

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE




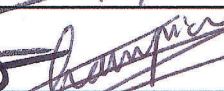

Projet EXTREME

Rapport de lancement

Frédérique Eyrolle, Sabine Charmasson et Olivier Masson

**DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT
ET DE L'INTERVENTION**

Service d'Etude et de Surveillance de la Radioactivité dans
l'Environnement

Demandeur					
Référence de la demande					
Numéro de la fiche programme	Projet EXTREME				
<p>Projet EXTREME</p> <p>Rapport de lancement</p> <p>Laboratoire d'Etudes Radioécologiques du milieu Continental et Marin</p> <p>Rapport DEI/SESURE n° 2005-07</p>					
	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	Vérificateur*	Chef du SESURE	Directeur DEI	Directeur Général de l'IRSN
Noms	F. EYROLLE	P RENAUD	N. LEMAITRE	D. CHAMPION	J. REPUSSARD
Dates	21/01/05	29/04/05	9/5/05	13/5/05	
Signatures					

* rapport sous assurance de la qualité

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Auteur	Pages ou paragraphes modifiés	Description ou commentaires
0	15/07/2004	F. Eyrolle S. Charmasson		Emission du document
1	15/01/2005	O. Masson	Dépôts éoliens	Rédaction
2	21/01/2005	F. Eyrolle		Prise en compte demande de modifications P. Renaud
3	17/05/2005	F. Eyrolle		Prise en compte demande de modifications G. LINDEN

LISTE DES PARTICIPANTS

Nom	Organisme
Frédérique EYROLLE	IRSN/DEI/SESURE/LERCM
Sabine CHARMASSON	IRSN/DEI/SESURE/LERCM
Olivier MASSON	IRSN/DEI/SESURE/LERCM

LISTE DE DIFFUSION

Nom	Organisme
J. REPUSSARD	IRSN/DIR
M. BRIERE	IRSN/DIR
Y. SOUCHET	IRSN/DSDRE
J. LEWI	IRSN/DESTQ
MP BIGOT	IRSN/COM
F. SOULET	DESTQ/DISCT/CRIS
D. CHAMPION	DEI/DIR
G. LINDEN	DEI/DIR
B. DUFER	DEI/DIR
JM PERES	DEI/SARG
JC GARIEL	DEI/SECRE
P. DUBIAU	DEI/SESUC
JP MAIGNE	DEI/SIAR
MC ROBE	DEI/STEME
B. DESCAMPS	DEI/SESURE/LESE
O. PIERRARD	DEI/SESURE/LVRE
P. RENAUD	DEI/SESURE/LERCM

RESUME

A l'heure où les apports primaires de radionucléides artificiels sont en nette diminution, certains milieux environnementaux constituent des termes sources secondaires de radioactivité non négligeables. Les phénomènes de redistribution à partir de ces milieux de stockages constitués par le passé prévalent souvent aujourd'hui, tout particulièrement lors d'évènements extrêmes tels que certaines précipitations ou dépôts atmosphériques, les crues, les tempêtes, etc... . Ces épisodes évènementiels sont en effet susceptibles de déplacer des masses de matière importantes entre les différents milieux, de générer des activités supérieures à celles attendues à partir de la modélisation des processus de transfert moyen, et de produire des flux souvent équivalents aux flux cumulés sur plusieurs mois, voire plusieurs années. Le projet EXTREME vise à étudier les conséquences sur l'environnement, et donc sur l'homme, des processus naturels générateurs de flux et/ou de stocks évènementiels de radioactivité d'origine artificielle ou naturelle au sein d'un certain nombre de compartiments environnementaux de la géosphère (atmosphère, sol, rivières et fleuves, milieu marin côtier, milieu marin profond).

ABSTRACT

Due to the drastic decrease in artificial radioactivity levels from primary sources such as atmospheric fallout or industrial releases, radioactive storages constituted in the past within several environmental compartments act today as non negligible secondary sources. These delayed sources are particularly active during extreme meteo climatic events such as rainfalls or atmospheric deposits, floods, storms, etc... . that may remove important mass, generate activity levels higher than the predicted ones from modelisation based on mean transfer process, and produce in a couple of hours or days fluxes similar to those accrued over several month or years. EXTREME aims at assessing the consequences on man and its environment of natural events that generate extreme radioactive stocks and/or fluxes within several environmental compartments (atmosphere, soils, rivers, coastal marine environment and deep sea areas).

MOTS-CLES

Radioactivité artificielle, radioactivité naturelle, stocks, flux, évènementiel, processus extrêmes, transfert de masses, changement climatique, épisodes météo climatiques, protection de l'environnement, protection de l'homme.

Sommaire

1 CONTEXTE ET CONCEPT	3
2 OBJECTIFS ET ENJEUX D'EXTREME	5
3 STRUCTURE DU PROJET	5
4 EXEMPLES D'ETUDES PARTICULIERES	6
4.1 Dépôts éoliens de poussières désertiques	6
4.2 Précipitations	6
4.3 Crues et inondations	7
4.4 Berges et plaines d'inondation proximales	8
5 CHRONOGRAMME	10
6 EQUIPE PROJET	10
7 BUDGET PREVISIONNEL 2005-2008	11
8 DOCUMENTS PRODUITS PAR LE PROJET	12
9 COLLABORATIONS	13
10 PROGRAMMES DE RATTACHEMENT	13
11 REFERENCES	13

1 CONTEXTE ET CONCEPT

Les principaux apports de radioactivité d'origine anthropique qui ont prévalu durant les décennies précédentes ont cessé ou fortement diminué. Il en est ainsi des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires dont le dernier a eu lieu en 1980, et de l'accident de Tchernobyl en 1986. De même, les activités rejetées de manière réglementaire par les installations nucléaires sont, pour la plupart des radionucléides, en très nette diminution depuis plus de quinze ans en raison de l'évolution des activités, d'améliorations techniques, et, de la mise en place de directives fortes en matière de protection de l'environnement ([Revue Contrôle, 2000](#)).

Par le passé, la radioactivité des différents milieux environnementaux s'expliquait essentiellement par des processus élémentaires de dilution, de dispersion ou de transfert à partir des termes sources primaires clairement identifiés. Bien que certains milieux d'intégration ou zones d'accumulation aient été mis en évidence, les apports primaires importants et quasi continus masquaient alors généralement les phénomènes de redistribution des radionucléides à partir des termes sources secondaires. Aujourd'hui, ces phénomènes de redistribution à partir des milieux de stockages constitués par le passé prévalent souvent, notamment lors d'évènements extrêmes susceptibles de déplacer des masses de matière importantes entre les différents milieux : atmosphérique, terrestre, aquatique et marin. Ainsi a été mise en évidence l'importance des transferts de matière et des radionucléides associés lors d'épisodes météo-climatiques exceptionnels comme les fortes précipitations pour les transferts atmosphère-sols ou sols-rivières, les dépôts évènementiels de particules d'origine éolienne, les crues pour les flux des rivières vers le milieu marin ou le compartiment terrestre en cas d'inondation, les crues également pour le transfert du milieu marin côtier vers le domaine marin profond, les tempêtes pour la remise en suspension des sédiments en zone côtière, etc... . Ces processus conduisent à une redistribution importante des stocks en place, à des activités temporairement ou localement supérieures à celles attendues à partir de la modélisation des processus de transfert moyennés, et à des flux importants de radioactivité souvent équivalents aux flux cumulés sur plusieurs mois, voire plusieurs années. La quantification des flux résultant de ces processus extrêmes reste à faire.

Cet axe de recherche est en outre l'une des retombées scientifiques fortes du projet CAROL ([Duffa et Renaud, 2004](#)). En effet, si cette étude intégrée a permis d'identifier et de paramétrer les mécanismes majeurs qui ont conduit à la répartition globale actuelle des radionucléides dans le bassin versant du Rhône, et, de montrer que les processus de transfert et de répartition moyens étaient relativement bien connus, elle souligne également les lacunes de connaissances relatives aux conséquences des processus extrêmes de redistribution des radionucléides.

Cette thématique ne concerne pas exclusivement la radioécologie. Divers programmes nationaux et internationaux commencent l'étude de ces transferts caractérisés

par un mode de fonctionnement impulsif. Les programmes auxquels l'IRSN est rattaché s'intéressent notamment aux apports continentaux délivrés par les rivières, à la remise en suspension des sédiments, à l'érosion des cordons littoraux, et au transport des particules ; une attention particulière étant accordée aux phénomènes exceptionnels (crues, tempêtes, efflorescences algales, mélange vertical hivernal, etc.) qui "pèsent" fortement sur les bilans (ORME ; EUROSTRATAFORM ; PNEC). Cette thématique s'inscrit en outre dans les conséquences du changement climatique dont l'une des principales observations réside dans une amplification de la saisonnalité et l'augmentation de l'occurrence d'épisodes météo climatiques extrêmes (McBean et al., 2001 ; Bois , 2004). Parmi les nombreux programmes de recherches dédiés à l'étude du changement climatique ou changement global, citons, à titre d'exemple, le PIGP (Programme International Géosphère-Biosphère) dont le Groupe Eau met l'accent sur les changements des flux, des concentrations et des modes de transfert de l'eau, des particules, du carbone, des nutriments ainsi que d'autres descripteurs de la qualité des eaux, comme les métaux et les polluants organiques persistants.

La recherche bibliographique réalisée souligne que l'évaluation des conséquences des processus extrêmes de redistribution sur l'homme et son environnement est une problématique actuelle en plein essor. Les travaux publiés concernent principalement les flux de matières solides, les flux de carbone et d'éléments nutritifs, et dans une moindre mesure les flux de contaminants persistants au sein des différents compartiments de la géosphère. Aucune étude n'est dédiée, à notre connaissance, aux radionucléides artificiels. Les enjeux avancés par les programmes et travaux réalisés ou en cours sont d'une façon générale d'appréhender la variabilité extrême des flux afin de mieux prévoir l'évolution de la géomorphologie des milieux, du climat via le cycle de l'eau et du carbone, du fonctionnement des écosystèmes, et, de la répartition des polluants ; l'objectif final étant d'évaluer les conséquences de la variabilité extrême des flux sur l'environnement et donc sur l'homme.

Ainsi, l'environnement est soumis à des perturbations d'origine anthropique ou naturelle, s'exerçant sur des échelles de temps et d'espace très variables et pouvant conduire à des déséquilibres ou des évolutions catastrophiques. Les recherches qui conduisent à l'appréciation des aléas - modifications quantitatives (physiques, chimiques, biologiques) de l'environnement - font l'objet d'une forte demande sociétale et nécessitent la mise en place de programmes de recherche. L'identification et la prévision des aléas qui exigent de comprendre les transformations internes et les seuils de déclenchement critiques, butent sur plusieurs difficultés cognitives : dimension spatiale des aspects physiques, rythme des modifications et des changements d'échelle... . La connaissance des aléas passe par la nécessité de capter les phénomènes extrêmes et de détecter les non stationnarités.

2 OBJECTIFS ET ENJEUX D'EXTREME

EXTREME vise à étudier les conséquences sur l'environnement, et donc sur l'homme, des processus naturels générateurs de flux et/ou de stocks événementiels de radioactivité d'origine artificielle ou naturelle au sein d'un certain nombre de compartiments environnementaux de la géosphère (atmosphère, sol, rivières et fleuves, milieu marin côtier, milieu marin profond).

Le projet s'attachera à évaluer la variabilité des flux et/ou stocks de radioactivité (amplitude et fréquence), à préciser les écarts extrêmes de niveaux de radioactivité observables par rapport aux valeurs moyennes attendues, et à évaluer leurs conséquences sur les redistributions de la radioactivité dans l'environnement. Les conséquences radiologiques potentielles de ces extrêmes sur les populations autochtones touchées localement ou temporairement seront enfin appréciées. Les enjeux d'EXTREME sont de répondre à la demande sociétale, de plus en plus focalisée sur les milieux les plus radioactifs et sur les conséquences des épisodes météo climatiques exceptionnels, tels que les crues, les inondations, les fortes précipitations, les tempêtes. Il s'agit ici d'anticiper les demandes notamment des collectivités locales, des CLI, des DRIRE, des agences de l'eau, etc.

Les enjeux du projet sont également d'acquérir des connaissances sur les niveaux d'activités observables en situation de crise soit dans des compartiments spécifiques de l'environnement fortement intégrateurs, soit lors de conditions météo climatiques extrêmes. Il s'agit ici d'apporter une contribution dans la gestion d'une situation accidentelle. Il s'agira aussi de répondre aux conséquences de l'occurrence de ces extrêmes sur la sensibilité des milieux, et dans ce cadre d'apporter une contribution au projet SENSIB ([Mercat et Renaud, 2003 ; 2004](#)). Les travaux élaborés dans le cadre d'EXTREME permettront en outre de mettre en place des actions transverses à la DEI notamment avec le projet ENVIRHOM.

EXTREME est enfin un moyen de fédérer les travaux de recherches en cours au sein du SESURE/LERCM, et de développer des collaborations fortes avec d'autres laboratoires en interne ou en externe.

3 STRUCTURE DU PROJET

Bien que certains forçages, transferts impulsionnels ou stocks d'origine exclusivement anthropique soient observés (chantier minier, incendies et feux de forêt, dragage des rivières, chalutage, etc...), EXTREME se limitera d'une façon générale à l'étude des processus naturels. Afin de préserver la notion d'étude intégrée, les différents compartiments de l'environnement ne seront pas dissociés. De même, les stocks et flux extrêmes étant d'une façon générale intimement liés, ces notions seront également gérées communément.

Ainsi, EXTREME se propose d'être structuré en études particulières ou études remarquables permettant de contribuer aux enjeux du projet.

4 EXEMPLES D'ETUDES PARTICULIERES

4.1 Dépôts éoliens de poussières désertiques

Les aérosols désertiques sont un constituant majeur des aérosols atmosphériques. On recense entre 20 et 30 épisodes de transport éolien de particules désertiques par an sur la France parmi lesquels entre 2 et 4 d'importance, généralement au cours du premier semestre.

Ces épisodes, connus pour leur rôle sur la modification des propriétés microphysiques et radiatives des nuages et sur les précipitations, font actuellement l'objet d'un suivi attentif de la part de la communauté scientifique dans le cadre des études sur le changement climatique (Avila et al., 1998 ; Caquineau et al., 1998 ; Dulac et al., 2004, Pham et al., 2004). Ils touchent la France métropolitaine et dans une proportion considérablement accrue, le sud-est asiatique, la Chine, l'Australie.

Le début de l'année 2004 a été marqué par un événement d'ampleur exceptionnelle sur la France, associant dépôt sec puis dépôt humide et générant un cumul maximal de l'ordre de 4 mm (en lieu et place d'une fraction de mm habituellement) et un dépôt surfacique de cinquante grammes par mètre carré (50 tonnes au km²). En terme de flux de dépôt atmosphérique, cet épisode représente à lui seul, un dépôt de ¹³⁷Cs équivalent à celui cumulé en moyenne sur une année. Sur les cinq dernières années, il s'est avéré que ces épisodes génèrent les échantillons de l'environnement qui présentent en moyenne les niveaux d'activité en radionucléides artificiels les plus importants et les flux les plus élevés.

La contribution de ces phénomènes sporadiques aux dépôts atmosphériques à l'échelle annuelle comme à celle des dix ou vingt dernières années, ne peut être négligée. In fine, une carte synthétique des dépôts cumulés occasionnés par ces événements dans les vingt dernières années serait proposée. Aujourd'hui, le phénomène le plus intéressant est celui du transfert de radioactivité entre zones géographiques distantes à partir de remise en suspension de particules de sols. Le gradient moyen de dépôt en fonction de la latitude et de l'origine des particules ainsi que la ségrégation naturelle des particules en fonction de leur taille et de la distance à la source seront évalués. Il conviendra également de préciser, lors de ces conditions climatiques extrêmes, quelle sera l'activité des dépôts pour un site donné.

4.2 Précipitations

Les précipitations revêtent différentes formes (pluie, averse, neige, brume, bruine, brouillard) mais toutes ont en commun une efficacité plus importante que le dépôt par temps sec. Le lavage par la pluie d'une atmosphère empoussiérée ou chargée en polluants relève aujourd'hui d'études phénoménologiques ou événementielles qui pourraient à la longue retentir à leur tour sur les démarches probabilistes tant elles sont amenées à devenir de plus en plus extrêmes en terme d'amplitude.

L'ampleur des retombées humides de particules (outre la concentration en particules dans le milieu avant la précipitation) dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels la taille et le nombre de gouttes par unité de volume. Ainsi, plus les gouttes sont petites comme dans le

cas des brumes, des brouillards ou de la rosée, plus le chargement de la goutte est important (jusqu'à 30 voire 60 fois plus que pour une pluie, dans le cas de pesticides). Le cas de la neige est relativement moins étudié que celui de la pluie quant au potentiel de rabattement des polluants mais d'ores et déjà caractérisé par des efficacités de plusieurs ordres de grandeur supérieures à celles des pluies.

La description ou l'estimation des dépôts atmosphériques est classiquement basée sur une approche probabiliste utilisant des informations statistiques moyennes. Autant que la proportion moyenne d'un site à être soumis aux précipitations (nombre de jours par an), ce sont les conditions intrinsèques à ces précipitations et celles qui les précèdent (chargement de l'air sec) qui conditionnent la « qualité » du processus d'incorporation dans le nuage (rainout) et du lessivage sous le nuage (washout). Il convient donc d'être en mesure de caractériser les niveaux d'activité ambiants dans l'air (considéré comme sec) avant que ces processus n'entrent en jeu ainsi que l'efficacité du lavage notamment lors des épisodes d'averses.

Il s'agit de préciser à travers des conditions climatiques sur un pas de temps court quelle sera l'activité des dépôts pour un site donné et évaluer en quoi ces phénomènes sont susceptibles d'apporter un surcroît de flux, tout en hiérarchisant les différents types de précipitations eu égard à leur efficacité de lessivage de l'atmosphère. Il conviendra de rattacher cette évaluation à des données, indicateurs ou paramètres facilement accessibles ou mesurables.

La valeur moyenne du coefficient de lessivage obtenue sur plusieurs décennies, et vérifiée pour plusieurs polluants, mérite d'être explicitée par un travail expérimental et théorique sur les processus physico-chimiques mis en œuvre lors des précipitations. Ce travail nous permettrait de dire, sur une échelle de temps comparable à l'événement pluvieux, dans quelles situations la valeur moyenne du coefficient de lessivage ne s'applique pas, ou encore comment les réglages des paramètres des modèles permettraient d'ajuster cette valeur.

Les données, ou les typologies de situations qui se dégageront, seront utilisées pour mettre au point un modèle conceptuel permettant de tester d'autres conditions, sur d'autres sites afin de préciser les dépôts surfaciques utilisés comme point de départ dans les modèles de transferts de contamination et d'évaluer leur variabilité.

4.3 Crues et inondations

Le devenir des contaminants rejetés dans l'environnement reste un sujet de questionnement. Il est notamment maintenant reconnu que certains compartiments d'accumulation tels que les sols et les dépôts sédimentaires fluviaux ou marins constituent actuellement et pour les années à venir des sources retardées de contamination des milieux aquatiques continentaux et marins. De tels phénomènes ont été observés en Mer d'Irlande après la réduction drastique des rejets de l'usine de retraitement du combustible irradié de Sellafield ([Vives i Battle, 1993](#); [Cook et al., 1997](#); [REMOTRANS EU project](#)). En Russie, plusieurs TBq de ^{137}Cs sont accumulés sur quelques km^2 de berges de la rivière Tetcha, inondées lors des crues souvent concomitantes aux accidents chroniques ([Chesnokov et al.,](#)

2000). Dans le Rhône, plus de 150 GBq de $^{239+240}\text{Pu}$ seraient accumulés au sein des dépôts sédimentaires soit près de 20 fois les quantités rejetées aujourd'hui annuellement par le centre de retraitement de Marcoule (Eyrolle et Duffa, 2002).

Les travaux de recherche réalisés en milieu aquatique continental soulignent que les épisodes évènementiels de crue sont des vecteurs majeurs de remobilisation des contaminants précédemment accumulés (Williamson et al., 1996 ; Witt and Siegel, 2000 ; Ansari et al., 2000 ; Smith, 2002 ; Einsporn et al., sous presse). Ainsi, pour tous les polluants présentant une affinité avec les matières solides drainées par un fleuve, des stockages sédimentaires et des remobilisations évènementielles sont attendus notamment lors des crues. On a pu montrer en particulier que, pendant les crues, le Rhône charrie des masses importantes de matières solides en suspension ainsi que de radionucléides associés, par drainage des sols de son bassin versant et par reprise de stocks sédimentaires (Eyrolle, 2001 ; Eyrolle et Rolland, 2004 ; Eyrolle et al ; 2004a). A titre d'exemple, les crues extrêmes de septembre et novembre 2002 ont charrié vers la mer en 20 jours $7,6 \cdot 10^6$ tonnes de matières en suspension, soit 90% de la quantité totale exportée sur l'année 2002, et, 115 ± 10 GBq de ^{137}Cs , soit 83% du flux annuel de 2002 (Rolland et al., 2004a).

Actuellement, les évènements extrêmes de crue peuvent générer une augmentation de plus de 2 ordres de grandeur des activités volumiques en ^{137}Cs dans les eaux du Rhône aval par apport de matières en suspension marquées issues du bassin versant et de la reprise sédimentaire. La contribution relative de ces deux termes sources retardés pour les eaux du Rhône en fonction de l'évolution des rejets primaires de radioactivité n'est pas connue. Il s'agit de préciser les apports solides des bassins versants pour les plus fortes précipitations précédant généralement les fortes crues. Il s'agit également d'identifier la nature des stockages sédimentaires fluviaux et leur potentiel de remobilisation.

Lors des crues, outre les flux extrêmes de matière vers le milieu hydrique fluvial puis marin, des flux extrêmes de matière vers les sols de la plaine alluviale sont observables lors d'inondations. En décembre 2003, le Rhône en aval de Valence a connu une crue exceptionnelle due à un épisode pluvio-orageux intense et généralisé sur le quart sud-est de la France. 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 . Des milliers de tonnes de sédiments ont été déplacés. Les données de terrain acquises lors de cet évènement majeur ont permis d'évaluer qu'environ 10 GBq de ^{137}Cs auraient été transférés sur les zones inondées. Ces données permettent de paramétrer les conséquences radiologiques de ces évènements extrêmes sur l'environnement et sur les populations autochtones touchées localement ou temporairement.

4.4 Berges et plaines d'inondation proximales

Des stocks de radionucléides artificiels ont été mis en évidence sur certaines berges et zones de la plaine alluviale proximale du Rhône et du Grand Rhône (Rolland, 2004). Les niveaux d'activités observés dans ces milieux sont parfois supérieurs de deux ordres de

grandeur aux niveaux observés actuellement dans les sédiments de nature similaire charriés par le fleuve. Ces milieux de stockage extrêmes nécessitent d'être étudiés tant au regard des conséquences radiologiques sur l'environnement et les populations (cultures céréalières, arbres fruitiers), qu'au regard des flux potentiellement générables par reprises sédimentaires de berges. Ces études passent sans aucun doute par une analyse géomorphologique du milieu fluvial, initiée notamment dans le cadre du Post doctorat de Christelle Antonelli ([Antonelli, 2002](#); [Sabatier, 2004](#), [Rolland et al., 2004b](#)). Des travaux récents ont permis d'établir une première cartographie du fonctionnement dynamique contemporain de ces berges. D'autres sont en cours afin de préciser l'importance des stocks sédimentaires de radionucléides artificiels dans les berges du système aquatique rhodanien aval et leur potentiel de remobilisation lors des épisodes extrêmes de crue. La quantification et la caractérisation de ces stocks de radioactivité dans les berges et bras morts du Rhône présentent un enjeu d'autant plus important que la politique de gestion du Rhône et de ses ressources en eaux s'oriente aujourd'hui vers une renaturalisation du fleuve. Cette renaturalisation passera notamment par un réaménagement des bras morts du fleuve afin de favoriser les zones d'expansion naturelle et de limiter les risques d'inondations. Les conséquences de cette renaturalisation sur la redistribution des stocks de radioactivité ou autres polluants en place seront à appréhender.

5 CHRONOGRAMME

Activité	Période de réalisation par grandes étapes				
	2004	2005	2006	2007	2008
Phase I : Montage et lancement					
Retour d'expérience CAROL	x x				
Montage du projet		x x			
Lancement du projet scientifique		x x			
Phase II : Réalisation					
Prélèvements		x x x x	x x x x	x x x x	
Mesures			x x	x x x x	
Exploitation des résultats			x x x x	x x x x	x x
Clôture du projet					x x

X	Période de réalisation		
X	Réalisé	X	Retard

6 EQUIPE PROJET

IRSN				
Laboratoire	Cadre	Technicien	Commentaire	
SESURE/LERCM 2004	0,3 H an	0 H an		
SESURE/LERCM 2005	3 H an	3 H an		
SESURE/LERCM 2006	4 H an	4 H an		
SESURE/LERCM 2007	3 H an	3 H an		
SESURE/LERCM 2008	2 H an	1 H an		
SESURE/LVRE			Soutien/Assistance ponctuelle	
STEME/LMRE				

7 BUDGET PREVISIONNEL 2005-2008

	Unité	Nombre	€ HT/unité	Total en €
<u>Poussières et précipitations</u>				
Préparation				
Ingénieur	jour	40	772	30880
Technicien	jour	10	423	4230
Frais de mission	jour	50	67	3350
Véhicule utilitaire	km	10000	1	10000
Traitement des échantillons				
Temps de travail technicien pour 30 échantillons	jour	15	423	6345
Analyses				
Analyses gamma		30	220	6600
Analyses ICPMS		15	1119	16785
Analyses alpha		15	773	11595
Granulométrie		30	60	1800
Autres analyses		15	50	750
Forfait petit matériel + utilisation des installations	Forfait/an	4	4000	16000
Rédaction de rapports et publications				
temps Ingénieur (rédaction + relectures)	jour	120	772	92640
Total de l'étude				200975

	Unité	Nombre	€ HT/unité	Total en €
<u>Crues, inondations et berges</u>				
Préparation				
Ingénieur	jour	150	772	115800
Technicien	jour	150	423	63450
Frais de mission	jour	300	67	20100
Véhicule utilitaire	km	10000	1	10000
Traitement des échantillons				
Temps de travail technicien pour 200 échantillons	jour	100	423	42300
Analyses				
Analyses gamma		200	220	44000
Analyses ICPMS		50	773	38650
Analyses alpha		80	1119	89520
Granulométrie		200	60	12000
Autres analyses		0		0
Forfait petit matériel + utilisation des installations	Forfait/an	4	4000	16000
Rédaction de rapports et publications				
temps Ingénieur (rédaction + relectures)	jour	120	772	92640
Total de l'étude				544460

	Unité	Nombre	€ HT/unité	Total en €
<u>Forçages milieu marin côtier</u>				
Préparation				
Ingénieur	jour	80	772	61760
Technicien	jour	40	423	16920
Frais de mission	jour	120	67	8040
Véhicule utilitaire	km	800	1	800
Traitement des échantillons				
Temps de travail technicien pour 1500 échantillons	jour	750	423	317250
Analyses				
Analyses gamma		1500	220	330000
Analyses ICPMS		80	773	61840
Analyses alpha		80	1119	89520
Granulométrie		1500	60	90000
Autres analyses		0		0
Forfait petit matériel + utilisation des installations	Forfait/an	4	4000	16000
Rédaction de rapports et publications				
temps Ingénieur (rédaction + relectures)	jour	120	772	92640
Total de l'étude				1084770

8 DOCUMENTS PRODUITS PAR LE PROJET

	2005	2006	2007	2008
Rapport crues et inondations + valorisation	x	x		
Rapport final Post Doctorat C. Antonelli + valorisation	x	x		
Rapports poussières atmosphériques	x	x	x	
Thèse B. Rolland + valorisation	x	x	x	
Thèse F. Dufois + valorisation	x	x	x	x
Rapport Post Doctorat J. Miralles + valorisation	x	x	x	
Rapport Dynamique des berges du Rhône aval		x	x	
Communications au congrès de l'IASWS	x			
Communication 'Journée sédiment' (ZABR)	x			
Communication au congrès de l'EGS	x			
Publication Environmental Pollution		X		
Publication JER		x		
Publication The Science of the Total Environment		X		
Publication Radioprotection		x		
Publication ERS		x		
Publication n° spécial Marine Geology		x		
Publication n° spécial "Editions CNRS"		x		
Autres communications et publications ¹	x	x	x	x
Rapports d'avancement	x	x	x	x

¹ Les autres produits du projet pour les années 2007 et 2008 seront précisés dans les rapports d'avancement et dans la fiche du sous-programme correspondant.

9 COLLABORATIONS

- Université de Clermont-Ferrand, UMR 6016, Laboratoire de Météorologie Physique de l'atmosphère (LaMP).
- Université du Sud-Toulon-Var, Laboratoire de Sondages Electromagnétiques de l'Environnement Terrestre/Laboratoire d'Etude des Echanges Particulaires aux Interfaces (LSEET/LEPI).
- Ecole Normale Supérieure de Paris, Laboratoire de géologie.
- Université d'Aix Marseille III, UMR 6635, Centre Européen de Recherches et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE).
- Université de Perpignan, UMR 5110, Centre de Formation et de Recherche sur l'Environnement marin (CEFREM).
- Agence Internationale de l'Energie Atomique, AIEA - MEL, Monaco.
- Centre Océanologique de Marseille, Observatoire de l'Institut National des Sciences de l'Univers, Laboratoire d'Océanographie et de Biochimie (LOB), UMR 6535.
- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME).

10 PROGRAMMES DE RATTACHEMENT

- ORME, Observatoire Régional Méditerranéen de l'Environnement du Programme Environnement Vie et Sociétés du CNRS, initié en 2000.
- EUROSTRATAFORM, European Margin Strata Formation, Programme Européen, initié en 2002.
- PNEC, Programme National sur l'Environnement Côtier, initié en 1999.
- ORE/Resyst, Observatoire de Recherche en Environnement/Réponses d'un système deltaïque aux forçages externes, Programme Environnement Vie et Sociétés du CNRS, initié en 2000.

11 REFERENCES

- ANSARI A.A., SINGH I.B. and TOBSCHALL H.J., 2000, Importance of geomorphology and sedimentation processes for metal dispersion in sediment and soils of the Ganga Plain: identification of geochemical domains. *Chem Geol*; 162, 245-266.
- ANTONELLI C., 2002, Flux sédimentaires et morphogénèse récente dans le chenal du Rhône aval, Thèse de l'Université Aix Marseille I, 279p.
- AVILA A., ALARCÓN M. and QUERALT I., 1998, The chemical composition of dust transported in red rains - its contribution to the biogeochemical cycle of a holm oak forest in Catalonia (Spain). *Atmospheric Environment*, Vol. 32, n°2, pp 179-191.
- BOIS Ph., 2004, Pluies extrêmes et crues, dans La lettre du PIGB - Changement Global, Mars 2004, N° 16, 3-6.

- CAQUINEAU S., GAUDICHET A., GOMES L., MAGONTHIER M.C. and CHATENET B., 1998, Saharan dust : Clay ratio as relevant tracer to assess the origin of soil-derived aerosols. Geophysical research letters, vol. 25, n° 7, 983-986, april 1, 1998
- CHESNOKOV A.V., GOVORUN A.P., LINNIK V.G. and SHCHERBAK, 2000, 137Cs contamination of the Techa river flood plain near the village of Muslumovo, Journal of Environmental Radioactivity, 50, 179-191.
- COOK G.T., MACKENZIE A.B., MCDONALD P. and JONES S.R., 1997, Remobilisation of Sellafield derived radionuclides and transport from the north-east Irish Sea. J. Environ. Radioactivity, 5, 227-241.
- DUFFA C. et RENAUD Ph., 2004, projet CAROL, Rapport Final, Rapport DEI/SESURE-2004-22.
- DULAC F., MOULIN C., PLANQUETTE H., SCHULZ M. and TARTAR M., 2004, African dust deposition and ocean colour in the eastern Mediterranean. Rapport Commission internationale CIESM, vol 37, 2004, p190. Congrès de juin 2004 Barcelone.
- EINSPORN S., BROEG K. and KOEHLER A., 2005, The Elbe flood 2002 - Toxic effects of transported contaminants in flatfish and mussels of the Wadden Sea, Marine Pollution Bulletin, Sous Presse.
- EUROSTRATAFORM, European Margin Strata Formation, European Program, initié en 2000.
- 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. et ROLLAND B., 2004, Radioactivité artificielle dans les eaux du Rhône aval - Conséquence des crues sur les niveaux d'activité des eaux et sur les flux à la mer -Bilan 2000-2003, Rapport IRSN/DEI/SESURE/04-16.
- EYROLLE F., CHARMASSON S. et LOUVAT D., 2004a, 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.
- EYROLLE F., DUFFA C., LEPRIEUR F., ROLLAND B., ANTONELLI C., MARQUET J., SALAUN G. et RENAUD Ph., 2004b, 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, Rapport IRSN/DEI/SESURE/04-14.
- ORME, Observatoire Régional Méditerranéen de l'Environnement du Programme Environnement Vie et Sociétés du CNRS, initié en 2000.
- MCBEAN G., WEAVE A. and ROULET N., 2001, La science des changements climatiques : où en sont nos connaissances ? ISUMA, Volume 2 N° 4 • Hiver 2001 • ISSN 1492-0611 .
- MERCAT C. et Ph. RENAUD, 2003, Rapport de lancement du projet « Sensibilité Radioécologique », Rapport IRSN/DEI/SESURE/03-02.
- MERCAT C. et Ph. RENAUD, 2004, Projet SENSIB : Bilan de l'utilisation opérationnelle du concept de sensibilité de l'environnement , Rapport IRSN/DEI/SESURE/04-12.

- PHAM M. K., LA ROSA J. J., LEE S. H., OREGIONI B., POVINEC P. P., 2004, Deposition of Saharan dust in Monaco rain 2001-2002 : Radionuclides and elemental composition. (sous presse).
- PIGP, Programme International Géosphère-Biosphère, Groupe Eau interdisciplinaire, initié en 1998.
- PNEC, Programme National sur l'Environnement Côtier, initié en 1999.
- REMOTRANS EU project, November 2000- October 2003, Processes regulating remobilisation, bioavailability and translocation of radionuclides in marine sediments, EU Fifth Framework Program, FP5-EURATOM.
- Revue Contrôle, 2000, Les rejets des installations nucléaires, Novembre 2000, N° 137.
- ROLLAND B., ANTONELLI C. and EYROLLE F., 2004a, 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.
- ROLLAND B., EYROLLE F. et BOURLES D., 2004b, 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.
- SABATIER L., 2004, Dynamique des berges du Rhône entre Beaucaire et Arles (2002-2003), Mémoire de Maîtrise de l'Institut de Géographie, Université d'Aix Marseille I, 150p.
- SMITH P.P.G., 2002, 30 years of fluvial sediment studies within the Plynlimon experimental catchments, Wales, UK, 9th International symposium on the interaction between sediments and water, IASWS, 5-10 May 2002, Banff Springs Hotel, Canada.
- VIVES I BATTLE J., 1993, Speciation and bioavailability of plutonium and americium in the Irish Sea and other marine ecosystems, PhD thesis, National university of Ireland, 347p.
- WILLIAMSON R.B., Van DAM L.F., BELL R.G., GREEN M.O. and KIM J.P., 1996, Heavy metal and suspended sediment fluxes from a contaminated, intertidal Inlet (Manukau Harbour, New Zealand, Marine Pollution Bulletin, 32, 11, 812-822.
- WITT G. and SIEGEL H., 2000, The consequences of the Oder Flood in 1997 on the distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Oder River Estuary, Marine Pollution Bulletin, 40, 12, 1124-1131.