

**Conséquences radiologiques
des inondations de décembre 2003
en Petite Camargue
au lieu dit 'Claire Farine'**

**Résultats de l'expertise réalisée
à la demande de la CLI du Gard**

Eyrolle F., Duffa C., Leprieur F., Rolland B., Antonelli C., Marquet J.,
Salaun G. et Renaud Ph.

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE
 DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'INTERVENTION
 SERVICE D'ETUDE ET DE SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITE DANS L'ENVIRONNEMENT

BP 35, 78116 LE VESINET CEDEX, France - Télécopie : 01.30.15.37.78 - Téléphone : 01.30.15.52.42

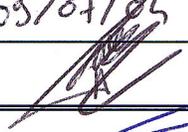
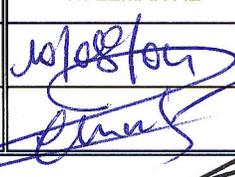
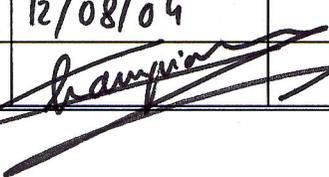
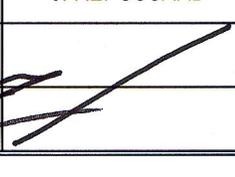
Demandeur	CLI du Gard
Référence de la demande	Courrier de la CLI du Gard du 11 mai 2004
Numéro de la fiche programme	

**Conséquences radiologiques
 des inondations de décembre 2003
 en Petite Camargue
 au lieu dit 'Claire Farine'**

**Résultats de l'expertise réalisée
 à la demande de la CLI du Gard**

Laboratoire d'Etudes Radioécologiques en milieu Continental et Marin

Rapport DEI/SESURE n° 2004-14

	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	Vérificateur *	Chef du SESURE	Directeur de la DEI	Directeur Général de l'IRSN
Noms	F EYROLLE	Ph. RENAUD	N. LEMAITRE	D. CHAMPION	J. REPUSSARD
Dates	20/06/2004	09/07/04	10/08/04	12/08/04	
Signatures					

* rapport sous assurance de la qualité

RESUME

Les sédiments déposés sur les sols de Petite Camargue au lieu-dit « Claire Farine » lors de la crue exceptionnelle du Rhône de décembre 2003 et des inondations consécutives peuvent atteindre localement $1,5 \text{ tonnes}_{\text{sec}} \text{ m}^{-2}$ pour les dépôts de nature sableuse et $40 \text{ kg}_{\text{sec}} \text{ m}^{-2}$ pour les dépôts fins de nature argilo-limoneuse. Les mesures de débit de dose réalisées les 15 et 16 janvier 2004, ont permis de vérifier que les dépôts d'inondation n'avaient pas d'impact radiologique significatif du point de vue de l'exposition externe. Les seuls radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie gamma sur les échantillons prélevés sont les ^{137}Cs et ^{60}Co , présents à des niveaux similaires à ceux observés dans les sols de la région non soumis aux inondations de 2003. D'une façon générale, les taux d'enrichissement en ^{137}Cs , ^{60}Co , $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{238}Pu des sols cultivés inondés, après incorporation des dépôts, sont inférieurs à 6%. Dans le cas le plus pénalisant, c'est à dire dans le cas d'un dépôt de 2,5 cm de limons secs (maximum observé), les taux d'enrichissement atteindraient 20% pour les $^{239+240}\text{Pu}$, 60% pour le ^{137}Cs et 70% pour le ^{238}Pu . Les niveaux d'activité mesurés dans les cultures maraîchères ne sont pas significativement différents de ceux mesurés dans des échantillons similaires non soumis aux inondations de décembre 2003. Enfin, les résultats d'analyses chimiques n'indiquent pas de contamination significative des sols et des cultures maraîchères. En conclusion, les résultats d'expertise soulignent que les inondations de décembre 2003 en Petite Camargue au lieu dit 'Claire Farine' n'ont eu aucune conséquence radiologique et chimique significative.

SOMMAIRE

1. CONTEXTE.....	4
2. METHODOLOGIE.....	6
3. ANALYSES	7
3.1. Débit de dose.....	7
3.2. Analyses sur échantillons prélevés	7
4. RESULTATS	8
4.1. Débits de dose.....	8
4.2. Apports sédimentaires et nature	10
4.3. Activité artificielle des dépôts	12
4.3.1. ¹³⁷ Cs.....	12
4.3.2. ⁶⁰ Co.....	13
4.3.3. ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu et ²³⁸ Pu.....	13
4.4. Facteur d'enrichissement des sols cultivés	14
4.5. Apports de substances chimiques.....	15
4.5.1. Eléments inorganiques.....	15
4.5.2. Eléments organiques	15
4.6. Transfert à la chaîne alimentaire.....	16
5. CONCLUSIONS	17
6. LISTE DES ANNEXES	18
7. LISTE DES TABLEAUX	18
8. LISTE DES FIGURES	18
9. LISTE DE REFERENCES	19

1. CONTEXTE

Le Rhône en aval de Valence a connu en décembre 2003 une crue exceptionnelle, la plus forte jamais enregistrée sur ce fleuve. Son débit de pointe a dépassé les deux crues historiques les plus importantes de 1840 et de 1856. Dans la soirée du 3 décembre 2003, le Rhône a atteint un débit record de $13\,000\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ à la station de mesure de Beaucaire. La fréquence de retour d'un tel événement est de l'ordre de 350 ans (probabilité de $1/350$ par an d'atteindre ce débit). En amont de la plaine de Pierrelatte-Lapalud, les débits atteints ont été là aussi exceptionnels, la station de Viviers a enregistré un débit de $8\,000\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ le 3 décembre 2003 à 4h00 du matin. La fréquence de retour est estimée à 70 ans. Par rapport à la situation normale, au maximum de la crue l'eau est montée respectivement de 4,25 et 9,00 m à ces deux stations. De plus, la crue de décembre 2003 a été caractérisée par sa rapidité. Entre le 1^{er} et le 2 décembre, le Rhône est passé de $1\,800$ à $8\,000\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ à Viviers et de $2\,400$ à $10\,000\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ à Beaucaire en moins de 30 heures. Cette rapidité est due à un épisode pluvio-orageux intense et généralisé sur le quart Sud-Est de la France. C'est un phénomène méditerranéen classique lié à une perturbation provenant d'une collision entre des masses d'air froid et de l'air chaud provenant de la Méditerranée, et saturé en humidité. L'évènement météo-climatique de décembre 2003 a cependant été exceptionnel par :

- son amplitude géographique (20 départements concernés par la mise en vigilance orange par Météo France, toute la vallée du Rhône au sud de Lyon)
- sa durée dans le temps de plus de 48 heures : les phénomènes similaires ne dépassent pas habituellement 24 à 36 heures,
- son arrivée très tardive dans la saison par rapport à de précédentes catastrophes similaires mais liées à une arrière saison 2003 très douce et des températures élevées sur la méditerranée en ce début de décembre.

En 48 heures (1^{er} et 2 décembre) les valeurs de précipitations en plaine ont souvent dépassé les 100 mm sur les départements du Rhône, de l'Ardèche et certaines communes de la Saône et Loire. Plus en altitude, les valeurs ont été encore plus impressionnantes comme dans l'Ardèche où l'on relève du 30 novembre au 2 décembre : 393 mm à La Souche, 380 mm à Loubaresse, 367 mm à Barnas. En une seule journée, les valeurs enregistrées représentent globalement 4 fois la moyenne d'un mois de décembre.

En réaction à ces précipitations, tous les affluents du Rhône en aval de Lyon ont enregistré des crues plus ou moins importantes. Dans leur grande majorité, ils ont dépassé la crue de fréquence décennale avec une montée de crue très rapide. Les plus virulents ont été les affluents cévenols, l'Ardèche avec un débit de $3\,600\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ et l'Eyrieux avec $1\,700\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$. La crue peu significative en aval de Lyon, s'est amplifiée avec les apports de l'Isère, l'Eyrieux, la Drôme, le Roubion, l'Ardèche, la Cèze, le Gard et de la Durance pour atteindre le débit exceptionnel enregistré à Beaucaire.

En conséquence de cet épisode météo-climatique extrême la basse vallée du Rhône a subi des inondations par débordement du Rhône et rupture de digues sur une superficie estimée à 500 km^2 (Figure 1). Les zones les plus touchées ont été :

- De Beaucaire à Arles, la ville d'Arles ayant été noyée par 16 millions m^3 d'eau issue du passage des eaux du Rhône par trois trémies¹ situés à environ 10, 7,5 et 6 km au Nord du centre ville d'Arles.
- La petite Camargue, notamment en raison de deux ruptures de digue en rive droite du Petit Rhône aux lieux dits 'Claire Farine' et 'Petite Argence'.

¹ Passages routiers sous voies de chemin de fer construites sur la digue gauche du Rhône dans les années 1980.

Les derniers travaux menés sur les eaux de la partie terminale du Rhône par le SESURE/LERCM ont fait l'objet d'un certain nombre de rapports et publications qui soulignent les niveaux de radioactivité artificielle drainée par la partie terminale du fleuve et les processus de transfert de ces éléments (cf bibliographie). On a pu montrer en particulier que, pendant les crues, le Rhône charrie des masses importantes de matières solides en suspension ainsi que les contaminants traces associés, par drainage des sols de son bassin versant et par reprise de stocks sédimentaires. A titre d'exemple, les crues de septembre et novembre 2002 (8000 et 9500 m³ s⁻¹, respectivement) ont charrié vers la mer en 20 jours 7,6 10⁶ tonnes de matières en suspension, soit 90% de la quantité totale exportée sur l'année 2002, et 115 ± 10 GBq de ¹³⁷Cs, soit 83% du flux annuel de 2002 (Rolland et al. 2004).

Les crues et les inondations sont à l'origine de flux extrêmes de matière vers le milieu marin et vers les sols de la plaine alluviale. L'IRSN attache une attention particulière au suivi de ces épisodes météo-climatiques exceptionnels afin d'appréhender les conséquences de ces épisodes sur la translocation des sédiments fluviaux et des radionucléides potentiellement associés.

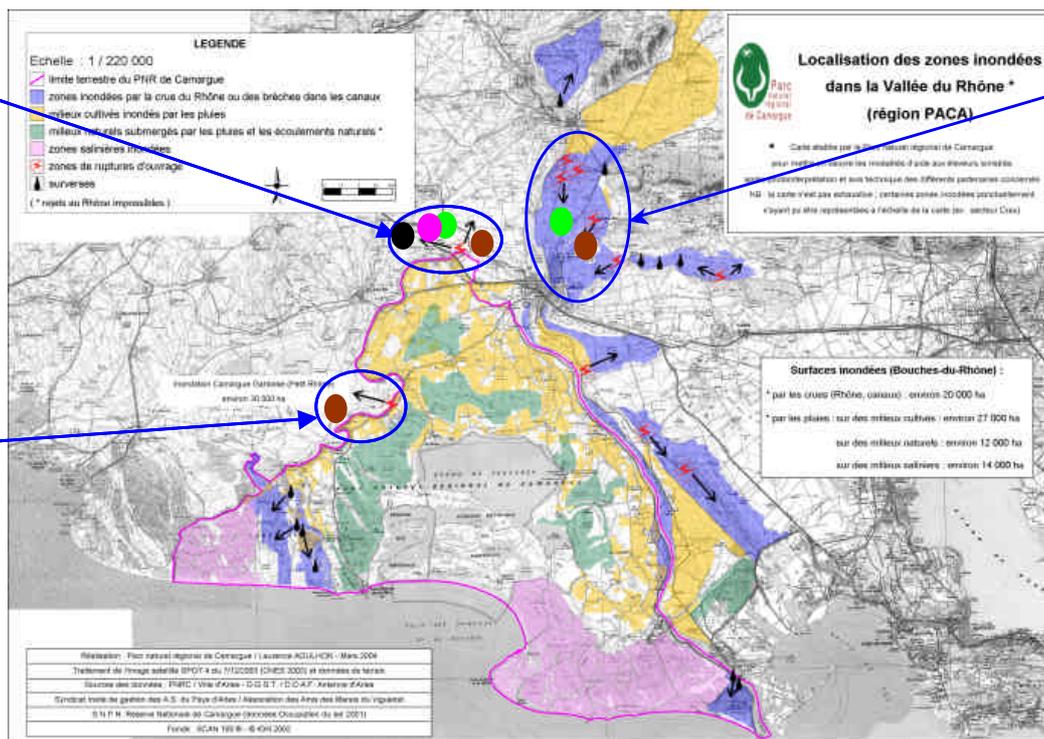
La crue du Rhône de décembre 2003 a été suivie notamment au niveau de la station OPERA d'Arles, et plusieurs zones inondées par les eaux d'origine rhodanienne, ont été étudiées (Figure 1), dont la zone de 'Claire Farine' suite à une demande d'expertise spécifique de la CLI du Gard au niveau de la brèche de 'Claire Farine', soutenue par la DRIRE PACA, et une saisine de la DGSNR.

Ce rapport présente les résultats de cette demande d'expertise ciblée sur les conséquences radiologiques et chimiques des inondations en Petite Camargue, au lieu dit 'Claire Farine'.

Brèche de
'Petite Argence'
6 km²
65 sondages
34 prélèvements
de dépôts

Brèche de
'Claire Farine'
3,5 km²
45 sondages
24 prélèvements
de dépôts

Zone
'Tarascon - Arles'
45 km²
28 sondages
27 prélèvements
de dépôts



Prélèvements: ● Dépôts sédimentaires ● Herbe et cultures maraîchères ● Lait ● Sol de référence

Figure 1 : Localisation des zones inondées (http://www.parc-camarque.fr/Francais/upload/Carte_inondations_2004.pdf) et des zones d'expertise radioécologique

2. METHODOLOGIE

Les 15 et 16 janvier 2004, des mesures de débit de dose ont été réalisées à proximité du point de rupture de la digue du Petit Rhône au lieu-dit 'Claire Farine'. Ces mesures ont été effectuées dans un périmètre centré sur la zone de forts dépôts sédimentaires apportés par les eaux d'inondation du Petit Rhône.

45 sondages de l'épaisseur des dépôts et 24 prélèvements de sédiments ont été effectués sur la zone de 'Claire Farine'. 4 échantillons d'herbe et de cultures maraîchères (salades, épinards, bette) ayant subi des apports de limons d'inondation, ainsi qu'un sol de référence non soumis aux inondations de décembre 2003 ont également été collectés (Figure 1).

Enfin, 4 échantillons ont été sélectionnés afin d'évaluer la contamination chimique potentielle: 2 échantillons de sédiments déposés au droit de la brèche de Petite Argence (un échantillon sableux et un échantillon limoneux), 1 échantillon de sol situé à proximité de cette même brèche mais non inondé suite à cet épisode de crue (sol de référence), et 1 échantillon de salades (feuilles) submergées lors de ces inondations, prélevé sur la commune d'Arles.

3. ANALYSES

3.1. Débit de dose

Les mesures de débit de dose ont été réalisées à l'aide d'un appareil portable FieldSPECT™ pour la spectrométrie et la mesure de dose parfaitement adapté à la mesure in situ. Cet appareil fournit une analyse qualitative et quantitative du rayonnement gamma grâce à un détecteur à scintillation NaI. Une carte intégrée associée à un logiciel et à une base de données permet de convertir un taux de comptage en débit de dose. L'étalonnage en énergie est automatiquement assuré grâce à une source interne de ^{137}Cs .

Les mesures ont été réalisées de deux façons :

- mesures à distance (1 mètre) pendant l'exploration de la zone de forts dépôts sédimentaires ;
- mesures au contact sur des points ponctuels où des prélèvements de sédiments ont été effectués en parallèle (Figure 2).



Figure 2 : Mesure du débit de dose au point n°1 (zone de forts dépôts de sables, 50 mètres face au point de rupture de la digue)

3.2. Analyses sur échantillons prélevés

Les échantillons abiotiques prélevés ont fait l'objet de 24 analyses granulométriques et 12 analyses par spectrométrie gamma après séchage à 40°C, 80°C ou lyophilisation et tamisage à 2 mm (Procédures MOP 01, 02). 3 échantillons sont analysés par spectrométrie alpha (recherche des isotopes du plutonium) après calcination à 480°C (Procédure MOP 04). Les échantillons biologiques ont été traités par étuvage à 80°C puis calcination à 480°C (Procédures MOP 03).

Les échantillons pour analyses chimiques ont été prélevés et conditionnés selon les recommandations éditées dans le « guide de gestion des sites potentiellement pollués »

(BRGM, 2002). Les analyses ont été confiées à un laboratoire agréé (Laboratoire Départemental d'Analyses de la Drôme). Les substances recherchées appartiennent aux éléments traces (8 éléments analysés), aux molécules organo-halogénées volatiles (36 molécules), aux hydrocarbures légers et lourds (respectivement 19 et 3 molécules analysées), aux hydrocarbures polycycliques aromatiques (18 molécules), aux PCB (polychlorobiphényles, 17 molécules analysées), aux pesticides (194 molécules). C'est donc au total près de 300 substances inorganiques et organiques qui ont été analysées dans chaque échantillon.

4. RESULTATS

4.1. Débits de dose

La Figure 3 présente la localisation des 13 points de mesure du débit de dose. La majorité des points de mesures se concentrent sur un rayon de 1 km autour du point de rupture, les points les plus distants se situant à 2 km face à la brèche de la digue. Le Tableau I présente les résultats des mesures de débit de dose au contact.

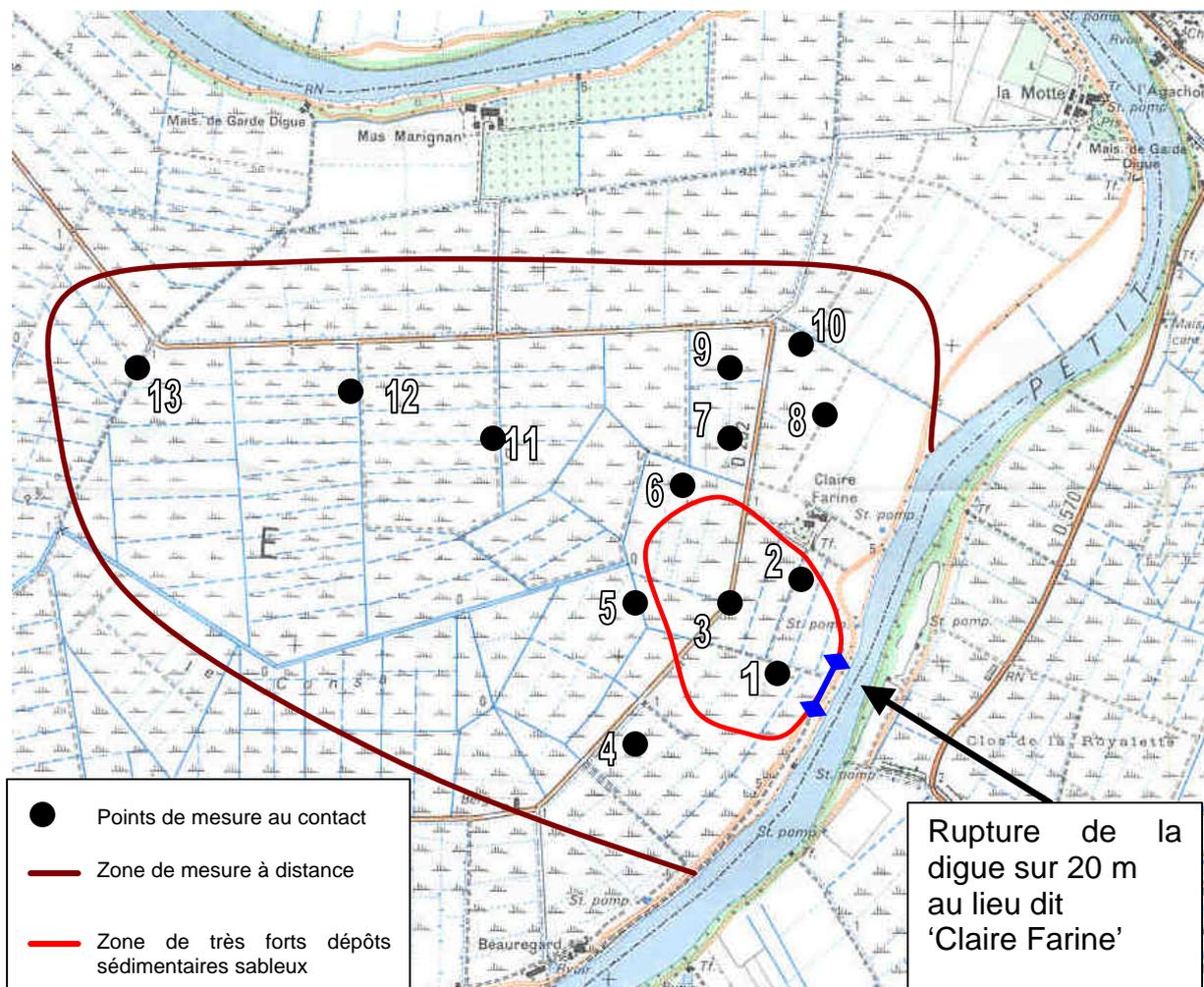


Figure 3 : Localisation des points de mesure du débit de dose

N° point	Localisation	Débit de dose (en nSv/h)	N° point	Localisation	Débit de dose (en nSv/h)
1	50 m en face à la brèche de la digue	60	8	850 m au Nord de la brèche	75
2	champs de sable près du Mas	75	9	1 km au Nord de la brèche - champs	70
3	300 m face à la brèche	70	10	1 km au Nord de la brèche - virage D202	75
4	750 m au Sud-Ouest de la brèche	65	11	1,25 km face à la brèche de la digue	65
5	750 m face à la brèche	60	12	1,75 km face à la brèche de la digue	75
6	750 m au Nord-Ouest de la brèche	65	13	2,25 km face à la brèche de la digue	85
7	850 m au Nord-Ouest de la brèche	70			

Tableau 1 : Résultats des mesures de débit de dose au contact réalisées les 15 et 16 janvier 2004 sur la zone de 'Claire Farine'.

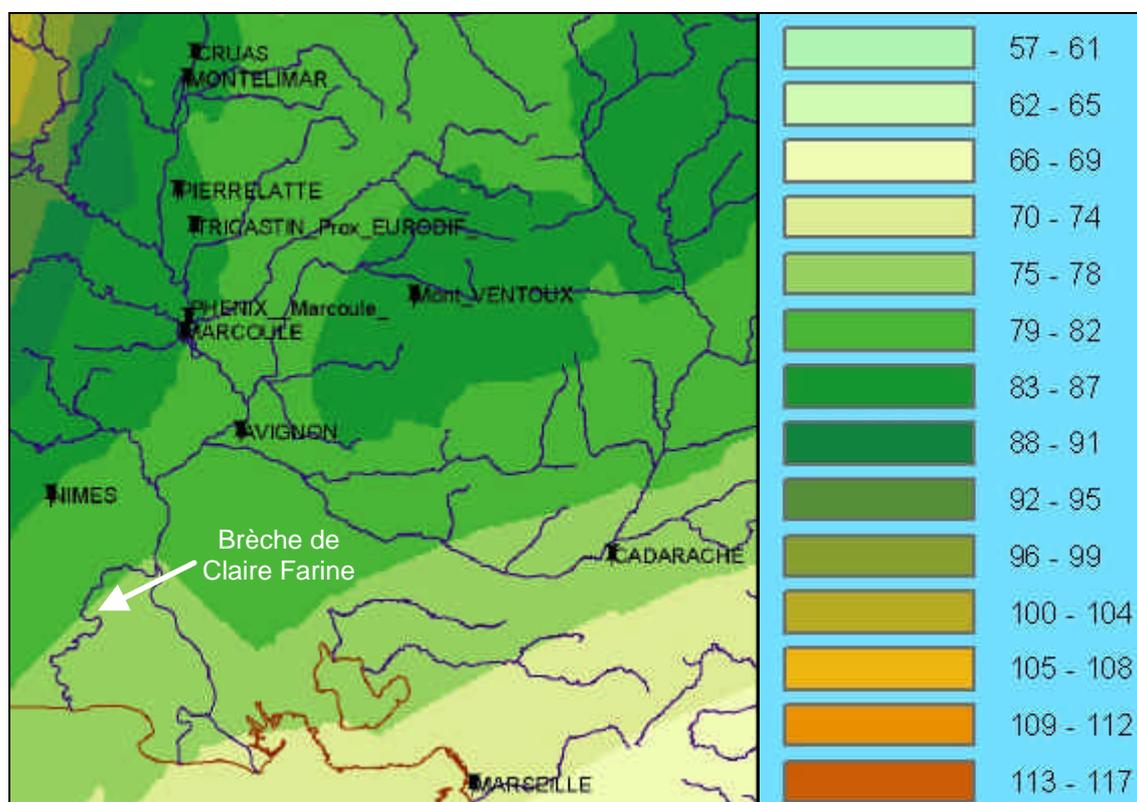


Figure 4 : Débit de dose moyen dans la basse vallée du Rhône – valeurs en nSv.h¹ (données Téléray – bilan 2002, Extrait)

Les mesures de débit de dose réalisées sur les zones d'apport majeur de sables et de limons présentent des valeurs de 60 à 85 nSv.h⁻¹. Ces valeurs sont de l'ordre de grandeur de celles observées sur les sols de la région non soumis aux inondations (Figure 4). Les débits de dose mesurés sur la zone inondée sont principalement dus aux éléments radioactifs naturels contenus dans les sols de la région (exposition naturelle).

4.2. Apports sédimentaires et nature

La Figure 5 présente l'épaisseur des matières solides apportées par le Rhône. Les dépôts d'épaisseurs les plus faibles et de textures sédimentaires les plus fines sont observés sur les zones les plus éloignées du point source de rupture de digue (zone distale), conformément aux mécanismes connus de formation géomorphologique fluviale.

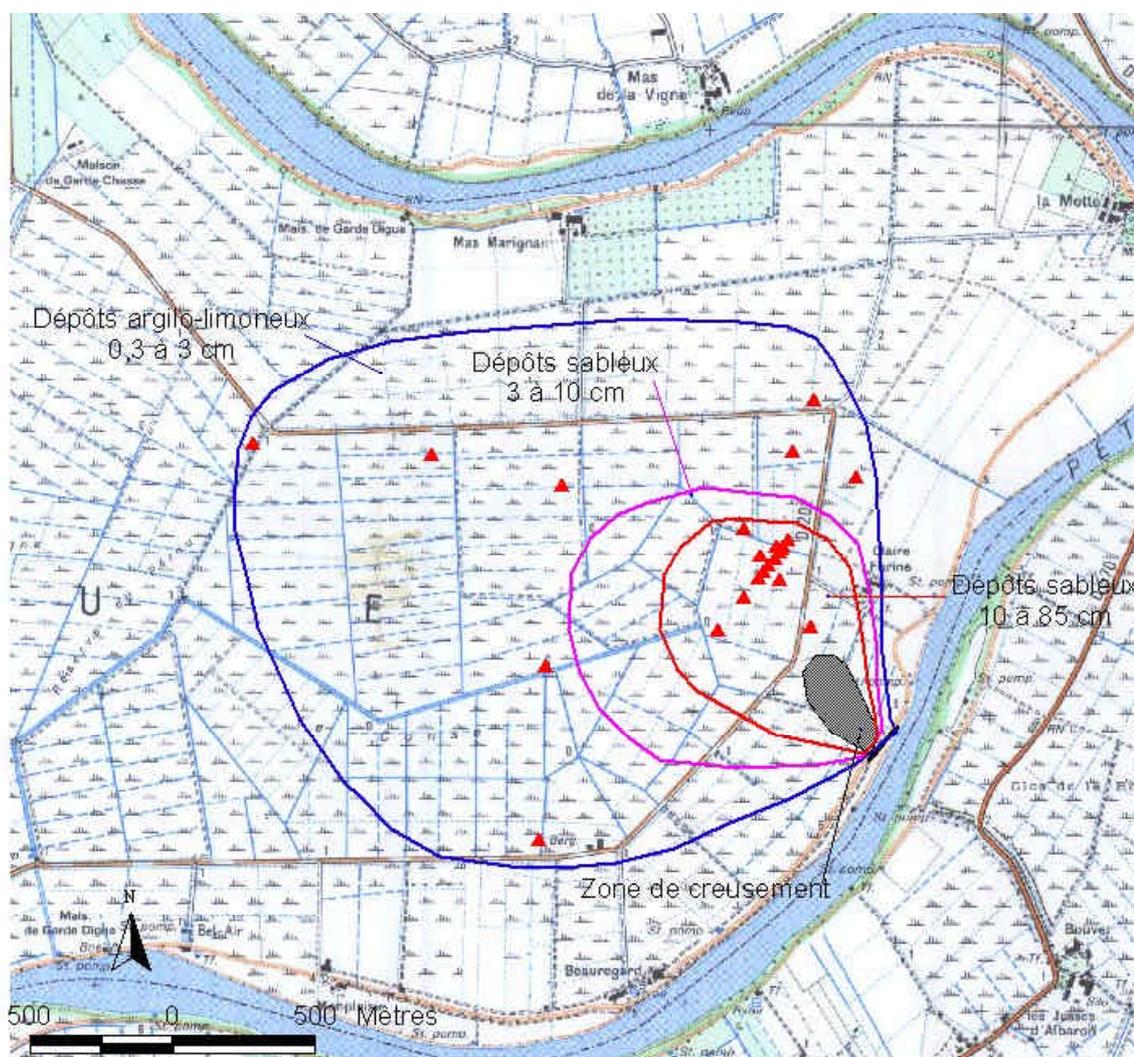


Figure 5 : Cartographie de la hauteur des dépôts sableux (zone proximale, rouge, rose) et des dépôts argilo-limoneux (zone distale, bleu)

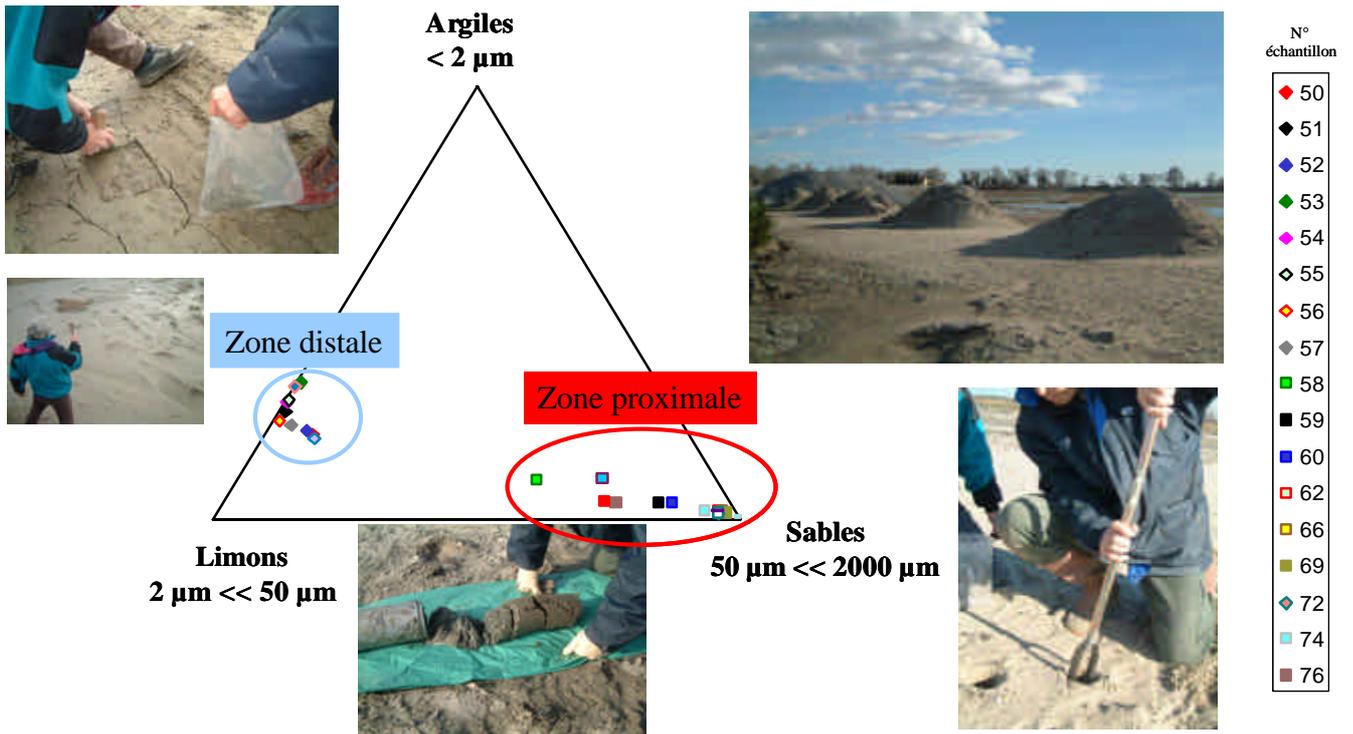


Figure 6: Nature sédimentaire des dépôts (Annexe 1)

	Dépôts	
	Sableux	Argilo-limoneux
Epaisseur (cm _{sec})	2,5 à 85	0,2 à 2,5
Quantités (kg _{sec} m ⁻²)	45 à 1500	3 à 40
Superficie (km ²)	0,8	3,8

Tableau 2 : Epaisseurs maximales de dépôts secs (cm) sableux (> 63 μm) et limoneux (< 63 μm) et superficies touchées par des dépôts supérieurs à 0,2 cm_{sec}.

Sur la zone proximale, les sédiments déposés par les eaux d'inondation sont essentiellement des sables fins et grossiers en conséquence de la diminution drastique de l'énergie potentielle de l'eau lors de la rupture de digue. Les hauteurs maximales de dépôts sableux mesurées sont de l'ordre de 85 cm_{sec}. Les dépôts de sables s'étendent sur environ 1 km² à partir de la brèche (Tableau 2). Sur la zone distale, les hauteurs maximales de dépôts argilo-limoneux mesurées sont de 2,5 cm_{sec}. Les apports de limons couvrent une superficie plus étendue (Figure 5 et Tableau 2). Les quantités apportées au niveau de la brèche de 'Claire Farine' peuvent atteindre localement 1,5 tonnes_{sec}.m² pour les dépôts sableux (85 cm_{sec}) et 40 kg_{sec}.m² pour les dépôts argilo-limoneux (2,5 cm_{sec}). Les dépôts prélevés présentant une hétérogénéité des teneurs en eau, les épaisseurs et masses sont rapportées à une unité de matière sèche (80°C) afin d'établir une analyse comparative.

4.3. Activité artificielle des dépôts

Les seuls radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie gamma sont les ¹³⁷Cs et ⁶⁰Co (Annexe 1). Les résultats d'analyses par spectrométrie alpha sont en cours. Néanmoins, des limons du Rhône et du Petit Rhône prélevés lors des crues de novembre 2002 et analysés par spectrométrie alpha permettent d'estimer les apports en ²³⁹⁺²⁴⁰Pu et en ²³⁸Pu lors des inondations de décembre 2003 (cf § 4.3.1).

¹³⁷ Cs	Dépôts		Sols de la région	Sol de ref
	Sableux	Argilo-limoneux		
Activité massique (Bq kg _{sec} ⁻¹)	1	25	4 à 30	8
Activité surfacique (Bq m ⁻²)	45 à 1500	75 à 1000	1000 à 8000	2000

⁶⁰ Co	Dépôts		Sols de la région	Sol de ref
	Sableux	Argilo-limoneux		
Activité massique (Bq kg _{sec} ⁻¹)	0,3	< 0,6	< 0,7	0,66
Activité surfacique (Bq m ⁻²)	14 à 450	< 25	< 30	165

Tableau 3 : Activités massiques et surfaciques des dépôts d'inondation

4.3.1. ¹³⁷Cs

Le ¹³⁷Cs a été quantifié dans tous les échantillons analysés (12/12). Le ¹³⁷Cs est issu du drainage des sols du bassin versant rhodanien marqué par les retombées atmosphériques des essais nucléaires de surface effectués par le passé et de l'accident de Tchernobyl. Cet élément est également rejeté par les installations nucléaires implantées dans la vallée du Rhône, notamment par l'usine de retraitement du combustible irradié de Marcoule. Actuellement, les activités en ¹³⁷Cs rejetées par l'industrie nucléaire seraient, en moyenne annuelle, inférieures

d'un facteur 2 à 3 aux activités en ^{137}Cs apportées par les eaux de drainage des sols du bassin du Rhône.

Les sols cultivés de la région incluant la zone d'étude présentent des activités en ^{137}Cs de 4 à $30 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{sec}}$ (résultats acquis lors d'études antérieures de l'IRSN et consignés dans la base de données SYLVESTRE), soit des activités surfaciques variant approximativement de 1000 à 8000 Bq m^{-2} (Densité moyenne des sols cultivés de Camargue de 1050 kg m^{-3} et homogénéité sur 0,25 m). Ces données sont cohérentes avec les résultats obtenus sur le sol de référence (Tableau 3).

Les résultats d'analyses sur les dépôts indiquent que les sables contiennent de l'ordre de $1 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{sec}}$ de ^{137}Cs et les dépôts argilo-limoneux $25 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{sec}}$ (Tableau 3). Dans l'environnement, le ^{137}Cs est préférentiellement fixé sur les particules fines de nature argileuse. Il est par conséquent cohérent d'observer les plus fortes activités massiques en ^{137}Cs dans les dépôts argilo-limoneux.

A partir des résultats de mesure, on estime que les activités surfaciques en ^{137}Cs apportées par les dépôts d'inondation varient de 45 à 1500 Bq m^{-2} (pour 85 cm de sables secs) et de 75 à 1000 Bq m^{-2} (pour 2,5 cm de limons secs). Ces valeurs sont de l'ordre de grandeur des activités en ^{137}Cs des sols de la région déjà mesurées par l'IRSN.

4.3.2. ^{60}Co

Les niveaux d'activité en ^{60}Co dans les dépôts d'inondations de décembre 2003 sont globalement en deçà des limites de détection. Cet élément n'a été détecté que dans 2 échantillons parmi les 12 analysés. Le ^{60}Co est un produit d'activation exclusivement issu des installations nucléaires. Actuellement, les activités en ^{60}Co rejetées par l'ensemble de l'industrie nucléaire rhodanienne sont, en moyenne annuelle, inférieures d'un ordre de grandeur aux activités en ^{137}Cs introduites dans les eaux du Rhône.

Le ^{60}Co a été détecté uniquement dans les dépôts sableux à des niveaux de l'ordre de $0,3 \text{ Bq kg}_{\text{sec}}$. Ces valeurs sont très proches des limites de détection dans les sables ($0,2 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{sec}}$). Dans les limons les activités en ^{60}Co sont inférieures à la limite de détection ($0,6 \text{ Bq kg}^{-1}_{\text{sec}}$).

Le ^{60}Co n'a été que très rarement détecté dans les sols cultivés de la région (base de données SYLVESTRE). En effet, la présence de cet élément dans les sols ne peut être liée qu'à des apports d'eau du Rhône, notamment via l'irrigation. Cet élément est de plus en grande partie transféré dans les eaux sous forme dissoute et colloïdale. Pour des débits de crue en Arles de l'ordre de $4000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, 30% du ^{60}Co présent dans les eaux sont associés aux supports solides alors que, pour ces mêmes débits, plus de 80% du ^{137}Cs transitent en phase particulaire. Enfin, cet élément a une période de décroissance radioactive relativement courte ($T_{1/2} = 5,2$ ans) et disparaît donc de l'environnement par désintégration plus rapidement que le ^{137}Cs dont la période de décroissance est de l'ordre de 30 ans.

La présence de ^{60}Co dans le sol de référence, comme dans d'autres sols de la région, non soumis aux inondations de décembre 2003 témoigne d'apports récents ou continus d'eau du Rhône par irrigation ou inondations antérieures.

4.3.3. $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{238}Pu

Ces isotopes du plutonium proviennent pour partie du drainage des sols du bassin versant rhodanien marqué par les retombées atmosphériques globales des années 1950 et 1960. Ces radionucléides sont également rejetés par l'installation de Marcoule. Actuellement, les activités

en isotopes du plutonium rejetées par le complexe de Marcoule sont, en moyenne annuelle, du même ordre de grandeur que celles introduites par les eaux de drainage du bassin versant pour le $^{239+240}\text{Pu}$ et d'un ordre de grandeur supérieur aux apports du bassin pour le ^{238}Pu . Les analyses par spectrométrie alpha sur 3 échantillons sont en cours. Néanmoins, des limons du Rhône et du Petit Rhône de nature et de source similaires à celles des dépôts d'inondation de décembre 2003 ont été prélevés sur la zone de 'Claire farine' à l'issue de la crue et des inondations de Novembre 2002. Ces dépôts limoneux présentent des activités massiques en $^{239+240}\text{Pu}$, et en ^{238}Pu de $0,3 \text{ Bq kg}_{\text{sec}}^{-1}$ et $0,04 \text{ Bq kg}_{\text{sec}}^{-1}$, respectivement, soit des activités massiques en $^{239+240}\text{Pu}$ et en ^{238}Pu inférieures de deux et trois ordres de grandeur, respectivement, aux activités massiques de ^{137}Cs .

Sur cette base, les activités surfaciques apportées par les dépôts argilo-limoneux seraient, pour des épaisseurs de dépôts argilo-limoneux variant de $0,2$ à $2,5 \text{ cm}_{\text{sec}}$, de $0,9$ à 12 Bq m^{-2} pour les $^{239+240}\text{Pu}$ et de $0,12$ à $1,6 \text{ Bq m}^{-2}$ pour le ^{238}Pu ; les activités surfaciques mesurées dans les sols de la région étant de l'ordre de 60 Bq m^{-2} pour les $^{239+240}\text{Pu}$ et de $3,5 \text{ Bq m}^{-2}$ pour le ^{238}Pu .

Les résultats d'analyses sur les dépôts argilo-limoneux des inondations 2003 permettront très probablement de valider ces premières estimations.

4.4. Facteur d'enrichissement des sols cultivés

Le facteur d'enrichissement ou de dilution d'activité massique d'un sol cultivé peut être obtenu par la relation [1]:

$$a = \frac{A_{\text{sed}} \times E_{\text{sed}} + A_{\text{solc}} \times (E_{\text{solc}} - E_{\text{sed}})}{A_{\text{solc}} \times E_{\text{solc}}} \quad [1]$$

Avec: A_{sed} et A_{solc} , activités massiques en ^{137}Cs du dépôt sédimentaire et du sol cultivé, en $\text{Bq kg}_{\text{sec}}^{-1}$.

E_{sed} et E_{solc} , épaisseurs du dépôt et du sol cultivé, en m.

En moyenne sur la zone étudiée, la hauteur des dépôts argilo-limoneux incorporables aux sols cultivés est de $0,5 \text{ cm}_{\text{sec}}$. Leur activité massique moyenne est de $20 \text{ Bq kg}_{\text{sec}}^{-1}$. L'activité massique moyenne des sols est de $15 \text{ Bq kg}_{\text{sec}}^{-1}$ et l'épaisseur d'un sol cultivé est de l'ordre de 25 cm . Sur cette base, le facteur d'enrichissement moyen des sols cultivés en ^{137}Cs est de $1,0$. D'une façon générale, l'activité en ^{137}Cs des sols inondés en 2003 demeure inchangée.

Dans l'hypothèse d'un dépôt de $2,5 \text{ cm}$ de limons secs (maximum observé) sur un sol contenant $4 \text{ Bq kg}_{\text{sec}}^{-1}$ de ^{137}Cs (minimum mesuré), le facteur d'enrichissement en ^{137}Cs des sols cultivés inondés serait de $1,6$. Dans ce cas, le plus pénalisant, l'activité en ^{137}Cs des sols inondés serait donc accrue de 60% .

Dans le cas des isotopes du plutonium, les facteurs d'enrichissement moyens des sols cultivés seraient de $1,01$ pour les $^{239+240}\text{Pu}$ et de $1,06$ pour le ^{238}Pu , soit, en moyenne, une augmentation de 1 et 6% des activités en $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{238}Pu , respectivement. Dans le cas le plus pénalisant, c'est à dire pour des dépôts de $2,5 \text{ cm}_{\text{sec}}$, les facteurs d'enrichissement atteindraient $1,2$ pour les $^{239+240}\text{Pu}$ et $1,6$ pour le ^{238}Pu .

Les cas pénalisants concernent des surfaces restreintes, en périphérie immédiate des dépôts sableux majoritaires ou au niveau des points bas des parcelles, où des dépôts argilo-limoneux centimétriques ont été observés. Les activités en ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{238}Pu des couches de sol cultivés, augmentées de 20 à 60% par l'incorporation des dépôts d'inondations, demeureraient

toutefois inférieures aux activités des sols les plus marqués de la région non soumis aux inondations de décembre 2003.

4.5. Apports de substances chimiques

4.5.1. *Eléments inorganiques*

Les 8 éléments traces analysés (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) dans les échantillons de sols, sédiments et salades sont omniprésents dans l'environnement, et seule une comparaison avec des valeurs de référence peut permettre de juger d'une éventuelle contamination apportée par les inondations.

Les résultats des mesures sont reportées dans le Tableau 4. Les Valeurs de Définition de Source-Sol (VDSS) préconisées par le BRGM (BRGM, 2002) sont reportées dans ce même tableau afin de disposer de valeurs guides en matière de sol pollué. On note ici que tous les résultats des analyses effectuées sont inférieurs à ces valeurs. Il est intéressant d'établir des comparaisons entre les teneurs mesurées dans les 2 échantillons de sédiments déposés par les inondations et celles mesurées dans l'échantillon de sol de référence (« bruit de fond »). Les sédiments les plus fins présentent, de manière logique, des concentrations en éléments traces supérieures aux sédiments sableux. Les concentrations mesurées dans les sédiments ne sont pas significativement différentes des teneurs en éléments traces du sol de référence.

	Arsenic	Cadmium	Chrome total	Cuivre	Mercure	Nickel	Plomb	Zinc
VDSS*	19	10	65	95	3,5	70	200	4500
Sol de référence	11,6	0,8	52,3	78,1	0,07	26	21,9	74,6
Sédiment sableux	3,8	0,2	18,9	2,8	< 0,02	8,7	11	23,4
Sédiment limoneux	13,4	0,7	55,8	19,3	0,12	25,9	26,3	88,1
Salades	< 0,2	0,03	1,4	14	< 0,02	2,8	0,04	36,3

*Valeurs de Définition de Source-Sol (BRGM)

Tableau 4 : Teneurs en éléments traces des échantillons analysés ($mg.kg^{-1}_{sec}$)

4.5.2. *Eléments organiques*

Les teneurs en 287 molécules organiques ont été recherchées dans chacun des 4 échantillons analysés. Seuls 3% des résultats sont faiblement supérieurs aux limites de détection. Ces molécules, dont les concentrations ont pu être quantifiées, appartiennent aux familles des hydrocarbures, des insecticides organo-chlorés, et, dans un seul cas, des solvants organohalogénés (Tableau 5). C'est dans l'échantillon de sédiments limoneux qu'a été détecté le plus grand nombre de substances à des concentrations supérieures aux limites de détection. Ses faibles teneurs en hydrocarbures sont comparables à celles mesurées dans le sol de référence. Seule la présence de traces d'insecticides et de dichlorobenzène distingue cet échantillon du sol de référence.

	Famille	Sol de référence	Sédiment sableux	Sédiment limoneux	Salades
Benzo (a) anthracène	HPA	0,13	< LD	0,08	0,03
Benzo (a) pyrène	HPA	0,09	< LD	0,11	< LD
Benzo (b) fluoranthène	HPA	0,16	< LD	0,12	< LD
Benzo (ghi) perylène	HPA	0,11	0,01	0,07	0,08
Benzo (k) fluoranthène	HPA	0,06	< LD	0,06	< LD
Chrysène	HPA	0,12	< LD	0,11	< LD
Dibenzo (a,h) anthracène	HPA	0,06	< LD	0,04	0,10
Fuoranthène	HPA	0,26	< LD	0,29	0,15
Indino (1,2,3-cd) pyrène	HPA	0,10	< LD	0,08	0,08
Methyl 2 naphtalène	HPA	< LD	< LD	0,06	0,06
Phénanthrène	HPA	0,12	< LD	0,13	< LD
Pyrène	HPA	0,32	< LD	0,30	< LD
Dichlorobenzène 1,4	Solvant organo-chloré	< LD	< LD	0,07	< LD
DDD-2,4'	Insecticide organo-chloré	< LD	< LD	< LD	0,29
DDD-4,4'	Insecticide organo-chloré	< LD	< LD	0,03	< LD
DDE-4,4'	Insecticide organo-chloré	< LD	< LD	0,03	0,28
DDT-2,4'	Insecticide organo-chloré	< LD	< LD	0,04	< LD
DD6-4,4'	Insecticide organo-chloré	< LD	< LD	0,03	< LD
Toluène	Hydrocarbure léger	0,23	< LD	0,15	< LD

Tableau 5 : Substances organiques identifiées dans les échantillons analysés (mg.kg⁻¹)

De manière générale, à la vue des résultats obtenus, les dépôts sédimentaires ne constituent pas une source de pollution, et ne modifieront pas significativement les concentrations en substances chimiques non radioactives des sols auxquels ils pourraient être incorporés.

4.6. Transfert à la chaîne alimentaire

Les niveaux d'activité mesurés dans les cultures maraîchères et herbe de prairie prélevées en janvier 2004 ne sont pas significativement différents de ceux mesurés dans des échantillons de même nature non soumis aux inondations de décembre 2003 (Annexe 1). Des prélèvements d'herbe et de lait de chèvre ont été réalisés en juin 2004 afin de suivre un éventuel transfert à la chaîne alimentaire. Les résultats d'analyses (Annexe 1) confirment l'absence d'un marquage significatif de la chaîne alimentaire comme le laissaient présager les faibles niveaux d'activités observés dans les dépôts.

5. CONCLUSIONS

Les mesures de débit de dose réalisées ont permis de vérifier que les dépôts d'inondation sur les sols de Petite Camargue au lieu-dit 'Claire Farine' ne pouvaient avoir de conséquences significatives du point de vue de l'exposition externe.

Les hauteurs maximales des dépôts sableux mesurées sont de l'ordre de 85 cm_{sec} au droit de cette brèche. Ces dépôts sableux s'étendent sur environ 1 km² à partir de la brèche. Sur la zone distale, les hauteurs maximales de dépôts argilo-limoneux sont de 2,5 cm_{sec}. Les quantités apportées peuvent atteindre localement 1,5 tonnes_{sec} m⁻² pour les dépôts sableux et 40 kg_{sec} m⁻² pour les dépôts argilo-limoneux.

Les seuls radionucléides d'origine artificielle détectés par spectrométrie gamma sont les ¹³⁷Cs et ⁶⁰Co.

Les résultats d'analyses indiquent que les sables contiennent de l'ordre de 1 Bq kg_{sec}⁻¹ de Cs¹³⁷ et les dépôts argilo-limoneux 25 Bq kg_{sec}⁻¹. Ces valeurs sont de l'ordre de grandeur des activités massiques en ¹³⁷Cs des sols de la région.

Le ⁶⁰Co n'a été détecté que dans 2 échantillons parmi les 12 analysés. Les niveaux d'activité en ⁶⁰Co dans les dépôts d'inondations de décembre 2003 sont globalement en dessous des limites de détection. Les sols de la région peuvent présenter quant à eux localement ou temporairement des activités en ⁶⁰Co détectables en raison des pratiques d'irrigation avec les eaux rhodaniennes.

D'une façon générale, l'activité en ¹³⁷Cs des sols inondés en 2003 demeure inchangée. Dans le cas le plus pénalisant, c'est à dire dans le cas d'un dépôt de 2,5 cm de limons secs (maximum observé) sur un sol contenant 4 Bq Kg_{sec} de ¹³⁷Cs (minimum mesuré), l'activité en ¹³⁷Cs des sols inondés serait accrue de 60%.

Concernant les isotopes du plutonium, les activités surfaciques apportées par les dépôts argilo-limoneux varieraient de 0,9 à 12 Bq m⁻² pour les ²³⁹⁺²⁴⁰Pu et de 0,12 à 1,6 Bq m⁻² pour le ²³⁸Pu. Les activités surfaciques mesurées dans les sols de la région sont de l'ordre de 60 Bq m⁻² pour les ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu et de 3,5 Bq m⁻² pour le ²³⁸Pu. Les facteurs d'enrichissement moyens des sols cultivés seraient de 1,01 pour les ²³⁹⁺²⁴⁰ Pu et de 1,06 pour le ²³⁸Pu, soit, en moyenne, une augmentation de 1 et 6 % des activités en ²³⁹⁺²⁴⁰Pu et ²³⁸Pu, respectivement. Dans le cas le plus pénalisant, les facteurs d'enrichissement atteindraient 1,2 et 1,6 pour les ²³⁹⁺²⁴⁰Pu et ²³⁸Pu, respectivement.

Les cas pénalisants concernent des surfaces restreintes, en périphérie immédiate des dépôts sableux majoritaires, où des dépôts argilo-limoneux centimétriques ont été observés. Les activités en ¹³⁷Cs, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu et ²³⁸Pu de ces sols, augmentées de 20 à 60% par l'incorporation des dépôts d'inondations, demeureraient toutefois inférieures aux activités des sols les plus marqués de la région non soumis aux inondations de décembre 2003.

Les niveaux d'activité mesurés dans les cultures maraîchères ne sont pas significativement différents de ceux mesurés dans des échantillons de même nature non soumis aux inondations de décembre 2003. Les prélèvements 'herbe et de lait de chèvre réalisés au début du mois de juin 2004 ont confirmé en outre l'absence d'un marquage significatif de la chaîne alimentaire. Enfin, les résultats d'analyses chimiques n'indiquent pas de pollution significative des sols et des cultures maraîchères.

En conclusion, les résultats d'expertise soulignent que les inondations de décembre 2003 en Petite Camargue au lieu dit 'Claire Farine' n'ont eu aucune conséquence radiologique et chimique significative.

Deux autres études ont été réalisées, d'une part en Petite Camargue au niveau de la rupture d'ouvrage de 'Petite Argence', et, d'autre part, sur la zone de Tarascon à Arles ainsi qu'en Ville d'Arles. Les résultats de ces études permettront de préciser, de manière plus exhaustive, les conséquences radiologiques des inondations de décembre 2003, notamment en milieu urbanisé.

6. LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Résultats d'analyses :Granulométries et spectrométries gamma	20
---	----

7. LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : RESULTATS DES MESURES DE DEBIT DE DOSE AU CONTACT REALISEES LES 15 ET 16 JANVIER 2004 SUR LA ZONE DE 'CLAIRE FARINE'.....	9
TABLEAU 2 : ÉPAISSEURS MAXIMALES DE DEPOTS SECS (CM) SABLEUX (> 63 µm).....	11
TABLEAU 3 : ACTIVITES MASSIQUES ET SURFACIQUES DES DEPOTS D'INONDATION.....	12
TABLEAU 4 : TENEURS EN ELEMENTS TRACES DES ECHANTILLONS ANALYSES (MG.KG ⁻¹ _{SEC})	15
TABLEAU 5 : SUBSTANCES ORGANIQUES IDENTIFIEES DANS LES ECHANTILLONS ANALYSES (MG.KG ⁻¹).....	16

8. LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION DES ZONES INONDEES ET DES ZONES D'ETUDE RADIOECOLOGIQUE (HTTP://WWW.PARC-CAMARGUE.FR/FRANCAIS/UPLOAD/CARTE_INONDATIONS_2004.PDF).	6
FIGURE 2 : MESURE DU DEBIT DE DOSE AU POINT N°1 (ZONE DE FORTS DEPOTS DE SABLES, 50 METRES FACE AU POINT DE RUPTURE DE LA DIGUE).....	7
FIGURE 3 : LOCALISATION DES POINTS DE MESURE DU DEBIT DE DOSE	8
FIGURE 4 : DEBIT DE DOSE MOYEN DANS LA BASSE VALLEE DU RHONE – VALEURS EN NSV.H ⁻¹ (DONNEES TELERAY – BILAN 2002, EXTRAIT).....	9
FIGURE 5 : CARTOGRAPHIE DE LA HAUTEUR DES DEPOTS SABLEUX (ZONE PROXIMALE, ROUGE, ROSE) ET DES DEPOTS ARGILO-LIMONEUX (ZONE DISTALE, BLEU)	10
FIGURE 6: NATURE SEDIMENTAIRE DES DEPOTS (ANNEXE 1)	11

9. LISTE DE RÉFÉRENCES

ANTONELLI C., PROVANSAL M., RIBES E., ROLLAND B., EYROLLE F., 2003, Characterisation of the suspended load of September and November 2002 large floods, 26-29 October 2003, Aix en Provence, France, COMDELTA, Conference on Comparing Mediterranean and Black sea Prodelta.

BRGM, 2002, Gestion des sites (potentiellement) pollués – Annexe 5C- Valeurs guides en matière de pollution des sols et des eaux.

DUFFA C., RENAUD Ph. And LOUVAT D., 2000, Tracing of plutonium contamination over inundated areas of Camargue (France), Goldschmidt 2000, Journal of Conference abstracts, 5, 2, 363.

DUFFA C., 2001. Répartition du plutonium et de l'américium dans l'environnement de la basse vallée du Rhône, Thèse de l'Université d'Aix Marseille III, 179 p.

EYROLLE F., GOUTELARD F. and CALMET D., 1999, Pu-239+240 and Pu-238 distribution among dissolved, colloidal and particulate phases in the Rhone River waters (France), Proceedings of an International Symposium on Marine Pollution held in Monaco, 5-9 October 1998, IAEA, July 1999, 466-467.

EYROLLE F., 2001, Exportation des radionucléides par voie fluviale – Dynamique et bilan sur le bassin rhodanien, Rapport IPSN/DPRE/SERNAT 2001-26.

EYROLLE F. et DUFFA C., 2002, Flux annuels de $^{239+240}\text{Pu}$ et ^{238}Pu du Rhône à la mer Méditerranée de 1945 à nos jours et stocks continentaux actuels, Rapport IPSN/DPRE/SERNAT 2002-32.

EYROLLE F. and DUFFA C., 2002, Sedimentary beds as a delayed source of ^{137}Cs , ^{238}Pu and $^{239+240}\text{Pu}$ for the Rhône River freshwaters, 9th International Symposium on the interaction between sediments and waters, Banff Springs Hotel, Canada, May 5-10.

EYROLLE F., ARNAUD M., DUFFA C. and RENAUD Ph., 2002; Plutonium fluxes from the Rhône River to the Mediterranean Sea, Radioprotection-Colloques, 37, C1, 87-92.

EYROLLE F. and CHARMASSON S., 2004, Importance of colloids in the transport within the dissolved phase (<450nm) of artificial radionuclides from the Rhône River towards the Gulf of Lions (Mediterranean Sea), Journal of Environmental Radioactivity, 72 (3), 273-286.

EYROLLE F., CHARMASSON S. and LOUVAT D., 2004, Plutonium isotopes in the lower reaches of the river Rhône over the period 1945-2000: Fluxes towards the Mediterranean Sea and sedimentary inventories, Journal of Environmental Radioactivity, Special issue, 74, 127-138.

ANTONELLI C., PROVANSAL M., RIBES E., ROLLAND B., EYROLLE F., 2003, Characterisation of the suspended load of September and November 2002 large floods, 26-29 October 2003, Aix en Provence, France, COMDELTA, Conference on Comparing Mediterranean and Black sea Prodelta.

ROLLAND B., EYROLLE F. et BOURLES D., 2004, Estimation des flux de radioactivité artificielle drainée par le Rhône aval, Colloque de Synthèse sur le Rhône et la Méditerranée, 5-7 mai 2004, Marseille, France.

EYROLLE F., DUFFA C., ROLLAND B., ANTONELLI C., LEPRIEUR F. and RENAUD Ph., 2004, La crue exceptionnelle du Rhône de décembre 2003 Conséquences sur la translocation des sédiments rhodaniens et des contaminants associés sur les zones inondées, Colloque de Synthèse sur le Rhône et la Méditerranée, 5-7 mai 2004, Marseille, France.

CHARMASSON S., EYROLLE F. and ARNAUD M., 2004, Les isotopes radioactifs traceurs du Rhône en Méditerranée au cours du temps, Colloque de Synthèse sur le Rhône et la Méditerranée, 5-7 mai 2004, Marseille, France.

B. ROLLAND, C. ANTONELLI, F. EYROLLE, 2004, Fluxes of suspended material and associated radionuclides to the sea during flood events of the Rhône River, ECORAD 2004, 6-10 sept. 2004, Aix en Provence, France, accepté.

ANNEXE 1

RESULTATS D'ANALYSES :

GRANULOMETRIES ET SPECTROMETRIES GAMMA

Date	Nature	Latitude	Longitude	ARGIL	LIMOF	LIMOG	SABLF	SABLG	137Cs	137Cs +/-	60Co	60Co +/-
		degré dec	degré dec	%	%	%	%	%	Bq kg _{sec} ⁻¹			
16/01/2004	Sédiments	43,5950	4,4634	19,5	42,7	28,8	8,9	0,1	17,7	1,7	<0,7	
16/01/2004	Sédiments	43,6010	4,4498	24,7	56,7	17,3	1,3	0	22,8	2,1	<0,9	
16/01/2004	Sédiments	43,6021	4,4442	20,6	44,2	27,7	7,4	0	NA	-	NA	-
16/01/2004	Sédiments	43,6026	4,4365	31,4	55	12,6	1	0	13,7	1,3	<0,8	
16/01/2004	Sédiments	43,6035	4,4608	27,3	60,3	11,9	0,4	0	24,8	2,2	<0,7	
16/01/2004	Sédiments	43,6000	4,4600	27,4	58,6	13,3	0,6	0	24,9	2,1	<1,4	
16/01/2004	Sédiments	43,6019	4,4601	22,7	56,6	19,5	1,1	0	NA	-	NA	-
16/01/2004	Sédiments	43,5991	4,4595	21,9	50,6	23,6	3,9	0	NA	-	NA	-
22/01/2004	Sédiments	43,5989	4,4593	9	15	19,2	55,3	1,4	16,3	1,5	<0,7	
22/01/2004	Sédiments	43,5988	4,4592	3,6	4,9	8,8	75,6	7	NA	-	NA	-
22/01/2004	Sédiments	43,5987	4,4591	3,5	4,3	6,9	68	17,2	13,9	1	0,40	0,13
22/01/2004	Sédiments	43,5989	4,4590	1,7	1,3	1,8	32,7	62,4	NA	-	NA	-
22/01/2004	Sédiments	43,5985	4,4589	1,7	1,2	1,3	29,1	66,6	NA	-	NA	-
22/01/2004	Sédiments	43,5983	4,4586	1,4	0,7	1	22,2	74,7	6,2	0,7	<0,7	
22/01/2004	Sédiments	43,5981	4,4584	1,4	0,9	2,4	36,8	58,4	NA	-	NA	-
22/01/2004	Sédiments	43,5979	4,4582	1,6	2,1	3,8	78,9	13,5	NA	-	NA	-
22/01/2004	Sédiments	43,5973	4,4575	3,5	5,7	16,1	73,6	1,1	NA	-	NA	-
22/01/2004	Sédiments	43,5963	4,4564	4,1	6,5	17,3	70,4	1,7	15,2	1,5	<0,6	
22/01/2004	Sédiments	43,5995	4,4576	9,5	12,4	9	63	6,1	10,2	0,8	0,21	0,11
22/01/2004	Sédiments	43,5986	4,4583	1,3	1,3	2,1	38,4	56,9	NA	-	NA	-
22/01/2004	Sédiments	43,5978	4,4591	0,6	0,3	0,6	10,5	87,8	NA	-	NA	-
22/01/2004	Sédiments	43,5963	4,4604	1,6	1,4	2,3	18,7	76	8,1	0,9	<0,6	
22/01/2004	Sédiments	43,5898	4,4484	30,7	60,3	8,6	0,3	0	22,5	2,1	<0,8	
22/01/2004	Sédiments	43,5953	4,4489	18,8	39,5	32	9,7	0	NA	-	NA	-
28/01/2004	Sol de ref	43,7048	4,5091	13,6	26,5	26,2	31,1	2,5	8	0,6	0,66	0,15
Date	Nature	Latitude	Longitude	ARGIL	LIMOF	LIMOG	SABLF	SABLG	137Cs	137Cs +/-	60Co	60Co +/-
		degré dec	degré dec	%	%	%	%	%	Bq kg _{centres} ⁻¹			
20/01/2004	Salade (feuilles)	43,7482	4,6480	NA	NA	NA	NA	NA	2,1	0,6	<1,8	
20/01/2004	Epinards (feuilles)	43,7846	4,6721	NA	NA	NA	NA	NA	<5		<4	
20/01/2004	Bettes (feuilles)	43,7482	4,6480	NA	NA	NA	NA	NA	1,1	0,5	<1,7	
28/01/2004	Herbe de prairie	43,7170	4,5049	NA	NA	NA	NA	NA	12,8	1,7	<1,9	
03/06/2004	Herbe de prairie	43,7170	4,5049	NA	NA	NA	NA	NA	<4		<2,7	
Date	Nature	Latitude	Longitude	ARGIL	LIMOF	LIMOG	SABLF	SABLG	137Cs	137Cs +/-	60Co	60Co +/-
		degré dec	degré dec	%	%	%	%	%	Bq l ⁻¹	Bq l ⁻¹	Bq l ⁻¹	Bq l ⁻¹
10/06/2004	Lait de chèvre	43,7170	4,5049	NA	NA	NA	NA	NA	0,10	0,04	<0,14	