

ÉTUDE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE DE MALVÉSI

Étude radiologique du milieu aquatique

JUILLET 2026

PROTÉGER LES PERSONNES ET L'ENVIRONNEMENT DES RISQUES RADIOLOGIQUES ET NUCLÉAIRES

Créée en janvier 2025, l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection est une autorité administrative indépendante en charge, au nom de l'État, du contrôle des activités nucléaires civiles en France. Elle remplit des missions d'expertise, de recherche, d'appui aux autorités en situation d'urgence radiologique, de formation et d'information des publics.

L'ASNR contribue à l'élaboration de la réglementation, expertise la sûreté des installations nucléaires, évalue les risques liés à l'usage des rayonnements ionisants et mène des programmes de recherche pluridisciplinaires, dans les domaines de la sûreté nucléaire et de la radioprotection.

Elle assure une surveillance radiologique de l'environnement. En situation d'urgence radiologique, elle conseille les autorités sur les actions de protection de la population.

L'ASNR mène ses missions au service de la sûreté et de la radioprotection en toute indépendance vis-à-vis des pouvoirs publics, des opérateurs et des intérêts privés. Elle est guidée par des principes de rigueur et d'impartialité, d'intégrité scientifique et d'éthique.

Elle s'appuie, pour prendre ses décisions, sur les connaissances scientifiques les plus récentes, l'expertise des meilleurs spécialistes et le sens de la proportion aux enjeux.

L'ASNR s'inscrit dans une démarche continue de dialogue avec les parties prenantes. Elle veille à ce que les citoyens disposent d'une information claire et fiable sur les enjeux nucléaires et radiologiques et puissent participer à l'élaboration de ses décisions ayant une incidence sur l'environnement, ainsi qu'à projets de recherche.

L'ASNR contribue au développement d'une culture de radioprotection, c'est-à-dire à la capacité des citoyens à adopter ou à mettre en œuvre des comportements appropriés face aux différentes situations d'exposition aux rayonnements ionisants.

RÉSUMÉ

Le site Orano de Malvési a connu de profondes transformations ces dernières années et de nouveaux projets industriels sont à l'étude ou en cours de réalisation. Aussi, pour renforcer son expertise environnementale autour de ce site et pouvoir apporter des éléments d'information au public, notamment sur l'évaluation de l'exposition des riverains, l'ASNR a réalisé une étude radiologique de site dans les milieux atmosphériques, terrestres et aquatiques de l'environnement de Malvési. L'étude du milieu aquatique s'est donné pour objectif de mieux caractériser l'influence des rejets atmosphériques et liquides, actuels ou passés, afin de disposer d'un référentiel radiologique actualisé et tenant compte des évolutions industrielles récentes ou en projet. Pour cela, des moyens métrologiques plus performants que ceux habituellement utilisés pour réaliser la surveillance environnementale du site ont été employés.

Une stratégie de prélèvement et d'analyses d'échantillons a été définie sur la base des données acquises dans le cadre des plans de surveillance annuels d'Orano et de l'ASNR, des études passées menées par l'ASNR, ainsi que de l'examen des rejets attendus des futures installations.

Les résultats obtenus montrent des activités d'uranium 238 mesurées dans les différents types d'échantillons, plus élevées en aval du point de rejet qu'en amont. Cet excès d'uranium, limité au canal du Tauran (aval immédiat du site industriel) pour les eaux et les plantes aquatiques, s'étend jusque dans l'étang de Bages pour les sédiments. On observe également que si les activités massiques d'uranium 238 mesurées dans la zone influencée ont diminué depuis 2007 du fait de la baisse des rejets liquides de l'usine, cette diminution est moindre que celle des rejets, suggérant l'existence de sources secondaires diffuses d'uranium, comme observé en milieu atmosphérique et terrestre lors de cette étude. Ces sources secondaires résultent principalement de la remise en suspension de poussières provenant du site ou de son environnement immédiat (bâtiments, sols, routes, digues, enrochements, etc.) ainsi que de l'envol d'embruns depuis les bassins de décantation, lors d'épisodes de vents forts.

Ces sources secondaires sont aussi à l'origine des traces de radionucléides artificiels (uranium 236, isotopes du plutonium, américium 241 et technétium 99) mesurées dans les différents échantillons

prélevés dans les canaux et dans l'étang de Bages. Ces radionucléides peuvent provenir, dans des proportions diverses, des rejets passés de l'usine qui s'opéraient via le canal de Cadariège ou de la remobilisation de particules depuis le site ou son environnement terrestre proche. Dans le cas des isotopes du plutonium et de l'américium 241, cette influence du site vient s'ajouter à la rémanence des retombées atmosphériques anciennes des essais d'armes nucléaires observable partout sur le territoire.

Une partie¹ des résultats acquis dans le cadre de cette étude ont contribué à évaluer l'exposition de la population avoisinante qui fait l'objet d'un rapport spécifique.

¹ Seuls les résultats disponibles à la date d'édition du rapport ASNR/2025-00541 ont été pris en compte pour le calcul de l'exposition des populations

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
1. PRÉSENTATION DU SITE DE MALVÉSI.....	7
1.1. Le site de Malvési.....	7
1.2. Le traitement de l'uranium sur le site de Malvési.....	7
1.3. Les effluents et les rejets du site.....	8
1.4. L'INB ecrin	9
1.5. Les projets industriels.....	10
2. SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE DE MALVÉSI	11
2.1. Les dispositifs de surveillance dans l'environnement du site.....	11
2.2. Synthèse des données de surveillance en milieu aquatique	13
2.3. Synthèse des études radioécologiques antérieures relatives aux ⁹⁹ Tc et émetteurs alpha	15
3. ETUDE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE DE MALVÉSI	16
3.1. Stratégie de prélèvements des échantillons.....	16
3.2. Radionucléides d'intérêt.....	18
4. RÉSULTATS	21
4.1. L'uranium 238 et ses descendants	21
4.2. Les radionucléides artificiels	25
CONCLUSION.....	31
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	32

INTRODUCTION

Dans le cadre de sa mission de surveillance de l'environnement, l'ASNR souhaite renforcer ses connaissances sur l'influence des sites manipulant de la radioactivité sur leur environnement ainsi que sur l'exposition de la population avoisinante qui en résulte. C'est à cette fin et en complément de la connaissance issue de la surveillance régulière de l'environnement des sites nucléaires, qu'un programme d'« Études radiologiques de site » (ERS) a démarré en 2019 [1].

Le programme d'une ERS est organisé autour de trois axes principaux :

- Des études de terrain dans les différentes composantes de l'environnement (atmosphérique, terrestre et aquatique), par l'acquisition de mesures de radioactivité à proximité et à distance du site. Ces études permettent de multiplier et diversifier les types de prélèvements et d'analyses effectués dans le cadre de la surveillance régulière. Ce type d'étude est aussi l'occasion de mettre en œuvre des moyens techniques de prélèvement et de mesure très performants afin de pouvoir mesurer des niveaux très faibles de radioactivité,
- Des enquêtes de proximité pour connaître les modes de vie des habitants résidant autour du site (habitudes alimentaires et utilisation de l'espace et du temps) et ainsi mieux estimer leurs expositions,
- L'implication des acteurs locaux, en leur donnant la possibilité de participer à la définition et la réalisation du programme d'études, afin de s'assurer de répondre à leurs préoccupations, de les informer et de leur restituer de manière pédagogique cette connaissance des niveaux de radioactivité d'origine naturelle et artificielle auxquels ils sont exposés.

Après une ERS « pilote » menée entre 2019 et 2021 dans l'environnement du Centre nucléaire de production d'électricité de St-Alban Saint-Maurice (Isère) dans la vallée du Rhône [1], l'ASNR a choisi le site de la société Orano à Malvési, près de Narbonne, pour y mener une seconde ERS.

Ce site industriel comporte notamment une usine de conversion de l'uranium qui est une installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE), et une installation d'entreposage de déchets radiologiques, l'Installation nucléaire de base (INB) ECRIN. Il a connu de profondes transformations ces dernières années et de nouveaux projets sont à l'étude ou en cours de réalisation : projets PERLE-CERS au niveau de l'Installation nucléaire de base (INB) ECRIN, le nouvel

atelier de production d'UO₂ et le projet de traitement des nitrates (TDN) contenus dans les bassins industriels.

L'environnement du site de Malvési a fait l'objet d'études radioécologiques approfondies de la part de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)², entre 2007 et 2010, sur les milieux atmosphérique, terrestre et aquatique [2], [3] et [4]. En outre, l'environnement du site fait l'objet d'une surveillance radiologique réglementaire par l'exploitant et d'une surveillance complémentaire par l'ASNR. D'autres acteurs qu'Orano et l'ASNR réalisent des prélèvements et des mesures dans l'environnement du site de Malvési. Ainsi, un collectif de riverains du site soutenu par la CRIIRAD a réalisé ses propres mesures du débit de dose et des prélèvements de végétaux dans l'environnement du site dans le but de comprendre l'exposition chronique à l'uranium des riverains [5]. Les données anciennement acquises dans ces divers cadres nécessitent d'être actualisées et les données les plus récentes issues de la surveillance réglementaire ne permettent pas une caractérisation radiologique complète et précise de l'environnement car le nombre de points d'observation et les radionucléides mesurés (essentiellement l'uranium) sont limités.

Par conséquent, l'ASNR a estimé qu'une étude approfondie, en complément de la surveillance de routine et des études radioécologiques passées, permettrait de préciser les conséquences dans l'environnement des évolutions industrielles en cours ou à venir et d'apporter des éléments de réponses aux questionnements du public, notamment par l'évaluation de l'expositions des riverains.

L'étude radiologique du milieu aquatique dans l'environnement des installations de Malvési s'est donné pour objectif de mieux caractériser l'influence des émissions atmosphériques et liquides actuelles ou passées de radionucléides provenant du site pour répondre aux questions suivantes : quelle est l'extension spatiale de la zone influencée par les rejets actuels et passés ? Quelles sont les activités ajoutées par le site aux radionucléides déjà présents naturellement dans l'environnement (uranium) ? Peut-on faire la part entre les radionucléides artificiels provenant du site et ceux hérités des différentes sources de radioactivité qui ont affecté l'environnement français (retombées anciennes liées aux essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère, accident de Tchernobyl, etc.) ?

L'étude radiologique du site de Malvési ambitionne également de quantifier les activités ajoutées par les

² En 2025, l'IRSN a fusionné avec l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) créant ainsi l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR).

rejets aqueux du site dans certaines des denrées produites localement dans la mesure où elles sont irriguées avec l'eau du canal de la Robine, à l'aval hydraulique du site. Ces activités ont été utilisées pour évaluer de manière plus réaliste l'exposition de la population vivant alentour [18].

Enfin, la présente étude constitue un référentiel radiologique actualisé autour de ce site industriel.

Après avoir présenté le site Orano de Malvési et établi un rappel des principaux résultats acquis dans différents cadres (surveillance réglementaire par l'exploitant, surveillance complémentaire de l'ASNR, études radioécologiques anciennes), ce rapport détaille la stratégie de l'étude qui repose sur le prélèvement et l'analyse d'échantillons caractéristiques des milieux aquatiques. Les résultats sont ensuite interprétés avec, dans la mesure du possible, une analyse de leur évolution temporelle depuis 2007 et une détermination de leur origine (industrielle ou naturelle).

1. PRÉSENTATION DU SITE DE MALVÉSI

Situé dans le département de l'Aude, le site de Malvési est un des trois sites du cycle du combustible situés sur le territoire français sur lesquels sont implantées des installations de la société Orano.

1.1. LE SITE DE MALVÉSI

Situé à 3 km environ au nord de Narbonne, le site s'étend sur une surface d'environ 100 hectares environ. Avec les sites du Tricastin et de Marcoule, Malvési est un des trois sites du cycle du combustible situés sur le territoire français sur lesquels sont implantées des installations de la société Orano. La principale activité du site de Malvési est la purification des concentrés miniers importés en France, puis la conversion de l'uranium purifié en UF_4 . C'est sous cette forme que l'uranium est expédié ensuite sur le site du Tricastin, où il est converti en hexafluorure d'uranium (UF_6), avant l'étape d'enrichissement. La production annuelle d' UF_4 par l'usine de Malvési était de 9285 tonnes en 2022.

À son démarrage en 1959 et jusqu'en 1991, le site industriel avait pour vocation de produire de l'uranium métal à partir de concentrés miniers. À partir de 1964, l'objectif de l'installation est également de produire de l' UF_4 . L'uranium converti est essentiellement de l'uranium naturel (concentrés miniers). Entre 1960 et 1983, l'uranium de retraitement (URT), issu du retraitement à Marcoule de combustibles de la filière UNGG et également des réacteurs G1, G2 et G3, a été utilisé comme matière-première.

L'usine de conversion de l'uranium de Malvési est une Installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE).

En plus de l'ICPE, le site de Malvési comporte une Installation Nucléaire de Base, l'INB n°175, d'entreposage de déchets radiologiques appelée ECRIN (« entreposage confiné de résidus issus de la conversion »). Le décret de création de cette installation a été publié en 2015. L'INB est implantée sur d'anciens bassins d'évaporation et de décantation (bassins B1 et B2) et contient les boues résiduelles contenant des radionucléides naturels issus de la purification de l'uranium depuis le démarrage de l'activité industrielle sur le site (voir paragraphe 2.3) et des radionucléides artificiels, résidus du traitement de l'URT (voir paragraphe 2.4).



Cliché 1 - Vue aérienne du site Orano de Malvési issue du rapport d'information du site [7]. Les bassins industriels et les zones identifiés sur ce cliché sont décrits dans les paragraphes suivants.

1.2. LE TRAITEMENT DE L'URANIUM SUR LE SITE DE MALVÉSI

En amont du traitement industriel de l'uranium, le site dispose d'un parc d'entreposage de fûts de concentrés miniers, dont la capacité maximale autorisée est de 37 000 tonnes.

La transformation des concentrés miniers en UF_4 nécessite plusieurs étapes successives (Figure 1) :

- **Dissolution** : les concentrés miniers sont dissous avec de l'acide nitrique,
- **Purification** : dans la colonne de purification, l'uranium est extrait par un solvant organique à 40 % de TBP (tributylphosphate) et 60 % d'ISOPAR, qui fixe le nitrate d'uranium sous forme de complexe. Le solvant organique et l'uranium sont extraits au sommet de la colonne de purification. Au bas de la colonne sort la solution aqueuse contenant les impuretés chimiques et radiologiques (descendants de l' ^{238}U encore présents : le ^{230}Th et le ^{226}Ra , pour l'essentiel). Après traitement, ces effluents sont dirigés vers les bassins de décantation, puis d'évaporation,
- **Concentration** : lors de cette étape, le nitrate d'uranium est concentré avant l'étape de dénitrification,
- **Dénitrification thermique** : le nitrate d'uranium subit une réaction thermique par un système de combustion au gaz naturel (procédé Isoflash) qui conduit à la formation instantanée de poudre d'oxyde d'uranium (UO_3),

- **Hydrofluoruration** : cette dernière étape consiste à transformer l'oxyde d'uranium en UF₄. Le tétrafluorure d'uranium UF₄ obtenu est une poudre de couleur verte qui est conditionnée en citerne avant son acheminement vers le site de Tricastin.

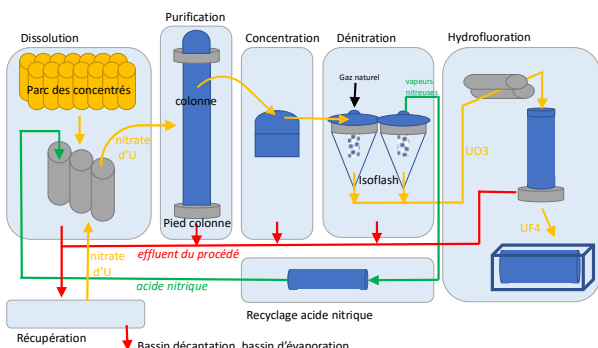


Figure 1- Schéma du procédé de fabrication de l'UF₄ sur le site de Malvési (d'après [7]).

1.3. LES EFFLUENTS ET LES REJETS DU SITE

Les effluents liquides et les boues issus du procédé de purification de l'uranium sont d'abord neutralisés, puis dirigés vers les bassins industriels du site. La séparation solide/liquide s'opère progressivement dans les bassins de sédimentation (B3, B5 et B6) qui recueillent les résidus solides et les radionucléides qu'ils contiennent (certains descendants de l'²³⁸U, comme le ²³⁰Th ou le ²²⁶Ra) ainsi que des traces d'uranium (Tableau 1). Les effluents liquides obtenus sont ensuite envoyés vers les bassins d'évaporation (B7 à B12), où les effluents liquides et les impuretés solubles qu'ils contiennent sont concentrés par évaporation naturelle, sous l'effet des conditions météorologiques locales (vent et chaleur). Ces bassins contiennent les radionucléides les plus solubles, parmi lesquels le ⁹⁹Tc, produit de fission provenant du traitement de l'URT et l'uranium. L'ensemble des effluents liquides produits depuis l'origine du site sont conservés dans ces bassins.

Tableau 1 - Radionucléides contenus dans les bassins industriels du site de Malvési [8].

	Volume déclaré (m ³)	Radionucléides
1. Bassins pour l'entreposage de déchets solides		
Bassin B5	19 922	²²⁶ Ra, ²³⁰ Th, ²³⁴ U, ²³⁵ U, ²³⁸ U
Bassin B6 (boues produites avant 2019)	19 104	²²⁶ Ra, ²³⁰ Th, ²³⁴ U, ²³⁵ U, ²³⁸ U
Bassin B6 production (boues produites depuis 2019)	4225	²²⁶ Ra, ²³⁰ Th, ²³⁴ U, ²³⁵ U, ²³⁸ U
2. Bassins d'évaporation des solutions (B7, B8, B9, B10, B11, B12)		
Bassins d'évaporation (solutions nitratées produites avant 2019)	372 266	⁹⁹ Tc, ²²⁶ Ra, ²³² Th, ²³⁴ U, ²³⁸ U, ²²⁷ Th
Solutions nitratées produites depuis 2019	5597	⁹⁹ Tc, ²²⁶ Ra, ²³² Th, ²³⁴ U, ²³⁸ U, ²²⁷ Th

Les eaux usées et sanitaires, les eaux de refroidissement de l'usine ainsi que les eaux pluviales (plateforme industrielle et zone des bassins), sont collectées, traitées par osmose inverse et contrôlées avant d'être rejetées dans le canal de Tauran (rejet unique site),

Le bassin de régulation (ancienne mine de soufre à ciel ouvert située au nord-ouest du site et aujourd'hui ennoyée), n'est plus en relation avec la plateforme industrielle et ne reçoit plus d'effluents industriels.

Enfin, les ateliers de transformation de l'uranium (ICPE) rejettent des effluents atmosphériques après traitement et/ou filtration, composés de poussières et de gaz résiduels. L'évolution temporelle des rejets des isotopes

de l'uranium dans le milieu atmosphérique est présentée en échelle logarithmique (Figure 2).

Les rejets annuels des isotopes de l'uranium sont bien inférieurs aux limites réglementaires fixées par l'Arrêté Préfectoral n°2012107-0006 :

- Milieu atmosphérique : limite annuelle de 64 kg d'U/an, soit 1,6 GBq/an pour les isotopes de l'uranium ;
- Milieu aquatique : limite annuelle de 131 kg d'U/an, soit 3,2 GBq/an pour les isotopes de l'uranium, complétée par une limite journalière de 10 kg d'U/jour (soit 0,28 GBq/jour pour les isotopes de l'uranium).

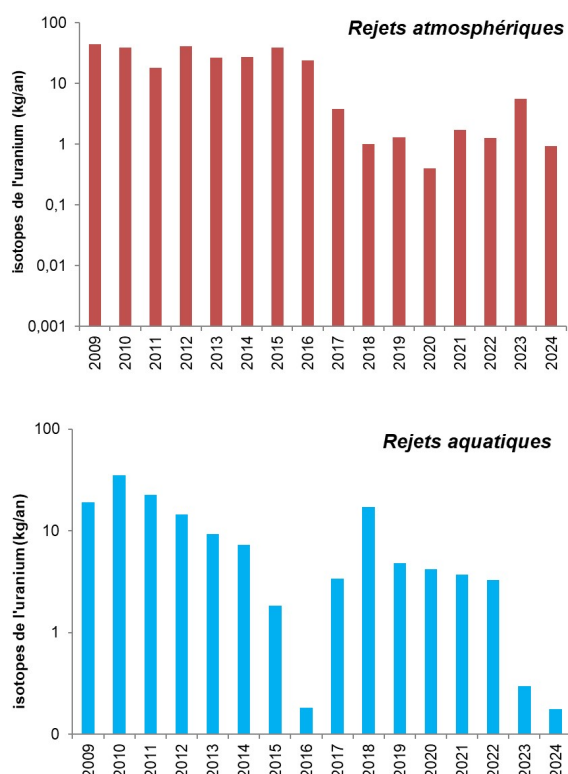


Figure 2 : Évolution temporelle de l'activité des isotopes de l'uranium rejetés dans le milieu atmosphérique (haut) et aquatique (bas). Données issues des rapports d'information du site Orano de Malvési.

1.4. L'INB ECRIN

L'INB ECRIN (« Entreposage Confiné de Résidus Issus de la conversionN») correspond aux anciens bassins B1 et B2 qui ont reçu les premiers effluents issus du

traitement de l'uranium dès la création de l'usine (Figure 3). En mars 2004, la digue de ces bassins (dénommés à cette époque « bassins d'effluents de procédé ») s'est rompue entraînant environ 30 000 m³ de boue en contrebas. Au cours des mois suivants, ces boues ont été remontées dans les bassins. A partir de 2004, d'importants travaux ont été réalisés dans le but de reconstruire la digue des bassins B1 et B2 et de sécuriser l'ensemble de ce secteur lagunaire. Entre 2012 et 2013, des travaux de confortement sont également menés au niveau de ces bassins (et plus globalement sur toute la partie Est de la zone industrielle de Malvési), afin de réduire l'empreinte environnementale de l'entreposage des déchets solides de procédé vis-à-vis des eaux souterraines (pose de parois étanches et d'une couverture). Les travaux de couverture étanche de l'INB ECRIN visant à améliorer le confinement des déchets entreposés sont achevés en octobre 2020. Le début de la vidange du bassin B5 vers les alvéoles étanches PERLE/CERS intervient en 2020 et en 2021 pour le bassin B6. Ces vidanges sont achevées fin 2022. La finalisation de la mise en place de la couverture bitumineuse sur la zone de l'alvéole PERLE intervient en 2023. Les résidus solides entreposés dans les alvéoles PERLE et CERS sont déshydratés après floculation dans le but de réduire les volumes d'un facteur 2,9 (Orano, 2022).

En plus des résidus du traitement de l'uranium naturel, les bassins B1 et B2 ont collecté des radionucléides artificiels (transuraniens et produits de fission) provenant de l'utilisation d'URT (uranium issu du retraitement de combustible nucléaire usé) sur le site, entre 1960 et 1983 (Tableau 2). De ce fait, l'entreposage de ces radionucléides artificiels ne peut être effectué réglementairement que dans une installation nucléaire de base (INB). L'ASN a autorisé la mise en service de l'INB n°175 dénommée ECRIN en 2018.

Tableau 2 - Radionucléides naturels et artificiels entreposés dans l'INB ECRIN [9]

	Volume déclaré (m ³)	Radionucléides
1. Bassins d'entreposage d'effluents solides		
Résidus/boues solides issues de la conversion de l'uranium	-	²³⁵ U, ²³⁸ U, ²³⁷ Np, ²³⁹ Pu, ²⁴¹ Pu, ²⁴¹ Am
2. Stériles miniers en partie contaminés par les infiltrations des bassins non revêtus de membranes à l'origine		
Stériles anciennes mines de soufre	200 000	²³⁸ U, ²³⁰ Th
3. Déchets de couverture		
Couverture terre	43 000	²³⁸ U, ²³⁴ U, ²³⁵ U
Matériaux aménagement	22 000	²³⁸ U, ²³⁴ U, ²³⁵ U

L'INB ECRIN est destinée à entreposer des déchets radioactifs de procédé, en attendant la définition et la mise en œuvre d'une filière de gestion à long terme, dont la recherche s'inscrit dans le cadre des prescriptions du Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs (PNGMDR).

1.5. LES PROJETS INDUSTRIELS

En plus des projets de rénovation et de modernisation des ateliers de transformation de l'uranium, Orano développe de nouveaux projets dans le but de réduire l'empreinte environnementale du site (traitement des nitrates = TDN) et de diversifier l'activité industrielle du site (atelier UO2).

Le projet TDN

La future installation TDN est destinée à traiter le passif historique des effluents liquides des bassins d'évaporation du site par la mise en œuvre d'un procédé de dénitrification thermique³ afin d'obtenir un déchet solide stockable dans une filière agréée.

Le rejet atmosphérique annuel autorisé pour l'installation TDN est de 7,97 GBq.an⁻¹ au total, dont 7,26 GBq.an⁻¹ de radon-222. Une petite partie de ce rejet atmosphérique concerne d'autres radionucléides naturels, comme le radium 226 (²²⁶Ra) et ses descendants (7,26 MBq.an⁻¹) et aussi des radionucléides artificiels, comme le ⁹⁹Tc (85,6 MBq.an⁻¹), d'autres produits de fission (⁹⁰Sr et ¹³⁷Cs) et des transuraniens présents dans les effluents liquides des bassins.

L'atelier UO2

Un nouvel atelier destiné à recycler de l'uranium appauvri de Tricastin pour produire de l'oxyde d'uranium (UO2) à destination de l'usine MELOX (site de Marcoule), opérationnel depuis 2022, a terminé sa phase de qualification du produit fini en 2024. La production maximale de cet atelier sera de 300 tonnes d'uranium par an.

³ L'installation TDN utilise en effet le procédé breveté THOR (Thermal Organic Reduction), développé par Studsvick et utilisé par le DOE (USA) pour pyrolyser les produits organiques dans un lit fluidisé, en atmosphère réductrice. Ce traitement permet notamment de réduire les nitrates en azote et de

transformer un effluent liquide en un résidu solide stabilisé, d'une part et en un effluent gazeux, d'autre part. Le produit solide obtenu est une poudre cimentaire contenant des minéraux dont la structure moléculaire en cage piège les radioéléments et les alcalins, les rendant peu solubles.

2. SURVEILLANCE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE DE MALVÉSI

Les principaux résultats de mesures obtenus dans l'environnement aquatique du site sont synthétisés ci-après. Il s'agit pour l'essentiel des données produites par Orano et l'ASNR dans le cadre de la surveillance réglementaire et régulière du site, complétées par des mesures acquises dans le cadre d'études plus spécifiques conduites par l'ASNR. Des mesures effectuées par d'autres organismes (Agence de l'eau, Parc Naturel Régional, etc.) ont également été utilisées pour réaliser cette synthèse.

2.1. LES DISPOSITIFS DE SURVEILLANCE DANS L'ENVIRONNEMENT DU SITE

L'exploitation de l'usine de Malvési est soumise à autorisation préfectorale, conformément à la réglementation applicable en matière d'installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). À ce titre, les rejets de cette installation sont encadrés par des autorisations propres à ce site délivrées par arrêté préfectoral et sont effectués après contrôle. Les activités des radionucléides dans l'environnement qui en résultent font l'objet d'une surveillance.

Par ailleurs, au titre de la réglementation des INB, ECRIN fait l'objet d'une surveillance spécifique encadrée par des décisions de l'ASNR.

Le plan de surveillance de l'environnement de l'exploitant (Tableau 3), mis en œuvre en application de décisions de la Préfecture et de l'ASNR, vise à détecter dans l'environnement, l'uranium⁴ présent dans les rejets effectués en situation de fonctionnement normal, à mesurer son activité ainsi qu'à alerter en cas d'augmentation anormale des niveaux de radioactivité dans l'environnement ou de dépassement des limites prescrites par les deux autorités. Cette surveillance réglementaire, assurée par l'exploitant consiste à prélever des échantillons à des fins d'analyses, dans les compartiments atmosphérique, terrestre et aquatique, sous et hors influence potentielle des rejets du site, dans les eaux souterraines, en amont et en aval du point de rejet principal (rejet unique du site, dans le Canal de Tauran).

L'ASNR réalise également une surveillance autour du site de Malvési (Tableau 3) qui vise principalement à évaluer l'influence du fonctionnement du site sur son environnement. Il s'agit de quantifier de manière plus précise les niveaux d'activités des radionucléides dans l'environnement afin de permettre une évaluation des expositions de la population qui en résulte. Répondant à un objectif différent mais complémentaire des mesures réalisées par l'exploitant, elle repose sur une métrologie plus performante permettant d'atteindre le plus souvent le bruit de fond radiologique ou, a minima, de mesurer de très faibles activités, d'en discriminer l'origine et de détecter une éventuelle anomalie.

Les résultats de ces programmes de surveillance sont accessibles sur le site internet et dans les rapports annuels d'Orano (ex. du rapport [11]), sur le site internet du Réseau National de Mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM) [9] et dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français [10], synthèse de l'ensemble des mesures produites dans le cadre de la surveillance radiologique de l'environnement.

En milieu aquatique, les prélèvements d'échantillons (eau de surface, sédiments, végétaux, poissons et mollusques) sont réalisés avec des fréquences variables, en particulier pour préserver la flore et la faune environnantes. Les prélèvements sont réalisés dans les zones situées sous influence potentielle des rejets du site de Malvési, dans le canal du Tauran (dans lequel les rejets aqueux sont effectués), dans le canal de la Robine ainsi que dans l'étang de Bages qui est en connexion avec la Méditerranée. Des points d'observation, situés hors influence des rejets liquides sont également surveillés par Orano (Figure 3).

⁴ Dans le cas du milieu atmosphérique, le plan de surveillance fixé par l'arrêté préfectoral ne comporte pas d'analyses d'uranium mais seulement des mesures mensuelles des activités alpha et bêta

globales. Ces analyses permettent de détecter une anomalie dans les rejets, mais pas de connaître les niveaux d'uranium dans l'air.

Tableau 3 - Plans de surveillance annuel de l'environnement aquatique réalisés par Orano et l'ASNR. AG=alpha global, Am = américium, BG=béta global, Pu=plutonium, U=uranium. [11]

Milieu surveillé	Orano				ASNR		
	Localisation	Fréquence de prélèvement (par an)	Nbre de points de prélèvement	Analyses	Fréquence de prélèvement (échantillon/an)	Nbe de points de prélèvement	Analyses
Eau de cours d'eau	Oeillal, point 16, Narbonne, écluses de Mandirac et de Sainte-Lucie ⁵	1	5	U	2	2	U
	Rocade	52	1	U			
	T600	52	1	U			
		12		AG, BG			
Eau de l'étang de Bages		1	3	U			
Sédiments fluviaux		1	4	U	2	2	Gamma, U, Pu, Am
Sédiments marins		1	3	U			
Faune aquatique Mollusques		Tous les 3 ans	3	U	1	2	Gamma, U
Faune aquatique Poissons		Tous les 3 ans	5	U	1	1	Gamma, U, Pu, Am
Plantes aquatiques	Oeillal, T600, Rocade et Narbonne	1	4	U			

⁵ Voir localisation des points sur la Figure 1

Schéma de situation des points de prélèvement dans Narbonne

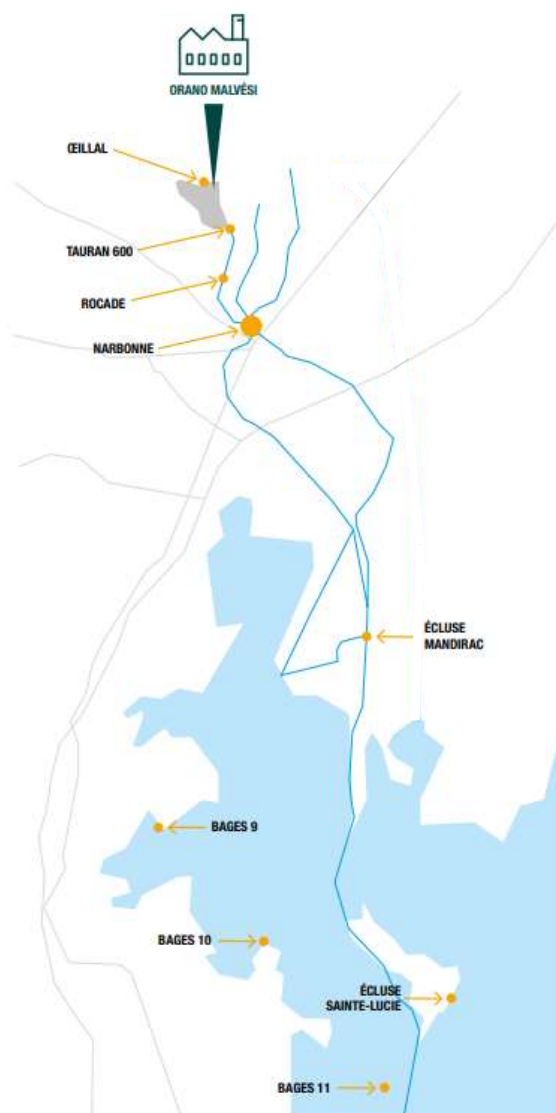


Figure 3 - Localisation des points de prélèvements suivi par Orano dans le milieu aquatique [11].

2.2. SYNTHÈSE DES DONNÉES DE SURVEILLANCE EN MILIEU AQUATIQUE

Eaux de surface

Au cours des deux années précédant cette étude, l'activité volumique moyenne de l'uranium mesurée par Orano s'établit à 0,05 Bq/L dans les eaux de surface du canal du Tauran prélevées en amont du site, tandis qu'à l'aval du point de rejet, l'activité volumique est en moyenne de 0,15 Bq/L. Les résultats de mesures obtenus par l'ASNR sont similaires à ceux de l'exploitant et témoignent également d'un excès d'uranium en aval du point de rejet de l'installation. L'eau prélevée dans la ville de Narbonne par Orano présente des activités

inférieures à celles mesurées dans le canal du Tauran, car le canal de la Robine qui réceptionne les eaux du Tauran apporte des eaux non influencées par les rejets du site, permettant de diluer les activités mesurées en amont.

L'évolution temporelle des activités de l'uranium dans l'eau met en évidence une variabilité des valeurs mesurées (comprises entre 0,08 et 0,28 Bq/L) qui traduit le fait que les rejets liquides de l'exploitant ne sont pas réalisés de manière continue (Figure 4). Toutefois, on observe une baisse de l'activité volumique de l'uranium dans le canal du Tauran au cours des quinze dernières années. En effet, l'étude menée en 2007 par l'IRSN avait mis en évidence un marquage par les rejets liquides dans les eaux de surface prélevées à l'aval du point de rejet avec une concentration en uranium variant de 0,16 à 0,23 Bq/L alors qu'elle était de 0,02 Bq/L dans les eaux prélevées en amont du site [2]. De manière générale, l'activité de l'uranium dans l'eau mesurée en amont par l'ASNR depuis 2007 est restée comprise entre 0,011 et 0,028. Malgré la plus forte variabilité des activités mesurées en aval, une tendance à la diminution est observable entre 2007 et 2022.

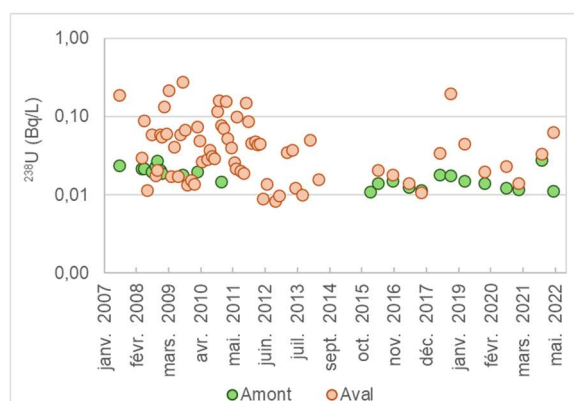


Figure 4 – Évolution temporelle de l'activité volumique en uranium ^{238}U des eaux de surface (Canal de Tauran) prélevées en amont (vert) et en aval (orange) du point de rejets liquides (données ASNR) (en Bq/L).

Sédiments

Dans les sédiments du canal de Tauran prélevés au cours des années précédant l'étude, les résultats de mesure de l'uranium témoignent également d'un marquage lié aux rejets liquides de l'installation. En effet, l'activité en ^{238}U mesurée en amont du point de rejet est comprise entre 15 et 20 Bq/kg sec, tandis qu'elle atteint 45 Bq/kg sec dans les sédiments prélevés en aval du point de rejet. Les données acquises par Orano témoignent également de ce marquage avec des activités supérieures à l'aval comparativement à celles mesurées en amont. Les différences d'activités massiques entre les mesures de l'ASNR et celles d'Orano s'expliquent par le fait que l'ASNR réalise ses analyses radiologiques sur des sédiments fins (< 2 mm), plus à même de fixer les radionucléides que les sédiments plus grossiers.

Des valeurs plus élevées en ^{238}U ont été mesurées par l'IRSN en 2007 dans les sédiments des canaux de Tauran et de Cadariège, ancien exutoire des rejets du site (80 et 70 Bq/kg, respectivement). Depuis cette étude, l'activité massique des sédiments en aval du point de rejet s'est stabilisée autour de 40 Bq/kg sec. On note toutefois une valeur supérieure en 2022 (127 Bq/kg sec).

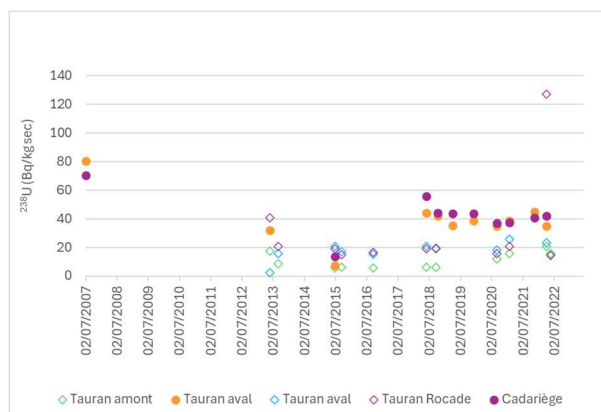


Figure 5 – Évolution temporelle de l'activité massique de l'uranium (en Bq/kg sec) dans les sédiments prélevés en amont et en aval du point de rejet du site de Malvés (symboles pleins : mesures IRSN, symboles vides : mesures Orano).

Plantes aquatiques

Jusqu'en 2021, les résultats de mesures d'uranium acquis par Orano mettaient régulièrement en évidence un excès d'uranium dans les échantillons prélevés à l'aval du point de rejet comparativement à ceux prélevés en amont (Figure 6). Toutefois, compte-tenu des incertitudes associées aux mesures, ce marquage est difficilement quantifiable. Les mesures réalisées depuis ne témoignent plus de cette différence entre les végétaux prélevés en amont et ceux prélevés en aval du point de rejet unique du site.

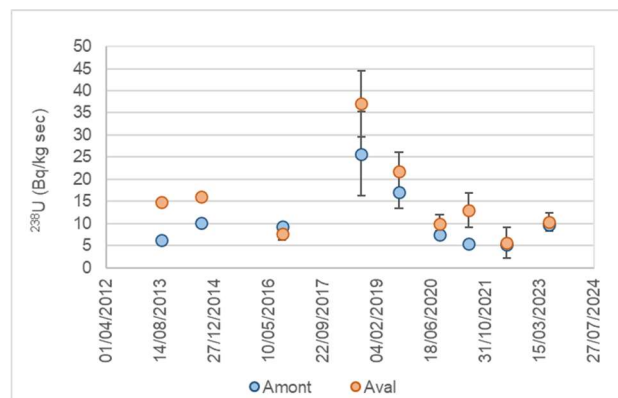


Figure 6 – Évolution temporelle de l'activité massique de l'uranium 238 dans les plantes aquatiques prélevées en amont et en aval du point de rejet du site de Malvés (les mesures d'uranium acquises par Orano et exprimées en mg/kg ont été converties⁶ en Bq/kg sec ; les incertitudes de mesures ne sont pas disponibles pour 2013 et 2014).

Poissons et mollusques

Afin de préserver les espèces biologiques locales (poissons et mollusques), le nombre de prélèvements est plus réduit que pour les eaux de surface et les sédiments. Les mesures acquises par Orano dans le cadre de son programme de surveillance sont le plus souvent inférieures aux seuils de décision⁷. Lorsqu'il est quantifié, l'uranium ne présente aucune différence entre les échantillons de poissons prélevés en amont et ceux prélevés en aval du point de rejet. Les mesures de l'ASNR réalisées dans le cadre de la surveillance régulière confirment ce constat.

Les moules prélevées dans l'étang de Bages par l'ASNR présentent une activité moyenne de 0,15 Bq/kg frais, inférieure à l'activité massique en ^{238}U de moules prélevées ailleurs en Méditerranée (moyenne de 0,26 Bq/kg frais, [12]).

⁶ Considérant que 99,3 % de l'uranium total est constitué par l' ^{238}U , la conversion d'unité a été entreprise pour permettre de comparer les résultats entre eux.

⁷ Le seuil de décision correspond à la valeur minimale d'activité que doit contenir un échantillon pour que le métrologue puisse « décider » de quantifier l'activité mesurée. En dessous de cette valeur, l'activité est

trop faible pour être quantifiée avec un degré de certitude suffisant. Cette valeur minimale dépend notamment de la performance des moyens métrologiques utilisés et du rayonnement ambiant de la salle de mesure.

Quelques mesures d' ^{236}U ⁸ sont disponibles pour les moules de l'étang de Bages, mais la détection de ce radionucléide artificiel demeure sporadique du fait des faibles activités mesurées : dans la plupart des cas l'activité est inférieure au seuil de décision <0,0015 Bq/kg frais). La rémanence dans l'environnement de ce radionucléide artificiel est liée à l'utilisation de l'URT entre 1960 et 1983 sur le site de Malvésí (voir paragraphe 1.2).

2.3. SYNTHÈSE DES ÉTUDES RADIOÉCOLOGIQUES ANTÉRIEURES RELATIVES AUX ^{99}Tc ET ÉMETTEURS ALPHA

En 2007, l'IRSN a réalisé une étude radioécologique de l'environnement de Malvésí, complétée en 2008 [2], [3]. La mise en œuvre de moyens métrologiques normalement réservés aux programmes de recherche a permis de mesurer des radionucléides qui n'étaient habituellement pas recherchés dans le cadre de la surveillance de routine⁹ tels que les isotopes du plutonium ou le ^{99}Tc .

Les résultats obtenus ont mis en évidence que l'influence des rejets liquides du site était limitée aux exutoires de rejets liquides anciens et actuels du site industriel. Ce marquage était attesté par des activités en uranium et ses descendants, ainsi qu'en transuraniens supérieures dans les sédiments et la flore aquatique comparativement à celles obtenues dans les échantillons témoins. Dans les eaux et la faune aquatique, le marquage restait circonscrit aux canaux du Tauran et de Cadariège (ancien exutoire du site). Dans les sédiments, l'influence des rejets liquides était visible jusque dans Narbonne (canal de la Robine).

L'utilisation des rapports isotopiques du plutonium ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$) a permis de suspecter un léger apport par remise en suspension, notamment dans les sédiments prélevés dans le canal de Tauran en amont du rejet. Enfin, des mesures complémentaires dans des sédiments ont mis en évidence la présence de ^{99}Tc dans l'environnement proche du site. Ce radionucléide artificiel est un marqueur des rejets anciens du site effectués pendant la période d'utilisation d'uranium de retraitement. Sa présence en milieu aquatique provient de l'envol d'embruns depuis les bassins industriels du site.

⁸ Dans le cadre de son programme de surveillance du milieu aquatique marin, l'ASNR a complété depuis 2018 le spectre des analyses réalisées dans l'étang de Bages afin de mieux caractériser l'éventuelle influence des rejets actuels ou ancien du site Orano de Malvésí.

⁹ Les analyses utilisant des moyens métrologiques performants ne sont pas adaptées pour la surveillance de routine du fait de capacités métrologiques réduites, de longs délais d'obtention des résultats et de coûts analytiques plus élevés.

3. ETUDE RADIOLOGIQUE DE L'ENVIRONNEMENT DU SITE DE MALVÉSI

L'étude radiologique de l'environnement aquatique du site de Malvési s'est déroulée entre 2023 et 2024. Après avoir défini la stratégie de prélèvements des échantillons dans l'environnement du site, les résultats de mesures sont présentés et mis en perspective des données présentées au paragraphe précédent.

3.1. STRATÉGIE DE PRÉLÈVEMENTS DES ÉCHANTILLONS

Les zones d'intérêt

De manière générale, en milieu aquatique, les zones d'intérêt se situent à l'aval du point des rejets liquides de l'installation considérée et s'étendent vers l'aval du cours d'eau à une distance variant selon la taille de l'hydrosystème et des conditions de dispersion des contaminants. Dans la pratique, un point amont est également échantillonné pour permettre de comparer les résultats obtenus (site témoin).

Dans le cas de Malvési, les rejets liquides du site sont effectués dans le canal de Tauran par un point de rejet unique. Le canal de Tauran fait partie d'un réseau de canaux qui distribue l'eau dans la plaine de l'Aude. Ce canal est notamment alimenté par la source de l'Oeillal, résurgence située en limite nord du site de Malvési. Le canal de Tauran se jette ensuite dans le canal de la Robine au niveau de la ville de Narbonne. Ce dernier rejoint l'étang de Bages par un exutoire principal qui se situe au niveau de Port-la-Nouvelle, à proximité de la connexion avec la mer Méditerranée.

Les points d'échantillonnage sélectionnés sont représentés sur la figure 7¹⁰. Des points de référence (ou sites témoins) situés hors influence des rejets liquides du site ont été choisis pour pouvoir disposer de données à comparer à celles obtenues sous influence des rejets liquides du site. Un premier point a été sélectionné dans le canal du Tauran, à l'amont immédiat du point de rejets des effluents (point 1). Toutefois, compte tenu d'apports possibles par voie atmosphérique du fait de la remise en suspension de particules provenant du site ou par des embruns

émanant des bassins industriels [2], [3], [13] et [14], un second point de référence amont a également été choisi plus au nord, à l'écluse de Raonel (Canal de la Robine ; point 2), dans une zone qui est hors influence atmosphérique du site Orano de Malvési. Un dernier site en milieu aquatique continental a également été retenu dans la Berre (point 3), petit fleuve drainant une partie du massif des Corbières avant de se jeter dans l'étang de Bages. Ce point d'échantillonnage doit fournir des données locales sur l'uranium, car les terrains traversés par ce cours d'eau sont plus riches en uranium naturel comparativement aux terrains sédimentaires de la plaine de l'Aude. Enfin, des poissons ont été prélevés en Méditerranée, à plus de 4 km au nord de l'étang de Bages (au droit de l'étang de l'Ayrolle, point 7). Les résultats de mesures acquis dans les autres matrices de l'étang sont comparés aux données de la littérature.

Concernant les points de prélèvement potentiellement soumis à l'influence des rejets liquides du site Orano, ils sont localisés dans le canal du Tauran, à l'aval immédiat du point de rejet unique (point 4) ainsi qu'en aval plus lointain, au point dit Tauran Rode (point 5). Un troisième point, situé dans la ville de Narbonne après la confluence du canal du Tauran avec le canal de la Robine (point 6) a également été retenu (nommé Narbonne centre ou centre-ville de Narbonne dans le reste du document).

Pour ce qui concerne l'étang de Bages, deux points de prélèvements ont été sélectionnés : un dans la partie Nord de l'étang (point 8¹¹) et l'autre dans la partie sud (point 9). L'échantillonnage dans la partie nord de l'étang a aussi pour objectif d'évaluer si l'exutoire du Canelou, petit cours d'eau qui évacue une plus grande partie des eaux de la Robine auparavant, n'aurait pas contribué à marquer cette partie de l'étang.

¹⁰ Les chiffres indiqués sur la carte de localisation sont reportés dans le texte ci-dessous.

¹¹ Deux n°8 sont représentés sur la carte de localisation des sites. La présence de certaines espèces n'étant pas systématique au point sélectionné sur la carte, il est parfois nécessaire de se déplacer de

quelques centaines de mètres pour trouver l'échantillon souhaité (cas des moules pour cette zone de l'étang).

Enfin, un dernier point d'échantillonnage (point 10), moins spécifique des milieux aquatiques a été retenu au domaine du Petit Mandirac en raison de l'utilisation de

l'eau provenant du canal de la Robine pour l'irrigation de cultures sous serre.

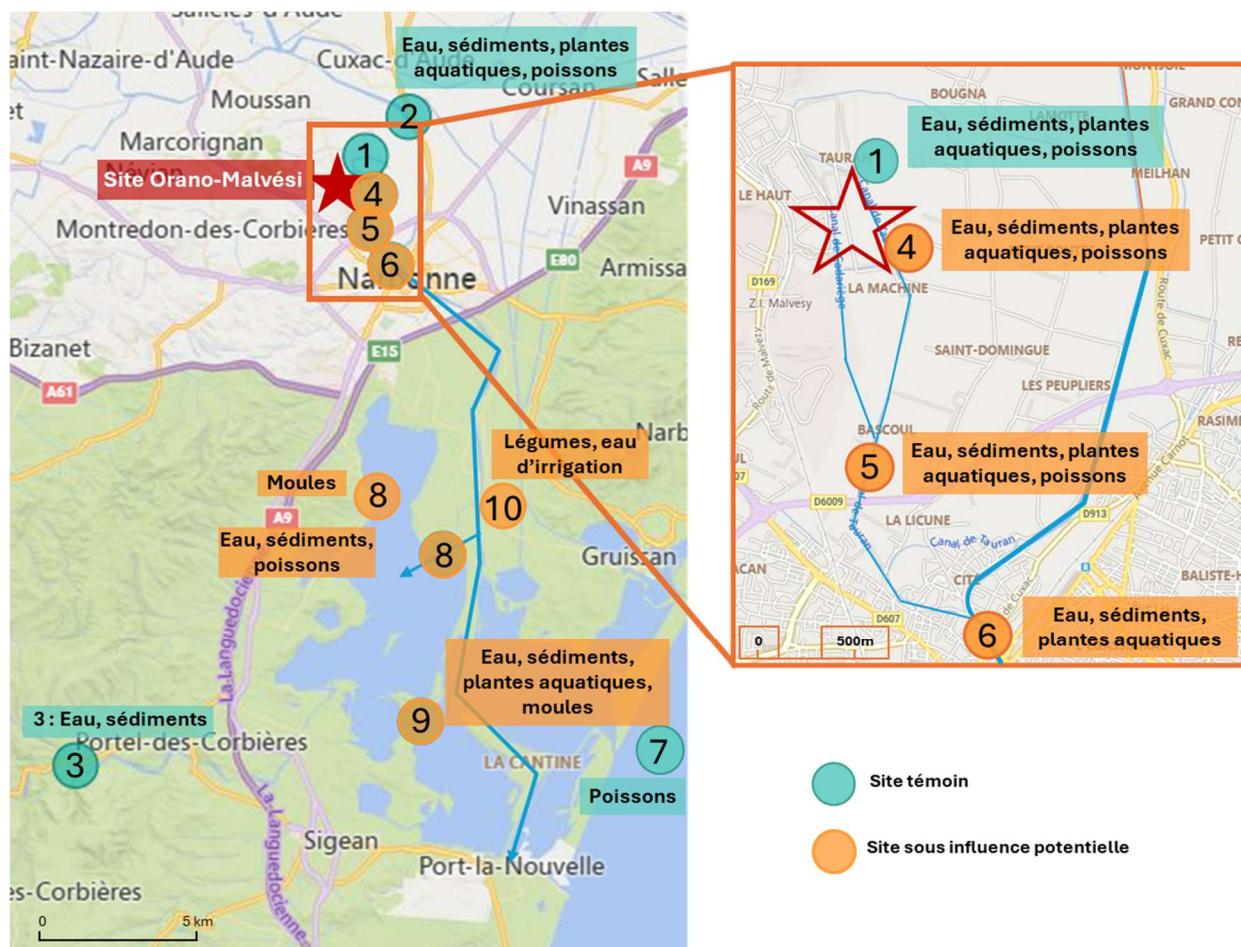


Figure 7 – Localisation des sites de prélèvement et identification des échantillons récoltés. Les sites retenus ont été numérotés de 1 à 10 pour faciliter le repérage dans certaines figures présentant les résultats des mesures.

Types d'échantillons prélevés

Indicateurs de l'état radiologique des milieux

Les eaux de surface et les sédiments permettent de rendre compte des niveaux de radioactivité dans l'environnement aquatique. Les eaux de surface sont prélevées pour analyser les radionucléides présents sous forme dissoute, notamment l'uranium qui, selon les conditions physico-chimiques du milieu (pH, potentiel d'oxydo-réduction, etc.) peut être présent à plus de 80% sous forme dissoute.

A l'inverse, les sédiments sont privilégiés du fait de leur capacité à fixer des contaminants qui présentent une forte affinité avec les particules du milieu aquatique. C'est notamment le cas des isotopes du plutonium et de l'américium, de certains émetteurs gamma (césium 137 par exemple) et, dans une moindre mesure de l'uranium qui peut se fixer sur les particules, en fonction de la teneur en argiles et des hydroxydes de fer dans l'eau de surface. Une analyse de la granulométrie (distribution de la taille des particules composant l'échantillon de

sédiments analysé) et de la teneur en matière organique a donc été réalisée sur les échantillons de sédiments prélevés pour faciliter l'interprétation des résultats de radioactivité (Figure 8). De ces analyses, il ressort que les sédiments du canal de Tauran sont caractérisés par des teneurs en matière organique plus élevées que les autres échantillons. La Berre se distingue par des sédiments plus grossiers, dont la capacité de fixation des contaminants sera vraisemblablement plus réduite que les sédiments prélevés sur le site de Tauran-Rocade ou dans la partie sud de l'étang de Bages, qui présentent à l'inverse une teneur en limons proche ou supérieure à 60%.

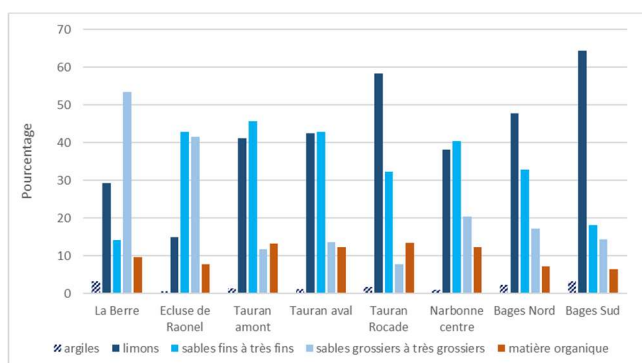


Figure 8 – Granulométrie (% de chaque fraction) et teneur en matière organique (en % de matière sèche) des sédiments échantillonnés.

Faune et flore

Des plantes aquatiques ont été prélevées pour compléter l'évaluation de l'état radiologique du milieu. Ces plantes aquatiques présentent l'avantage de concentrer des radionucléides présents dans l'eau en quantité trop faible pour y être mesurés directement.

D'autre part, des poissons ont été prélevés dans les canaux prospectés (silures, carpes, carassins, chevesnes, etc.) pour pouvoir réaliser l'ensemble des analyses prévues. Dans l'idéal, le prélèvement d'échantillons d'une même espèce est préconisé entre le site témoin et le site sous influence potentielle afin de s'affranchir des différences de métabolisation des contaminants qui peuvent varier entre espèces. Dans le cas où, comme pour cette étude, la quantité de poisson d'une même espèce n'est pas suffisante pour réaliser l'ensemble des analyses prévues, on a veillé à réaliser le même type d'analyse sur la même espèce entre le site témoin et le site sous influence (ex. mesure de l'uranium réalisée sur des carpes, mesure du ^{99}Tc réalisée sur des carassins, etc.)

Enfin, des mollusques ont été prélevés dans l'étang de Bages. Ces bioindicateurs ont une capacité de concentration importante des contaminants et l'espèce prélevée (moules de l'espèce *mytilus galloprovincialis*) est identique à celle que prélève l'Ifremer¹², organisme scientifique référent pour son expertise des milieux marins et pour la surveillance de la qualité sanitaire de l'eau de mer, des poissons et coquillages destinés à la consommation.

Denrées produites localement

La présence de légumes irrigués avec l'eau de la Robine et cultivés sous serre, a suscité un intérêt pour savoir si l'eau d'irrigation pouvait être un vecteur de marquage des activités du site Orano de Malvési à grande distance du site industriel (environ 11 km au sud) et hors influence du rejet atmosphérique de l'usine de conversion de l'uranium. Ainsi, des prélèvements de courgettes, de tomates et de salades ont été réalisés au domaine de Petit Mandirac.

Les poissons capturés dans les canaux, bien que la pêche y soit réglementée, et les moules prélevées dans l'étang de Bages ont également été considérés comme des denrées locales potentielles (malgré l'interdiction de consommation des coquillages qui s'applique dans l'étang de Bages). Ainsi, les activités mesurées dans ces échantillons ont été prises en compte dans l'évaluation de l'exposition des populations locales aux rayonnements ionisants et à la toxicité chimique de l'uranium [18].

3.2. RADIONUCLÉIDES D'INTÉRÊT

Dans le cadre de cette étude, les radionucléides prioritairement recherchés sont ceux qui sont ou ont été utilisés sur le site de Malvési, rejetés dans le milieu et susceptibles d'être mesurés dans l'environnement aquatique. Ces radionucléides peuvent être regroupés en deux catégories : ceux d'origine naturelle et ceux d'origine artificielle.

Les radionucléides naturels

L' ^{238}U et ses isotopes (^{234}U et ^{235}U) sont analysés car l'uranium est rejeté dans l'atmosphère et dans le milieu aquatique par le site (voir paragraphe 1.3). Déchets de la purification des concentrés miniers, les descendants de l' ^{238}U (^{230}Th et ^{226}Ra , principalement) sont entreposés dans les bassins industriels du site et ne sont pas rejetés dans l'environnement. Néanmoins, ces bassins industriels peuvent potentiellement émettre des poussières et des embruns dans l'atmosphère, dont les descendants de l'uranium peuvent constituer des traceurs dans l'environnement. En conséquence, ces descendants de l' ^{238}U ont également été recherchés.

En comparaison de l' ^{238}U (abondance = 99,27 %), l'abondance de l' ^{235}U est très faible (0,71 %) dans l'uranium naturel et de ce fait, les descendants de ce radionucléide, en très faible proportion par rapport à ceux de l' ^{238}U , n'ont pas été analysés.

Enfin, le polonium 210 (^{210}Po) est un élément naturel qui peut contribuer de manière significative à l'exposition des populations, en particulier des consommateurs de produits de la mer, comme les coquillages, les crustacés et les poissons [16]. Bien qu'il n'ait jamais été présent spécifiquement dans les rejets du site, ce radionucléide a été recherché dans quelques échantillons ciblés dans la perspective de l'évaluation dosimétrique des personnes vivant à proximité du site Orano de Malvési.

Les radionucléides artificiels

Les radionucléides artificiels qui proviennent du traitement de l'URT entre 1960 et 1983 sont des produits de fission (^{99}Tc , ^{90}Sr et ^{137}Cs), des produits d'activation neutronique (isotopes du plutonium et ^{236}U) et des

¹² <https://envlitt.ifremer.fr/Surveillance-du-littoral/Contaminants-chimiques>

descendants radiogéniques (^{241}Am , qui provient de la décroissance du ^{241}Pu , dont la période radioactive est de 14,4 ans). La majorité de ces radionucléides artificiels est aujourd'hui entreposée dans l'INB ECRIN. Cependant, il subsiste un marquage de l'environnement du site de Malvési, datant de la période de retraitement de l'URT, qui constitue une source secondaire pour ces radionucléides artificiels, qui a été mise en évidence par les études menées par le passé (cf. [2], [3] et [15]) ou lors de cette étude radiologique de site [13], [14]. Ainsi, le ^{99}Tc , le ^{90}Sr et le ^{137}Cs sont toujours présents en fortes concentrations dans la phase liquide des bassins industriels.

Par ailleurs, les travaux sur les bassins industriels sont à l'origine d'émissions de poussières comme le montre le marquage des végétaux prélevés à proximité immédiate du site par les transuraniens (isotopes du plutonium et ^{241}Am). Cet envol de poussières peut également affecter le compartiment aquatique, à la faveur du dépôt sur les berges ou la surface de l'eau.

D'autre part, les sols situés en bordure est du site sont marqués par des traces des isotopes du plutonium et par l' ^{241}Am ainsi que par l' ^{236}U rejetés lors du traitement de l'URT [3]. De même, l'étude du milieu aquatique menée en 2007-2008 par l'IRSN avait montré que les sédiments contenaient des transuraniens et de l' ^{236}U . Ces sources secondaires de radionucléides artificiels sont toujours susceptibles d'influencer le compartiment aquatique par l'érosion des sols et le transport des particules de sols vers le canal de Taurins ou de remobilisation des sédiments présents dans ce canal.

Enfin, rappelons que les radionucléides artificiels issus des essais nucléaires atmosphériques (années 1950 à 1980) et de l'accident de Tchernobyl (1986) constituent, en plus des rejets du site industriel de Malvési, une source de radionucléides artificiels dans l'environnement en France métropolitaine (cas du ^{137}Cs , du ^{90}Sr et des transuraniens ; IRSN, 2022).

Les radionucléides rejetés par la future installation TDN

Les mesures des radionucléides dans le milieu aquatique pourront également être utilisées comme valeurs de référence pour évaluer les activités ajoutées par les rejets atmosphériques de la future installation TDN en milieu terrestre. L'inventaire des rejets de cette installation permet de connaître les radionucléides qui seront les traceurs des rejets de cette installation dans l'environnement.

Le radon figure en tête de l'inventaire des radionucléides rejetés dans l'atmosphère par l'installation TDN (7,26 GBq.an⁻¹). Ce radionucléide

gazeux diffuse dans l'atmosphère à partir des points d'émission et ne se dépose pas dans les milieux terrestre ou aquatique ; il n'y est donc pas mesuré¹³.

Parmi les autres radionucléides rejetés, figurent des radionucléides artificiels comme le ^{99}Tc (85,6 MBq.an⁻¹) et, dans une moindre mesure, le ^{90}Sr et le ^{137}Cs , ainsi que des radionucléides naturels, comme le ^{226}Ra (7,26 MBq.an⁻¹) et ses descendants (^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb et ^{210}Po). D'autres radionucléides artificiels, comme les transuraniens (isotopes du plutonium, ^{241}Am et ^{237}Np) figurent également dans les rejets, mais avec des activités très faibles du fait d'activités annuellement rejetées très faibles également (0,0005 à 0,05 MBq/an).

Stratégie d'analyse retenue

En tenant compte de ces différentes sources des radionucléides naturels et artificiels d'une part et des propriétés physico-chimiques des radionucléides recherchés d'autre part, les analyses radiologiques ont été adaptées en fonction des types d'échantillons prélevés :

- Les isotopes de l'uranium et du thorium ainsi que les émetteurs alpha (^{241}Am , ^{239}Pu , ^{240}Pu et ^{241}Pu) ont été recherchés dans l'ensemble des échantillons prélevés, sauf dans les eaux où seuls un échantillon en amont et un échantillon en aval immédiat du point de rejet des effluents liquides ont été analysés. En effet, ces radionucléides sont très peu présents dans l'eau sous forme dissoute (forte affinité particulaire) ;
- La spectrométrie gamma qui permet de déterminer la présence de certains descendants de l'uranium 238 ou du césium 137 a été réalisée sur l'ensemble des échantillons solides (sédiments, plantes aquatiques, poissons, moules et légumes). Comme pour les émetteurs alpha, seules les eaux prélevées à l'amont immédiat et à l'aval du point de rejet unique du site ont été analysées par spectrométrie gamma ;
- Le technétium 99 (^{99}Tc) a été recherché dans les eaux de surface (excepté dans celles de la Berre qui est hors d'influence de ce radionucléide artificiel) et dans les sédiments présentant des fortes teneurs en matière organique. Ce radionucléide a également été recherché dans l'ensemble des échantillons de plantes aquatiques ainsi que dans les moules de l'étang de Bages. Les poissons n'ont pas été retenus car le ^{99}Tc s'accumule dans le tractus gastro-intestinal qui n'est pas consommé. Enfin, il a été recherché dans les salades, car c'est dans les légumes feuilles que les facteurs de transfert¹⁴ aux denrées terrestres sont les plus élevés.

¹³ En revanche, si TDN induit des concentrations en radon dans l'air plus élevées, des augmentations de la concentration de descendants du radon (^{210}Pb et ^{210}Po notamment) pourraient être observées dans l'environnement.

¹⁴ Le transfert racinaire est un processus d'absorption des radionucléides contenus dans les sols via les racines. Certains radionucléides, analogues chimiques d'éléments utiles au développement des végétaux peuvent donc être intégrés dans

- Le neptunium 237 (^{237}Np) a été recherché dans les eaux de surface du Canal de Tauran (amont et aval), ainsi que dans les sédiments de ces deux sites de prélèvements. Les mesures de ce radionucléide artificiel étant peu nombreuses dans la littérature, des mesures ont également été réalisées dans les plantes aquatiques et les poissons.

différentes parties des organismes végétaux (racines, feuilles, fruits, etc)

4. RÉSULTATS

Les résultats obtenus dans l'environnement aquatique du site Orano de Malvési sont présentés par radionucléide ou famille de radionucléides puis par type d'échantillon prélevé. Après avoir présenté les niveaux d'activité obtenus, les résultats sont mis en perspective soit de données plus anciennes, soit de données régionales, voire nationales. Cette mise en perspective permet de mieux appréhender l'influence du site de Malvési sur son environnement proche ou plus éloigné ou au contraire de nuancer cet impact, compte tenu des variabilités spatiales et temporelles.

4.1. L'URANIUM 238 ET SES DESCENDANTS

L'uranium 238

Précisons en préambule de ce paragraphe que, pour ne pas alourdir le texte, c'est essentiellement l' ^{238}U qui est présenté en raison de sa plus grande abondance dans l'environnement (environ 99,3%). Les autres isotopes naturels de l'uranium (^{234}U et ^{235}U) ont été analysés et sont utilisés pour préciser l'origine de l'uranium mesuré dans l'environnement aquatique du site industriel, lorsque nécessaire.

Dans les eaux de surface

Les résultats de mesure de l'uranium 238 obtenus dans les échantillons d'eau de surface sont reportés dans le tableau 4 et sur la figure 9.

Les activités volumiques les plus faibles sont mesurées dans le Canal de la Robine à l'écluse de Raonel, hors influence des rejets. Dans la Berre, autre site témoin échantillonné en raison de la nature des terrains géologiques traversés par ce fleuve, les activités en uranium y sont un peu supérieures, comme attendu. L'eau prélevée sur le troisième site témoin, dans le canal du Tauran en amont immédiat du point de rejet des effluents liquides du site de Malvési, présente une activité en uranium supérieure à celles des deux autres sites témoins. Toutefois, l'activité mesurée au cours de cette étude est similaire à celle mesurée dans la source de l'Oeillal par Orano dans le cadre de son suivi environnemental réglementaire et par l'ASNR dans le cadre de sa mission de surveillance de l'environnement (cf paragraphe 2.2).

Les activités volumiques les plus élevées sont mesurées dans les eaux prélevées dans le canal du Tauran, à l'aval immédiat et plus lointain (Tauran Rode) du point de rejet du site Orano de Malvési (Figure 9). Ces résultats témoignent de l'influence des rejets liquides du site. Les résultats obtenus lors de cette étude (0,011 à 0,078 Bq/L) s'inscrivent cependant dans

une tendance à la baisse des activités mesurées dans l'eau en lien avec la baisse drastique des rejets d'effluents liquides opérée par le site au cours des 15 dernières années (voir paragraphe 2.2).

Les eaux prélevées dans le centre-ville de Narbonne, après la confluence du Tauran avec la Robine, ne se différencient pas de celles des sites témoins. Ceci suggère que la dilution par les eaux arrivant du canal de la Robine limite l'extension spatiale de l'influence des rejets liquides du site de Malvési. Plus à l'aval, l'eau d'irrigation prélevée au Petit Mandirac enregistre des activités similaires à celles obtenues hors influence des rejets liquides du site.

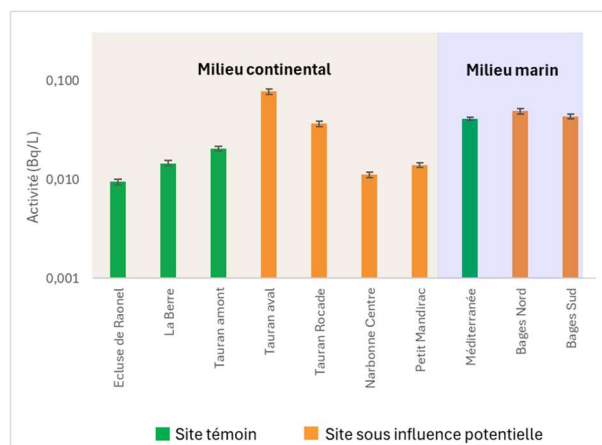


Figure 9 – Activités volumiques de l' ^{238}U mesurées dans les eaux de surface (en Bq/L).

Dans les eaux de l'étang de Bages, les activités en uranium 238 sont supérieures à celles des eaux douces. Ces mesures sont cohérentes avec les données acquises par Orano en trois points d'observation de l'eau de l'étang de Bages, avec des moyennes comprises entre 0,04 à 0,05 Bq/L, entre 2020 et 2024. Par ailleurs, ces activités volumiques sont comparables à celle de l'eau de mer, soit 0,041 Bq/L [12].

Dans le détail, l'activité mesurée dans la partie sud de l'étang ne se démarque pas de l'activité volumique moyenne mesurée en quelques points de Méditerranée.

Dans la partie nord de l'étang de Bages, les eaux de surface présentent une activité supérieure par rapport à la partie sud et aux données de Méditerranée, mais les incertitudes associées aux résultats de mesures d'une part et la variabilité spatiale et temporelle non prise en compte dans cette étude d'autre part, ne permettent pas de conclure quant à une éventuelle influence des rejets liquides du site de Malvés.

Tableau 4 – Activité volumique de ^{238}U dans les échantillons d'eau de surface (Bq/L).

Site	Date de prélèvement	Activité de ^{238}U (Bq/L)
Ecluse de Raonel	27/09/2023	0,010±0,001
La Berre	26/09/2023	0,015±0,001
Tauran amont	27/09/2023	0,021±0,001
Tauran aval	28/09/2023	0,078±0,005
Tauran Rcade	26/09/2023	0,037±0,002
Narbonne Centre	26/09/2023	0,011±0,001
Petit Mandirac	19/07/2023	0,014±0,001
Méditerranée ¹⁵	-	0,042±0,002
Bages Nord	18/12/2023	0,049±0,003
Bages Sud	18/12/2023	0,044±0,002

L'activité volumique en ^{234}U présente un léger excès par rapport à celle de ^{238}U , comme souvent observé dans les eaux continentales (Figure 10)¹⁶.

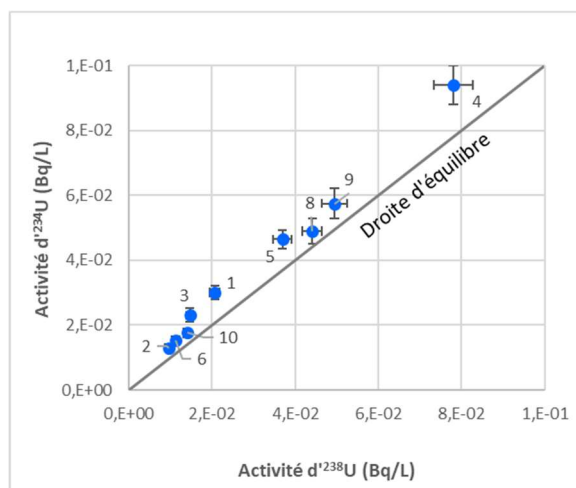


Figure 10 – Comparaison de l'activité volumique en ^{234}U et ^{238}U des échantillons d'eau de surface (les chiffres correspondent aux sites indiqués sur la figure 3).

Ceci se traduit par des rapports d'activités $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ légèrement supérieurs à la valeur unitaire observés dans l'ensemble des échantillons, mais qui s'inscrivent toutefois dans la gamme de ceux mesurés dans des

eaux naturelles, prélevées hors influence d'installations nucléaires. Ainsi, en dépit de l'uranium ajouté par les rejets du site industriel dans le canal de Tauran, le rapport $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ne permet pas de mettre en évidence cette source anthropique dans les eaux de surface, dans la mesure où l'uranium converti sur le site est lui-même de l'uranium de composition isotopique naturelle.

Ceci est confirmé par le rapport massique $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ mesuré dans ces échantillons qui est similaire à celui de l'uranium naturel (0,72%).

Dans les sédiments

Les activités massiques de l'uranium 238 mesurées dans les sédiments sont reportées sur la Figure 11. On observe que l'activité massique de l'uranium est d'environ 20 Bq/kg sec dans tous les échantillons témoins. Les sédiments prélevés dans le canal de Tauran (y compris en amont du point de rejet unique du site) présentent un léger excès d' ^{238}U comparativement aux sites témoins de Raonel et de la Berre qui pourrait provenir de l'influence du rejet aqueux du site industriel, d'un apport d'uranium par voie atmosphérique ou terrestre (via l'érosion des sols alentours).

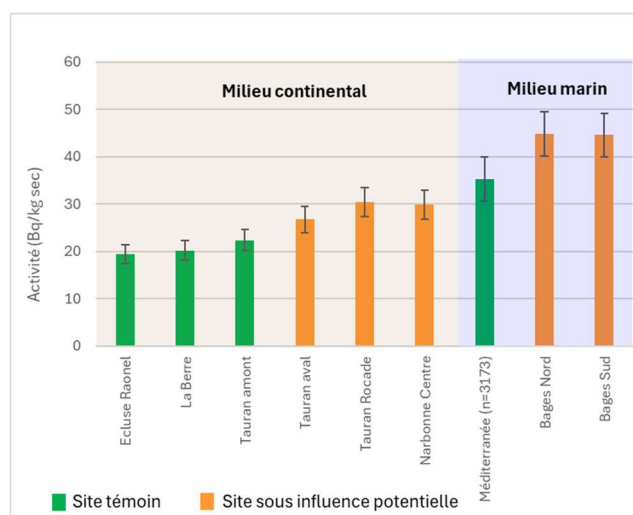


Figure 11 – Activités massiques de ^{238}U mesurées dans les sédiments (en Bq/kg sec).

Les échantillons prélevés dans Narbonne présentent également une activité en uranium 238 supérieure aux différents témoins. Contrairement aux eaux de surface, l'arrivée de sédiments par le canal de la Robine ne permet pas d'atténuer l'activité des sédiments dans Narbonne, celle-ci restant identique à celle mesurée au point Tauran Rcade et signant l'influence des rejets liquides du site sur l'environnement aquatique.

Dans l'étang de Bages, les activités sont également supérieures à la moyenne calculée pour la Méditerranée à partir des résultats de mesures disponibles dans les

¹⁵ Données issues de [12]Erreur ! Source du renvoi introuvable.

¹⁶ Lors de la désintégration de ^{238}U , l'émission de l'énergie produite s'accompagne d'un recul du ^{234}Th ainsi formé vers la périphérie des grains de minéraux les plus petits. Si l'atome de ^{234}Th est suffisamment

proche de la limite du grain, il peut en être éjecté. Sa désintégration ultérieure en ^{234}Pa puis ^{234}U se produit ainsi en dehors du grain, dans les fluides interstitiels, qui tendent à être enrichis en ^{234}U par rapport à ^{238}U en raison de ce processus [17][17].

bases de données de l'ASNR¹⁷. Ainsi, l'extension spatiale de l'influence des rejets liquides sur les sédiments se propage jusque dans l'étang de Bages.

Proches de la valeur unitaire, les rapports d'activités $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ dans les sédiments (Figure 12) mettent en évidence l'origine naturelle de l'uranium mesuré dans les échantillons, tout comme le rapport massique $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ qui est de l'ordre de 0,72% dans tous les échantillons mesurés et qui est comparable au rapport de l'uranium naturel (0,72%).

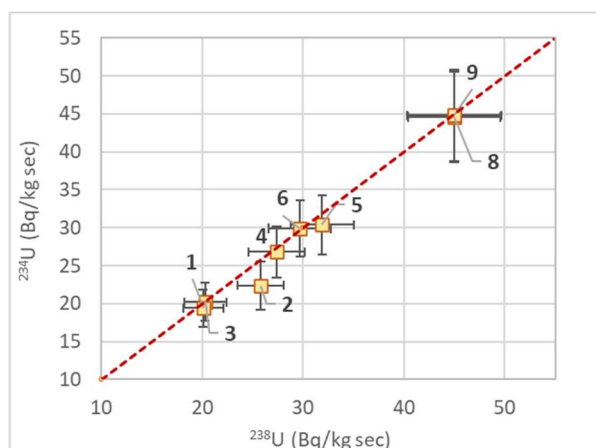


Figure 12 - Comparaison de l'activité massique en ^{234}U et ^{238}U (en Bq/kg sec) dans les sédiments (les chiffres correspondent aux sites indiqués sur la figure 3).

Dans les plantes aquatiques

Les activités massiques de l' ^{238}U mesurées dans les plantes aquatiques sont reportées sur la figure 13.

On constate que les échantillons prélevés dans le canal de Tauran, que ce soit en amont, en aval immédiat ou en aval plus lointain présentent des activités trois fois supérieures à celle des végétaux de référence prélevés à l'écluse de Raonel, ce qui témoigne d'un apport d'uranium par le site de Malvés. Le marquage des végétaux prélevés en amont du point de rejet des effluents liquides pourrait être lié soit à l'influence directe des rejets atmosphériques de l'uranium (les plantes aquatiques pouvant se retrouver à l'air libre en période estivale), soit à l'influence de particules de sols remises en suspension depuis le site comme cela a été démontré pour le milieu terrestre [13]. Dans Narbonne, les végétaux prélevés présentent une activité en uranium similaire à celle du site témoin qui montre – comme pour les échantillons d'eau – que la dilution par les eaux de la Robine atténue l'influence des rejets liquides du site. Enfin, dans l'étang de Bages, les végétaux prélevés dans la partie sud présentent une activité en ^{238}U inférieure à la moyenne des activités mesurées dans des plantes aquatiques prélevées dans le Rhône deltaïque par l'IRSN¹⁸.

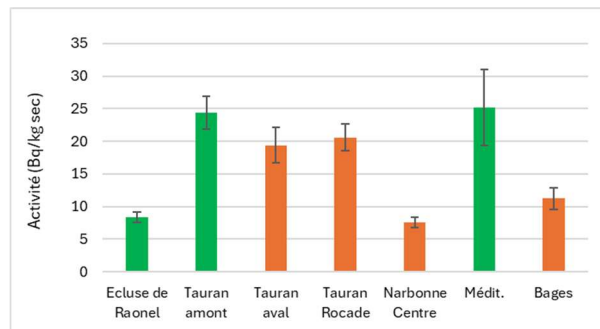


Figure 13 – Activité massique de l' ^{238}U mesurée dans les plantes aquatiques (Bq/kg sec).

Dans les poissons et les moules

L'activité massique en ^{238}U des échantillons de poissons et de moules est reportée dans le tableau 5.

L'activité massique de l'uranium des poissons prélevés sur le site témoin, à l'écluse de Raonel, n'a pas pu être quantifiée. En revanche, les deux échantillons prélevés dans le canal du Tauran présentent une activité respective de 0,010 et 0,022 Bq/kg frais, proche du seuil de décision.

Tableau 5 – Activité massique de l' ^{238}U mesurée dans les muscles de poissons ou les tissus mous des moules (Bq/kg frais).

Lieu de prélèvement	Espèce	Date de prélèvement	Activité massique d' ^{238}U (Bq/kg frais)
Ecluse de Raonel	Silure	27/09/2023	<0,0025
Tauran amont	Carpe	27/09/2023	0,022±0,003
Tauran aval	Carpe	28/09/2023	0,010±0,001
Étang de Bages	Bar	12/01/2023	<0,049
Méditerranée (Port-la-Nouvelle)	Bar	14/01/2023	<0,048
Étang de Bages Nord	Moule de Méditerranée	19/12/2023	0,15±0,02
Étang de Bages Sud	Moule de Méditerranée	19/12/2023	0,27±0,04
Méditerranée (Sète)	Moule de Méditerranée	19/03/2024	0,38±0,04

La migration des poissons entre l'amont et l'aval explique probablement des activités massiques très proches et même supérieures à l'amont dans l'échantillon prélevé.

Enfin, l'activité de l' ^{238}U des poissons prélevés dans l'étang de Bages et en Méditerranée n'a pas pu être quantifiée (<0,049 Bq/kg frais).

¹⁷ On note sur la figure que l'activité de l'uranium des sédiments de Méditerranée est supérieure à celle des sédiments fluviaux. Ceci est lié au fait que l'uranium dissous provenant des surfaces continentales ne peut plus être transféré dans un autre milieu. Il va donc se fixer aux particules et sédimer dans les fonds marins en fonction des

conditions environnementales propres au milieu marin (salinité, pH, taux de carbonates, etc.).

¹⁸ Les données utilisées sont issues de la base de données de l'ASNR qui compile des données acquises dans le cadre de la surveillance radiologique du territoire et des données issues de programmes de recherche.

L'activité massique de l' ^{238}U des moules prélevées dans l'étang de Bages est de 0,15 et 0,27 Bq/kg frais. Ces activités sont inférieures à l'activité obtenue dans un échantillon prélevé en Méditerranée, au large de Sète, dans le cadre de la surveillance régulière du milieu marin réalisé la même année (0,38 Bq/kg frais).

Dans les denrées terrestres

Les résultats de mesures de l' ^{238}U dans les légumes prélevés à Petit Mandirac sont reportés dans le tableau 6.

L'activité massique mesurée dans les courgettes et dans les tomates est proche du seuil de décision habituellement observé pour les légumes fruits mesurés en milieu terrestre [13]. Dans les salades, l'activité est plus élevée mais demeure d'une part inférieure à celle qui avait été mesurée dans les salades prélevées à Livière-Haute lors de l'étude du milieu terrestre (pour rappel, elle était de $0,030 \pm 0,003$ Bq/kg frais, [13]) et d'autre part, s'inscrit dans la gamme des valeurs obtenues en France à distance d'installations nucléaires rejetant de l'uranium dans l'environnement [10].

Tableau 6 - Activité massique de l' ^{238}U dans les échantillons de légumes analysés (Bq/kg frais).

Espèce	Date de prélèvement	Activité de l' ^{238}U (Bq/kg frais)
Courgette	19/07/2023	$0,0037 \pm 0,0004$
Tomate	19/07/2023	$0,0078 \pm 0,0008$
Salade	06/12/2023	$0,056 \pm 0,006$

Comparaison des résultats de l'ERS avec les résultats de la surveillance et ceux de l'étude de 2007

Les données acquises dans le cadre de cette étude ont été comparées aux données acquises par le site d'Orano Malvési dans le cadre de la surveillance réglementaire qui lui est prescrite. Cette analyse montre que les données de l'exploitant sont similaires à celles obtenues par l'ASNR durant cette étude. Pour les rares cas où l'exploitant ne dispose pas de résultats, les données de l'ASNR permettent de préciser les niveaux attendus dans l'environnement.

Par ailleurs, la comparaison avec les données d'uranium acquises lors de l'étude radioécologique précédente montre que les activités mesurées dans l'eau sont en nette diminution depuis 2007. Dans les sédiments, la diminution des activités en uranium n'est visible que dans le Tauran aval. Comme attendu, les activités sur les autres sites de prélèvement n'ont pas évolué entre ces deux études (Figure 14) : en effet, les données acquises en 2007 étaient caractéristiques du bruit de fond qui n'évolue pas en raison de la longue

période radioactive de l' ^{238}U (environ 4,5 milliards d'années)

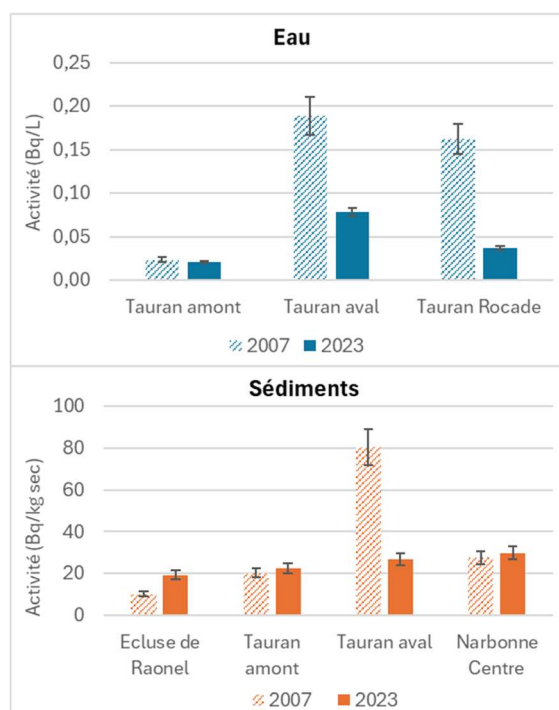


Figure 14 – Évolution des activités volumiques (eau, graphique du haut) et des activités massiques (sédiments, graphique du bas) entre 2007 et 2023.

Dans les autres matrices (plantes aquatiques, mollusques et poissons), l' ^{238}U n'avait pas été recherché directement et la mesure de ses descendants était restée inférieure aux seuils de décision, empêchant toute comparaison avec les données actuelles.

On retiendra de l'ensemble de ces observations que les rejets liquides d'uranium du site de Malvési contribuent à un marquage de l'environnement aquatique dont l'extension spatiale varie selon les matrices étudiées. Ainsi, dans l'eau, les plantes aquatiques et les poissons, ce marquage est limité au canal du Tauran, en aval immédiat des rejets aqueux du site industriel. La partie amont du Tauran, hors influence des rejets liquides du site, présente cependant un excès d'uranium possiblement lié aux rejets atmosphériques du site et/ou aux envois de poussières depuis les bassins industriels. Cette hypothèse est corroborée par les observations réalisées en milieu terrestre [13] et en milieu aquatique lors des précédentes études radioécologiques [2] et [3].

En outre, la comparaison des résultats de cette étude avec les mesures obtenues antérieurement par l'exploitant ou par l'IRSN (cf. 2.2 p.13) montre que toutes les données acquises pour répondre aux différents objectifs sont concordantes et que les activités en uranium ont diminué au cours du temps dans le canal du Tauran.

Les descendants de l'Uranium 238 : le Thorium 230 et le Radium 226

La mesure du ^{230}Th et du ^{226}Ra qui sont des descendants de l'uranium 238 permet de compléter l'interprétation des résultats d'uranium 238. En effet, ces deux radionucléides sont les principales impuretés radiologiques séparées lors de la purification de l'uranium et envoyées vers les bassins industriels du site. Leur mesure dans les échantillons de l'environnement apporte donc des informations sur l'influence des bassins industriels, sources potentielles d'envol de poussières et d'embruns vers les milieux environnants (air, sols et cours d'eau).

Par ailleurs, lorsque la chaîne de désintégration de l'uranium 238 est en équilibre séculaire, l'activité du ^{230}Th est proche de l'activité de l' ^{238}U .

La figure 15 reporte les activités de l' ^{238}U , ^{230}Th et ^{226}Ra mesurées dans les sédiments prélevés lors de cette étude. Comme attendu, l'activité des trois radionucléides est en équilibre pour les sites témoins de La Berre et de l'écluse de Raonel. Dans les sédiments de Tauran amont, on note un excès de ^{226}Ra qui peut provenir d'un apport depuis les bassins où il a été entreposé ou par l'érosion de particules de sols et leur transport vers le canal du Tauran.

À l'aval du point de rejet unique, en plus de l'excès de ^{226}Ra qui se confirme, on observe un excès de ^{230}Th dont l'origine est probablement identique à celle du ^{226}Ra (réenvol depuis les bassins ou érosion et transport depuis les sols environnants). Ce marquage est observé jusque dans Narbonne centre.

Dans l'étang de Bages, les activités mesurées n'indiquent aucun excès de ^{230}Th ou de ^{226}Ra par rapport à l' ^{238}U .

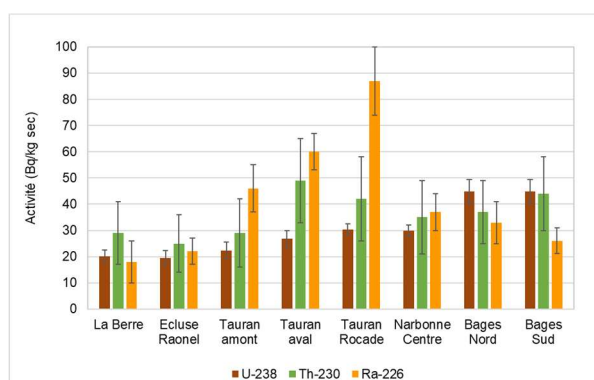


Figure 15 – Activité massique de ^{238}U , ^{230}Th et ^{226}Ra dans les sédiments (en Bq/kg sec).

Les résultats obtenus au cours de cette étude ont été comparés avec ceux de l'étude menée en 2007 pour les sédiments issus de sites de prélèvements identiques Figure 16. Les résultats montrent d'une part que les activités de ces trois radionucléides ont diminué depuis 2007 et d'autre part que l'excès en ^{226}Ra observé en 2023 dans le canal du Tauran était déjà visible en 2007

malgré des incertitudes métrologiques plus élevées que de nos jours.

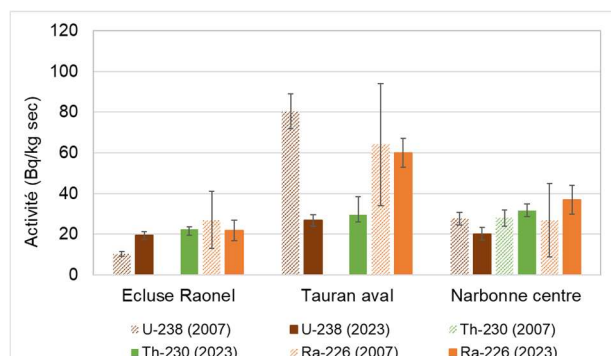


Figure 16 – Évolution des activités en ^{238}U , ^{230}Th et ^{226}Ra dans les sédiments entre 2007 et 2023

Dans les végétaux prélevés dans le canal du Tauran, en amont et en aval immédiat du point de rejet unique, on observe un excès de ^{226}Ra (Figure 17) qui n'est observé ni sur le site témoin de l'écluse de Raonel, ni plus en aval (Tauran rocade et dans Narbonne). Comme pour les sédiments, cet excès de radium pourrait être lié à la réémission de ce radionucléide depuis les bassins de décantation. Les mesures réalisées en 2007 n'avaient pas permis de quantifier ces radionucléides (ou avec une imprécision telle qu'elles n'apportent pas d'éléments de comparaison pertinents).

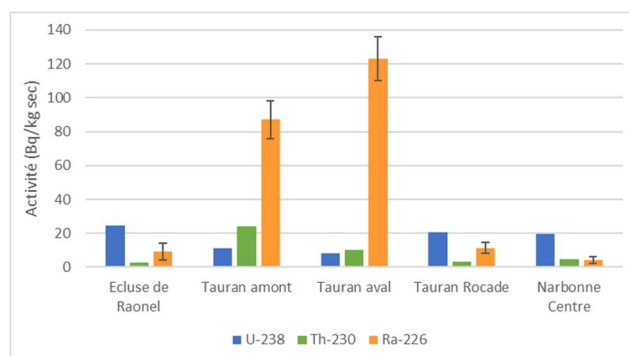


Figure 17 - Activité massique de ^{238}U , ^{230}Th et ^{226}Ra dans les plantes aquatiques (en Bq/kg sec).

4.2. LES RADIONUCLÉIDES ARTIFICIELS

L'uranium 236

Rappelons que l'uranium 236 (^{236}U) est un isotope artificiel de l'uranium qui n'est actuellement pas rejeté par l'usine de Malvési. Toutefois, ce radionucléide figurait parmi les rejets de l'usine de Malvési entre 1960 et 1983, lorsque celle-ci utilisait de l'uranium de retraitement (URT).

L' ^{236}U a été quantifié dans tous les échantillons d'eau prélevés dans le canal du Tauran, ainsi que dans l'eau d'irrigation prélevée à Petit Mandirac (Tableau 7). En revanche, son activité n'a pas pu être quantifiée dans le canal de la Robine (écluse de Raonel et Narbonne

centre), dans la Berre ou encore dans l'étang de Bages. L'activité mesurée dans l'eau prélevée à l'amont du canal du Tauran (0,000007 Bq/L) est proche du seuil de décision pour cette mesure (environ 0,000002 Bq/L). À l'aval immédiat du point de rejet liquide actuel du site, l'activité de ^{236}U augmente significativement (plus de 15 fois supérieure à celle de l'eau prélevée en amont du point de rejet) avant de diminuer avec la distance (l'activité à Tauran Rocade étant environ 6 fois supérieure à celle mesurée en amont).

Tableau 7 – Activité volumique de ^{236}U dans les échantillons d'eau (Bq/L)¹⁹

Lieu de prélèvement	Date de prélèvement	Activité de ^{236}U (Bq/L)
La Berre	26/09/2023	<0,000002
Ecluse de Raonel	27/09/2023	<0,000002
Tauran amont	27/09/2023	0,000007±0,0000016
Tauran aval	28/09/2023	0,0001±0,00001
Tauran Rocade	26/09/2023	0,000043±0,000008
Narbonne Centre	26/09/2023	<0,000002
Petit Mandirac	19/07/2023	0,000005±0,000001
Etang de Bages nord	18/12/2023	<0,00002
Etang de Bages sud	18/12/2023	<0,00002

L'activité mesurée dans l'eau prélevée à Petit Mandirac est faible, proche du seuil de décision pour cette mesure (environ 0,000002 Bq/L).

Ces détections attestent de la remobilisation de ^{236}U présent dans le milieu aquatique depuis l'utilisation d'URT sur le site entre les années 1960 et 1983. Ceci est confirmé par la détection sporadique de ^{236}U dans les échantillons analysés dans le cadre de la surveillance régulière du site.

Dans les sédiments (tableau 8), ^{236}U a été systématiquement quantifié, sauf sur les deux sites témoins de la Berre et de l'écluse de Raonel où l'activité massique est inférieure au seuil de décision (de l'ordre de 0,005 Bq/kg sec).

Tableau 8 - Activité massique de ^{236}U dans les échantillons de sédiment (Bq/kg sec).

Lieu de prélèvement	Date de prélèvement	Activité de ^{236}U (Bq/kg sec)
La Berre	26/09/2023	<0,0004
Ecluse de Raonel	27/09/2023	<0,0005
Tauran amont	27/09/2023	0,008±0,003
Tauran aval	28/09/2023	0,010±0,003
Tauran Rocade	26/09/2023	0,014±0,004
Narbonne Centre	19/07/2023	0,003±0,001
Etang de Bages nord	18/12/2023	0,005±0,002
Etang de Bages sud	18/12/2023	0,004±0,002

L'activité mesurée dans le canal de Tauran est homogène entre les sédiments prélevés à l'amont et ceux prélevés plus en aval (0,008 à 0,014 Bq/kg sec). Elle diminue ensuite dans les sédiments prélevés dans le centre-ville de Narbonne, sans doute atténuée par l'arrivée de sédiments ne contenant pas de ^{236}U en provenance du canal de la Robine. Enfin, ^{236}U a été mesuré dans l'étang de Bages, avec une activité comparable entre le nord et le sud de l'étang et similaire à celle mesurée dans les sédiments prélevés dans Narbonne centre.

Ainsi, comme pour l'eau, ^{236}U issu de l'uranium de retraitement rejeté par le site de Malvésí entre les années 1960 et 1983 reste quantifiable dans les sédiments des canaux du Tauran et de la Robine ainsi que dans l'étang de Bages. Sa présence en amont du point de rejet liquide du site de Malvésí soulève la question de la réémission de particules ou d'embruns depuis les bassins industriels et les surfaces artificielles du site de Malvésí vers l'environnement proche.

Dans les plantes aquatiques, dont les résultats de mesure sont reportés dans le tableau 9, le constat est sensiblement identique à celui des sédiments. Ainsi, ^{236}U n'a pas pu être quantifié dans les végétaux prélevés sur le site témoin de l'écluse de Raonel ni dans ceux du centre-ville de Narbonne, où la dilution des eaux et l'apport de sédiments non marqués contribuent certainement à diminuer ^{236}U potentiellement disponible pour les végétaux. Dans l'étang de Bages, ^{236}U a été quantifié dans le seul échantillon prélevé (absence de plantes aquatiques dans la partie nord de l'étang) avec une activité proche du seuil de décision pour cette mesure.

¹⁹ Pour rappel, 1 microbecquerel (µBq) correspond à un millionième de becquerel (Bq).

Tableau 9 - Activité massique de ^{236}U dans les échantillons de plantes aquatiques (Bq/kg sec).

Lieu de prélèvement	Espèce	Date de prélèvement	Activité de ^{236}U (Bq/kg sec)
Ecluse de Raonel	Potamot flottant	27/09/2023	<0,0002
Tauran amont	Myriophylle	27/09/2023	0,0031±0,0100
Tauran aval	Potamot flottant	28/09/2023	0,019±0,006
Tauran Rode	Potamot flottant	26/09/2023	0,023±0,007
Narbonne Centre	Cératophylle	19/07/2023	<0,0007
Etang de Bages sud	Phanérogame (espèce non identifiée)	18/12/2023	0,0023±0,0001

Enfin, dans les moules, poissons et légumes irrigués analysés au cours de cette étude, ^{236}U n'a pas pu être quantifié.

De l'ensemble des résultats analysés, on retiendra que ^{236}U , issu de l'uranium de retraitement utilisé sur le site de Malvési entre 1960 et 1983 est encore présent dans l'environnement aquatique du site de Malvési. Bien que le canal de Tauran reste le principal secteur concerné, des traces d' ^{236}U sont décelées jusque dans les eaux, les végétaux et les sédiments de l'étang de Bages. Il n'est en revanche pas mesuré dans les poissons, moules et légumes irrigués.

Le césium 137 (^{137}Cs)

Recherché dans l'eau du canal du Tauran en amont et en aval immédiat du point des rejets liquides, il n'a pu être quantifié que dans l'échantillon d'eau de surface prélevé en amont (0,16±0,06 mBq/L), à une activité volumique très proche du seuil de décision de l'échantillon aval (<0,15 mBq/L).

Dans les sédiments (Tableau 10), le ^{137}Cs est systématiquement détecté avec des activités variant de 0,29±0,09 Bq/kg sec à 2,3±0,2 Bq/kg sec. Contrairement à l'uranium, aucune différence d'activité ne peut être mise en évidence entre les sédiments prélevés hors influence des rejets du site de Malvési et ceux prélevés sous influence potentielle. De plus, le ^{137}Cs mesuré dans ces sédiments s'inscrit dans la gamme des résultats acquis ailleurs en France à distance des installations nucléaires, confirmant que sa présence dans l'environnement de Malvési résulte des retombées atmosphériques anciennes (essais nucléaires et accident de Tchernobyl) qui continuent de marquer le territoire métropolitain [10].

Tableau 10 – Activité massique du ^{137}Cs mesuré dans les échantillons de sédiments (Bq/kg sec).

Lieu de prélèvement	Date de prélèvement	Activité du ^{137}Cs (Bq/kg sec)
Ecluse de Raonel	27/09/2023	0,44±0,09
La Berre	26/09/2023	0,29±0,09
Tauran amont	27/09/2023	0,29±0,11
Tauran aval	28/09/2023	0,41±0,13
Tauran Rode	26/09/2023	0,65±0,16
Narbonne Centre	19/07/2023	1,27±0,18
Etang de Bages nord	18/12/2023	1,09±0,13
Etang de Bages sud	18/12/2023	2,31±0,24

Dans les plantes aquatiques, des traces de ^{137}Cs ont été mesurées dans l'échantillon prélevé sur le site témoin de l'écluse de Raonel, ainsi qu'à Narbonne centre et dans l'étang de Bages. Les activités obtenues, proches du seuil de décision des autres échantillons analysés, sont cohérentes avec les analyses réalisées dans les sédiments et montrent que le ^{137}Cs provient des retombées atmosphériques anciennes.

Le ^{137}Cs a également été quantifié dans les deux échantillons de moules de l'étang de Bages (0,015±0,005 et 0,024±0,012 Bq/kg frais). Les activités obtenues sont comparables à celles qui sont habituellement mesurées en Méditerranée et qui traduisent également la rémanence de ce radionucléide artificiel dans l'environnement marin. Les poissons prélevés dans le canal du Tauran ne présentent pas de trace de ^{137}Cs (respectivement <0,005 Bq/kg frais à l'amont et <0,012 Bq/kg frais à l'aval), alors que ceux prélevés hors influence des rejets liquides du Tauran contiennent 0,043±0,006 Bq/kg frais de ^{137}Cs . Les deux échantillons de poissons pêchés dans l'étang de Bages et en Méditerranée présentent une activité similaire, de l'ordre de 0,08 Bq/kg frais. La comparaison des données obtenues dans le cadre de cette étude avec celles disponibles pour des sites hors influence de rejets d'installations nucléaires permet de confirmer l'origine ancienne du ^{137}Cs mesuré dans ces échantillons.

Enfin, le ^{137}Cs n'a pas pu être quantifié dans les différents légumes irrigués avec l'eau du canal de la Robine, à Petit Mandirac (tomates, courgettes et salades).

Technetium 99 (^{99}Tc)

Les analyses radiologiques dans les échantillons d'eaux de surfaces n'ont pas permis de quantifier le ^{99}Tc . Le seuil de décision de ce radionucléide dans les eaux de surface est de l'ordre de 0,9 Bq/L.

Dans les sédiments (Tableau 11), ce radionucléide a été systématiquement mesuré, sauf sur le site témoin de

l'écluse de Raonel (<0,5 Bq/kg sec). L'activité la plus élevée est mesurée au point Tauran Rocade (11,1±3,3 Bq/kg sec) dans les sédiments qui présentent la plus forte teneur en matière organique. Cette observation est en adéquation avec les connaissances sur le comportement du ⁹⁹Tc en milieu aquatique qui se fixe préférentiellement en milieu réducteur, associé à la matière organique [21].

Les autres sites de prélèvement de sédiments, y compris dans l'étang de Bages, présentent des activités homogènes, comprises entre 2,5 et 6,7 Bq/kg sec.

Les sédiments du Tauran prélevés en amont des rejets du site présentent également du ⁹⁹Tc, ce qui consolide l'hypothèse d'un apport de radionucléides depuis le site, sous l'effet du réenvol de poussières et/ou d'embruns.

Tableau 11 – Activité massique du ⁹⁹Tc dans les échantillons de sédiments (Bq/kg sec).

Lieu de prélèvement	Date de prélèvement	Activité du ⁹⁹ Tc (Bq/kg sec)
Ecluse de Raonel	27/09/2023	<0,5
Tauran amont	27/09/2023	2,5±0,7
Tauran aval	28/09/2023	3,3±1,0
Tauran Rocade	26/09/2023	11,1±3,3
Narbonne Centre	19/07/2023	5,1±1,5
Etang de Bages nord	18/12/2023	6,7±2
Etang de Bages sud	18/12/2023	6,2±1,9

Les résultats obtenus au cours de cette étude sont comparables à l'activité qui avait été mesurée lors de l'étude réalisée en 2007 dans le canal de Tauran (13±1,2 Bq/kg sec ; [3]).

Dans la plupart des plantes aquatiques le ⁹⁹Tc n'a pas pu être quantifié (Tableau 12). Seuls les prélèvements réalisés dans le Tauran, en aval immédiat et plus lointain du point de rejet, présentent une activité en ⁹⁹Tc significative. Celles-ci restent toutefois proches du seuil de décision des autres échantillons.

Enfin, si le ⁹⁹Tc n'a pas été décelé dans les poissons analysés (<0,19 Bq/kg frais), il a été quantifié dans les deux échantillons de moules prélevés dans l'étang de Bages (0,28±0,08 et 0,36±0,11 Bq/kg frais), confirmant une nouvelle fois la capacité de ces organismes filtreurs à fixer les contaminants présents dans l'eau sous forme dissoute ou associés à des particules fines contenant de la matière organique.

Ainsi, les mesures bas-niveau de ⁹⁹Tc réalisées dans le cadre de la présente étude viennent compléter la surveillance de routine de l'environnement du site, dont les seuils de décision sont trop élevés pour déceler la rémanence des rejets anciens de ce radionucléide artificiel.

Tableau 12 - Activités massique du ⁹⁹Tc mesurées dans les échantillons de plantes aquatiques (Bq/kg sec).

Lieu de prélèvement	Espèce	Date de prélèvement	Activité du ⁹⁹ Tc (Bq/kg sec)
Ecluse de Raonel	Potamot flottant	27/09/2023	<1,6
Tauran amont	Myriophylle	27/09/2023	<1,6
Tauran aval	Potamot flottant	28/09/2023	1,9±0,6
Tauran Rocade	Potamot flottant	26/09/2023	2,2±0,6
Narbonne Centre	Cératophylle	19/07/2023	<1,4
Etang de Bages sud	Phanérogame (espèce non identifiée)	18/12/2023	<1,5

L'ensemble de ces résultats illustre la rémanence dans l'environnement aquatique du ⁹⁹Tc, un radionucléide artificiel présent sur le site depuis la période d'utilisation de l'uranium de retraitement. Ces résultats de mesures constituent en outre un référentiel actualisé pour ce radionucléide dans le contexte industriel évolutif du site de Malvési

Neptunium 237

Recherché uniquement dans les échantillons du canal de Tauran, le ²³⁷Np n'a été quantifié dans aucun des échantillons analysés (eaux, sédiments, plantes aquatiques et poissons capturés en aval). Les seuils de décision varient de <0,003 Bq/kg sec dans les sédiments à <0,000003 Bq/L dans l'eau.

Les transuraniens : isotopes du plutonium et américium 241 (²⁴¹Am)

Les eaux du Tauran prélevées à l'amont du point de rejet présentent des activités en ²³⁹⁺²⁴⁰Pu et en ²⁴¹Am supérieures à celles prélevées en aval ainsi que du ²³⁸Pu (non détecté à l'aval).

Tableau 13 – Activités volumiques des transuraniens recherchés dans les eaux du canal de Tauran (Bq/L).

Radionucléides	Tauran amont	Tauran aval
²³⁸ Pu	0,0000013 ± 0,0000006	<0,00000015
²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	0,0000554 ± 0,0000041	0,0000076 ± 0,0000014
²⁴¹ Am	0,0000109 ± 0,0000014	0,0000010 ± 0,0000004

Dans les sédiments, les activités massiques les plus élevées en ²⁴¹Am, ²³⁸Pu et en ²³⁹⁺²⁴⁰Pu sont mesurées dans le canal de Tauran, comme le montre la figure 18. Ceci suggère un impact des activités industrielles

passées du site sur l'environnement aquatique. Les activités de ces radionucléides diminuent après la confluence avec la Robine jusque dans l'étang de Bages. La présence de sédiments plus fins dans la partie sud de l'étang (cf. 3.1) entraîne une augmentation des activités liée à la forte affinité de ces radionucléides pour les particules les plus fines [19], [20]. Dans ces sédiments le rapport d'activité $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$, égal à 0,38, est proche de celui des retombées atmosphériques globales (0,39-0,40), écartant a priori l'hypothèse d'une influence des rejets anciens du site de Malvési dans les sédiments de l'étang de Bages.

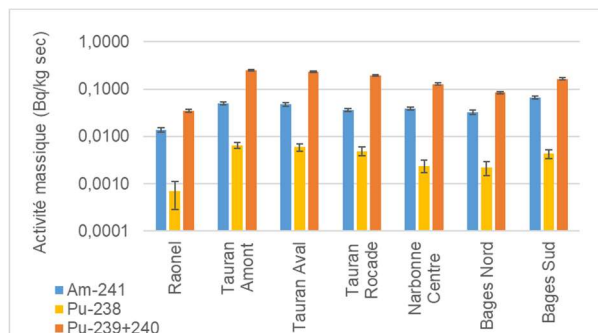


Figure 18 – Activités massiques des transuraniens (^{241}Am , ^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$) dans les sédiments (en Bq/kg sec, échelle logarithmique).

Les activités mesurées dans les plantes aquatiques sont inférieures à celles mesurées dans les sédiments prélevés au même endroit sauf au point Tauran amont. Sur ce site, l'activité de chacun des actinides est semblable entre les végétaux et les sédiments. Ce constat, déjà réalisé pour les mesures d'uranium, pourrait être lié à l'influence de particules de sols remises en suspension depuis le site comme cela a été démontré pour le milieu terrestre [13].

Les activités massiques des actinides dans les végétaux du canal du Tauran, en amont et en aval immédiat du point de rejet, sont supérieures à celles obtenues sur le site témoin de l'écluse de Raonel (Figure 19) suggérant une origine industrielle liée à l'utilisation d'URT sur le site de Malvési, entre 1960 et 1983. Toutefois, les rapports d'activité calculés pour ces deux échantillons ($^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{238+239}\text{Pu}$) sont proches des valeurs caractéristiques des retombées atmosphériques ou assortis d'une incertitude qui ne permet pas de l'affirmer. Plus en aval, les activités sont du même ordre de grandeur que celles obtenues hors influence du site de Malvési, suggérant que si les activités passées du site ont entraîné un marquage des sédiments, celui-ci est restreint au seul canal du Tauran.

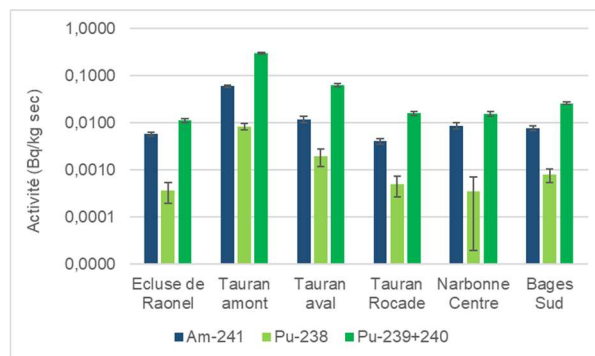


Figure 19 – Activités massiques des transuraniens (^{241}Am , ^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$) dans les plantes aquatiques (en Bq/kg sec).

Dans les moules, l'activité massique en ^{238}Pu est très faible et n'a pas pu être quantifiée. Les activités de l' ^{241}Am et du $^{239+240}\text{Pu}$ mesurées dans les moules du nord de l'étang ne se distinguent pas de celles obtenues dans les moules du sud de l'étang. D'autre part, les activités en transuraniens mesurées dans les moules de l'étang de Bages sont inférieures à celles acquises dans les moules prélevées à Sète la même année (2023), dans le cadre de la surveillance régulière du littoral méditerranéen (Tableau 14).

Tableau 14 – Activités massiques en ^{241}Am , ^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$ des moules prélevées dans le cadre de cette étude (Bages) et dans le cadre de la surveillance régulière du littoral méditerranéen (Sète) (en Bq/kg frais)

Site de prélèvement	^{241}Am (Bq/kg frais)	^{238}Pu (Bq/kg frais)	$^{239+240}\text{Pu}$ (Bq/kg frais)
Etang de Bages nord	$0,0005 \pm 0,0002$	$< 0,00001$	$0,0011 \pm 0,0001$
Etang de Bages sud	$0,0007 \pm 0,0001$	$< 0,00002$	$0,0018 \pm 0,0002$
Sète	$0,0004 \pm 0,0001$	$0,00004 \pm 0,00002$	$0,0008 \pm 0,0001$

Enfin, dans les poissons, seul le $^{239+240}\text{Pu}$ a pu être quantifié dans les deux échantillons prélevés dans le canal de Tauran, ainsi que dans l'échantillon de poissons capturés en Méditerranée. Les activités mesurées sont du même ordre de grandeur dans ces trois échantillons, indiquant que, à l'image des mollusques, les poissons ne semblent pas influencés par les rejets anciens du site de Malvési.

Les mesures bas-niveau des transuraniens réalisées dans le cadre de la présente étude viennent compléter la surveillance de routine de l'environnement du site, dont les seuils de décision sont trop élevés pour déceler la rémanence de ses rejets anciens. L'utilisation de moyens métrologiques parmi les plus performants (spectromètre de masse par induction plasma) permet d'accéder à la mesure très précise des isotopes du plutonium et au calcul du rapport de masse $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$. Ce rapport permet de discriminer le plutonium provenant des retombées globales atmosphériques consécutives aux essais des armes nucléaires ($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu} = 0,17-0,18$) de celui provenant des rejets anciens du site industriel durant la période d'utilisation d'uranium de

retraitement entre 1960 et 1983, qui sont à l'origine du marquage des sols et des sédiments à proximité immédiate du site [3] ; [15].

Tableau 15 – Activités massiques en ^{241}Am , ^{238}Pu et $^{239+240}\text{Pu}$ des poissons (en Bq/kg frais)

Site de prélèvement	^{241}Am (Bq/kg frais)	^{238}Pu (Bq/kg frais)	$^{239+240}\text{Pu}$ (Bq/kg frais)
Ecluse de Raonel	<0,000005	<0,000006	<0,000007
Tauran amont	<0,000006	<0,000005	0,000015 ± 0,000012
Tauran aval	<0,000005	<0,000006	0,000017 ± 0,000013
Etang de Bages	<0,000003	<0,000005	<0,000006
Méditerranée	<0,000004	<0,000004	0,000014 ± 0,000009

Sur la figure 20 qui représente le rapport $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ des matrices du milieu aquatique, on observe que les échantillons prélevés sur le site témoin (écluse de Raonel) et ceux prélevés dans l'étang de Bages présentent une signature identique à celle des retombées atmosphériques des essais d'armes nucléaires. A l'inverse, dans le canal de Tauran, le rapport isotopique $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ de tous les échantillons analysés se situe autour de 5%, similaire à celui observé

dans les échantillons des milieux atmosphériques, terrestres et aquatiques marqués par les rejets anciens du site de Malvési [3], [13], [14] et [15]. Ainsi, dans le canal du Tauran, la rémanence des transuraniens issus de la période d'utilisation de l'uranium de retraitement est toujours décelable. Enfin, les rapports isotopiques des échantillons provenant du canal de la Robine, en aval de sa confluence avec le canal de Tauran sont compris entre 11 et 15%. Ces rapports intermédiaires traduisent une influence plus modérée du passé industriel du site de Malvési dans cette zone géographique.

La mise en perspective de l'ensemble des données acquises sur les isotopes du plutonium, montre une évolution du marquage de l'amont vers l'aval entre le Tauran (proximité immédiate), dont la source principale reste liée au passé industriel du site, le canal de la Robine (aval du site), influencé à la fois par les rejets industriels anciens et par les retombées atmosphériques globales et enfin l'étang de Bages (aval lointain du site) dans lequel la source de plutonium est exclusivement liée aux retombées atmosphériques des essais d'armes nucléaires (comme sur le site témoin de Raonel).

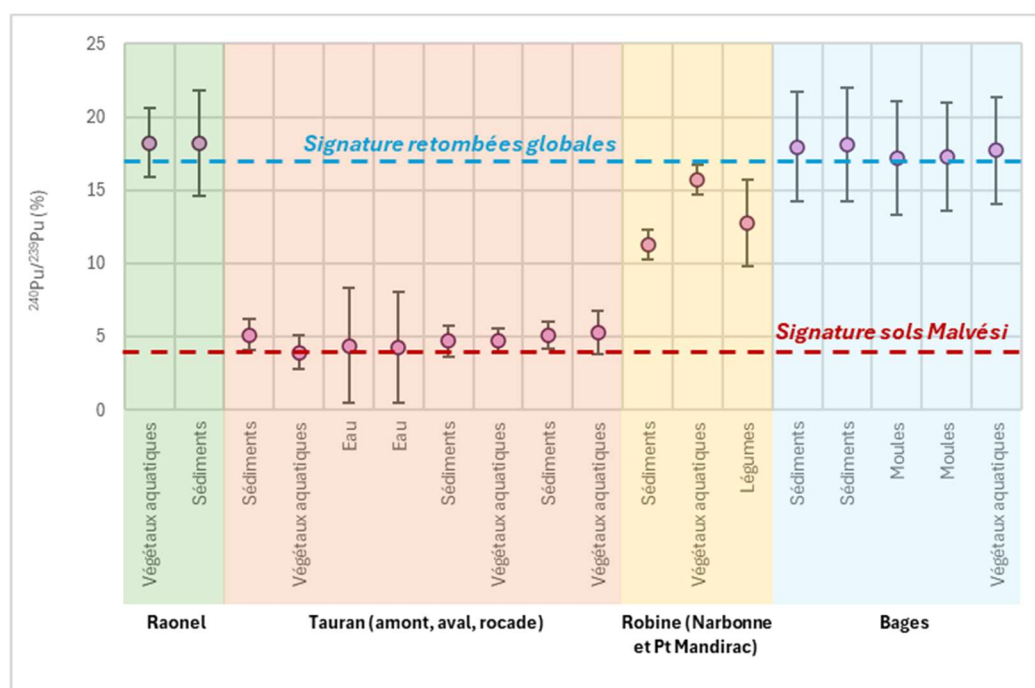


Figure 20 – Rapport isotopique $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ (en %) dans l'ensemble des échantillons analysés regroupés par zone géographique, comparé aux sources potentielles de plutonium (retombées globales et rejets anciens du site, tels que mesurés dans les sols de Malvési).

CONCLUSION

L'étude radiologique du milieu aquatique autour du site de Malvési menée par l'ASNR en 2023-2024 a permis de quantifier les radionucléides naturels et artificiels dans les différents types d'échantillons récoltés, d'en déterminer l'origine et ainsi de caractériser l'étendue spatiale de la zone influencée par les rejets du site. En effet, les sources de radioactivité dans l'environnement du site de Malvési sont multiples (rejets actuels et anciens du site, retombées atmosphériques liés aux essais d'armes nucléaires et à l'accident de Tchernobyl).

On retiendra de l'ensemble des observations que les rejets liquides d'uranium 238 du site de Malvési contribuent à un marquage radiologique de l'environnement aquatique dont l'extension spatiale varie selon les types d'échantillons. Ainsi, dans l'eau, les plantes aquatiques et les poissons, le marquage de l'uranium est limité au canal du Tauran. La partie amont du Tauran, hors influence des rejets liquides du site, présente cependant un excès d'uranium possiblement lié aux rejets atmosphériques du site et/ou aux émissions de poussières depuis le site ou les sols alentours, hypothèses confirmées par les observations réalisées en milieu terrestre [13] et en milieu aquatique lors des précédentes études radioécologiques [2], [3]. Les sédiments présentent un marquage en uranium 238 qui s'étend au-delà du canal du Tauran, sans doute en lien avec la remobilisation des particules durant les événements de crue. Ce marquage est mesurable jusque dans l'étang de Bages localisé au sud du site. Enfin, les légumes irrigués avec de l'eau pompée dans le canal de la Robine après sa confluence avec le canal du Tauran ne témoignent d'aucun marquage imputable aux rejets liquides du site de Malvési.

L'analyse temporelle des données acquises dans différents cadres (surveillance réglementaire de l'exploitant, suivi environnemental de l'ASNR, études...) montre une diminution des activités en ^{238}U mesurées dans l'environnement aquatique. Cette diminution est cependant moindre que celle des rejets, possiblement liée à l'existence de sources secondaires diffuses d'uranium qui résultent principalement de la remise en suspension de poussières provenant du site ou de son environnement immédiat ainsi que de l'envol d'embruns depuis les bassins de décantation, lors d'épisodes de vents forts.

L'utilisation entre 1960 et 1983 d'uranium de retraitement a introduit dans l'environnement du site industriel des radionucléides artificiels spécifiques dont on retrouve encore aujourd'hui des traces dans le milieu aquatique (^{236}U , ^{99}Tc , $^{239+240}\text{Pu}$). La rémanence des rejets anciens à l'aval hydraulique du site Orano constitue le principal enjeu des mesures des radionucléides artificiels en milieu aquatique. Par

ailleurs, les mesures bas-niveaux des radionucléides artificiels réalisées dans le cadre de la présente étude viennent compléter les mesures réalisées dans le plan de surveillance qui comporte peu de mesures de ces radionucléides et dont les seuils de décision sont souvent élevés.

Ainsi, l' ^{236}U a été quantifié sur la quasi-totalité des échantillons analysés à l'exception des eaux de surface, depuis le canal du Tauran jusque dans l'étang de Bages. Le ^{99}Tc , également caractéristique de cette période, est mesuré moins fréquemment mais avec la même extension spatiale. Les activités mesurées lors de cette étude sont du même ordre de grandeur que celles qui avaient été mesurées lors de l'étude réalisée en 2007. Enfin, l'utilisation de moyens métrologiques performants a permis la mesure très précise des isotopes du plutonium et de leurs rapports d'activités isotopiques. Ces outils montrent que le système aquatique compris entre le canal du Tauran et le canal de la Robine dans Narbonne reste marqué par les rejets anciens de plutonium effectués par le site de Malvési.

L'analyse des résultats obtenus pour ces différents radionucléides indique que l'arrivée d'eau et de sédiments par le canal de la Robine contribue à l'atténuation des activités mesurées à l'aval de la confluence avec le canal du Tauran.

L'ensemble des résultats obtenus dans le cadre de cette étude du milieu aquatique a permis de montrer la cohérence des résultats de mesure réalisés par les différents acteurs de la surveillance de l'environnement (exploitant, ASNR, autres sources de données).

Enfin les résultats de cette étude du milieu aquatique ont permis d'étoffer les données locales utilisées dans le cadre du calcul de l'exposition des populations qui a pour objectif d'être la plus réaliste possible [18].

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] [ERS du CNPE de Saint-Alban : les résultats et publications de l'étude | ASNR Recherche et expertise.](https://recherche-expertise.asnr.fr/savoir-comprendre/environnement/ers-cnpe-saint-alban-resultats-publications-letude)
<https://recherche-expertise.asnr.fr/savoir-comprendre/environnement/ers-cnpe-saint-alban-resultats-publications-letude>
- [2] IRSN/DEI/SESURE 2008-20, 2008. Étude radioécologique de l'environnement du site de Malvési (société COMURHEX), 67 p.
- [3] IRSN/DEI/SESURE 2009-17, Bilan radioécologique de l'environnement du site de Malvési 32 p.
- [4] IRSN/PRP-ENV/SESURE 2013-10, Étude des niveaux d'activité dans l'air à proximité des installations Comurhex de Malvési, 104 p.
- [5] Participation du laboratoire de la CRIIRAD au projet « Vigilance Malvezy » Bilan des actions 2020-2021. Rapport d'activité CRIIRAD n°22-04 (rapport d'étape).
- [6] Orano (2023) -Rapport d'information du site Orano de Malvési - Orano Malvési 2023, 79 p.
- [7] <https://inventaire.andra.fr/site/malvesi-bassins>
- [8] <https://inventaire.andra.fr/site/malvesi-ecrin>
- [9] <http://mesure-radioactivite.fr/>
- [10] IRSN (2024) - Bilan de l'état radiologique de l'environnement français 2021-2023 – IRSN, 335 p.
- [11] Orano (2024) - Rapport d'information du site Orano de Malvési - Orano Malvési 2024, 75 p.
- [12] Jia G., Torri G., Magro L. (2020) - The fate of the main naturally occurring radionuclides in mussels (*Mytilus edulis*) and their radiological impact on human beings. Environmental Monitoring Assessment, 2020, 192-217.
- [13] ASNR (2025) - Étude radiologique de l'environnement du site de Malvesi - Étude radiologique du milieu terrestre. Rapport ASNR 2025/00162 ; 74 p.
- [14] ASNR (2025) - Étude radiologique de l'environnement du site de Malvesi - Étude radiologique du milieu atmosphérique. Rapport ASNR 2025/00262 ; 66 p.
- [15] Pourcelot L., Boulet B., Le Corre C., Loyer J., Fayolle C., Tournieux D., Van Hecke W., Martinez B., Petit J. (2011) Isotopic evidences of natural uranium and spent fuel uranium releases in the environment, Journal of Environmental Monitoring, 13, 355-361.
- [16] IRSN (2021) – Exposition de la population française aux rayonnements ionisants, bilan 2014-2019. Rapport IRSN n°2021-00108.
- [17] Delanghe D., Bard E. Hamelin B. (2002) – New TIMS constraints on the uranium-238 and uranium-234 in seawaters from the main ocean basins and the Mediterranean Seas. Marine Chemistry, 80, p.79-93.
- [18] ASNR (2025) - Étude radiologique de l'environnement du site de Malvesi - Estimation de l'exposition de la population aux rayonnements ionisants et à la toxicité chimique de l'uranium
- [19] Garnier-Laplace J., Roussel-Debet S., (2001) - Américium 241 et environnement. Fiche radionucléide de l'IRSN.
http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucleides/Documents/environnement/Americium_Am241_v1.pdf
- [20] IRSN (2002) – Fiche radionucléide et environnement Plutonium. Pu239 -v2.doc, (révisée en 2004).
- [21] IRSN (2001) - Fiche radionucléide et environnement Technétium. Tc99 - v2.doc, (révisée en 2004).

ASNR

Pôle Santé et Environnement
Direction de l'Environnement

E-mail

contact@asnr.fr

N° du rapport

Rapport ASNR 2026-00358
Tous droits réservés ASNR
Juillet 2026

Siège social :
15 rue Louis Lejeune
92120 Montrouge

Adresse postale :
BP 17 - 92262
Fontenay-aux-Roses cedex

Divisions territoriales :
asnr.fr/nous-contacter

info@asnr.fr
Tél. : 01 58 35 88 88

asnr.fr

