cs	Caesium Cs-134, Cs-135, Cs-136, Cs-137	Sr	Strontium Sr-89, Sr-90
Eu	Europium Eu-152, Eu-154	Tc	Technetium Tc-99
H	Tritium H-3	Te	Tellurium Te-129m, Te-132
I	Iodine I-125, I-129, I-131, I-132, I-133	Th	Thorium Th-227, Th-228, Th-230, Th-231, Th-232, Th-234
Ir	Iridium Ir-192	U	Uranium U-234, U-235, U-238
La	Lanthanum La-140	Zn	Zinc Zn-65
Mn	Manganese Mn-54	Zr	Zirconium Zr-95
Nb	Niobium Nb-94, Nb-95		
Ni	Nickel Ni-59, Ni-63		
Np	Neptunium Np-237		

Figure 2 : Liste des radionucléides disponibles sous ERICA (niveau 1)

Les radionucléides produits par désintégration, appelés « radionucléides fils », dont la demi-vie est inférieure à 10 jours sont inclus dans les coefficients de conversion de dose de leur radionucléide « père ». Les radionucléides concernés sont présentés dans le tableau suivant :

Radionucléide « père »	Radionucléides « fils » considérés à l'équilibre avec leur « père »						
Sr-90	Y-90						
Ru-106	Rh-106						
Cs-137	Ba-137m						
Pb-210	Bi-210						
Ra-226	At-218	Po-218	Bi-214	Pb-214	Rn-222	Po-214	
Ra-228	Ac-228						
Th-228	Po-216	Tl-208	Bi-212	Pb-212	Rn-220	Po-212	Ra-224
Th-234	Pa-234m	Pa-234					
U-235	Th-231						
Pu-241	U-237						

Tableau 1 : Radionucléides issus d'une chaîne de désintégration et considérés dans le calcul des coefficients de conversion de dose

Remarque : Au niveau 1, il n'est pas possible d'ajouter des isotopes ne faisant pas partie de la liste par défaut. Cette option est cependant disponible pour les niveaux 2 et 3.

4.1.2 Ecosystèmes concernés

L'outil ERICA permet d'évaluer le risque encouru par l'environnement pour 3 écosystèmes :

- l'écosystème terrestre ;
- l'écosystème d'eau douce ;
- l'écosystème marin.

4.1.3 Valeur de débit de dose sans effet

Plusieurs valeurs de débit de dose sans effet sont proposées par l'outil ERICA :

- la valeur par défaut d'ERICA : $10 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$. Cette valeur est valable pour les situations d'expositions chroniques et pour tous les écosystèmes. Elle a été déterminée à l'aide d'une méthode basée sur le traitement mathématique des données SSD (Species Sensitivity Distribution) ;
- les valeurs tirées des rapports de l'IAEA (1992) et de l'UNSCEAR (1996) : $40 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ pour les animaux terrestres ou $400 \mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ pour la flore terrestre ainsi que toutes les espèces aquatiques. Ces valeurs sont considérées comme des valeurs protectrices en dessous desquelles, dans le cadre d'une exposition chronique, aucun effet mesurable n'est observable sur les espèces concernées ;
- la possibilité est également laissée à l'utilisateur d'entrer une autre valeur s'il le souhaite ($\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$).

4.1.4 Rejets atmosphériques

Le point de départ de l'étude consiste à disposer des débits d'activité (en Bq.an⁻¹) de chacun des radionucléides sélectionnés.

L'évaluation de l'impact dosimétrique des rejets radioactifs sur l'écosystème terrestre nécessite de renseigner la concentration d'activité dans les sols (Bq.kg⁻¹ de matière sèche). Comme mentionné précédemment, cette valeur est fournie par le logiciel COMODORE, utilisé pour l'évaluation des risques radiologiques sur la santé des populations.

Le logiciel COMODORE est constitué de plusieurs codes de calculs dont le code COTRAM qui permet de déterminer les coefficients de transfert atmosphériques (CTA) ainsi que les débits de dépôt (DDT), en utilisant des données météorologiques spécifiques à la zone d'étude et notamment des probabilités de condition de transfert (vitesse et direction du vent, type de stabilité atmosphérique). Ces données météorologiques sont présentées au § 5.4 « Données météorologiques ». Les données d'entrée relatives au logiciel COMODORE sont présentées dans l'étude dosimétrique détaillée de ce projet³ et ne sont pas reprises dans la présente étude.

4.1.5 Rejets aqueux

L'évaluation de l'impact des rejets en milieu aquatique est réalisée à partir du modèle de dispersion SRS n°19 pour le milieu « rivière ». Ce modèle propre à l'outil ERICA nécessite les paramètres d'entrée suivants :

- le débit du cours d'eau (m³.s⁻¹) ;
- sa profondeur (m) ;
- sa largeur (m) ;
- la distance entre le point de rejet et le récepteur étudié (m) ainsi que leur positionnement (point de rejet et récepteur situés sur la même rive ou sur des rives opposées), le débit d'activité (Bq.s⁻¹) pour chacun des radionucléides sélectionnés.

Remarque : Le modèle de dispersion SRS n°19 en rivière considère que le mélange vertical est réalisé à partir d'une distance égale à sept fois la profondeur de la rivière.

³ « Etude d'impact dosimétrique du projet TDN », Septembre 2015, réf. : NT 101559 00 00001 B

4.2 NIVEAU 2 DE L'OUTIL ERICA

Le deuxième niveau constitue une étude plus détaillée qui nécessite des données d'entrée supplémentaires.

Le choix du débit de dose sans effet ainsi que l'utilisation des modèles de dispersion sont identiques au premier niveau. La seule différence concerne le choix des radionucléides, puisqu'à partir de ce niveau, il est possible d'ajouter des radionucléides qui ne font pas partie de la liste proposée par défaut dans l'outil ERICA (cf.

Figure 2 : Liste des radionucléides disponibles sous ERICA (niveau 1)).

Les données d'entrée supplémentaires du deuxième niveau sont présentées ci-après :

- organismes de référence ;
- facteur d'incertitude ;
- paramètres radioécologiques ;
- facteur d'occupation ;
- facteur de pondération radiologique.

4.2.1 Organismes de référence

Au niveau 2, les organismes de référence sont à prendre en compte. La liste des organismes de référence proposés par ERICA selon l'écosystème choisi est présentée dans le tableau suivant :

Écosystèmes	Eau douce	Marin	Terrestre
Organismes de référence	Amphibien	Anémone de mer ou corail	Amphibien
	Bivalve (mollusque)	Crustacé	Annélide
	Crustacé	Échassier	Arbre
	Gastéropode	Macro algue	Arbuste
	Larve d'insecte	Mammifère	Arthropode Détritivore
	Mammifère	Mollusque benthique	Gastéropode - Mollusque
	Oiseau	Phytoplancton	Herbe et aromate
	Phytoplancton	Plante vasculaire	Insecte volant
	Plante vasculaire	Poisson benthique	Lichen et Bryophyte
	Poisson benthique	Poisson pélagique	Mammifère (grande taille)
	Poisson pélagique	Polychète	Mammifère (petit animal fouisseur)
	Reptile	Reptile	Oiseau
	Zooplancton	Zooplancton	Reptile

Tableau 2 : Organismes de référence listés par écosystème

Il est toutefois possible d'ajouter des organismes de référence. Divers paramètres comme le nom, le groupe, les facteurs d'occupation, la masse ou les dimensions de l'organisme sont alors à renseigner.

4.2.2 Facteur d'incertitude

Une autre particularité du niveau 2 est la possibilité d'estimer une valeur conservative du quotient de risque attendu en considérant que les quotients de risques suivent une distribution exponentielle.

L'estimation de cette valeur conservative peut ainsi être réalisée en multipliant le quotient de risque attendu par un facteur nommé « facteur d'incertitude » (UF).

L'application d'un UF égal à 3 permet l'estimation d'une valeur conservative du quotient de risque à 95^{ème} percentile (*la probabilité, que le quotient de risque dépasse 1, est inférieure ou égale à 5 %*).

Quant à l'application d'un UF égal à 5, elle permet l'estimation d'une valeur conservative à 99^{ème} percentile (*la probabilité, que le quotient de risque dépasse 1, est inférieure ou égale à 1 %*).

4.2.3 Paramètres radioécologiques

Selon le choix de l'écosystème, divers paramètres sont à renseigner.

Pour les écosystèmes aquatiques :

- coefficient de distribution K_d ($L.kg^{-1}$) ;
- facteur de concentration CR ($Bq.kg^{-1}$ masse fraîche par $Bq.L^{-1}$).

Pour les écosystèmes terrestres :

- facteur de concentration CR ($Bq.kg^{-1}$ masse fraîche par $Bq.kg^{-1}$ de sol masse sèche ou par $Bq.m^{-3}$ d'air pour les isotopes de H, C, S et P).

4.2.3.1 Le coefficient de distribution K_d

Le coefficient de distribution K_d correspond au rapport entre la phase solide et la phase dissoute d'un élément. Cela signifie qu'il permet de calculer la concentration d'activité dans l'eau lorsque la concentration d'activité dans les sédiments est connue, et vice-versa.

Il est exprimé en $L.kg^{-1}$ et est défini par :

$$K_d = \frac{\text{Concentration d'activité dans les sédiments (en } Bq.kg^{-1} \text{)}}{\text{Concentration d'activité dans l'eau (en } Bq.L^{-1} \text{)}}$$

L'outil propose les coefficients de distribution par défaut contenus dans ERICA pour les radionucléides sélectionnés. Il est cependant possible de modifier ces valeurs.

4.2.3.2 Les facteurs de concentration CR

Les facteurs de concentration CR sont définis comme suit dans l'outil ERICA.

Pour les écosystèmes terrestres :

$$CR = \frac{\text{Concentration d'activité dans l'organisme (en Bq.kg}^{-1}\text{ de masse fraîche)}}{\text{Concentration d'activité dans le sol (en Bq.kg}^{-1}\text{ de masse sèche)}}$$

Sauf pour les rejets atmosphériques des radionucléides ^3H , ^{14}C , $^{32,33}\text{P}$ et ^{35}S où la grandeur au dénominateur est l'activité de l'air (Bq.m^{-3}).

Pour les écosystèmes aquatiques :

$$CR = \frac{\text{Concentration d'activité dans l'organisme (en Bq.kg}^{-1}\text{ de masse fraîche)}}{\text{Concentration d'activité dans l'eau (en Bq.L}^{-1}\text{)}}$$

Lorsque c'est possible, les données sont tirées d'études. Cependant pour de nombreuses combinaisons organisme/radionucléide, les facteurs de concentration ne sont pas connus.

Pour déterminer les données manquantes, l'outil propose différentes options, comme par exemple utiliser une valeur de facteur de concentration disponible pour un organisme de référence similaire. L'utilisateur peut cependant choisir d'utiliser ses propres données.

4.2.4 Facteur d'occupation

Le facteur d'occupation correspond à la fraction de temps passé par chaque organisme de référence dans chacun des habitats proposés. La liste des habitats dépend de l'écosystème choisi (exemple : surface du sol, eau et air pour les écosystèmes terrestres).

4.2.5 Facteur de pondération radiologique

Le facteur de pondération radiologique (W_T) est un facteur qui tient compte de la nature du rayonnement et qui permet de déterminer la dose équivalente H_T (Sv) à partir de la dose absorbée D_T (Gy) à l'aide de la formule suivante :

$$H_T = D_T \times W_T$$

Les valeurs proposées par l'outil ERICA sont, selon la nature du rayonnement :

- 10 pour le rayonnement α ;
- 3 pour le rayonnement β^- ;
- 1 pour le rayonnement β^+ et γ .

5 DONNEES D'ENTREE LIEES AU PROJET TDN

5.1 DEBIT DE DOSE SANS EFFETS

Dans le cadre de cette étude, la valeur de débit de dose sans effets définie dans le cadre du projet ERICA ($10 \mu\text{Gy.h}^{-1}$) a été retenue. Cette valeur a été choisie car l'exposition radiologique du site est naturellement faible, et il convient donc de pouvoir distinguer les situations de faible niveau d'exposition.

5.2 TERMES SOURCES

Les radionucléides rejetés via les effluents gazeux dans le milieu « air » constituent le terme source. Ce terme source constitue la donnée d'entrée du calcul d'impact. Il précise pour chaque radionucléide les quantités rejetées annuellement.

Dans le cadre du projet TDN, aucun effluent liquide radioactif n'est généré. C'est pourquoi la présente étude se limitera à l'étude d'impact dosimétrique liée aux rejets atmosphériques radioactifs du projet.

5.2.1 Rejets atmosphériques

5.2.1.1 Caractéristique de l'exutoire

L'installation de traitements des nitrates possède une cheminée de rejets atmosphériques. Le tableau ci-dessous rappelle les caractéristiques de cet exutoire :

	Cheminée TDN
Hauteur (m)	30
Diamètre (m)	0,9
Orientation du rejet	Vertical
Débit nominal ($\text{Nm}^3.\text{h}^{-1}$)	12 000

Tableau 3 : Caractéristiques de la cheminée de rejets de l'installation TDN

5.2.1.2 Rejets atmosphériques

Les rejets radioactifs à la cheminée sont à la fois, liés aux activités radiologiques des résidus de pulvérulents des effluents nitrates mais également celles provenant des réactifs (charbon et argile) qui renferment les radionucléides de la famille de l'uranium naturel et du thorium.

5.2.1.2.1 *Activité provenant des lagunes*

L'activité des résidus de pulvérulents a été calculée pour un débit d'effluents de 2 553 L/h pour un fonctionnement de l'installation 337,5 jours par an, 24 heures sur 24.

Radionucléide	Activité des effluents nitrates (Bq/L)	Activité présente dans le résidu pulvérulent (MBq/an)
²³⁵ U	5,12.10 ⁻³	1,06.10 ⁻¹
²³¹ Th	5,12.10 ⁻³	1,06.10 ⁻¹
²³¹ Pa	1,86	3,84.10 ¹
²²⁷ Ac	1,86	3,84.10 ¹
²²⁷ Th	1,86	3,84.10 ¹
²²³ Ra	1,86	3,84.10 ¹
²¹⁹ Rn	1,86	3,84.10 ¹
²¹⁵ Po	1,86	3,84.10 ¹
²¹¹ Pb	1,86	3,84.10 ¹
²¹¹ Bi	1,86	3,84.10 ¹
²⁰⁷ Tl	1,86	3,84.10 ¹
²³⁸ U	1,55.10 ⁻¹	3,21
²³⁴ Th	1,55.10 ⁻¹	3,21
^{234m} Pa	1,55.10 ⁻¹	3,21
²³⁸ Pu	2,78.10 ⁻²	5,75.10 ⁻¹
²³⁴ U	1,55.10 ⁻¹	3,21
²³⁰ Th	1,41.10 ¹	2,91.10 ²
²²⁶ Ra	3,25.10 ²	6,72.10 ³
²²² Rn	3,25.10 ²	6,72.10 ³
²¹⁸ Po	3,25.10 ²	6,72.10 ³
²¹⁴ Pb	3,25.10 ²	6,72.10 ³
²¹⁴ Bi	3,25.10 ²	6,72.10 ³
²¹⁴ Po	3,25.10 ²	6,72.10 ³
²¹⁰ Pb	3,25.10 ²	6,72.10 ³
²¹⁰ Bi	3,25.10 ²	6,72.10 ³
²¹⁰ Po	3,25.10 ²	6,72.10 ³
²⁴¹ Pu	2,66	5,49.10 ¹
²⁴¹ Am	1,43.10 ⁻¹	2,97
²³⁷ Np	3,54.10 ⁻¹	7,33
Pa ²³³	3,54.10 ⁻¹	7,33
²³² Th	-	-
²²⁸ Ra	3,50	7,24.10 ¹
²²⁸ Ac	3,50	7,24.10 ¹
²²⁸ Th	3,50	7,24.10 ¹
²²⁴ Ra	3,50	7,24.10 ¹

Radionucléide	Activité des effluents nitrates (Bq/L)	Activité présente dans le résidu pulvérulent (MBq/an)
²²⁰ Rn	3,50	7,24.10 ¹
²¹⁶ Po	3,50	7,24.10 ¹
²¹² Pb	3,50	7,24.10 ¹
²¹² Bi	3,50	7,24.10 ¹
²¹² Po	2,24	4,64.10 ¹
²⁰⁸ Tl	1,26	2,60.10 ¹
¹³⁷ Cs	9,13	1,89.10 ²
^{137m} Ba	9,13	1,89.10 ²
⁹⁹ Tc	4,14.10 ³	8,56.10 ⁴
⁹⁰ Sr	1,54.10 ¹	3,18.10 ²
⁹⁰ Y	1,54.10 ¹	3,18.10 ²
^{239/240} Pu	2,64.10 ⁻²	5,47.10 ⁻¹
Total	7,18.10³	1,48.10⁵

Tableau 4 : Activité présente dans les résidus de pulvérulents

5.2.1.2.2 Activité provenant du charbon

L'activité provenant du charbon a été estimée pour une teneur en U²³⁸ et en Th²³² de 5 ppm.

Radionucléide	Activité du charbon (Bq/kg)	Activité rajoutée dans les résidus due au charbon (MBq/an)
²³⁵ U	2,82	1,60.10 ¹
²³¹ Th	2,82	1,60.10 ¹
²³¹ Pa	2,82	1,60.10 ¹
²²⁷ Ac	2,82	1,60.10 ¹
²²⁷ Th	2,82	1,60.10 ¹
²²³ Ra	2,82	1,60.10 ¹
²¹⁹ Rn	2,82	1,60.10 ¹
²¹⁵ Po	2,82	1,60.10 ¹
²¹¹ Pb	2,82	1,60.10 ¹
²¹¹ Bi	2,82	1,60.10 ¹
²⁰⁷ Tl	2,82	1,60.10 ¹
²³⁸ U	6,20.10 ¹	3,52.10 ²
²³⁴ Th	6,20.10 ¹	3,52.10 ²
^{234m} Pa	6,20.10 ¹	3,52.10 ²
²³⁸ Pu	-	-
²³⁴ U	6,20.10 ¹	3,52.10 ²
²³⁰ Th	6,20.10 ¹	3,52.10 ²
²²⁶ Ra	6,20.10 ¹	3,52.10 ²

Radionucléide	Activité du charbon (Bq/kg)	Activité rajoutée dans les résidus due au charbon (MBq/an)
²²² Rn	6,20.10 ¹	3,52.10 ²
²¹⁸ Po	6,20.10 ¹	3,52.10 ²
²¹⁴ Pb	6,20.10 ¹	3,52.10 ²
²¹⁴ Bi	6,20.10 ¹	3,52.10 ²
²¹⁴ Po	6,20.10 ¹	3,52.10 ²
²¹⁰ Pb	6,20.10 ¹	3,52.10 ²
²¹⁰ Bi	6,20.10 ¹	3,52.10 ²
²¹⁰ Po	6,20.10 ¹	3,52.10 ²
²⁴¹ Pu	-	-
²⁴¹ Am	-	-
²³⁷ Np	-	-
Pa ²³³	-	-
²³² Th	2,00.10 ¹	1,13.10 ²
²²⁸ Ra	2,00.10 ¹	1,13.10 ²
²²⁸ Ac	2,00.10 ¹	1,13.10 ²
²²⁸ Th	2,00.10 ¹	1,13.10 ²
²²⁴ Ra	2,00.10 ¹	1,13.10 ²
²²⁰ Rn	2,00.10 ¹	1,13.10 ²
²¹⁶ Po	2,00.10 ¹	1,13.10 ²
²¹² Pb	2,00.10 ¹	1,13.10 ²
²¹² Bi	2,00.10 ¹	1,13.10 ²
²¹² Po	1,28.10 ¹	7,26.10 ¹
²⁰⁸ Ti	7,20	4,08.10 ¹
¹³⁷ Cs	-	-
^{137m} Ba	-	-
⁹⁹ Tc	-	-
⁹⁰ Sr	-	-
⁹⁰ Y	-	-
^{239/240} Pu	-	-
Total	1,10.10³	6,23.10³

Tableau 5 : Activité liée au charbon

5.2.1.2.3 Activité provenant de l'argile

L'activité provenant de l'argile a été estimée pour des teneurs en U²³⁸ et en Th²³², respectivement de 5 et 25 ppm.

Radionucléide	Activité de l'argile (Bq/kg)	Activité rajoutée dans les résidus due à l'argile (MBq/an)
²³⁵ U	2,82	8,74
²³¹ Th	2,82	8,74
²³¹ Pa	2,82	8,74
²²⁷ Ac	2,82	8,74
²²⁷ Th	2,82	8,74
²²³ Ra	2,82	8,74
²¹⁹ Rn	2,82	8,74
²¹⁵ Po	2,82	8,74
²¹¹ Pb	2,82	8,74
²¹¹ Bi	2,82	8,74
²⁰⁷ Tl	2,82	8,74
²³⁸ U	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
²³⁴ Th	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
^{234m} Pa	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
²³⁸ Pu	-	-
²³⁴ U	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
²³⁰ Th	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
²²⁶ Ra	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
²²² Rn	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
²¹⁸ Po	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
²¹⁴ Pb	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
²¹⁴ Bi	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
²¹⁴ Po	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
²¹⁰ Pb	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
²¹⁰ Bi	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
²¹⁰ Po	6,20.10 ¹	1,92.10 ²
²⁴¹ Pu	-	-
²⁴¹ Am	-	-
²³⁷ Np	-	-
Pa ²³³	-	-
²³² Th	1,00.10 ²	3,10.10 ²
²²⁸ Ra	1,00.10 ²	3,10.10 ²
²²⁸ Ac	1,00.10 ²	3,10.10 ²
²²⁸ Th	1,00.10 ²	3,10.10 ²
²²⁴ Ra	1,00.10 ²	3,10.10 ²

Radionucléide	Activité de l'argile (Bq/kg)	Activité rajoutée dans les résidus due à l'argile (MBq/an)
²²⁰ Rn	1,00.10 ²	3,10.10 ²
²¹⁶ Po	1,00.10 ²	3,10.10 ²
²¹² Pb	1,00.10 ²	3,10.10 ²
²¹² Bi	1,00.10 ²	3,10.10 ²
²¹² Po	6,40.10 ¹	1,99.10 ²
²⁰⁸ Tl	3,60.10 ¹	1,12.10 ²
¹³⁷ Cs	-	-
^{137m} Ba	-	-
⁹⁹ Tc	-	-
⁹⁰ Sr	-	-
⁹⁰ Y	-	-
^{239/240} Pu	-	-
Total	1,90.10³	5,89.10³

Tableau 6 : Activité liée à l'argile

5.2.1.2.4 Activité totale rejetée

Les rejets atmosphériques radiologiques de l'installation TDN ont été déterminés à partir des activités présentées ci-dessus et de l'efficacité du filtre en sortie de cheminée (99,9 % pour l'ensemble des radionucléides, à l'exception des radons). Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Radionucléide	Activité rejetée après filtration (MBq/an)
²³⁵ U	2,48.10 ⁻²
²³¹ Th	2,48.10 ⁻²
²³¹ Pa	6,31.10 ⁻²
²²⁷ Ac	6,31.10 ⁻²
²²⁷ Th	6,31.10 ⁻²
²²³ Ra	6,31.10 ⁻²
²¹⁹ Rn	6,31.10 ⁻¹
²¹⁵ Po	6,31.10 ⁻²
²¹¹ Pb	6,31.10 ⁻²
²¹¹ Bi	6,31.10 ⁻²
²⁰⁷ Tl	6,31.10 ⁻²
²³⁸ U	5,47.10 ⁻¹
²³⁴ Th	5,47.10 ⁻¹
^{234m} Pa	5,47.10 ⁻¹
²³⁸ Pu	5,75.10 ⁻⁴

Radionucléide	Activité rejetée après filtration (MBq/an)
²³⁴ U	5,47.10 ⁻¹
²³⁰ Th	8,35.10 ⁻¹
²²⁶ Ra	7,26
²²² Rn	7,26.10 ³
²¹⁸ Po	7,26
²¹⁴ Pb	7,26
²¹⁴ Bi	7,26
²¹⁴ Po	7,26
²¹⁰ Pb	7,26
²¹⁰ Bi	7,26
²¹⁰ Po	7,26
²⁴¹ Pu	5,49.10 ⁻²
²⁴¹ Am	2,97.10 ⁻³
²³⁷ Np	7,33.10 ⁻³
²³³ Pa	7,33.10 ⁻³
²³² Th	4,24.10 ⁻¹
²²⁸ Ra	4,96.10 ⁻¹
²²⁸ Ac	4,96.10 ⁻¹
²²⁸ Th	4,96.10 ⁻¹
²²⁴ Ra	4,96.10 ⁻¹
²²⁰ Rn	4,96.10 ²
²¹⁶ Po	4,96.10 ⁻¹
²¹² Pb	4,96.10 ⁻¹
²¹² Bi	4,96.10 ⁻¹
²¹² Po	3,17.10 ⁻¹
²⁰⁸ Tl	1,79.10 ⁻¹
¹³⁷ Cs	1,89.10 ⁻¹
^{137m} Ba	1,89.10 ⁻¹
⁹⁹ Tc	8,56.10 ¹
⁹⁰ Sr	3,18.10 ⁻¹
⁹⁰ Y	3,18.10 ⁻¹
^{239/240} Pu	5,47.10 ⁻⁴
Total	7,97.10³

Tableau 7 : Rejets atmosphériques radiologiques de l'installation TDN

5.2.2 Hypothèses prises dans le logiciel ERICA sur les rejets atmosphériques

Afin de réaliser une étude la plus exhaustive possible et de prendre en compte le maximum de radionucléides constituant le terme source des rejets atmosphériques radioactifs de l'installation TDN, l'évaluation ERICA a été réalisée directement au niveau 2. En effet, ce niveau 2 permet d'ajouter des radionucléides à la liste prédéfinie au 1^{er} niveau de l'outil ERICA présentée au paragraphe 4.1.1 « Radionucléides disponibles » : ^{137m}Ba , ^{233}Pa , ^{234m}Pa , ^{211}Pb , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{212}Po , ^{214}Po , ^{215}Po , ^{216}Po , ^{218}Po , ^{223}Ra , ^{224}Ra .

De plus, certains radionucléides ne peuvent être retenus dans le cadre de cette étude, faute de paramètres radioécologiques disponibles. Il s'agit du ^{222}Rn , du ^{214}Bi , du ^{210}Bi , du ^{228}Ac , du ^{220}Rn , du ^{212}Bi , ^{208}Tl , du ^{90}Y , du ^{227}Ac , du ^{219}Rn , du ^{211}Bi et du ^{207}Tl .

Concernant le ^{222}Rn , le ^{214}Bi , le ^{210}Bi , le ^{228}Ac , le ^{220}Rn , le ^{212}Bi , le ^{208}Tl et le ^{90}Y , ils font partie des radionucléides produits par désintégration et dont la demi-vie est inférieure à 10 jours. Ces radionucléides sont présentés au

Tableau 1 « Radionucléides issus d'une chaîne de désintégration et considérés dans le calcul des coefficients de conversion de dose ». Ils sont inclus dans les coefficients de conversion de dose de leur radionucléide « père », à savoir :

- le ^{226}Ra pour le ^{222}Rn et le ^{214}Bi ;
- le ^{210}Pb pour le ^{210}Bi ;
- le ^{228}Ra pour le ^{228}Ac ;
- le ^{228}Th pour le ^{220}Rn , le ^{212}Bi et le ^{208}Tl ;
- le ^{90}Sr pour le ^{90}Y .

Par conséquent, l'activité du père concerné a été prise égale dans ERICA, à l'activité du père additionnée à celle de son (ses) fils.

Concernant les deux radionucléides ^{239}Pu et ^{240}Pu , ils ont été, tous deux, sélectionnés et 50 % de l'activité rejeté par le couple $^{239/240}\text{Pu}$ a été affecté au ^{239}Pu et au ^{240}Pu .

Enfin, en l'absence de paramètres radioécologiques disponibles au moment de la réalisation de la présente étude et en l'absence de filiation prise en compte par l'outil ERICA, le ^{227}Ac , le ^{219}Rn , le ^{211}Bi et le ^{207}Tl , bien que présents dans le terme source des rejets atmosphériques de l'installation TDN, n'ont pu être retenus. Il convient de souligner que ces radionucléides représentent moins de 0,80 % du terme source.

5.3 DUREE DE FONCTIONNEMENT

La durée d'exploitation de l'installation TDN a été estimée à 35 ans.

5.4 DONNEES METEOROLOGIQUES

Les données météorologiques retenues pour la modélisation de la dispersion atmosphérique (réalisée à partir du logiciel COTRAM) sont les valeurs moyennes sur la période 2012 à 2014. Ces données sont spécifiques à la zone d'étude.

La figure suivante présente la rose des vents construite sur la base de ces données.

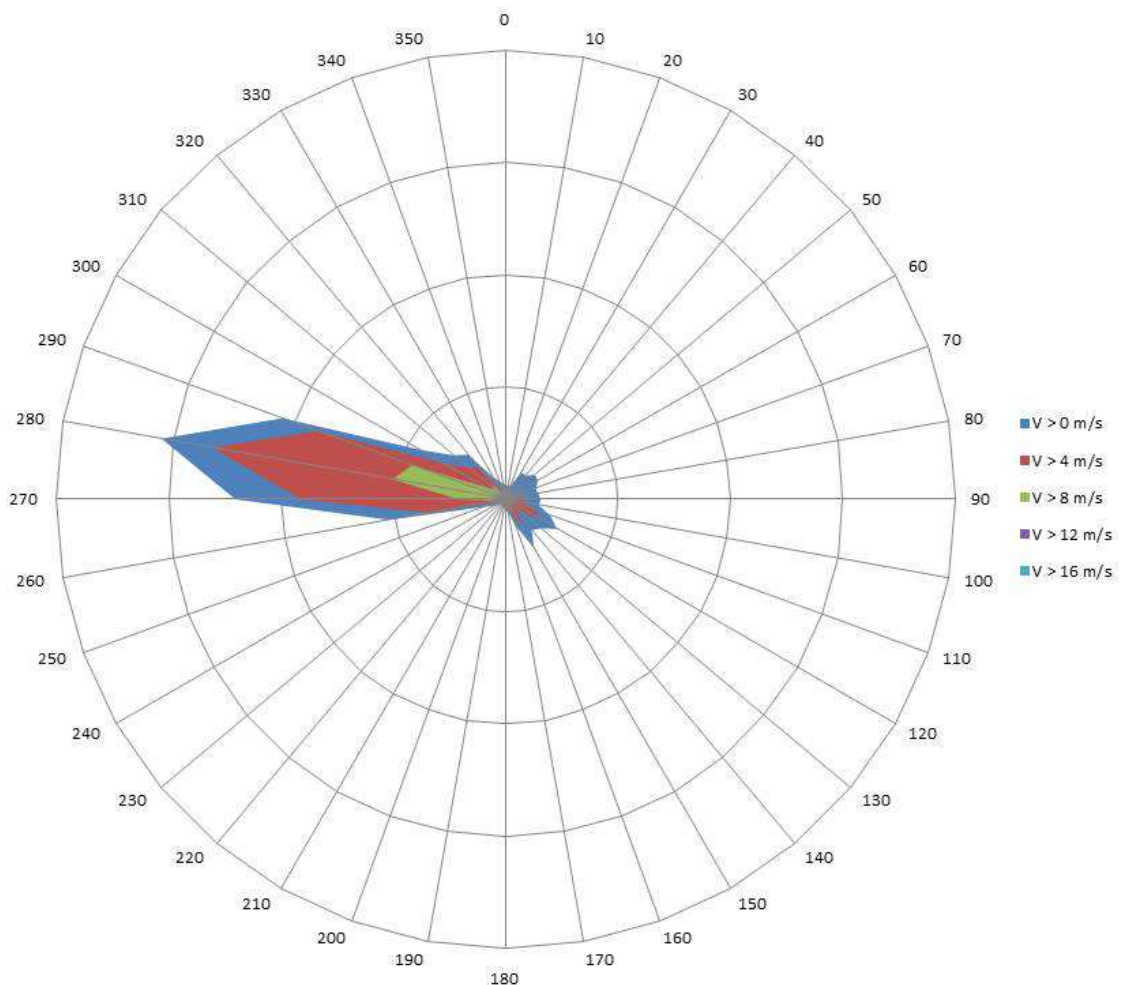


Figure 3 : Rose des vents du site AREVA NC de Malvés de 2012 à 2014

5.5 CHOIX DES POINTS D'ETUDE

L'évaluation des risques radiologiques sur les écosystèmes est réalisée pour :

- la zone d'exposition maximale hors site AREVA NC de Malvési ;
- les zones d'exposition maximale au niveau des deux ZNIEFF les plus proches du site AREVA NC de Malvési « Colline de Moussan » et « Marais de Livière », situées respectivement à l'ouest et au sud de l'installation TDN.

En effet, parmi les espaces remarquables et protégés situés aux alentours du site AREVA NC de Malvési, les plus proches et les plus exposés aux rejets de l'installation TDN sont ces deux ZNIEFF. C'est pourquoi l'évaluation a été réalisée au niveau des zones d'exposition maximale de chacune d'elles.

A noter que, la zone Natura 2000 la plus proche, « Cours inférieur de l'Aude » (FR9101436) se situe à 2,9 km au nord des limites de TDN. L'impact des rejets de TDN sur cette zone sera donc inférieur à celui des ZNIEFF.

La carte ci-après présente le positionnement de ces trois zones.

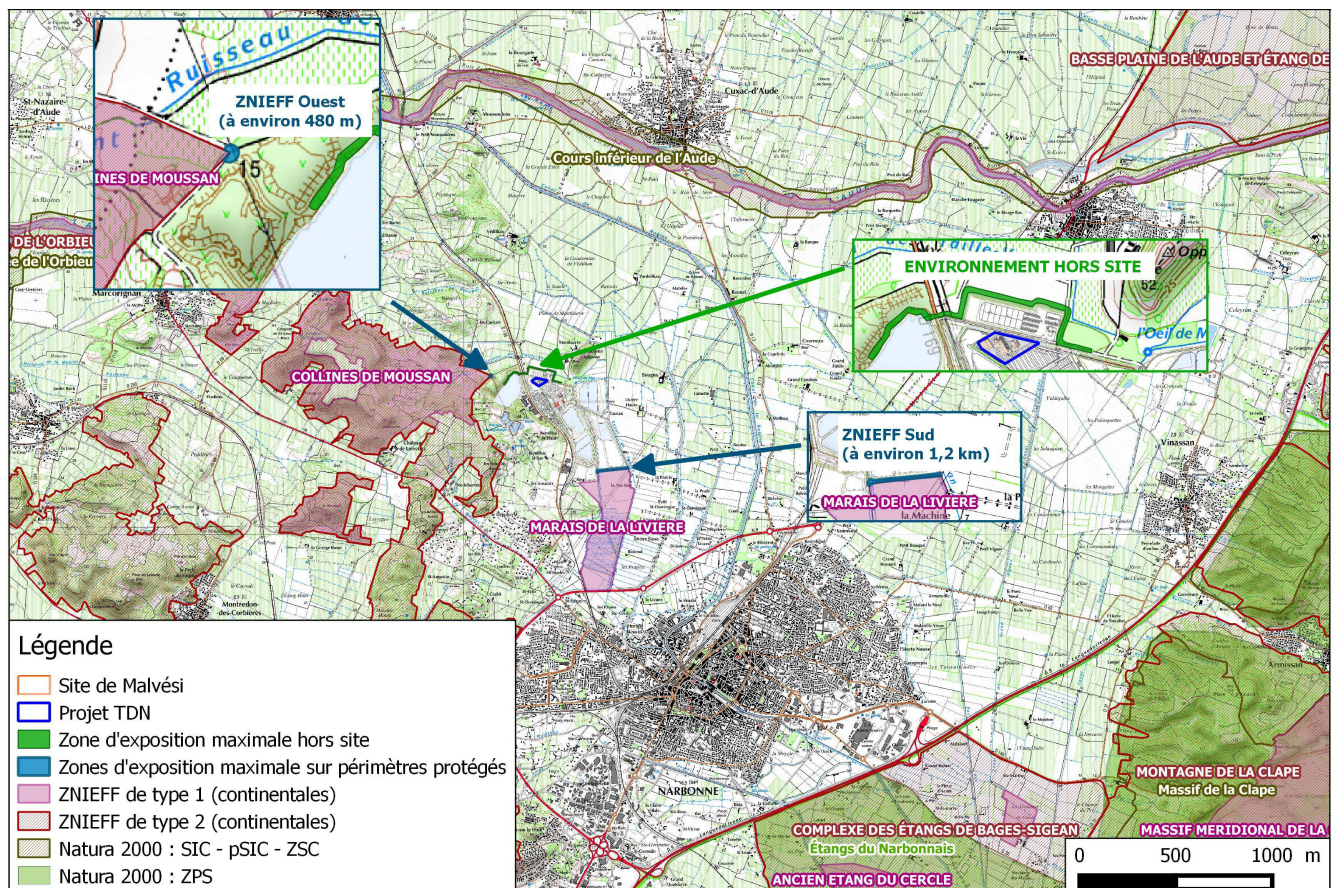


Figure 4 : Localisation des zones de l'environnement les plus exposées aux rejets de l'installation TDN

A noter que les résultats de dispersion atmosphérique pour les points des zones naturelles les plus proches et les plus exposés aux rejets radioactifs de l'installation TDN sont inférieurs à ceux obtenus pour la zone la plus exposée dans l'environnement.

5.6 ORGANISME DE REFERENCE

Une des particularités du niveau 2 de l'outil ERICA est la prise en compte des organismes de référence. En l'absence d'inventaire faunistique et floristique spécifique aux points d'étude et selon une première approche, l'ensemble des organismes listés dans le logiciel ERICA, pour le milieu terrestre, est retenu.

5.7 FACTEUR D'INCERTITUDE

Le niveau de risque calculé est le quotient de risque.

Comme mentionné précédemment, une estimation de la valeur conservative du quotient de risque au 95^{ème} percentile de la valeur calculée est également présentée en appliquant au quotient de risque attendu, un facteur d'incertitude de 3.

5.8 FACTEUR D'OCCUPATION

Dans la présente étude, les facteurs d'occupation considérés pour les écosystèmes terrestres, sont les suivants :

Organismes de référence	Surface du sol	Sol	Air
Amphibien	1	0	0
Annélide	0	1	0
Arbre	1	0	0
Arbuste	1	0	0
Arthropode Détritivore	0	1	0
Gastéropode - Mollusque	1	0	0
Herbe et aromate	1	0	0
Insecte volant	0,8	0	0,2
Lichen et bryophyte	1	0	0
Mammifère (grand)	1	0	0
Mammifère (petit)	0,5	0,5	0
Oiseau	0,8	0	0,2
Reptile	1	0	0

Tableau 8 : Facteurs d'occupation des organismes terrestres

5.9 PARAMETRES RADIOECOLOGIQUES ET FACTEURS DE PONDERATION RADIOLOGIQUE

Ces différents paramètres sont présentés au paragraphe 4.2.3 « Paramètres radioécologiques » et au paragraphe 4.2.5 « Facteur de pondération radiologique ».

Pour l'ensemble de ces paramètres, les valeurs proposées ou déterminées par défaut par l'outil ERICA sont retenues.

6 EVALUATION ENVIRONNEMENTALE DES REJETS ATMOSPHERIQUES RADIOACTIFS DE L'INSTALLATION TDN

La présente évaluation environnementale des risques liés aux rejets radioactifs se décompose en trois étapes :

- dans un premier temps, rappel des points identifiés de plus forte exposition dans l'environnement proche du site AREVA NC de Malvesi et au niveau des zones remarquables les plus proches ;
- dans un deuxième temps, utilisation du modèle de dispersion du logiciel COMODORE afin de déterminer les concentrations d'activité dans le sol à partir des termes sources des différentes étapes ;
- dans un troisième temps, détermination par l'outil ERICA des quotients de risque associés à ces concentrations dans le sol.

Le détail des calculs est présenté dans les paragraphes suivants.

6.1 EVALUATION AU NIVEAU DE LA ZONE D'EXPOSITION MAXIMALE DANS L'ENVIRONNEMENT, HORS SITE AREVA NC DE MALVESI

A l'aide du modèle de dispersion de COTRAM, donnant des concentrations d'activité dans les sols en Bq/m², et en considérant une masse volumique de sol sec en surface de 1 500 kg/m³ sur une profondeur de 20 cm, les concentrations d'activité dans les sols de chacun des radionucléides rejetés sont calculées au niveau de la zone d'exposition maximale dans l'environnement.

Comme précisé au paragraphe 5.2.2 « Hypothèses prises dans le logiciel ERICA sur les rejets atmosphériques », faute de paramètres radioécologiques disponibles pour certains radionucléides, l'activité du père concerné a été prise égale, dans l'outil ERICA, à l'activité du père additionnée à celle de son (ses) fils. Cela a été réalisé pour

- le ²²⁶Ra avec le ²²²Rn et le ²¹⁴Pb ;
- le ²¹⁰Pb avec le ²¹⁰Po ;
- le ²²⁸Ra avec le ²²⁸Ac ;
- le ²²⁸Th avec le ²²⁰Rn, le ²¹²Pb et le ²⁰⁸Tl ;
- le ⁹⁰Sr avec le ⁹⁰Y.

Les concentrations d'activités dans les sols utilisés dans l'outil ERICA sont présentées ci-après.

Radionucléide	Concentration d'activité dans les sols (Bq/kg sol sec)
²³⁵ U	1,51.10 ⁻⁵
²³¹ Th	3,93.10 ⁻⁹
²³¹ Pa	7,39.10 ⁻⁵
²²⁷ Th	1,76.10 ⁻⁷
²²³ Ra	1,07.10 ⁻⁷
²¹⁵ Po	1,93.10 ⁻¹⁶
²¹¹ Pb	2,36.10 ⁻¹⁰
²³⁸ U	3,32.10 ⁻⁴
²³⁴ Th	1,96.10 ⁻⁶
^{234m} Pa	6,62.10 ⁻¹¹
²³⁸ Pu	6,56.10 ⁻⁷
²³⁴ U	3,32.10 ⁻⁴
²³⁰ Th	9,77.10 ⁻⁴
²²⁶ Ra	8,45.10 ⁻³
²¹⁸ Po	2,29.10 ⁻⁹
²¹⁴ Pb	2,01.10 ⁻⁸
²¹⁴ Po	1,49.10 ⁻⁸
²¹⁰ Pb	5,30.10 ⁻³
²¹⁰ Po	1,49.10 ⁻⁴
²⁴¹ Pu	3,47.10 ⁻⁵
²⁴¹ Am	3,76.10 ⁻⁶
²³⁷ Np	6,44.10 ⁻⁶
²³³ Pa	2,94.10 ⁻⁸
²³² Th	4,96.10 ⁻⁴
²²⁸ Ra	1,45.10 ⁻⁴
²²⁸ Th	5,06.10 ⁻⁵
²²⁴ Ra	2,70.10 ⁻⁷
²¹⁶ Po	1,24.10 ⁻¹³
²¹² Pb	3,27.10 ⁻⁸
²¹² Po	1,63.10 ⁻¹⁹
¹³⁷ Cs	1,70.10 ⁻⁴
^{137m} Ba	1,70.10 ⁻⁴
⁹⁹ Tc	5,11.10 ⁻⁴
⁹⁰ Sr	3,72.10 ⁻⁴
²³⁹ Pu	3,57.10 ⁻⁷
²⁴⁰ Pu	3,57.10 ⁻⁷

Tableau 9 : Concentrations en radionucléides modélisées dans les sols au niveau de la zone d'exposition maximale, hors site AREVA NC de Malvési

A partir des valeurs de concentrations d'activité dans les sols déterminées au niveau de la zone la plus exposée dans l'environnement hors site AREVA NC de Malvés, l'outil ERICA permet de calculer :

- le débit de dose total reçu par chaque organisme de référence ;
- les quotients de risque estimés ;
- une estimation de la valeur conservative des quotients de risque (95^{ème} percentile des quotients de risques attendus).

Les résultats sont présentés ci-dessous.

Organisme de référence	Débit de dose total ($\mu\text{Gy/h}$)	Quotient de risque attendu <i>(ne prenant pas en compte le facteur d'incertitude)</i>	Valeur conservative du quotient de risque <i>(estimation du 95^{ème} percentile associé, prenant en compte le facteur d'incertitude)</i>
Amphibien	$5,49.10^{-5}$	$5,49.10^{-6}$	$1,65.10^{-5}$
Annélide	$5,99.10^{-5}$	$5,99.10^{-6}$	$1,80.10^{-5}$
Arbre	$1,68.10^{-5}$	$1,68.10^{-6}$	$5,05.10^{-6}$
Arbuste	$3,90.10^{-4}$	$3,90.10^{-5}$	$1,17.10^{-4}$
Arthropode Détritivore	$5,90.10^{-5}$	$5,90.10^{-6}$	$1,77.10^{-5}$
Gastéropode - Mollusque	$6,04.10^{-5}$	$6,04.10^{-6}$	$1,81.10^{-5}$
Herbe et aromate	$2,23.10^{-4}$	$2,23.10^{-5}$	$6,68.10^{-5}$
Insecte volant	$5,41.10^{-5}$	$5,41.10^{-6}$	$1,62.10^{-5}$
Lichen et bryophyte	$8,86.10^{-4}$	$8,86.10^{-5}$	$2,66.10^{-4}$
Mammifère (grand)	$5,61.10^{-5}$	$5,61.10^{-6}$	$1,68.10^{-5}$
Mammifère (petit)	$5,81.10^{-5}$	$5,81.10^{-6}$	$1,74.10^{-5}$
Oiseau	$4,74.10^{-5}$	$4,74.10^{-6}$	$1,42.10^{-5}$
Reptile	$5,56.10^{-5}$	$5,56.10^{-6}$	$1,67.10^{-5}$

Tableau 10 : Débits de dose totaux reçus et quotients de risque, par organisme de référence, au niveau de la zone d'exposition maximale hors site, dû aux rejets atmosphériques radioactifs de l'installation TDN

Au niveau de la zone d'exposition maximale dans l'environnement, le débit de dose maximal de $8,86.10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ est observé pour les lichens et les bryophytes.

Le quotient de risque attendu maximal attribuable aux rejets radioactifs atmosphériques de l'installation TDN est de **$8,86.10^{-5}$** . Cette valeur est calculée pour l'organisme de référence le plus impacté, à savoir les lichens et bryophytes. De plus, la valeur conservative du quotient de risque est de $2,66.10^{-4}$.

Les valeurs calculées sont très inférieures à la valeur de référence de 1. Le risque radiologique sur l'écosystème terrestre attribuable aux rejets radioactifs atmosphériques de TDN peut ainsi être considéré comme acceptable.

6.2 INCIDENCES DES REJETS SUR LES ESPACES REMARQUABLES ET PROTEGES

6.2.1 Evaluation au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Colline de Moussan »

Les concentrations d'activité dans les sols attribuables aux rejets atmosphériques de l'installation TDN ont été calculées au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Colline de Moussan ». Ces concentrations sont présentées dans le tableau suivant.

Radionucléide	Concentration d'activité dans les sols (Bq/kg sol sec)
²³⁵ U	6,63.10 ⁻⁶
²³¹ Th	1,73.10 ⁻⁹
²³¹ Pa	3,25.10 ⁻⁵
²²⁷ Th	7,72.10 ⁻⁸
²²³ Ra	4,71.10 ⁻⁸
²¹⁵ Po	8,50.10 ⁻¹⁷
²¹¹ Pb	1,04.10 ⁻¹⁰
²³⁸ U	1,46.10 ⁻⁴
²³⁴ Th	8,62.10 ⁻⁵
^{234m} Pa	2,91.10 ⁻¹¹
²³⁸ Pu	2,89.10 ⁻⁷
²³⁴ U	1,46.10 ⁻⁴
²³⁰ Th	4,30.10 ⁻⁴
²²⁶ Ra	3,72.10 ⁻⁴
²¹⁸ Po	1,01.10 ⁻⁹
²¹⁴ Pb	8,85.10 ⁻⁹
²¹⁴ Po	6,54.10 ⁻⁹
²¹⁰ Pb	2,33.10 ⁻³
²¹⁰ Po	6,55.10 ⁻⁵
²⁴¹ Pu	1,53.10 ⁻⁵
²⁴¹ Am	1,65.10 ⁻⁶
²³⁷ Np	2,83.10 ⁻⁶
²³³ Pa	1,30.10 ⁻⁸
²³² Th	2,18.10 ⁻⁴
²²⁸ Ra	6,37.10 ⁻⁵
²²⁸ Th	2,23.10 ⁻⁵
²²⁴ Ra	1,19.10 ⁻⁷
²¹⁶ Po	5,45.10 ⁻¹⁴
²¹² Pb	1,44.10 ⁻⁸
²¹² Po	7,19.10 ⁻²⁰
¹³⁷ Cs	7,49.10 ⁻⁵
^{137m} Ba	7,49.10 ⁻⁵
⁹⁹ Tc	2,25.10 ⁻⁴

Radionucléide	Concentration d'activité dans les sols (Bq/kg sol sec)
⁹⁰ Sr	1,63.10 ⁻⁴
²³⁹ Pu	1,57.10 ⁻⁷
²⁴⁰ Pu	1,57.10 ⁻⁷

Tableau 11 : Concentrations en radionucléides, modélisées dans les sols au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Colline de Moussan »

A partir de ces valeurs de concentrations d'activité dans les sols, en Bq/kg de matière sèche, l'outil ERICA permet de calculer :

- le débit de dose total reçu par chaque organisme de référence ;
- les quotients de risque attendus ;
- une estimation de la valeur conservatrice des quotients de risque (95^{ème} percentile des quotients de risques attendus).

Les mêmes hypothèses sur le terme source que pour la zone la plus exposée dans l'environnement ont été prises (§ 6.1 « Evaluation au niveau de la zone d'exposition maximale dans l'environnement, hors site AREVA NC de Malvési »).

Les résultats sont présentés ci-après.

Organisme de référence	Débit de dose total ($\mu\text{Gy/h}$)	Quotient de risque attendu <i>(ne prenant pas en compte le facteur d'incertitude)</i>	Valeur conservative du quotient de risque <i>(estimation du 95^{ème} percentile associé, prenant en compte le facteur d'incertitude)</i>
Amphibien	$2,42.10^{-5}$	$2,42.10^{-6}$	$7,25.10^{-6}$
Annélide	$2,64.10^{-5}$	$2,64.10^{-6}$	$7,91.10^{-6}$
Arbre	$7,42.10^{-6}$	$7,42.10^{-7}$	$2,23.10^{-6}$
Arbuste	$1,71.10^{-4}$	$1,71.10^{-5}$	$5,14.10^{-5}$
Arthropode Détritivore	$2,60.10^{-5}$	$2,60.10^{-6}$	$7,79.10^{-6}$
Gastéropode - Mollusque	$2,66.10^{-5}$	$2,66.10^{-6}$	$7,97.10^{-6}$
Herbe et aromate	$9,80.10^{-5}$	$9,80.10^{-6}$	$2,94.10^{-5}$
Insecte volant	$2,38.10^{-5}$	$2,38.10^{-6}$	$7,15.10^{-6}$
Lichen et bryophyte	$3,90.10^{-4}$	$3,90.10^{-5}$	$1,17.10^{-4}$
Mammifère (grand)	$2,47.10^{-5}$	$2,47.10^{-6}$	$7,41.10^{-6}$
Mammifère (petit)	$2,56.10^{-5}$	$2,56.10^{-6}$	$7,67.10^{-6}$
Oiseau	$2,09.10^{-5}$	$2,09.10^{-6}$	$6,26.10^{-6}$
Reptile	$2,45.10^{-5}$	$2,45.10^{-6}$	$7,35.10^{-6}$

Tableau 12 : Débits de dose totaux reçus et quotients de risque, par organisme de référence, au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Colline de Moussan », dû aux rejets atmosphériques radioactifs de l'installation TDN

Au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Colline de Moussan », le débit de dose maximal de $3,90.10^{-4} \mu\text{Gy/h}$ est observé pour les lichens et les bryophytes.

Le quotient de risque attendu maximal attribuable aux rejets atmosphériques radioactifs de l'installation TDN est de **$3,90.10^{-5}$** . Cette valeur est calculée pour l'organisme de référence le plus impacté, à savoir les lichens et bryophytes.

De plus, la valeur conservative du quotient de risque est de $1,17.10^{-4}$.

Les valeurs calculées sont très inférieures aux valeurs de référence de 1. Le risque radiologique sur l'écosystème terrestre attribuable aux rejets radioactifs atmosphériques de TDN peut ainsi être considéré comme acceptable, au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Colline de Moussan ».

6.2.2 Evaluation au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Marais de la Livière »

Les concentrations d'activité dans les sols attribuables aux rejets atmosphériques de l'installation TDN ont également été calculées au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Marais de la Livière ».

Ces concentrations sont présentées dans le tableau suivant.

Radionucléide	Concentration d'activité dans les sols (Bq/kg sol sec)
²³⁵ U	8,61.10 ⁻⁵
²³¹ Th	2,25.10 ⁻⁸
²³¹ Pa	4,22.10 ⁻⁵
²²⁷ Th	1,00.10 ⁻⁷
²²³ Ra	6,12.10 ⁻⁸
²¹⁵ Po	1,10.10 ⁻¹⁶
²¹¹ Pb	1,35.10 ⁻¹⁰
²³⁸ U	1,90.10 ⁻⁴
²³⁴ Th	1,12.10 ⁻⁶
^{234m} Pa	3,78.10 ⁻¹¹
²³⁸ Pu	3,75.10 ⁻⁷
²³⁴ U	1,90.10 ⁻⁴
²³⁰ Th	5,59.10 ⁻⁴
²²⁶ Ra	4,83.10 ⁻³
²¹⁸ Po	1,31.10 ⁻⁹
²¹⁴ Pb	1,15.10 ⁻⁸
²¹⁴ Po	8,51.10 ⁻⁹
²¹⁰ Pb	3,03.10 ⁻³
²¹⁰ Po	8,52.10 ⁻⁵
²⁴¹ Pu	1,99.10 ⁻⁵
²⁴¹ Am	2,15.10 ⁻⁶
²³⁷ Np	3,68.10 ⁻⁶
²³³ Pa	1,68.10 ⁻⁸
²³² Th	2,84.10 ⁻⁴
²²⁸ Ra	8,28.10 ⁻⁵
²²⁸ Th	2,89.10 ⁻⁵
²²⁴ Ra	1,55.10 ⁻⁷
²¹⁶ Po	7,09.10 ⁻¹⁴
²¹² Pb	1,87.10 ⁻⁸
²¹² Po	9,34.10 ⁻²⁰
¹³⁷ Cs	9,74.10 ⁻⁵
^{137m} Ba	9,74.10 ⁻⁵

Radionucléide	Concentration d'activité dans les sols (Bq/kg sol sec)
⁹⁹ Tc	2,92.10 ⁻⁴
⁹⁰ Sr	2,13.10 ⁻⁴
²³⁹ Pu	2,04.10 ⁻⁷
²⁴⁰ Pu	2,04.10 ⁻⁷

Tableau 13 : Concentrations en radionucléides, modélisées dans les sols au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Marais de la Livière »

A partir de ces valeurs de concentrations d'activité dans les sols, en Bq/kg de matière sèche, l'outil ERICA permet de calculer :

- le débit de dose total reçu par chaque organisme de référence ;
- les quotients de risque attendus ;
- une estimation de la valeur conservative des quotients de risque (95^{ème} percentile des quotients de risques attendus).

Les mêmes hypothèses sur le terme source que pour la zone la plus exposée dans l'environnement ont été prises (§ 6.1 « Evaluation au niveau de la zone d'exposition maximale dans l'environnement, hors site AREVA NC de Malvésy »). Les résultats sont présentés ci-après.

Organisme de référence	Débit de dose total (μGy/h)	Quotient de risque attendu <i>(ne prenant pas en compte le facteur d'incertitude)</i>	Valeur conservative du quotient de risque <i>(estimation du 95^{ème} percentile associé, prenant en compte le facteur d'incertitude)</i>
Amphibien	3,14.10 ⁻⁵	3,14.10 ⁻⁶	9,41.10 ⁻⁶
Annélide	3,42.10 ⁻⁵	3,42.10 ⁻⁶	1,03.10 ⁻⁵
Arbre	9,63.10 ⁻⁶	9,63.10 ⁻⁷	2,89.10 ⁻⁶
Arbuste	2,23.10 ⁻⁴	2,23.10 ⁻⁵	6,68.10 ⁻⁵
Arthropode Détritivore	3,37.10 ⁻⁵	3,37.10 ⁻⁶	1,01.10 ⁻⁵
Gastéropode - Mollusque	3,45.10 ⁻⁵	3,45.10 ⁻⁶	1,03.10 ⁻⁵
Herbe et aromate	1,27.10 ⁻⁴	1,27.10 ⁻⁵	3,82.10 ⁻⁵
Insecte volant	3,09.10 ⁻⁵	3,09.10 ⁻⁶	9,28.10 ⁻⁶
Lichen et bryophyte	5,06.10⁻⁴	5,06.10⁻⁵	1,52.10 ⁻⁴
Mammifère (grand)	3,21.10 ⁻⁵	3,21.10 ⁻⁶	9,62.10 ⁻⁶
Mammifère (petit)	3,32.10 ⁻⁵	3,32.10 ⁻⁶	9,95.10 ⁻⁶
Oiseau	2,71.10 ⁻⁵	2,71.10 ⁻⁶	8,13.10 ⁻⁶
Reptile	3,18.10 ⁻⁵	3,18.10 ⁻⁶	9,54.10 ⁻⁶

Tableau 14 : Débits de dose totaux reçus et quotients de risque, par organisme de référence, au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Marais de la Livière », dû aux rejets atmosphériques radioactifs de l'installation TDN

Au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Marais de la Livière », le débit de dose maximal de 5,06.10⁻⁴ μGy/h est observé pour les lichens et les bryophytes.

Le quotient de risque attendu maximal attribuable aux rejets atmosphériques radioactifs de l'installation TDN est de **5,06.10⁻⁵**. Cette valeur est calculée pour l'organisme de référence le plus impacté, à savoir les lichens et bryophytes.

De plus, la valeur conservative du quotient de risque est de 1,52.10⁻⁴.

Les valeurs calculées sont très inférieures aux valeurs de référence de 1. Le risque radiologique sur l'écosystème terrestre attribuable aux rejets radioactifs atmosphériques de l'installation TDN peut ainsi être considéré comme acceptable, au niveau de la zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Marais de la Livière ».

7 CONCLUSION

Les calculs réalisés avec l'outil ERICA, selon les informations et les connaissances disponibles au moment de la réalisation de cette étude, permettent de conclure que le risque environnemental induit par les rejets radioactifs atmosphériques de l'installation TDN, peut être considéré comme acceptable.

En effet, les quotients de risques attendus (et les valeurs conservatives des quotients de risques) sont, systématiquement, très inférieurs à la valeur de référence de 1, comme le rappelle le tableau ci-dessous.

Milieu terrestre	Zone d'exposition maximale hors site de Malvési	Zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Colline de Moussan »	Zone d'exposition maximale de la ZNIEFF « Marais de la Livière »
Quotient de risque attendu	$8,86.10^{-5}$	$3,90.10^{-5}$	$5,06.10^{-5}$
Organisme de référence le plus impacté	Lichen et bryophyte	Lichen et bryophyte	Lichen et bryophyte

Tableau 15 : Synthèse des quotients de risque attendus calculés avec le logiciel ERICA

A noter que la mise en perspective des effets des rejets atmosphériques du projet TDN avec les rejets du site AREVA NC Malvési (COMURHEX II et INB ECRIN) est présentée au chapitre 5 « Effets cumulés avec d'autres projets connus » de la présente étude d'impact.