

IRSNINSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Rapport d'avancement du projet SENSIB

Période 2005-2008
Convention ADEME n° 0472C0035

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DE
L'INTERVENTION

Service d'étude et de surveillance de la radioactivité dans
l'environnement



Système de management
de la qualité IRSN certifié

Demandeur	ADEME
Référence de la demande	Convention n°0472C0035
Numéro de la fiche projet	Projet 3.1.2.3 (SENSIB)
Processus de rattachement	R4






Rapport d'avancement du projet SENSIB

Période 2005-2008

Convention ADEME n° 0472C0035

Laboratoire d'étude radioécologique du milieu continental et marin

DEI/SESURE/2008-03

	Réservé à l'unité		Visas pour diffusion		
	Auteur(s)	Vérificateur	Chef du SESURE	Directeur de la DEI	Directeur Général de l'IRSN *
Noms	C. MERCAT	P. RENAUD	J-M. PERES	D. CHAMPION	J. REPUSSARD
Dates	10/12/07	14/12/2007	28/01/08	31/01/08	
Signatures					
DIFFUSION :	Libre <input type="checkbox"/>	Interne <input type="checkbox"/>	Limitée <input checked="" type="checkbox"/>		

LISTE DES PARTICIPANTS

Nom	Organisme
C. MERCAT (chef de projet)	IRSN/DEI/SESURE/LERCM
O. MASSON (dépôt)	IRSN/DEI/SESURE/LERCM
L. BOURCIER (dépôt)	Thésarde
L. POURCELOT (sol)	IRSN/DEI/SESURE/LERCM
C. DUFFA (érosion/ milieu marin)	IRSN/DEI/SESURE/LERCM
J. MAURA (érosion)	Stagiaire Agro-Montpellier
H. THEBAULT (milieu marin)	IRSN/DEI/SESURE/LERCM
F. EYROLLE (ressources en eau)	IRSN/DEI/SESURE/LERCM
B. BRIAND (milieux agricoles / méthode CART)	Thésarde
V. DURAND (milieux agricoles / enquête alimentaire)	Intérimaire
A. LEVAIN (étude vigne)	Stagiaire ENSAIA-Nancy
A. DUFEU (étude filière avicole)	Stagiaire ENSAIA-Nancy
C. LARUE (étude pomme de terre)	Stagiaire ENESAD
B. PEY (étude riz)	Stagiaire ENSAIA-Nancy
S. ROUSSEL-DEBET (PRIME)	IRSN/DEI/SESURE/LERCM
E. CHOJNACKI (PRIME)	IRSN/DPAM/SEMIC/LMPC
JM. METIVIER (PRIME)	IRSN/DEI/SECRE/LME
C. BARDE (PRIME)	Post-doctorante Univ. Grenoble/UMR PACTE
G. BAUMONT (PRIME)	IRSN/DSDRE/DOS
L. DIOURI (PRIME)	Stagiaire Université Paris-Dauphine

RESUME

Ce rapport représente la contribution finale à la convention n°0472C0035 entre l'ADEME et l'IRSN, établie pour couvrir la seconde phase 2005-2008 du projet SENSIB. Ce rapport constitue de ce fait aussi un état d'avancement de l'ensemble des études qui constituent actuellement le projet SENSIB.

Pour l'année 2007, le déroulement du projet est conforme au planning général de réalisation du projet SENSIB et aux perspectives annoncées en 2006. Des facteurs de sensibilité ont été identifiés dans divers milieux (études thématiques), des méthodes et outils spécifiques du projet ont été développés et une application de l'ensemble de la méthode aux situations post-accidentelles a été lancée (projet PRIME). 24 publications (revues & congrès) et 21 rapports IRSN ont été produits. Le site internet collaboratif du GT IUR SENSIB a été construit et mis en service.

Le projet SENSIB reçoit une participation financière de l'ADEME (convention n°0472C0035).

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION	3
2 RAPPELS SUR LE PROJET SENSIB	4
3 LA SENSIBILITE DES TERRITOIRES AUX DEPOTS	7
3.1.1 OBJECTIF.....	7
3.1.2 METHODOLOGIE.....	8
3.1.3 RESULTATS ACQUIS EN 2007	8
3.1.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N° 0472C0035	9
4 LA SENSIBILITE DES SOLS	9
4.1 LA SENSIBILITE D'UNE CHAINE DE TRANSFERT (SOL→HERBE→LAIT→FROMAGE)	10
4.1.1 OBJECTIF.....	10
4.1.2 METHODOLOGIE.....	10
4.1.3 RESULTATS ACQUIS EN 2007	11
4.1.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N° 0472C0035	11
4.2 LA SENSIBILITÉ DES SOLS A LA MIGRATION HORIZONTALE	12
4.2.1 OBJECTIF.....	12
4.2.2 MÉTHODOLOGIE.....	12
4.2.3 RÉSULTATS ACQUIS EN 2007	12
4.2.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N° 0472C0035	13
5 LA SENSIBILITE DES RESSOURCES EN EAUX	14
5.1 OBJECTIF	14
5.2 RESULTATS EN 2007 ET PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N° 0472C0035.....	14
6 LA SENSIBILITE DU LITTORAL COTIER	14
6.1 OBJECTIF	14
6.2 METHODOLOGIE.....	14
6.3 RESULTATS ACQUIS EN 2007	15
6.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N° 0472C0035	15
7 LA SENSIBILITE DES PRODUCTIONS AGRICOLES	16
7.1 CAS DE LA SENSIBILITÉ DES PRODUCTIONS AGRICOLES A UN REJET ACCIDENTEL	16
7.1.1 OBJECTIF.....	16
7.1.2 METHODOLOGIE.....	16
7.1.3 RESULTATS ACQUIS EN 2007	16
7.1.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N° 0472C0035	19
7.2 CAS DE LA SENSIBILITÉ DES LEGUMES	20
7.2.1 OBJECTIF.....	20
7.2.2 METHODOLOGIE.....	20
7.2.3 RESULTATS ACQUIS EN 2007	20
8 LA SENSIBILITE ANTHROPIQUE DES TERRITOIRES	21
8.1 OBJECTIF	21
8.2 MÉTHODOLOGIE.....	21

8.3 RÉSULTATS ACQUIS EN 2007	21
8.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N° 0472C0035	22
9 INCERTITUDES, COMMUNICATION, PERCEPTION ET REPRESENTATION DES RESULTATS : VERS LE PROJET PRIME	22
9.1.1 OBJECTIF.....	22
9.1.2 METHODOLOGIE.....	23
9.1.3 RESULTATS ACQUIS EN 2007	23
9.1.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N° 0472C0035	24
10 CONCLUSION	25
11 BILAN DES CONTRIBUTIONS AU PROJET SENSIB EN 2007	26
11.1 RAPPORTS IRSN ET DOCUMENTS INTERNES.....	26
11.1.1 RAPPORTS DIFFUSÉS	26
11.1.2 RAPPORTS EN COURS DE PROCÉDURE QUALITE	27
11.1.3 AUTRES DOCUMENTS PRODUITS EN 2007	27
11.2 PUBLICATIONS (REVUES ET CHAPITRES D’OUVRAGE).....	27
11.3 CONGRES (POSTERS ET COMMUNICATIONS ORALES).....	28
11.4 AUTRES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	29

1

INTRODUCTION

Après une phase de conceptualisation, de détermination de l'approche méthodologique et d'étude des enjeux et de la faisabilité qui a été conduite dans le cadre d'une première convention n°0372C0108 entre l'ADEME et l'IRSN (Mercat-Rommens et Renaud, 2003 ; Mercat-Rommens et Renaud, 2004), le projet Sensibilité radioécologique, SENSIB, est entré en phase de réalisation en 2005. Cette seconde phase, couvrant une période de 36 mois, entre 2005 et 2008 a donné lieu à une nouvelle convention n°0472C0035. Le présent manuscrit constitue, conformément à cette convention, le rapport final retraçant les travaux conduits dans cette seconde phase.

En 2006, les différentes études de caractérisation des facteurs de sensibilité de l'environnement (étapes 1 et 2 de la figure 1), initiées en 2005, se sont achevées pour certaines ou sont encore poursuivies pour d'autres (Mercat-Rommens et coll., 2007). Un autre volet d'études traitant de l'évaluation de la contribution de chaque facteur à la sensibilité globale et des méthodes d'indication (étapes 3 et 4 du projet) a été initié en 2006 et sera achevé début 2007 avec la soutenance de la thèse de biostatistiques de B. Briand. L'ensemble de ces recherches progresse donc selon la méthodologie prévue pour SENSIB en vue d'obtenir une échelle de sensibilité radioécologique qui permettra la classification du territoire français en contexte post-accidentel (étapes 5 et 6 qui seront finalisées dans le projet PRIME).

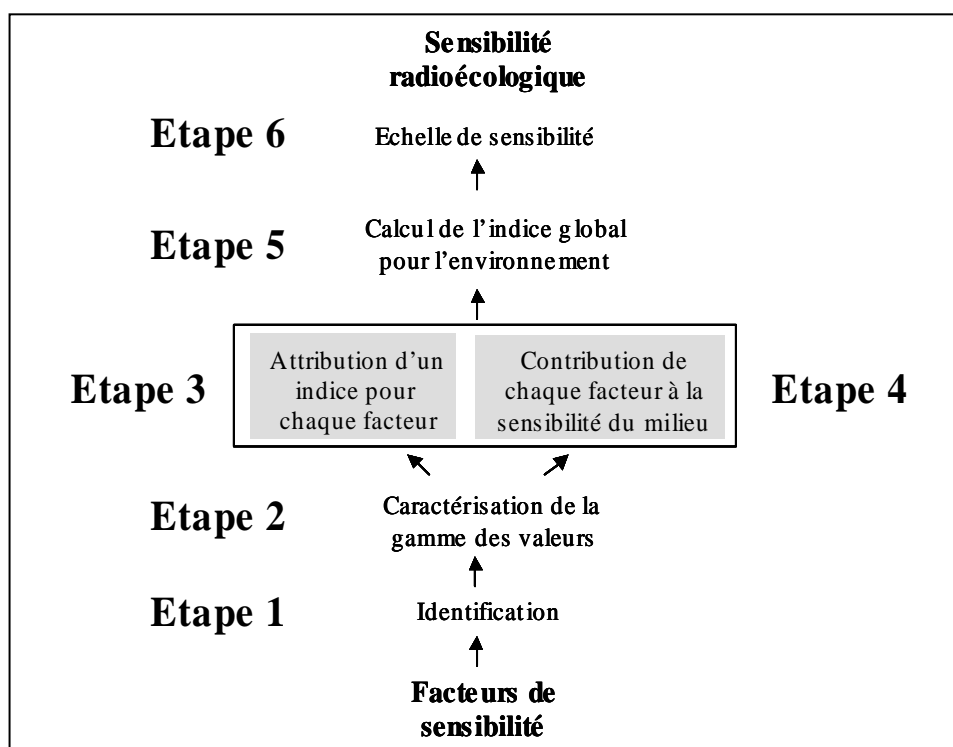


Figure 1 : Les étapes du projet SENSIB

2 RAPPELS SUR LE PROJET SENSIB

Les conséquences pour l'homme et pour l'environnement d'une pollution d'origine industrielle dépendent de l'importance et de la nature de la pollution, mais aussi de l'environnement qui la reçoit. Ces conséquences seront en effet plus ou moins pénalisantes suivant les caractéristiques du milieu touché et suivant l'usage qu'en fait l'homme. L'objectif du projet SENSIB, initié en 2004 par l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire, est de construire une méthode de classification du territoire français sur la base de ses caractéristiques environnementales et sociétales. Cette normalisation des caractéristiques de l'environnement et des populations sera utilisable pour l'évaluation et la gestion des risques, à toutes les étapes de l'exploitation d'une installation nucléaire (avant la mise en exploitation, en fonctionnement normal, en situation accidentelle et post-accidentelle, lors du démantèlement).

Le projet SENSIB a pour objectif d'explorer la dimension opérationnelle du concept de sensibilité radioécologique en explicitant les relations qui lient les facteurs de sensibilité à des indices de la sensibilité des territoires et en construisant des outils qui permettent de représenter et de hiérarchiser ces indices. En effet, les conséquences pour l'homme et l'environnement d'une pollution radioactive dépendent de l'importance et de la nature de celle-ci, mais aussi de l'environnement qui la reçoit. Qu'elles s'expriment en termes de risques sanitaires, de conséquences économiques, ou de préoccupations écologiques, ces conséquences seront plus ou moins pénalisantes suivant les caractéristiques du milieu touché et l'usage qu'en fait l'homme. Ainsi, les différents milieux, urbains, agricoles, forestiers, fluviaux, lacustres, marins ou d'altitude, présentent des sensibilités différentes vis-à-vis d'une pollution. Par exemple, la sensibilité des milieux urbains est liée à la densité de population et aux surfaces artificielles susceptibles de concentrer les polluants. Celle des espaces agricoles provient de l'atteinte de la chaîne alimentaire par la contamination du sol, des plantes cultivées et des animaux d'élevage. Les espaces naturels, notamment les espaces forestiers, sont connus pour entretenir la rémanence des polluants qui y sont en permanence recyclés ou transformés. Ce sont souvent dans ces milieux que les espèces végétales et animales présentent les concentrations les plus élevées en radionucléides. Au sein même de chacune des grandes composantes environnementales, différents facteurs, naturels ou anthropiques, spécifiques à l'écosystème considéré, déterminent la réponse de l'environnement à une pollution.

Le projet SENSIB est structuré en différentes étapes résumées sur la figure 1 :

- (1) l'identification des facteurs de sensibilité consiste à déterminer, pour un scénario de contamination donné, quels paramètres vont influencer de façon prépondérante la réponse du compartiment environnemental étudié ;
- (2) la caractérisation des gammes de valeurs des facteurs de sensibilité : il s'agit de connaître au mieux la distribution de valeurs de chacun des facteurs précédemment identifiés à l'échelle du territoire métropolitain français, en fonction de

- caractéristiques qui peuvent être spatialisables (par exemple, une donnée météorologique) ou typologiques (par exemple un comportement de la population) ;
- (3) la conversion des gammes de valeurs en gammes d'indices, afin d'aboutir à une normalisation de données disparates ;
 - (4) l'évaluation du poids de chaque facteur de sensibilité sur la sensibilité globale à partir des informations spécifiquement liées au territoire considéré ;
 - (5) le calcul d'indices globaux, en vue de définir un outil opérationnel ;
 - (6) l'élaboration d'une échelle de sensibilité radioécologique d'un territoire.

La réalisation de ces étapes nécessite de rassembler les données radioécologiques (mesures de terrain, résultats expérimentaux, modélisation) et contextuelles (écosystèmes et modes de vie), puis de les traiter par une approche commune. À cet effet, a été étudiée l'utilisation d'outils mathématiques innovants (théorie de Dempster-Shafer, test géostatistique de Moran, méthode CART) dont certains sont encore en cours de développement. Enfin, la production d'un outil opérationnel et la mise à disposition de cet outil auprès des parties prenantes sont envisagées en recourant à des outils d'aide à la décision (méthodes d'analyse multicritères).

Pour la période 2005-2008 (cofinancée par l'ADEME), deux volets d'études ont été abordés :

- Des études thématiques par milieu (flèche de droite de la figure 2), pour 2005-2008, les milieux traités sont principalement l'atmosphère, le sol, le domaine fluvial, le littoral côtier, les productions agricoles et la sensibilité anthropique ;
- Une étude applicative au contexte post-accidentel (flèche de gauche de la figure 2) a été initiée.

ETUDE APPLICATIVE :
Post-accidentel

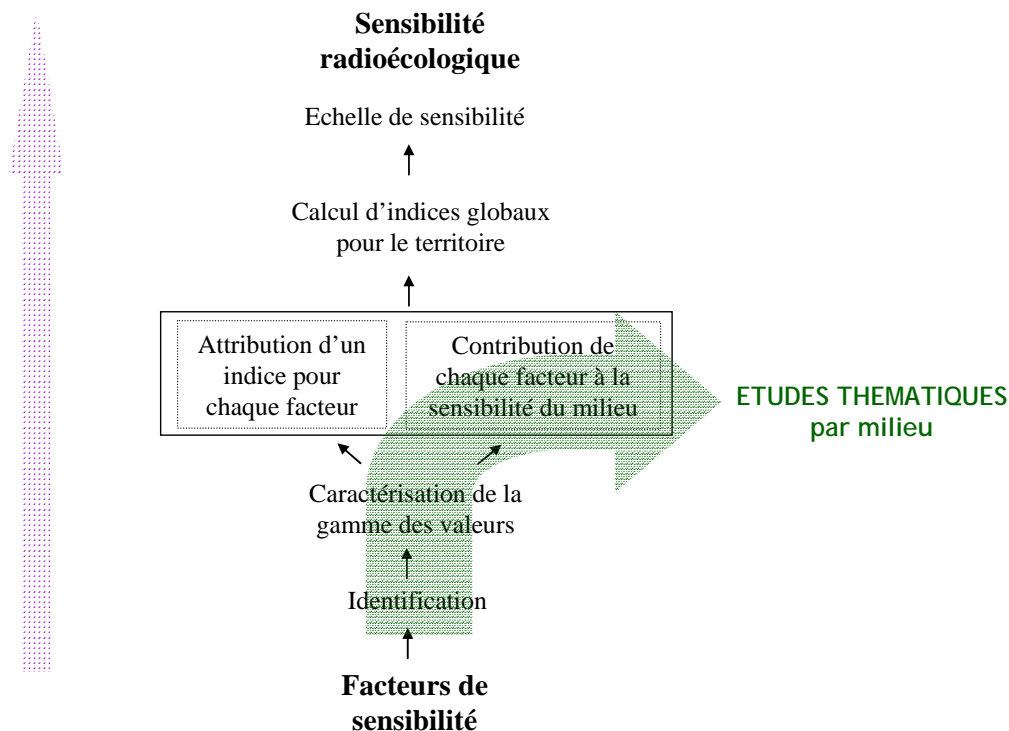


Figure 2 : Les études du projet SENSIB

Une application du projet SENSIB au contexte post-accidentel est en cours dans le cadre du projet PRIME qui a été lancé en 2007. La complexité du sujet et la multiplicité des acteurs potentiellement impliqués en situation post-accidentelle nécessite l'élaboration d'une méthode multicritère de façon concertée. Les moyens engagés sur la période 2005-2008 ne permettaient pas de conduire dans sa totalité cette application d'où l'initiation du projet PRIME. Dans la période 2005-2008, l'exploration des méthodes multicritères a été menée en interne à partir d'un scénario de mise en œuvre d'une méthode ELECTRE pour le post-accidentel et en se substituant virtuellement au décideur chaque fois qu'il faut faire un choix (nombre et définition des critères, poids éventuels des critères). Dans un deuxième temps (réunion officielle de lancement de PRIME le 11 septembre 2007) et suite à la décision du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable de financer le projet PRIME dans le cadre de l'appel d'offre Risque-Décision-Territoire 2006), l'implication de décideurs et de représentants locaux du territoire d'étude est en cours pour la finalisation de la méthode.

Les chapitres 3 à 8 présentent les résultats du projet en 2006 concernant la sensibilité radioécologique des différents milieux. Le chapitre 9 traite de l'étude applicative au contexte post-accidentel.

3 LA SENSIBILITE DES TERRITOIRES AUX DEPOTS

3.1.1 OBJECTIF

Dans le cas d'une émission de polluants dans l'atmosphère, les conditions atmosphériques, en particulier les précipitations, ont un rôle déterminant dans la répartition des dépôts. En effet, même si les précipitations revêtent différentes formes (brouillard, bruine, pluie, averse, neige), elles ont toutes en commun une efficacité de rabattement au sol des polluants atmosphériques plus importante que celle qui se produit par temps sec. Pour tous les polluants, le rabattement est quantifié par un rapport entre l'activité de l'air et celle de l'eau de pluie qui s'exprime en Bq.l^{-1} par Bq.m^{-3} pour les polluants radioactifs et en mg.l^{-1} par mg.m^{-3} pour les autres polluants (sulfates, nitrates, métaux...). Ce rapport est également appelé rapport de lavage-lessivage de l'air par l'eau de pluie et noté W_r (Washout ratio) dans la suite du rapport. En ce qui concerne les polluants radioactifs, le suivi régulier de la radioactivité dans l'air et dans les eaux de pluie est habituellement réalisé en routine sur des pas de temps de collecte mensuels. Longtemps abordées sous l'angle de valeurs moyennes, les relations entre l'air, l'eau de pluie et les activités déposées ne permettent pas de refléter la variabilité des situations climatiques habituelles ou liées à des épisodes météo-climatiques particuliers (poussières désertiques, averses). De plus ce suivi ne permet pas toujours de distinguer les retombées sèches des retombées associées aux précipitations.

Les études du volet SENSIB-Atmo(sphérique) ont pour objectif d'améliorer la caractérisation des dépôts, à l'échelle de chaque événement précipitant et non plus sur des pas de temps calendaires. Un intérêt particulier est donc porté à l'approche des épisodes individuels de précipitations afin de rendre compte le plus précisément possible de leur potentiel de lavage-lessivage et de sa variabilité. L'étude de la sensibilité des territoires aux dépôts doit permettre de définir une typologie des précipitations auxquelles seront associées des valeurs de rapports de lessivage. La typologie s'appuiera sur des paramètres dont la caractérisation permet de traduire la qualité de la masse d'air avant ou après la pluie et donc d'en déduire par différence le flux de dépôt, à savoir :

1. le type de précipitations (averse, ondée, neige, bruines, brouillard) ;
2. l'intensité de la pluie en distinguant les différentes phases ;
3. la durée de la précipitation ;
4. l'origine des masses d'air (océanique, continentale, méditerranéenne) ;
5. la localisation géographique des événements climatiques ;
6. la taille des particules et des gouttes ;
7. l'intervalle de temps entre les précipitations qui conditionne la recharge de l'atmosphère en particules et en polluants ;
8. la concentration en aérosols ;
9. le taux de remise en suspension.

Ce travail fournira donc une classification des évènements climatiques en fonction de leur potentiel de lavage-lessivage et permettra d'établir une cartographie de la sensibilité du territoire aux dépôts atmosphériques en fonction des caractéristiques régionales des pluies.

3.1.2 METHODOLOGIE

Ce travail comporte deux phases : une phase expérimentale qui porte sur la collecte d'échantillons de pluies et d'aérosols ainsi que sur la caractérisation des situations de pluies et une phase de modélisation qui s'appuie sur les résultats de la phase expérimentale pour proposer un modèle explicatif empirique.

L'étude expérimentale est principalement réalisée au Puy de Dôme dans le cadre d'une thèse co-dirigée par le LaMP (Laboratoire de Météorologie Physique de l'Université de Clermont-Ferrand – UMR n°6016 du CNRS). Le Puy de Dôme permet notamment l'étude de l'influence de l'origine de la masse d'air sur le type de pluie. Le sommet du Puy de Dôme se prête également bien à l'étude du lavage de l'atmosphère au sein des nuages et autorise la collecte d'échantillons. Pour les besoins de l'étude, les dispositifs de collecte actuellement en place sur le Puy de Dôme ont été complétés. Ces équipements permettront la collecte des aérosols afin de caractériser la masse d'air avant et après la pluie ainsi que l'eau de la pluie à différents niveaux d'altitude autour de Clermont-Ferrand : le sommet du Puy de Dôme, le site d'Opme situé environ 800 m en contrebas et celui des Cézeaux encore 300 m plus bas.

Les résultats de la phase expérimentale pourront être complétés et comparés avec les résultats qui seront obtenus en parallèle de la thèse sur d'autres sites connus pour le caractère typé des précipitations qu'ils subissent :

- le site de Toulon pour les pluies typées méditerranéennes (intensité et rareté) qui se prête bien également au cas des atmosphères empoussiérées notamment lors d'épisodes de poussières sahariennes. Ces pluies seront étudiées en partenariat avec l'Université de Toulon-La Valette.
- le site de Charleville-Mézières pour l'étude des bruines et des brouillards (en fonction de l'avancement de l'étude).

3.1.3 RESULTATS ACQUIS EN 2007

Une étude sur la phase porteuse du césium a été réalisée par le biais de l'analyse des composés inorganiques mesurés aussi bien dans la phase aérosol que dans la phase précipitation. Alors que nous attendions une relation étroite entre le césium et les traceurs de poussières minérales tels que le calcium, les résultats ont été différents. La corrélation Cs/Ca est quasi inexistante sauf pour les évènements de transport de poussières désertiques, en revanche, la meilleure corrélation est trouvée entre le Cs et K⁺. Le potassium (analogue chimique du césium) est principalement émis par les feux de biomasse. Sa bonne corrélation avec le césium semble suggérer un lien entre les feux de biomasse et le césium dans le cas des masses d'air marines et continentales, conclusion qui se trouve en accord avec la littérature. Cette relation signifierait que le césium serait porté par des particules

submicroniques. Dans le cas des poussières minérales, le potassium est en quantité bien inférieure. Dans ce cas, le césium proviendrait principalement de la matrice minérale et se trouverait donc porté par le mode supermicronique de l'aérosol.

La comparaison entre la pluie des Cézeaux et l'aérosol du Puy de Dôme a aussi permis, en 2007 de calculer les rapports de lessivage en classant les échantillons en trois types : influence marine (long. < -20° O), continentale (long. > 10° O) ou mélangée (-20° O < long. < 10°). Les valeurs suivantes ont été obtenues :

- W_r (marin) = 500 m³.l⁻¹
- W_r (mélangé) = 2000 m³.l⁻¹
- W_r (continental) = 2400 m³.l⁻¹

La valeur moyenne du rapport de lessivage (toutes origines confondues) est de 1900 m³.l⁻¹. Cette valeur est proche de celle (1680 m³.l⁻¹) obtenue d'après des données mensuelles provenant des stations du réseau OPERA (IRSN) de 1972 à 2004.

Une étude préliminaire de l'influence du taux de précipitation et du diamètre des gouttes a aussi été réalisée. Elle n'a pas permis de mettre en évidence l'influence de l'un de ces deux paramètres dans le rabattement des polluants lors d'épisodes de précipitation.

3.1.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N°0472C0035

Compte tenu de l'aspect préliminaire de l'étude de l'influence du taux de précipitation et du diamètre des gouttes, les calculs vont être poursuivis sur les prochains échantillons de façon à confirmer ou non la tendance mise en évidence en 2007. Une étude statistique sur les composés inorganiques de la phase liquide est également en cours de réalisation et permettra d'apporter des éléments nouveaux quant au lessivage du césium.

4 LA SENSIBILITE DES SOLS

Le sol est un compartiment central de l'environnement de par ses propriétés de collecte, de stockage, de redistribution des radionucléides vers les eaux de surface et les eaux souterraines et de transfert aux plantes. De ce fait, ce compartiment est beaucoup plus complexe que les autres à étudier du point de vue de la sensibilité radioécologique, car la sensibilité du sol provient de la combinaison de chacune de ces propriétés (indicateurs de sensibilité multiples) et chacune d'elles est déterminée par des facteurs de sensibilité différents.

- Si l'on considère le sol comme support de culture, la sensibilité d'un sol sera déterminée comme sa capacité à accentuer les transferts de polluants vers les plantes. Le projet SENSIB s'intéresse alors aux caractéristiques de l'environnement, comme par exemple les valeurs de pH ou les teneurs en argile (facteurs de sensibilité), qui vont déterminer de fortes valeurs du facteur de transfert sol/plante (indicateur de sensibilité).

- Si l'on considère le sol vis-à-vis de la contamination des nappes, un sol sera perçu comme sensible si les polluants y sont très mobiles. Le projet SENSIB s'intéresse alors aux caractéristiques hydrodynamiques du sol (facteurs de sensibilité) qui déterminent les fortes valeurs de flux vers les nappes (indicateur de sensibilité).
- Si l'on considère le sol comme terme source des polluants mesurables dans le cours d'eau à l'exutoire du bassin versant, c'est l'aléa érosif des sols qui est à considérer. La pente, la pluviométrie, le couvert végétal et le type de sol (facteurs de sensibilité) vont déterminer les flux à l'exutoire (indicateur de sensibilité).

Différentes études sont proposées ci-après pour acquérir, à partir de zones ateliers, les facteurs de sensibilité du compartiment sol.

4.1 LA SENSIBILITE D'UNE CHAINE DE TRANSFERT (SOL→HERBE→LAIT→FROMAGE)

4.1.1 OBJECTIF

Dans le contexte post-accidentel, l'enjeu majeur du projet SENSIB est de déterminer la sensibilité des productions agricoles à court terme, mais il est aussi important, lorsque l'accident a des conséquences observables à plus long terme, de prévoir pour quelles raisons certains territoires sont plus sensibles que d'autres.

4.1.2 METHODOLOGIE

Pour faire le lien entre le sol et les transferts aux végétaux et aux productions agricoles, une étude d'une chaîne de transfert sol→herbe→lait→fromage a été proposée dont l'objectif est de comparer la sensibilité radioécologique de différentes zones de prairies et des filières laitières associées. On s'attache dans cette étude à comparer et à expliquer la rémanence des polluants dans les sols et le transfert sol/herbe des produits de fission (^{90}Sr et ^{137}Cs) sur les zones étudiées. On évalue également la sensibilité radioécologique des filières de production fromagères, par la comparaison des transferts herbe/lait et lait/fromage sur les différentes zones d'étude. *In fine*, ce travail de thèse doit permettre de hiérarchiser ces transferts pour cibler si la sensibilité des zones étudiées est d'avantage le fait des transferts au sein des prairies ou des pratiques zootechniques ou des procédés de fabrication fromagère.

L'évaluation de la sensibilité est proposée à deux échelles d'observation : une échelle régionalisée (zone d'étude : prairies du Jura) et une échelle plus large, qui compare trois zones d'étude (Charente, Massif Central et Jura). Dans le cadre de l'étude régionalisée, quatre zones d'études de la sensibilité ont été retenues, en fonction de l'altitude (plaine, premier plateau, second plateau, Monts du Jura). Pour chacune de ces entités, le fromage (AOC Comté) sera échantillonné dans des fruitières (coopératives de fabrication de l'AOC Comté). En tenant compte de la traçabilité de ce produit (origine du lait, délais d'affinage), le lait, l'herbe et le sol auront été échantillonnés au préalable dans les exploitations laitières correspondant à la fruitière.

4.1.3 RESULTATS ACQUIS EN 2007

Une revue de la littérature concernant le transfert sol-herbe a été menée en parallèle de l'analyse des données disponibles à l'IRSN réparties en France (station OPERA de Beaune-le-Froid, Massif-Central et stations EDF). Ainsi, les données issues des stations IRSN de septembre 1991 à septembre 2006, témoignent de la forte hétérogénéité des facteurs de transfert en césium-137 du sol au lait, qui atteint deux ordres de grandeur. Les transferts du lait au fromage sont moins variables.

Différents paramètres naturels peuvent expliquer cette hétérogénéité :

- les conditions climatiques en particulier la pluviométrie et les conditions hydriques,
- les propriétés des sols,
- les espèces floristiques différentes.

Différents auteurs rapportent que les caractéristiques des bovins, les fertilisations, les amendements ainsi que les itinéraires techniques sont autant d'éléments pouvant modifier les transferts. Les procédés de fabrication tels que l'emprésurage, l'égouttage et les temps d'affinage, mais aussi la composition des fromages sont également des paramètres et étapes à prendre en considération. D'autre part, la spéciation des radionucléides ainsi que l'intensité des retombées peuvent également être des facteurs de variation des transferts.

De plus, des variations temporelles sont mises en évidence pour les données de la station IRSN de Beaune-le-Froid depuis 2000. La variabilité saisonnière des activités de l'herbe, du lait et du fromage sont probablement à mettre en relation avec le stade physiologique de la végétation prairiale, les itinéraires techniques ainsi que le climat.

Lors de la campagne de prélèvements de 2007, les différents paramètres susceptibles d'intervenir dans l'évaluation de la sensibilité radioécologique des zones de prairies ont été relevés. Ainsi, les paramètres physico-chimiques mesurés dans les sols (texture des horizons, taux de matière organique, masse volumique apparente, pHeau et pHKCl, capacité d'échange cationique et deux cations, Ca²⁺ et K⁺), doivent permettre de dresser une typologie des sols. A terme, il s'agit de proposer une classification des sols vis-à-vis du transfert à l'herbe de la prairie. Les caractéristiques des exploitations, les amendements ainsi que les itinéraires techniques sont également renseignés par le biais de « fiches éleveurs ». Les étapes de l'élaboration des fromages sont précisées. Les données climatiques des stations sont prises en compte : température, pluviométrie et ensoleillement.

4.1.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N°0472C0035

En 2008, une nouvelle campagne de prélèvements sera réalisée. Par la suite, il s'agira de dégager et de hiérarchiser les facteurs de sensibilité prépondérants du transfert sol-herbe (type de sol, minéralogie de la fraction fine, amendements éventuels, fréquence du labour ...).

4.2 LA SENSIBILITÉ DES SOLS A LA MIGRATION HORIZONTALE

4.2.1 OBJECTIF

Ce travail a pour objectif d'étudier la sensibilité des sols vis-à-vis de leur potentiel à exporter les radionucléides qui s'y sont déposés suite à un apport atmosphérique. Cette sensibilité est fonction de la capacité des sols à s'éroder, mais est aussi fonction des quantités d'eau qui y ruissellent. En considérant ces deux processus, on tient compte des transferts de radionucléides à la fois sous forme particulaire et sous forme dissoute. Une méthode d'évaluation de la sensibilité des sols à l'érosion, du type de celle que l'on veut obtenir dans le cadre du projet SENSIB, a été développée par l'INRA (INRA 1998). Elle est basée sur les quatre facteurs de sensibilité suivants : pente, couvert végétal, type de précipitation et type de sol (érodibilité, battance). Pour le projet SENSIB, il s'agit donc essentiellement d'étudier l'adaptation de cette méthode aux cas des radionucléides. Est-ce que les facteurs de sensibilité proposés sont pertinents dans le cas de la radioactivité ? Quels sont les facteurs à ajouter dans ce modèle pour l'adapter au cas des radionucléides et comment prendre en compte la spécificité de chacun d'entre eux en termes de mobilité ? Est-ce que l'indexation proposée pour le modèle hiérarchique de l'INRA est pertinente par rapport aux problématiques radioécologiques ?

4.2.2 MÉTHODOLOGIE

La démarche suivie consiste, dans un premier temps, à évaluer l'influence relative des phénomènes de ruissellement et d'érosion sur l'entraînement de différents radionucléides mesurables dans l'environnement, à savoir ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am et ^{90}Sr , dont les propriétés chimiques différentes pourraient conduire à des comportements différents. Le ruissellement est pris en considération en tant que vecteur de transport des radionucléides sous forme dissoute, alors que l'érosion (essentiellement sous forme d'érosion hydrique) est responsable du transport des radionucléides associés aux particules solides du sol. Dans un second temps, il sera nécessaire d'identifier et d'évaluer les différents facteurs responsables de ces deux phénomènes, et en particulier de l'érosion. Ces deux étapes sont traitées de façon théorique en s'appuyant sur les connaissances existantes en matière de radioécologie et d'érosion des sols. Cette partie théorique doit permettre de lister les critères nécessaires à prendre en compte pour la classification et éventuellement la cartographie des zones « sensibles » en termes de migration horizontale des radionucléides. Parallèlement, l'étude d'une zone atelier, le bassin versant de la Payne, doit permettre de constater l'effet résultant de ce transport horizontal, et éventuellement de vérifier l'importance des différents critères identifiés précédemment.

4.2.3 RÉSULTATS ACQUIS EN 2007

En 2007, le domaine spatial d'étude de la sensibilité à l'érosion a été élargi en étudiant la sensibilité relative des bassins versants méditerranéens vis à vis des apports à la mer, suite à un dépôt radioactif. L'étude a permis de classer les bassins versants méditerranéens en

termes de potentiel d'export local (au niveau du sol) de radionucléides. Il s'agit d'une approche globale, basée sur des connaissances existantes pour obtenir une carte de la sensibilité des différents bassins versants méditerranéens, où un jeu de couleurs permet de représenter les différentes classes de sensibilité (cf. exemple sur la figure 3).

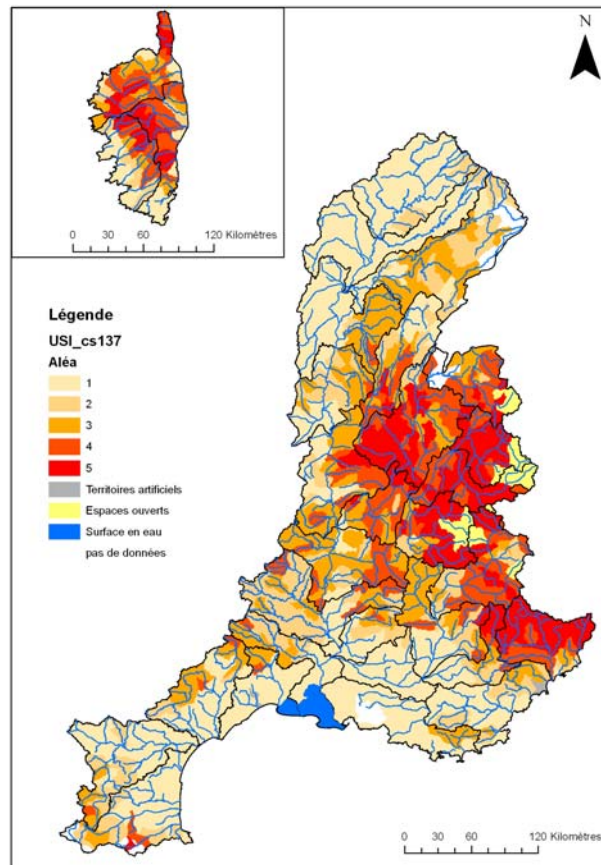


Figure 3 : Carte de sensibilité des bassins versants méditerranéens vis-à-vis de l'export local de ^{137}Cs dans les sols

4.2.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N°0472C0035

Ce volet du projet SENSIB nécessiterait un travail complémentaire afin de prendre en compte la capacité de transfert des sols et des cours d'eau et ainsi de produire des cartes de sensibilité vis-à-vis des exports à la mer.

Ce travail complémentaire n'est actuellement pas envisagé dans le cadre de SENSIB en 2008.

5 LA SENSIBILITE DES RESSOURCES EN EAUX

5.1 OBJECTIF

Les ressources en eau sont limitées en quantité. Leur préservation est un enjeu essentiel car les activités humaines et la vie naturelle en sont largement tributaires. Or la sensibilité à plus ou moins long terme des ressources en eaux à une contamination radioactive en fonction des usages reste difficile à appréhender, tout particulièrement en situation post accidentelle (rejets atmosphériques ou rejets liquides). L'étude proposée a pour principal objet d'évaluer les doses induites à l'homme via l'utilisation des ressources en eaux, soit directement par exposition interne (eaux de boisson) ou externe (eaux de baignade), soit indirectement à partir de la consommation de produits contaminés par l'eau (irrigation, abreuvement).

Le poids relatif de ces différents modes d'exposition devra être évalué à partir des données existantes relatives aux usages de l'eau à l'échelle du territoire ou d'une région ainsi que sur la base de scénarii. Parallèlement, une classification de la sensibilité des systèmes aquatiques en fonction des différents usages potentiels de l'eau sera établie.

5.2 RESULTATS EN 2007 ET PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N° 0472C0035

N'ayant pas trouvé de candidat en 2007 pour un contrat post-doctoral sur ce sujet, cette étude a été reportée en 2008.

6 LA SENSIBILITE DU LITTORAL COTIER

6.1 OBJECTIF

Dans le domaine marin, les pollutions ont toujours eu un impact fort sur les populations côtières. Un littoral souillé par un polluant engendre inexorablement une perturbation des écosystèmes et des risques importants pour les populations et les pertes économiques pour la région touchée sont souvent importantes du fait des dommages subis par les secteurs du tourisme, de la pêche, des cultures marines. Dans ce contexte, le concept de sensibilité de l'environnement a été mis à profit notamment par l'IFREMER pour élaborer des atlas de vulnérabilité des zones côtières (Denis, 1997). L'extension de la méthodologie de l'IFREMER au cas des polluants radioactifs est l'un des enjeux de SENSIB pour les prochaines années (Duffa et al., 2007).

6.2 METHODOLOGIE

Les travaux effectués en matière de cartographie de la vulnérabilité du littoral vis-à-vis d'une pollution pétrolière ou dans le cadre des politiques de gestion intégrée des zones côtières constituent de bonne base sur lesquelles le concept de sensibilité radioécologique du milieu marin côtier s'est appuyé. La démarche proposée se décline en quatre principales étapes : (1)

l'analyse et le recueil des informations sur une zone étudiée afin de la découper en zones unitaires homogènes ; (2) l'identification, la qualification et la codification des facteurs de sensibilité (concernant 3 catégories : les données biologiques et physiques intrinsèques au milieu, les données sur les ressources et usages du milieu marin, les paramètres radioécologiques purs) ; (3) le calcul des indices de sensibilité pour chacune des zones unitaire par agrégation des facteurs de sensibilité pondérés en fonction de leur importance relative ; (4) la représentation cartographiques des résultats à l'aide d'un SIG.

6.3 RESULTATS ACQUIS EN 2007

La méthode d'évaluation de la sensibilité radioécologique des zones côtières a été définie en 2007 (voir paragraphe précédent, (Duffa et Thébault, 2007a)).

L'application de la méthodologie de SENSIB-mer a été proposée à différentes échelles, à des niveaux de précision différents pour l'ensemble du littoral (projet CLARA II) et pour des zones ciblées comme la Rade de Toulon.

Le projet CLARA II piloté par Gilles Dusserre de l'Ecole des Mines d'Alès pour le programme PRECODD de l'ANR a été lancé en 2007. Ce projet se positionne dans le contexte de gestion de crise, et plus précisément dans un objectif de prévision et d'aide au diagnostic dans un contexte de pollution accidentelle en milieu marin. La contribution du volet SENSIB-mer de l'IRSN à ce projet consiste à caractériser les zones sensibles à la pollution et à proposer une méthode de construction d'un indice de sensibilité spatialisé.

En ce qui concerne l'application de SENSIB-mer à la rade de Toulon, le premier volet de cette étude sur la revue des données existantes et le bilan des différentes actions à mener ont été réalisés en 2007 (Duffa et Thébault, 2007b).

6.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N° 0472C0035

Le projet CLARA II doit aboutir à la création d'un outil de simulation permettant de prévoir la localisation d'un contaminant, ainsi que l'évolution de sa concentration dans la mer et dans l'atmosphère lors d'un déversement massif de polluant en Méditerranée. Il permettra de connaître les distances d'effets dans le cas d'un incendie, de renseigner sur les capacités de bioaccumulation de certains organismes marins et fournira des indices de sensibilité selon les zones polluées. Ce projet fédère un consortium composé de laboratoires de recherche académique, d'industriels, des services de l'état et d'une PME. Sa durée de quatre ans est plus large que celle du projet SENSIB et CLARA II et intègre donc la contribution de SENSIB-mer.

7 LA SENSIBILITE DES PRODUCTIONS AGRICOLES

7.1 CAS DE LA SENSIBILITÉ DES PRODUCTIONS AGRICOLES A UN REJET ACCIDENTEL

7.1.1 OBJECTIF

Le but de ce volet d'études est d'évaluer la sensibilité des productions agricoles vis-à-vis d'un rejet accidentel de radioactivité. Il s'agit de savoir si un dépôt ponctuel uniforme entraînerait une contamination identique d'une production à l'échelle du territoire national.

7.1.2 METHODOLOGIE

Les études réalisées dans le cadre du projet SENSIB s'appuient sur les équations du modèle ASTRAL qui permet d'évaluer le transfert des radionucléides dans la chaîne alimentaire terrestre suite à une émission atmosphérique accidentelle (Renaud *et al.*, 1999 ; (Mourlon et Calmon, 2002 ; Calmon et Mourlon, 2005). On recherche les paramètres du modèle qui sont régionalisables et on étudie la sensibilité du modèle à la variabilité régionale. Le paramètre d'ASTRAL sur lequel l'étude se concentre est le facteur de transfert de la radioactivité de l'air à la production. Ce facteur dépend à la fois des paramètres de captation et éventuellement de translocation, lorsque les parties consommées ne sont pas celles qui reçoivent le dépôt. La méthodologie consiste donc à régionaliser ces paramètres. Pour cela, le logiciel STICS (Simulateur multIdisciplinaire pour des Cultures Standards) développé par l'INRA d'Avignon a été utilisé (Brisson 2003). Ce modèle propose un suivi au pas de temps journalier de l'indice foliaire, ainsi que les dates d'occurrence des stades agronomiques de différentes productions agricoles. Ces variables peuvent être corrélées à la captation et à la translocation. Les sorties des simulations effectuées sur différentes stations climatiques et éventuellement pour différentes variétés permettent alors d'exprimer les paramètres de captation et de translocation selon la typologie d'ASTRAL, c'est-à-dire en fonction du délai dépôt-récolte. Ces valeurs peuvent ensuite être confrontées à des données bibliographiques et aux travaux menés par l'IRSN dans le cadre de programmes expérimentaux.

7.1.3 RESULTATS ACQUIS EN 2007

Etude de la sensibilité régionale de la vigne et du vin

La méthode basée sur la régionalisation des paramètres de l'équation de modélisation des transferts de radionucléide (captation, translocation et rendement) et sur l'utilisation du logiciel agronomique STICS qui génère des indices foliaires journaliers en fonction des conditions culturales (sol, climat, pratiques agricoles) a été mise en œuvre sur le vignoble français. Les résultats (Levain *et al.*, 2006) portent sur le vignoble français méridional à travers deux cépages (grenache et merlot noirs) et cinq productions (Saint-Emilion, Vin de pays de cépage, Vin de pays de Cassan, Côtes du Rhône et Côtes de Provence). La période de captation la plus forte d'un aérosol radioactif s'étale depuis août jusqu'à octobre, en raison de pluies plus fréquentes et d'un feuillage complètement développé. Cette période est

identique pour tout le vignoble étudié. C'est aussi la période de plus grand transfert des radionucléides vers les fruits. Le type de production influe sur la conduite de la vigne et donc sur la contamination du raisin et du vin. Les productions de type AOC seront plus contaminées que des productions type vin de pays.

Etude de la sensibilité régionale du riz

L'étude s'est focalisée sur la radioécologie du riz en étudiant comment les spécificités de la culture du riz peuvent être prises en compte dans l'évaluation du risque nucléaire (Pey et Mercat, en cours). Pour modéliser le transfert de radionucléides jusqu'au caryopse de riz, on a utilisé la méthode classique pour les céréales qui prend en compte l'interception par le couvert végétal (facteur d'interception) puis la translocation dans les grains (facteur de translocation). La méthodologie SENSIB consiste à régionaliser la valeur des paramètres de la plante (facteur d'interception, facteur de translocation et rendement). Pour cela, on a partiellement calibré le modèle agronomique ORYZA2000, développé par l'Institut International de Recherche sur le Riz (IRRI) pour les conditions Camarguaises, car le modèle STICS n'est actuellement pas applicable pour une culture de riz.

Deux scénarios de contamination ont été utilisés. Le premier consiste en une unique contamination de l'eau. Dans ce cas, pour chaque simulation (excepté pour l'agriculture biologique), la réalisation d'un quatrième à-sec (vidange de la rizière) fin juin-début juillet conduit à une baisse significative de la contamination. Le second scénario de contamination consiste en une double contamination par l'eau et par l'air. Dans ce cas, la variabilité de contamination est liée principalement à celle du rendement qui a un effet de dilution de la pollution. Le riz produit par l'agriculture biologique est plus sensible du fait de ses bas rendements que le riz de l'agriculture conventionnelle.

Etude de la sensibilité régionale de la pomme de terre

La méthode basée sur la régionalisation des paramètres de l'équation de modélisation des transferts de radionucléide d'ASTRAL et sur l'utilisation du logiciel agronomique STICS a été mise en œuvre sur la production française de pommes de terre. L'objectif de cette étude était d'évaluer la sensibilité de trois types de cultures de pommes de terre (primeurs, de conservation et féculières) vis à vis d'un rejet atmosphérique radioactif accidentel (Larue et *al.*, 2007). Les résultats ont été obtenus sur les principales régions de production de pommes de terre présentant des climats différents (Nord-Pas-de-Calais, Haute-Normandie, Centre, Rhône-Alpes et Languedoc-Roussillon) et à travers les deux ou trois types de production de pommes de terre ayant des itinéraires techniques de culture différents. Les simulations ont permis de montrer que l'influence du climat était relativement faible et pouvait être compensée par la pratique de l'irrigation. La période de sensibilité maximale intervient pendant le grossissement des tubercules et jusqu'à la mort de la plante, soit par le défanage soit par la récolte des tubercules de pommes de terre. Cette étude montre également que la date de contamination a une influence prépondérante sur la sensibilité des cultures de pommes de terre, principalement en raison des longueurs de cycles courts pour les primeurs et longs pour les autres pommes de terre. La production de pommes de terre primeurs et la

production de pommes de terre de conservation dans le sud de la France sont par ailleurs plus sensibles que les autres productions de pommes de terre du fait de leurs bas rendements.

Etude de la sensibilité régionale des filières avicoles

L'étude de la filière avicole, très diversifiée, a été restreinte à celle des productions de viande de poulet, d'œufs de poule, et de foie gras et de viande de canard. À partir des équations du code ASTRAL, plusieurs simulations étudiant les dates de contamination et les modes d'élevage ont été réalisées pour ces trois productions, afin de mettre en évidence et de hiérarchiser les facteurs de sensibilité radioécologique (Dufeu et al., 2007).

Ces simulations ont permis de montrer que, lors de la première année après un dépôt atmosphérique accidentel, le facteur de sensibilité radioécologique prépondérant est la date de contamination, qui influe sur la sensibilité radioécologique des céréales utilisées comme aliment pour les volailles. La contamination des céréales blé et maïs, se révèle être prépondérante et induit de fortes variations (jusqu'à un facteur 1000) pour les produits avicoles, selon le stade de développement de la culture au moment du dépôt. Pour la plupart des élevages (et a minima pour les élevages standards), l'origine des céréales et l'importance relative du blé et du maïs dépendra davantage de considérations économiques fluctuantes dans le temps (cours des matières premières) que de la localisation géographique de l'élevage.

Des variations entre les différents élevages avicoles peuvent induire une sensibilité différente de leurs productions : la contamination est plus forte pour la viande de volaille que pour les œufs, avec une sensibilité maximale pour le magret de canard et le foie gras. Ensuite, les élevages dits « de qualité » ont une sensibilité plus grande en raison de la durée d'élevage plus longue et de la proportion de céréales dans l'alimentation plus importante. Ainsi, l'agriculture biologique, qui a obligation de produire une part importante de la ration sur l'exploitation, et qui peut avoir recours à du soja cultivé en France, se révèle la production la plus sensible. Il en est probablement de même des basse-cours familiales, dont on peut supposer qu'elles ont un mode de fonctionnement similaire.

Enfin, dans le cas où les végétaux sont très peu contaminés, si le dépôt a lieu en hiver ou dans tous les cas, à partir de la seconde année après le dépôt, l'ingestion de sol, permise par l'accès des volailles à un parcours extérieur devient le paramètre de sensibilité le plus fort, bien que la contamination totale reste à des niveaux beaucoup plus faibles que ceux atteints par la contamination de l'alimentation.

La volaille n'a pas, jusqu'ici, fait l'objet d'autant d'études radioécologiques que les ruminants, par exemple. Les mesures, notamment celles réalisées après l'accident de Tchernobyl, sont rares. Parmi les volailles, seul le poulet a fait l'objet de travaux, ce qui pose aussi quelques problèmes pour transposer cette étude à d'autres volailles : si la pintade ou la dinde ont des modes d'élevage proches du poulet, l'oie ou le canard sont des animaux aussi différents de la poule que la chèvre peut l'être de la vache. Par exemple, ces animaux peuvent se nourrir de maïs sur pied. C'est donc la contamination de la plante entière qui serait à considérer. De même, l'autruche est un animal brouteur, dont l'élevage est très

éloigné de celui du poulet « standard ». Des cas particuliers peuvent donc se rencontrer localement.

Cette étude met également en évidence l'importance de l'évolution des modes d'élevage, en particulier ceux dits « hors sol » (volailles, mais aussi porcins). En conséquence, l'augmentation du nombre d'exploitations industrielles intégrées est un élément qui ne justifie pas toujours l'hypothèse classique et conservatrice d'une alimentation animale produite au même endroit que la production animale.

Développement de méthodes et d'outils pour l'acquisition de connaissance sur l'occupation du territoire à proximité des sites nucléaires

En 2007, une étude préalable de la faisabilité d'enquêtes de terrain pour connaître l'occupation agricole autour de sites nucléaires a été réalisée. Il s'agit d'adapter différents outils du commerce (logiciels de référencement nomade, fonds de carte, etc.) permettant de travailler sur le terrain pour les mettre en œuvre autour des sites nucléaires et de proposer des outils méthodologiques permettant à partir des données acquises de caractériser rapidement les spécificités territoriales. Ces divers outils ont été mis en œuvre à titre expérimental autour des centrales de Chooz et du Tricastin.

7.1.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N°0472C0035

Les études successives de la sensibilité des filières agricoles ont montré que l'état des productions agricoles au moment de la contamination constitue l'un des principaux déterminants de la sensibilité radioécologique. L'amélioration de la prise en compte des spécificités des territoires passe donc par l'acquisition de connaissances actualisées sur les caractéristiques des territoires (caractéristiques environnementales et usages de l'homme) et notamment sur celles qui influent de façon prépondérante sur les résultats de l'évaluation de risque. Une collaboration scientifique entre EDF, le CEA et l'IRSN a donc été mise en place en 2007 (dans le cadre de l'accord dit « GGP environnement » préexistant entre ces trois partenaires), afin de développer une méthodologie d'acquisition de connaissance de l'occupation du territoire autour des sites nucléaires français à partir d'enquêtes de terrain. Par occupation du territoire, on entend principalement l'occupation agricole des sols (type de productions végétales, présence et caractérisation des troupeaux, pratiques en termes d'irrigation) et l'utilisation des ressources en eau (captages AEP, puits, forages...). Les enquêtes seront étendues aux pratiques locales en termes d'alimentation et notamment d'autoconsommation après l'établissement d'une méthodologie à partir des résultats précédemment obtenus dans le cadre de SENSIB.

7.2 CAS DE LA SENSIBILITÉ DES LEGUMES

7.2.1 OBJECTIF

Le deuxième volet de cette étude a démarré en 2006 et concerne l'utilisation des techniques de Monte Carlo pour réaliser l'analyse de sensibilité de l'équation du transfert de radionucléides vers les végétaux, et le développement d'un post-traitement original permettant de déterminer les combinaisons de valeurs des paramètres d'entrée qui conduisent à obtenir des concentrations en sortie du modèle dans certaines gammes de valeurs prédéterminées.

7.2.2 METHODOLOGIE

La méthode retenue pour ce post-traitement est la méthode CART acronyme de Classification And Regression Trees (Breiman 1984) et le scénario d'application relève du contexte post-accidentel.

La méthode CART est non paramétrique et permet de construire des arbres de régression ou de classification selon que la variable à expliquer est quantitative ou qualitative. Les arbres fournis par CART sont obtenus par partitionnement récursif binaire. Les nœuds parents sont toujours divisés en deux nœuds descendants (intermédiaire ou terminal) et ce processus est réitéré en considérant chaque nœud intermédiaire comme un nœud parent. Ainsi, chaque branche de l'arbre représente une combinaison différente de variables explicatives. La lecture de l'arbre s'effectue de la racine et par une série de question oui/non, permettant d'aboutir à un nœud terminal affecté à la modalité majoritaire de la variable Y à expliquer.

7.2.3 RESULTATS ACQUIS EN 2007

En 2007 la méthodologie présentée précédemment a été appliquée au cas d'une production agricole (la laitue) contaminée par un rejet radioactif de strontium 90 dans l'atmosphère. Afin d'estimer la contamination radioactive du végétal étudié nous avons choisi d'utiliser l'équation adaptée du modèle radioécologique ASTRAL (Mourlon et Calmon, 2002). Cette équation permet d'évaluer l'impact de dépôts de radioactivité par voie foliaire et par temps sec sur les productions agricoles (activités massiques, C_{veg}). Pour pouvoir générer des échantillons artificiels de données, les distributions et les éventuelles relations entre les variables d'entrées du modèle ont été recherchées. La variable de sortie qui représente la contamination radioactive de la laitue est quantitative et nous avons choisi de la coder selon les valeurs limites proposées par la Commission du Codex Alimentarius (1989) (limites indicatives sur les concentrations des denrées commercialisées). Dans le cas du strontium, on propose une discrétisation en 2 classes : classe 1 : $C_{veg} \leq 100 \text{ Bq.kg}^{-1}$, classe 2 : $C_{veg} > 100 \text{ Bq.kg}^{-1}$. A partir d'un échantillon d'apprentissage généré, un arbre de classification a été construit. Le pourcentage de mal classés de l'arbre estimé par l'échantillon test est de l'ordre de 5,44 %. La première division de l'arbre est basée sur la variable rapport de captation qui représente la fraction du rapport du dépôt radioactif qui est interceptée par la masse foliaire des végétaux se trouvant à la surface du sol. A partir cet arbre, nous avons pu

montrer l'importance du rapport de captation ; quel que soit le dépôt radioactif, une laitue contaminée au début de son stade de développement présentera à la récolte une contamination radioactive inférieure à 100 Bq.kg⁻¹. Ainsi, l'extraction des différentes règles de décision issues de l'arbre nous permet d'identifier les associations de variables qui sont responsables des différents niveaux de contamination radioactive de la laitue.

7.1.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N°0472C0035

Cette étude sera achevée au printemps 2008 avec la soutenance de la thèse de B. Briand.

8 LA SENSIBILITE ANTHROPIQUE DES TERRITOIRES

8.1 OBJECTIF

L'objectif de l'étude est d'améliorer la connaissance des comportements alimentaires des populations à proximité du site nucléaire de Pierrelatte-Tricastin : rations journalières et autoconsommation. Dans le cadre du projet SENSIB, cette étude sera mise en perspective de l'étude similaire réalisée autour du site nucléaire de Marcoule, en 1998 (Descamps et Guillet 2004), ainsi que de l'ensemble de la bibliographie disponible concernant les comportements alimentaires des groupes de référence autour des sites nucléaires français, afin d'apporter des éléments pour évaluer la contribution de la composante anthropique de la sensibilité radioécologique.

8.2 MÉTHODOLOGIE

Une enquête alimentaire est réalisée dans les villages et petites villes, à proximité du site de Pierrelatte, afin de déterminer les rations journalières et d'étudier les pratiques d'autoconsommation. Dans un premier temps, les populations cibles ont été identifiées, et un échantillon de foyers a été constitué. Les habitudes alimentaires sont étudiées de façon prioritaire chez des familles vivant en milieu rural, dans la zone sous les vents dominants du site nucléaire, et possédant un jardin potager ou un verger. Dans un deuxième temps, l'autoconsommation des citadins est étudiée. L'enquête alimentaire est réalisée par la méthode des carnets de consommation sur sept jours, et au moins sur quatre périodes afin de prendre en compte les variations saisonnières. Les menus des repas, l'origine des aliments, les quantités cuisinées, ainsi que le nombre de convives sont répertoriés pour les repas du midi et du soir. Les menus des enfants en bas âge sont enregistrés séparément. Les habitudes alimentaires relatives aux petits-déjeuners et en-cas sont indiquées de façon plus générale. Les données recueillies sont traitées afin de proposer des consommations alimentaires moyennes par classes d'âge et d'identifier la part des aliments autoconsommée.

8.3 RÉSULTATS ACQUIS EN 2007

Le travail d'exploitation approfondi des données de l'enquête a été réalisé grâce à une comparaison avec l'étude réalisée à Marcoule en 1998 et avec d'autres études disponibles

(Durand et Mercat, 2007a et 2007b). L'enquête alimentaire effectuée autour du site de Pierrelatte - Tricastin avait pour objectif de caractériser les habitudes alimentaires de la population potentiellement la plus exposée aux rejets des installations nucléaires de ce site. En ce sens, la stratégie d'échantillonnage choisie a conduit à s'intéresser aux foyers consommant le plus de denrées produites localement, et notamment à ceux disposant d'un jardin potager, quelquefois assimilable à de petites exploitations. Les résultats ont montré que la population la plus sensible de ce site est constituée d'agriculteurs et de retraités. Dans ces foyers, la part de produits locaux dans la ration alimentaire solide (hors eau, jus, lait et vin) peut atteindre 50 %, la part de légumes, de fruits et de vin produits localement étant comprise entre 60 et 90 % tout au long de l'année. La comparaison avec les données nationales contenues dans la base de donnée CIBLEX a montré que la population enquêtée à Pierrelatte - Tricastin figure parmi les plus sensibles de France vis à vis de l'autoconsommation et correspond vraisemblablement à la population potentiellement la plus exposée du site. Néanmoins, la comparaison de ces résultats avec l'enquête menée à Civaux en 1993, a aussi montré que cette sensibilité peut se retrouver ailleurs en France, y compris dans des régions de caractéristiques climatiques très différentes.

8.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N° 0472C0035

Les enquêtes de consommation alimentaire s'inscrivant de plus en plus dans un cadre de surveillance et d'évaluation des risques alimentaires et nutritionnels de la population, une harmonisation de leur méthodologie semble nécessaire pour dépasser certaines limites (limites liées à la définition d'une portion (contenu et plat), limites liées à la définition des groupes d'aliments, limites liées à la méthodologie de recueil des données). Dans le cadre de la collaboration GGP Environnement évoquée précédemment (paragraphe 7.1.4), un volet méthodologie d'enquête alimentaire est envisagé.

9 INCERTITUDES, COMMUNICATION, PERCEPTION ET REPRESENTATION DES RESULTATS : VERS LE PROJET PRIME

9.1.1 OBJECTIF

Les travaux successivement menés en France sur la gestion des situations post-accidentelles montrent qu'il est indispensable qu'elle s'appuie sur une caractérisation anticipée de la vulnérabilité radiologique de l'environnement, abordée de manière globale et selon une stratégie prenant en compte les habitants et leurs conditions de vie. Ce volet du projet SENSIB a donc pour objectif de développer un outil simple à mettre à la disposition des responsables et de la société civile permettant le choix méthodique des actions à entreprendre et leur compréhension par tous, lorsque sont en jeu simultanément des critères sanitaires, économiques, écologiques, voire sociétaux. C'est dans ce cadre que l'application PRIME a été construite en 2006.

L'objectif du projet PRIME est de développer, en concertation entre les experts, les acteurs de la décision et les représentants du territoire, une méthode d'analyse multicritère de caractérisation du territoire contaminé, utilisable par les gestionnaires du risque lié à un accident industriel impliquant des substances radioactives. La méthode sera basée sur la hiérarchisation des facteurs de la sensibilité radioécologique d'un territoire vis à vis d'une pollution radioactive. Les facteurs de la sensibilité radioécologique d'un territoire sont définis comme l'ensemble des paramètres environnementaux et anthropiques (utilisation du territoire par l'homme) qui influencent (aggravent ou limitent) les conséquences d'une pollution radioactive.

Le projet PRIME est conçu comme un partenariat entre laboratoires scientifiques (IRSN et autres instituts experts du risque, Université Paris Dauphine/LAMSADE ...), représentants des pouvoirs publics (ASN/DRIRE-Rhône Alpes, Préfecture, mairie) et représentants de la société civile (Commissions Locales d'Information). Ce projet sera l'occasion d'explorer des formes de coopération innovantes dans le cadre d'un volet « concertation ».

Les exemples d'application pratiques des méthodes multicritères d'aide à la décision sont encore relativement rares car, historiquement, les outils d'aide à la décision classique de type monocritère ont été préférés.

9.1.2 METHODOLOGIE

L'analyse multicritère sera utilisée ici de façon originale puisqu'elle servira à expliciter les critères de l'évaluation environnementale (indicateurs de sensibilité) qui supportent la décision, en partenariat avec les parties prenantes. Le relevé exhaustif des facteurs de sensibilité proposés par les parties prenantes et leur examen systématique devraient éliminer certaines des limites de l'utilisation de ces méthodes observées par le passé lorsque les facteurs étaient listés unilatéralement par les experts et systématiquement remis en question par les autres acteurs.

9.1.3 RESULTATS ACQUIS EN 2007

Une analyse multicritère réduite à une zone pilote de 15 km autour du site de Tricastin-Pierrelatte et portant principalement sur le milieu agricole a été réalisée en 2007, préalablement à l'analyse multicritère complète de la zone d'étude de PRIME (Roussel-Debet et Mercat 2007) (Mercat *et al.*, 2007) (Barde et Mercat, 2007). L'objectif de cette analyse multicritère dite pré-PRIME était de caractériser la vulnérabilité du territoire à une contamination radioactive accidentelle à partir d'un jeu de paramètres de différentes natures radioécologiques, agricoles, économiques, démographiques... Cette analyse préliminaire est apparue indispensable pour explorer la méthodologie des techniques multicritères avant de complexifier l'exercice en élargissant la zone d'étude et le nombre d'acteurs impliqués dans l'analyse (GT PRIME). Cette analyse préliminaire a notamment permis d'explicitier les grandes options retenues pour la classification (Mercat *et al.*, en cours) : choix du nombre de niveaux de l'échelle de sensibilité des communes et signification des différents niveaux et choix des critères de classement vers ces niveaux et signification de ces critères.

En parallèle au démarrage du travail technique, la recherche de partenaires (notamment de parties prenantes locales) a été poursuivie. Le projet PRIME a ainsi été élargi aux partenaires suivants :

- AREVA NC,
- le Pays « Une autre Provence »,
- un exploitant viticole local,
- le conseil scientifique du comité de baie de la rade de Toulon,
- l'agence de développement du Gard rhodanien,
- des représentants du CODIRPA (comité directeur animé par l'ASN en charge de l'établissement d'une doctrine concernant la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire).

Le projet PRIME a été officiellement lancé en septembre 2007 pour une durée de deux ans par convention avec le MEDAD. Un contrat post-doctoral a été engagé dès mars 2007 afin d'acquérir en amont des données territoriales (réalisation d'un pré-diagnostic du territoire). Une prestation avec la société Magelis a démarré en novembre 2007 pour le développement d'un outil couplant analyse multicritère et cartographie.

9.1.4 PERSPECTIVES AU DELA DE LA CONVENTION ADEME N°0472C0035

Les prochaines étapes du projet PRIME sont :

- La proposition par les experts, notamment en radioécologie, d'une matrice d'évaluation des conséquences de la contamination des territoires à partir des données radioécologiques et environnementales disponibles. Ces données seront ensuite introduites dans une base SIG ad hoc afin d'en faciliter la lecture par les parties prenantes, c'est-à-dire les membres du GT PRIME. Dans le même temps, la finalisation du pré-diagnostic du territoire permettra de compléter le projet de matrice par des données territoriales (économiques, culturelles, patrimoniales).
- Le projet de matrice sera ensuite proposé au GT PRIME afin de vérifier que les enjeux essentiels du territoire sont représentés et afin de définir les critères les plus représentatifs de ces enjeux. Les critères les plus pertinents, à la fois en termes de gestion et d'acceptabilité par les acteurs, seront discutés. Leur pondération dans l'analyse multicritère est envisagée de façon collective grâce à l'utilisation d'un prototype d'outil couplant SIG et analyse multicritère. Différentes façons de pondérer les critères pourront être obtenues correspondant à différentes visions du territoire.
- Ces représentations cartographiques associées à un modèle systémique pourront ensuite être rediscutées, dans le cadre d'entretiens ou d'enquête postale, avec d'autres acteurs que ceux du groupe de concertation afin de valider la démarche et d'élargir la représentativité des résultats.

- Dans une phase finale, les résultats des entretiens associés à ceux des enquêtes seront de nouveau étudiés avec le GT PRIME afin d'envisager des alternatives de gestion du territoire contaminé et l'élaboration de l'outil de synthèse compréhensible et utilisable par tous les acteurs du territoire.

10 CONCLUSION

En 2007, le projet SENSIB a poursuivi son essor. Les études thématiques visant à caractériser dans chaque milieu ou compartiment de l'environnement les facteurs de sensibilité se sont renforcées. Plusieurs études ont notamment été menées sur le volet agricole. L'étude sur les méthodes et outils disponibles, pour fédérer les facteurs de sensibilité des différents milieux (arbre de discrimination) a proposé des développements originaux et est en passe d'être finalisée (soutenance de thèse de B. Briand prévue début 2008). Une étude applicative de l'ensemble de la méthodologie (projet PRIME) a été lancée et va se poursuivre durant les deux prochaines années dans le cadre d'une convention avec le MEDAD. Le projet SENSIB ayant démontré l'importance de la connaissance territoriale pour évaluer la sensibilité radioécologique, une méthodologie d'acquisition de cette connaissance territoriale par des enquêtes de terrain va être développée dans le cadre d'une collaboration entre EDF, CEA et IRSN (GGP Environnement) et avec un soutien financier renouvelé de l'ADEME. Enfin, le site internet collaboratif du groupe de travail international SENSIB de l'IUR (International Union of Radioecology) a été construit et mis en service pour étendre à un niveau international la réflexion sur le concept de sensibilité radioécologique et son utilisation pour développer des outils opérationnels de caractérisation de la vulnérabilité du territoire.

11 BILAN DES CONTRIBUTIONS AU PROJET SENSIB EN 2007

11.1 RAPPORTS IRSN ET DOCUMENTS INTERNES

11.1.1 RAPPORTS DIFFUSÉS

- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2006-54. Etude de la sensibilité radioécologique de la vigne à une pollution radioactive accidentelle. A. Levain, C. Mercat et S. Roussel-Debet.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-02. Rapport d'avancement 2006. C. Mercat et collaborateurs.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-03. Note technique, ordres de grandeur utiles au positionnement des valeurs de densité de dépôt prises en compte dans les études « SENSIB-agri », contexte d'un accident atmosphérique sur REP. S. Roussel-Debet et C. Mercat.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-12. Méthodologie des enquêtes alimentaires menées autour des installations nucléaires. V. Durand et C. Mercat.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-14. Note technique, Expression du besoin en données géographiques agricoles dans le cadre du projet SENSIB. V. Durand.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-20. Sensibilité radioécologique des berges de rivières. G. Maillet, F. Eyrolle, C. Mercat.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-25. Conséquences radioécologiques sur l'environnement marin d'un accident dans le port de Toulon. C. Duffa, H. Thébault.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-38. Note technique, Renseignement des critères radioécologiques pour l'analyse multicritère. S. Roussel-Debet et C. Mercat.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-34. Sensibilité radioécologique de l'environnement marin. C. Duffa et H. Thébault.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-43. Progress report 2006. C. Mercat et collaborateurs.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-45. Valorisation des résultats de l'enquête alimentaire de Pierrelatte-Tricastin. V. Durand et C. Mercat.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-46. Note technique, Renseignement des critères contextuels pour l'analyse multicritère. C. Mercat, S. Roussel-Debet, JM Métivier.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-47. Note technique, Renseignement du critère attractivité touristique pour l'analyse multicritère. C. Barde et C. Mercat.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-59. Etude de la sensibilité radioécologique des productions avicoles. A. Dufeu, S. Roussel-Debet et C. Mercat.

11.1.2 RAPPORTS EN COURS DE PROCÉDURE QUALITE

- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-62. Etude de la sensibilité radioécologique d'une culture de pomme de terre. C. Larue, V. Durand et C. Mercat.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-67. PRIME : descriptif de la proposition acceptée par le MEDAD dans le cadre du programme RDT2006. C. Mercat, S. Roussel-Debet, P. Renaud, G. Baumont, E. Chojnacki et JM Métivier.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-68. PRIME: description of the proposal accepted by the French Ministry of Environment in the framework of the research call RDT2006. C. Mercat, S. Roussel-Debet, P. Renaud, G. Baumont, E. Chojnacki et JM Métivier.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-69. Etude de la sensibilité radioécologique du riz. B. Pey et C. Mercat.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-71. Présentation de la classification de la sensibilité radioécologique en contexte post-accidentel. C. Mercat, S. Roussel-Debet et L. Diouri.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-76. Méthodologie et acquisition de données d'occupation du territoire à proximité des sites nucléaires : exemples des CNPE de Chooz et Tricastin. V. Durand et C. Mercat.
- Rapport DEI/SESURE/LERCM 2007-77. Pré-diagnostic de territoire : vers la construction concertée d'indicateurs spatiaux. C. Barde, C. Mercat, G. Baumont et P. Bachimon.

11.1.3 AUTRES DOCUMENTS PRODUITS EN 2007

- Mémoire C. Mercat et V. Durand : « Apport potentiel de l'outil de télédétection AgriLynx® concernant le suivi des rendements des cultures dans le cadre de la caractérisation agricole du territoire (Projet SENSIB) et pour la gestion post-accidentelle ».
- Article pour journées IRSN des thèses L. Bourcier.
- Article pour journées IRSN des thèses B. Briand.
- Article pour journées IRSN des thèses B. Besson.
- CR réunion n°1 du GT PRIME (11 septembre 2007). Chrono SESURE/LERCM 2007-137.
- Comptes-rendus d'avancement de la thèse B. Briand du 6 février, du 24 avril et du 27 avril 2007.

11.2 PUBLICATIONS (REVUES ET CHAPITRES D'OUVRAGE)

- Modelling regional impacts of radioactive pollution on permanent grassland. Journal of agronomy, 2007, 6 (1), 11-20. v. Durand, C. Mercat, P. Curmi, M. Benoit, B. Briand.
- La sensibilité radioécologique des territoires: vers un outil opérationnel- le projet SENSIB, Radioprotection, 2007, 42, 277-295. C. Mercat, S. Roussel-Debet, B. Briand, V. Durand.
- Comparative migration behaviour of ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{241}Am in mineral and organic soils of France. Applied Geochemistry, 22, 11, 2526-2535. N. Solovitch-Vella, L. Pourcelot, Chen, P. Froidevaux, Gauthier-Lafaye, P. Stille, Aubert.

- Extending Monte-Carlo Simulations to Represent and Propagate Uncertainties in Presence of Incomplete Knowledge: Application to the Transfer of a Radionuclide in the Environment, accepted in American Society of Civil Engineers Journal (ASCE), J. Baccou, E. Chojnacki, C. Mercat, C. Baudrit.
- Identifying the relationships between agronomic and radioecological variables using a crop model applied to lettuce, accepted in Journal of Agronomy, B. Briand, V. Durand, C. Mercat.
- Radioactivity and Mediterranean aerosols, Atmospheric Chemistry and Physics: The Mediterranean Aerosol: A Review - Chapitre 2.6, O. Masson et G. Le Roux.

11.3 CONGRES (POSTERS ET COMMUNICATIONS ORALES)

- Utilisation du modèle STICS pour l'évaluation des conséquences d'une pollution radioactive accidentelle du milieu agricole. Séminaire INRA STICS Reims. Mars 2007. V. Durand, C. Mercat, B. Briand, A. Levain, B. Besson.
- Vers une méthode partagée de classification du territoire contaminé par un accident nucléaire : le projet PRIME. Workshop Decision Deck, Generic software platform for Multi-Criteria Decision Aid Luxembourg, 8-9 mars, C. Mercat, C. Barde, V. Mousseau, L. Diouri, S. Roussel-Debet.
- Morphologie et architecture d'un lobe deltaïque dominé par les houles. Le lobe actuel du grand Rhône (embouchure/front deltaïque/prodelta), Colloque « bilans et perspectives du GDR Marges », Paris, G. Maillet, M. Arnaud, Guien, Berne.
- Radioecological Sensitivity Project on the French Mediterranean coastal environment, 38th CIESM Congress, Istanbul, Turkey, 9-13 April 2007, C. Duffa, C. Mercat, H. Thebault.
- Utilisation des méthodes d'arbres de classification pour expliquer la contamination radioactive des végétaux. DOCTISS 2007, Montpellier 19 avril 2007, B. Briand.
- Using classification trees techniques like sensitivity analysis in the field radioecology "Fifth International Conference on Sensitivity Analysis of Model Output", Budapest, Hungary, 18-22 June 2007, B. Briand, C. Mercat, G. Ducharme.
- Une construction concertée d'indicateurs spatiaux pour la gestion d'un territoire accidenté. SAGEO'2007 Ateliers «Modélisation spatiale et décision territoriale participative» Saint-Etienne 21, 22 Juin 2007. C. Barde, C. Mercat, G. Baumont, P. Bachimon.
- Influence de l'origine des masses d'air sur le rapport de lessivage du ¹³⁷Cs. Journée des thésards et post-doctorants de Cadarache. L. Bourcier, O. Masson, P. Paulat, K. Sellegri, L. Cautenet, P. Laj.
- Utilisation d'arbres de classification stabilisés pour expliquer la contamination radioactive des végétaux. 39èmes Journées de Statistique, 11 au 15 juin 2007 - Angers. B. Briand, C. Mercat, G. Ducharme.

- PRIME : projet de recherche sur les indicateurs de la sensibilité radioécologique et les méthodes multicritères appliquées à l'environnement d'un territoire industriel SFRP 2007, Reims, 19-21 juin. C. Mercat, C. Barde, V. Mousseau, S. Roussel-Debet, M. Champion et coll.
- Approche multidisciplinaire pour étudier l'impact d'une contamination atmosphérique. Journée des doctorants de Cadarache du 28 juin 2007. B. Briand, B. Besson, G. Le Roux.
- Activity levels of some particulate radionuclides in fogs and clouds droplets in an elevated site in France (Puy de Dôme, central France). ACCENT, Urbino, 23-27 juillet 2007. O. Masson, G. Le Roux, D. Maro, P. Hebert, O. Conan, Solier.
- Using stabilized classification trees in the field of radioecology. IASC07 - Statistics for Data Mining, Learning and Knowledge Extraction, Aveiro, Portugal, 30 août-1 septembre 2007. B. Briand, C. Mercat, G. Ducharme.
- Comparing many French food surveys results to generalize the risky feeding behaviors. 19th annual Conference ISEE, 5-9 septembre 2007, Mexico City. V. Durand and C. Mercat.
- Use of inventories of natural and artificial radionuclides in soils to estimate total aerosols deposition and origin in French mountains. Septembre 2007. European aerosol conference. Salzburg Autriche. G. Le Roux, L. Pourcelot, O. Masson, C. Duffa, F. Vray, P. Renaud.
- Relationship between origin of air masses and ¹³⁷Cs activities in aerosols sampled in France between 2000 and 2006. European aerosol conference. Salzburg Autriche. O. Masson, D. Piga, G. Le Roux, L. Bourcier, L. Saey, P. Paulat, Cagnat.
- Méthode de stabilisation par rééchantillonnage dans les nœuds pour construire des arbres de classification. XIVe Rencontre de la Société francophone de classification, 5 - 7 septembre 2007, Paris, France. B. Briand, C. Mercat, G. Ducharme.
- Caractérisation de l'occupation des territoires autour des installations nucléaires pour l'évaluation des risques sanitaires Congrès SFSP 2007, Montpellier, 22-24 novembre 2007. S. Maurau, J. Charton, V. Durand, D. Claval, C. Mercat.

11.4 AUTRES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

L. Breiman, J.H. Friedman, R. Olshen, and C.J. Stone, 1984. Classification and Regression Trees, Wadsworth, Belmont CA.

B. Descamps et F. Guillet, 2003. Enquête alimentaire dans trois secteurs de la basse vallée du Rhône : Codolet, Tresques, Camargue. Consommation/autoconsommation. Radioprotection. Vol. 38(3). pp 299-322.

P. Calmon et C. Murlon, Equations et paramètres du logiciel ASTRAL V2.3. Rapport IRSN/DEI/SECRE/2005-19.

F. Eyrolle, S. Charmasson, O. Masson, 2005. Projet EXTEME : rapport de lancement. Rapport IRSN/DEI/SESURE/LERCM 2005-07.

INRA, 1998. Cartographie de l'aléa « Erosion des sols » en France. Collection Etudes et Travaux n° 18. Institut Français de l'Environnement.

L.Y. Maystre, J. Pictet et J. Simos, 1994. Méthodes multicritères ELECTRE. Collection Gérer l'environnement. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (Lausanne, Suisse). 323 pages.

C. Mercat-Rommens et P. Renaud, 2003. Rapport de lancement du projet Sensibilité radioécologique (SENSIB). Rapport IRSN/DEI/SESURE/LERCM 2003-02.

C. Mercat-Rommens et P. Renaud, 2004. Projet SENSIB : bilan de l'utilisation opérationnelle du concept de sensibilité de l'environnement. Rapport IRSN/DEI/SESURE/LERCM 2004-12.

C. Mercat, S. Roussel-Debet, B. Briand, V. Durand. La sensibilité radioécologique des territoires : vers un outil opérationnel- le projet SENSIB", Radioprotection, 2007, 42, 277-295.

C. Murlon et P. Calmon, 2002. ASTRAL : a code for assessing situations after a nuclear accident. 12th annual meeting of SETAC Europe, Vienne (Autriche), 12-16 mai 2002.

P. Renaud, J. Real, H. Maubert and S. Roussel-Debet, 1999. Dynamic modelling of the cesium, strontium and ruthenium to grass and vegetables. Health Physics, Vol. 76(5), pp. 495-501.