

Note d'information

(mise à jour de la note du 09/10/2017)

Détection de ruthénium-106 en France et en Europe

Résultat des investigations de l'IRSN

Du ruthénium-106¹ a été détecté dès fin septembre par plusieurs réseaux européens de surveillance de la radioactivité dans l'atmosphère, à des niveaux de l'ordre de quelques millibecquerels par mètre cube d'air. Les investigations de l'IRSN permettent d'apporter des éléments sur la localisation possible de la source de rejet ainsi que l'ordre de grandeur des quantités rejetées.

Dès qu'il a eu connaissance des premières détections de ruthénium-106 dans l'atmosphère en Italie le 3 octobre dernier, l'IRSN a mobilisé l'ensemble de ses moyens de surveillance radiologique de l'atmosphère et a procédé à l'analyse régulière des filtres de ses stations de surveillance². Pour la période du 27 septembre au 13 octobre, seuls ceux des stations de la Seyne-sur-Mer, Nice et Ajaccio ont révélé la présence de ruthénium-106 à l'état de traces. Durant cette période, la valeur la plus importante, soit 46 microbecquerels/m³, a été relevée à Nice entre le 2 et le 9 octobre. Depuis le 13 octobre, le ruthénium-106 n'est plus détecté en France. L'ensemble des résultats de mesures effectuées par l'IRSN entre le 26 septembre et le 19 octobre sont présentés en Annexe 1.

Les résultats de mesures de stations européennes communiqués à l'Institut depuis le 3 octobre 2017 ont confirmé la présence de ruthénium-106 dans l'atmosphère de la majorité des pays européens. Les niveaux maximums observés début octobre ont atteint des valeurs de l'ordre de la centaine de millibecquerels par mètre cube d'air. **Les résultats obtenus pour des périodes de prélèvements postérieures au 6 octobre 2017 ont montré une décroissance régulière des niveaux de ruthénium-106 qui n'est, à l'heure actuelle, plus détecté en Europe.**

Les niveaux de concentration dans l'air en ruthénium-106 qui ont été relevés en Europe et *a fortiori* en France sont sans conséquence tant pour la santé humaine que pour l'environnement.

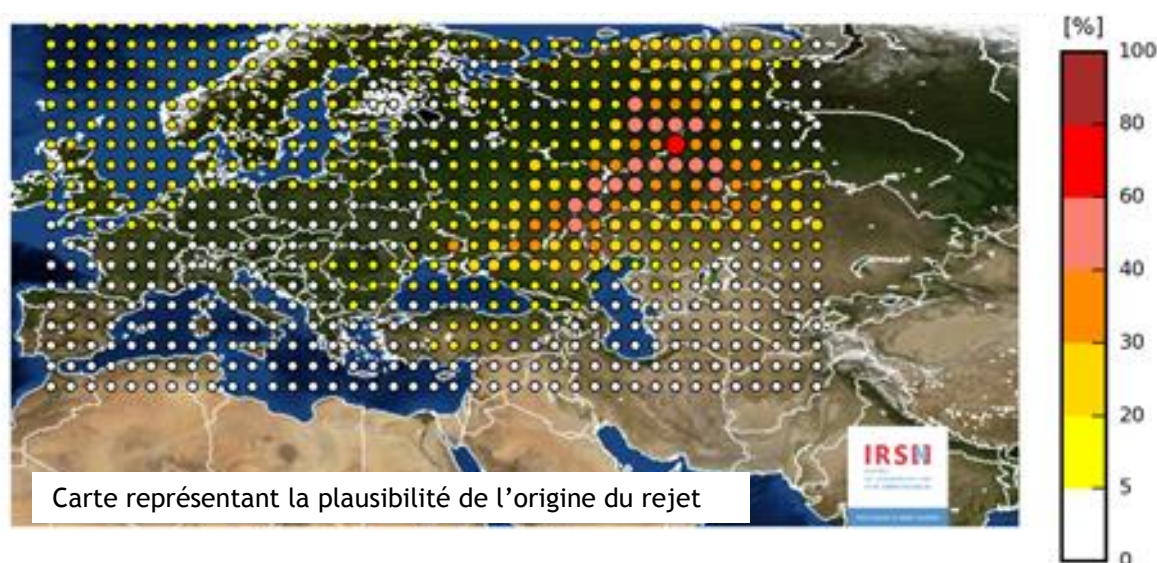
La détection de ruthénium-106 seul exclut la possibilité d'un rejet issu d'un réacteur nucléaire qui se traduirait par la présence d'autres radionucléides. L'origine du ruthénium-106 est donc à rechercher soit dans des installations du cycle du combustible nucléaire ou de fabrication de sources radioactives soit dans les conséquences de la rentrée dans l'atmosphère d'un satellite équipé d'un générateur thermoélectrique à ruthénium. Cette dernière hypothèse a été étudiée par l'AIEA qui a conclu qu'aucun satellite contenant du ruthénium-106 n'était retombé sur terre durant cette période. En conséquence, l'IRSN a, dans ses investigations, fait l'hypothèse d'un rejet issu d'une installation.

¹ Le ruthénium 106 est un radionucléide d'origine artificielle. Il s'agit d'un produit de fission issu de l'industrie nucléaire. Ce radionucléide est par ailleurs utilisé dans le domaine médical pour des traitements par curiethérapie.

² En France, l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) a la mission de surveillance de l'atmosphère à l'échelle du territoire et dispose pour cela d'un réseau (OPERA-Air) de plus de quarante stations de collecte d'aérosols par filtration d'air, dont une dizaine à très grand débit (jusqu'à 700 m³ d'air par heure) et de moyens de mesures pouvant déceler des traces de radionucléides.

A partir des conditions météorologiques fournies par Météo France et des résultats de mesure disponibles dans les pays européens, l'IRSN a réalisé des simulations afin de localiser la zone de rejet, d'évaluer la quantité de ruthénium rejetée ainsi que la période et la durée de rejet. La première étape de ces simulations a consisté à diviser le territoire européen en mailles de taille identique. Pour chacune de ces mailles, l'IRSN a simulé un rejet de ruthénium-106 et a quantifié la cohérence entre la simulation et les 368 mesures issues de 28 pays européens.

La carte ci-dessous représente pour chacune des mailles la plausibilité de l'origine du rejet. **Elle synthétise les résultats obtenus et confirme que la zone de rejet la plus plausible se situe entre la Volga et l'Oural sans qu'il ne soit possible, avec les données disponibles, de préciser la localisation exacte du point de rejet.** En effet, c'est dans cette zone géographique que la simulation d'un rejet de ruthénium permet de mieux reproduire les mesures obtenues en Europe.



Carte identifiant, sur la base de la comparaison modèle-mesures, la zone de rejet la plus plausible. Pour un rejet simulé en chaque point du maillage, la comparaison consiste à estimer le pourcentage de données modélisées qui sont dans un facteur 2 par rapport aux mesures réelles. La zone avec le pourcentage le plus élevé est identifiée comme la zone de rejet la plus plausible.

Pour la zone de rejet la plus plausible, **la quantité de ruthénium-106 rejetée estimée par les simulations de l'IRSN est très importante car comprise entre 100 et 300 térabecquerels.** Le rejet, accidentel eu égard à la quantité rejetée, aurait eu lieu au cours de la dernière semaine du mois de septembre.

L'ensemble de ces résultats a été soumis à l'évaluation critique de plusieurs experts internationaux qui n'ont remis en cause ni la méthode utilisée ni les résultats obtenus. Ils ont, par ailleurs, pu être comparés avec ceux issus de simulations effectuées par des organismes homologues en Europe et dans le monde et utilisant des méthodes et des modèles météorologiques différents de ceux retenus par l'IRSN. De ces comparaisons, il ressort que, tant en ce qui concerne la localisation de la zone de rejet que la quantité rejetée, les évaluations de l'IRSN sont en très bon accord avec celles effectuées par ces organismes pairs.

Du fait des quantités rejetées, les conséquences d'un accident de cette ampleur en France auraient nécessité localement de mettre en œuvre des mesures de protection des populations sur un rayon de l'ordre de quelques kilomètres autour du lieu de rejet.

Pour ce qui concerne les denrées alimentaires, le dépassement des niveaux maximaux admissibles (NMA³) pour les denrées alimentaires (1250 Bq/kg pour le ruthénium-106 et pour les denrées autres que le lait) serait quant à lui observé sur des distances de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres autour du point de rejet. La possibilité de dépassement des NMA à proximité du lieu de l'accident a conduit l'IRSN à étudier le scénario d'importation de denrées alimentaires issues de cette zone. De cette analyse (voir l'annexe 2 pour plus de détails), **il ressort que l'IRSN considère, d'une part que la probabilité d'un scénario qui verrait l'importation en France de denrées (notamment des champignons) contaminées par du ruthénium-106 à proximité de la source de rejets est extrêmement faible et, d'autre part, que le risque sanitaire potentiel lié à ce scénario est lui aussi très faible.** Il n'apparaît donc pas nécessaire de mettre en place des contrôles systématiques de la contamination des denrées importées. A titre de précaution, des contrôles par sondage pourraient néanmoins être utilement réalisés.

³ Dernier règlement EURATOM n°2016/52 du 15 janvier 2016 fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique.

Annexe 1 : Mise à jour des résultats des mesures en France (25/10/2017)

| Station de prélèvement | Période de prélèvement | | Concentration dans l'air (mBq/m ³) en Ruthénium-106 |
|------------------------|------------------------|------------|---|
| | | | (les résultats indiqués en < correspondent à des valeurs inférieures au seuil de détection) |
| Orsay * | 27/09/2017 | 03/10/2017 | < 0,007 |
| La Seyne sur Mer * | 26/09/2017 | 03/10/2017 | 0,0074 +/- 0,0014 |
| La Seyne sur Mer * | 03/10/2017 | 11/10/2017 | 0,0197 +/- 0,0034 |
| La Seyne sur Mer * | 11/10/2017 | 13/10/2017 | 0,00155 +/- 0,0007 |
| Bordeaux * | 25/09/2017 | 02/10/2017 | < 0,005 |
| Charleville-Mézières * | 26/09/2017 | 03/10/2017 | < 0,009 |
| Ajaccio** | 25/09/2017 | 02/10/2017 | < 0,0043 |
| Ajaccio** | 02/10/2017 | 09/10/2017 | 0,0082 +/- 0,0028 |
| Ajaccio** | 09/10/2017 | 16/10/2017 | < 0,009 |
| Bugey** | 25/09/2017 | 02/10/2017 | < 0,013 |
| Bugey** | 02/10/2017 | 09/10/2017 | < 0,031 |
| Bugey** | 09/10/2017 | 16/10/2017 | < 0,025 |
| Cadarache** | 25/09/2017 | 02/10/2017 | < 0,030 |
| Cadarache** | 02/10/2017 | 09/10/2017 | < 0,012 |
| Cadarache** | 09/10/2017 | 16/10/2017 | < 0,015 |
| Cattenom** | 25/09/2017 | 02/10/2017 | < 0,025 |
| Cattenom** | 02/10/2017 | 09/10/2017 | < 0,021 |
| Cattenom** | 09/10/2017 | 16/10/2017 | < 0,060 |
| Cruas** | 02/10/2017 | 09/10/2017 | < 0,011 |
| Cruas** | 09/10/2017 | 16/10/2017 | < 0,050 |
| Fessenheim** | 25/09/2017 | 02/10/2017 | < 0,023 |
| Fessenheim** | 02/10/2017 | 09/10/2017 | < 0,021 |
| Fessenheim** | 09/10/2017 | 16/10/2017 | < 0,018 |
| Grenoble** | 29/09/2017 | 02/10/2017 | < 0,053 |
| Grenoble** | 02/10/2017 | 06/10/2017 | < 0,014 |
| Grenoble** | 09/10/2017 | 12/10/2017 | < 0,010 |
| Grenoble** | 13/10/2017 | 16/10/2017 | < 0,015 |
| Marcoule** | 25/09/2017 | 28/09/2017 | < 0,021 |
| Marcoule** | 28/09/2017 | 02/10/2017 | < 0,023 |
| Marcoule** | 02/09/2017 | 05/10/2017 | < 0,006 |
| Marcoule** | 05/10/2017 | 09/10/2017 | < 0,011 |
| Marcoule** | 09/10/2017 | 12/10/2017 | < 0,018 |
| Marcoule** | 12/10/2017 | 16/10/2017 | < 0,023 |
| Marcoule** | 16/10/2017 | 19/10/2017 | < 0,024 |
| Nancy** | 25/09/2017 | 02/10/2017 | < 0,011 |
| Nancy** | 02/10/2017 | 09/10/2017 | < 0,011 |
| Nancy** | 09/10/2017 | 16/10/2017 | < 0,0046 |
| Nice** | 25/09/2017 | 02/10/2017 | 0,0068 +/- 0,0027 |
| Nice** | 02/10/2017 | 09/10/2017 | 0,046 +/- 0,0078 |
| Nice** | 09/10/2017 | 16/10/2017 | < 0,007 |
| Penly** | 25/09/2017 | 02/10/2017 | < 0,023 |
| Penly** | 02/10/2017 | 09/10/2017 | < 0,022 |
| Penly** | 09/10/2017 | 16/10/2017 | < 0,027 |
| Prevessin (CERN) ** | 25/09/2017 | 02/10/2017 | < 0,007 |
| Prevessin (CERN) ** | 02/10/2017 | 09/10/2017 | < 0,033 |
| Tricastin** | 25/09/2017 | 02/10/2017 | < 0,026 |
| Tricastin** | 02/10/2017 | 09/10/2017 | < 0,010 |
| Tricastin** | 09/10/2017 | 16/10/2017 | < 0,016 |
| Saint Alban** | 25/09/2017 | 02/10/2017 | < 0,033 |
| Saint Alban** | 02/10/2017 | 09/10/2017 | < 0,024 |
| Saint Alban** | 09/10/2017 | 16/10/2017 | < 0,026 |
| Villeneuve d'Ascq** | 26/09/2017 | 29/09/2017 | < 0,160 |
| Villeneuve d'Ascq** | 29/09/2017 | 03/10/2017 | < 0,059 |
| Villeneuve d'Ascq** | 03/10/2017 | 06/10/2017 | < 0,050 |
| Villeneuve d'Ascq** | 06/10/2017 | 13/10/2017 | < 0,012 |
| Villeneuve d'Ascq** | 13/10/2017 | 17/10/2017 | < 0,100 |

* Les stations situées sur les localités repérées par un astérisque ont des débits de filtration d'air très importants (jusqu'à 700 m³/h) permettant de détecter des traces.

** Les stations situées sur les localités repérées par deux astérisques ont des débits de filtration d'air de 80 m³/h.

Le Ruthénium-106 et les risques associés

1- Caractéristiques physiques du ruthénium-106

Le ruthénium est un métal de transition qui fait partie du groupe du platine avec l'iridium, l'osmium et le rhodium. Sous forme métallique, il ne réagit pas avec les acides, l'eau ou l'air. Cet élément chimique est extrêmement volatil et réagit avec les sulfures, l'éthanol, le charbon...

Le ruthénium 106 est un radionucléide d'origine artificielle. Il s'agit d'un produit de fission issu de l'industrie nucléaire. Il a une demi-vie radioactive de 372,6 jours.

En se désintégrant, le ruthénium 106 se transforme en rhodium-106 (demi-vie de 30 secondes). C'est un émetteur bêta pur mais compte tenu de la demi-vie très courte de son descendant, il est généralement à l'équilibre radioactif avec le rhodium 106 et les rayonnements gamma de celui-ci sont également à considérer.

2- Comportement du ruthénium dans l'environnement

Peu d'informations sont disponibles concernant le comportement du ruthénium dans l'environnement et, plus particulièrement, dans la chaîne alimentaire.

A notre connaissance, il apparaît que le ruthénium est un élément généralement peu mobile dans les sols, sa mobilité dépendant de sa forme chimique. Contrairement au césium (qui est un analogue du potassium, élément essentiel au développement biologique des plantes), le ruthénium n'est pas un analogue d'un élément biologiquement essentiel pour la flore. Son absorption par les racines des plantes est donc très faible comparée au césium ou au strontium. De plus, jusqu'à 99% de la teneur totale en ruthénium absorbée par les plantes est retenue par le système racinaire, et seule une très petite quantité est accumulée dans la masse aérienne. Parmi les produits de fission, le ruthénium-106 fait partie de ceux les moins disponibles pour l'absorption par les plantes. **Le ruthénium-106 est ainsi très faiblement transféré dans la chaîne alimentaire.**

3- Voies d'exposition et comportement biologique du ruthénium chez l'homme

D'une façon générale, l'homme peut être exposé à des rayonnements ionisants à partir d'une source radioactive se trouvant à l'extérieur de son organisme : on parle alors d'exposition externe. Il peut aussi être exposé à partir d'une substance radioactive ayant pénétré à l'intérieur de son organisme : on parle alors d'exposition interne.

Une personne présente en un endroit où l'air est contaminé par du ruthénium 106 est potentiellement exposée selon ces deux voies, mais la principale voie d'exposition est celle liée à son incorporation (inhalation ou ingestion).

En cas d'ingestion, seule une fraction du ruthénium est absorbée dans le système digestif. Selon la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR, publication 67), cette fraction est d'environ 5%, quels que soient les composés. L'organe le plus exposé en cas d'ingestion est le côlon.

En cas d'inhalation, l'absorption pulmonaire qui précède sa distribution dans l'organisme dépend de la forme physico-chimique des composés. Les organes les plus exposés sont dans ce cas le côlon et les poumons.

Une fois absorbé dans l'organisme, le ruthénium se distribue de manière relativement uniforme dans les tissus. La CIPR indique qu'environ 35% de l'activité absorbée est retenue dans les tissus avec une demi-vie

biologique de 8 jours, 30% avec une demi-vie biologique de 35 jours et 20% avec une demi-vie biologique de 1 000 jours. La demi-vie biologique dans les fluides corporels (c'est-à-dire le temps au bout duquel la moitié de la quantité initialement présente a été éliminée) est de 0,3 jour et il est admis que 15% de l'activité systémique est excrétée directement, majoritairement par voie urinaire (4 fois plus que par voie fécale).

4- Propriétés radio-toxicologiques et risque associé au ruthénium-106

Le risque radiologique lié à l'exposition au ruthénium-106 peut être estimé à partir d'évaluations dosimétriques tenant compte du comportement biologique du composé de ruthénium considéré et de ses caractéristiques physiques d'émission.

En tout état de cause, le risque dépend de la quantité incorporée. A titre indicatif, la dose efficace engagée⁴ reçue par une personne (adulte) qui serait exposée pendant toute une année à du ruthénium 106 présent dans l'air à une concentration de 1 Bq/m³ (soit plus de 100 000 fois la valeur mesurée en France à la Seyne-sur-Mer (Var) du 26 septembre au 3 octobre 2017) serait de 0,5 milli-sievert (mSv). Cette dose peut être comparée à la limite de dose de 1 mSv par an fixée pour la population par le Code de la santé publique. **L'exposition à du ruthénium-106 mesuré à très faibles niveaux en France (quelques dizaines de microbecquerels pendant quelques jours) ainsi qu'en Europe (une centaine de millibecquerels au maximum pendant quelques jours) est donc insignifiante en termes sanitaires.**

En revanche, une personne se trouvant dans les cinq premiers kilomètres du lieu à l'origine du rejet a pu recevoir une dose de plusieurs dizaines de millisieverts qui aurait nécessité la mise en place d'actions de protection telles que la mise à l'abri ou l'évacuation.

5- Contamination des denrées alimentaires

Le ruthénium-106 présent dans l'atmosphère se dépose dans l'environnement en contaminant de manière plus ou moins importante les milieux agricoles et forestiers. Le ruthénium n'étant pas un analogue d'un élément biologique essentiel, son absorption par les plantes est faible et les productions animales (lait, viande) ne sont alors que très faiblement contaminées.

En conséquence, les légumes-feuilles et les champignons sont les denrées alimentaires qui présentent le plus grand risque d'être contaminés directement par des dépôts de ruthénium-106 sur les feuilles ou les parties visibles des champignons. Selon la DGCCRF, seuls des champignons étant importés de la zone concernée, on se focalise par la suite sur cette seule denrée.

En cas de dépôt de ruthénium-106 pendant la période de pousse des champignons, la contamination de ces derniers est principalement liée au dépôt atmosphérique direct. Pour les récoltes suivantes, la concentration dans les champignons sera induite par transfert du radionucléide présent dans le sol (via le mycélium et dans la mesure où le ruthénium aura atteint le mycélium).

La contamination liée au dépôt directement sur le champignon ne peut dépasser le niveau maximal admissible défini par le règlement Euratom 2016/52 de 1250 Bq/kg que si celui-ci est ramassé dans une zone où la contamination surfacique est comprise entre 60 000 et 100 000 Bq/m². D'après les estimations de l'IRSN pour cet événement, seuls les champignons cueillis dans une zone de 40 km autour du site ayant rejeté du ruthénium sont susceptibles de présenter une contamination supérieure aux normes européennes.

⁴ La dose efficace désigne la dose de rayonnements ionisants délivrée au corps entier de l'individu exposé, tenant compte des caractéristiques des rayonnements émis et de la sensibilité propre de chacun des organes aux rayonnements. Elle est exprimée en milli-sievert (mSv)

La contamination liée au transfert racinaire du champignon est très variable, et dépend de la profondeur du mycélium. Malgré le manque de références bibliographiques disponibles, à notre connaissance, il semblerait que le ruthénium soit transféré aux champignons avec un facteur de transfert égal à 10^{-2} m²/kg (équivalent à celui du césium pour les espèces les moins sensibles). Pour que la contamination des champignons dépasse le niveau maximal admissible du règlement Euratom, cela implique une contamination des sols d'environ 2 000 000 Bq/m². D'après les évaluations de l'IRSN pour cet événement, une telle contamination ne peut pas être rencontrée à plus de 2 km du site à l'origine du rejet de ruthénium 106.

En conclusion, il est possible que des champignons ramassés juste après le passage du panache radioactif (*a priori* dans la période du 26-27 septembre) dans une zone située à moins de 50 km du lieu de rejet présentent une contamination par dépôt atmosphérique, dépassant le niveau maximal admissible défini par le règlement Euratom 2016/52 de 1250 Bq/kg due à un dépôt direct de radioactivité. Il est fort peu probable que la contamination des champignons ayant poussé après le passage du panache radioactif dépasse le niveau maximal admissible, les facteurs de transfert par les racines étant extrêmement faibles.

A titre d'illustration, il faudrait que la population la plus à risque (enfant de 2 à 7 ans) consomme 32 kg d'aliments contaminés à 1250 Bq/kg pour engager une dose efficace par ingestion de 1 mSv.

| | Coeff. dose (Sv/Bq) | Activite (Bq/kg) | Dose efficace (mSv) | Quantité champignons (kg) |
|-----------------------------|---------------------|------------------|---------------------|---------------------------|
| Pour un enfant de 2 à 7 ans | 2.5E-08 | 1250 | 1 | 32 |

Sur la base des éléments présentés ci-dessus, l'IRSN considère, d'une part que la probabilité d'un scénario qui verrait l'importation en France de denrées (notamment des champignons) contaminées par du ruthénium-106 à proximité de la source de rejets est extrêmement faible et, d'autre part, que le risque sanitaire potentiel lié à ce scénario est lui aussi très faible. Il n'apparaît donc pas nécessaire de mettre en place des contrôles systématiques de la contamination des denrées importées. A titre de précaution, des contrôles par sondage pourraient néanmoins être utilement réalisés.

6- Bibliographie

Commission Internationale de Protection Radiologique. ICRP publication 67. *Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 2 Ingestion Dose Coefficients*. Ann. ICRP 23 (3-4), 1993

Commission Internationale de Protection Radiologique. ICRP publication 88. *Doses to the Embryo and Fetus from Intakes of Radionuclides by the Mother*. Ann. ICRP 31 (1-3), 2001.

CNESST : *commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail*. http://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/fiche-complete.aspx?no_produit=284034 (consulté le 06/10/2017)

TECDOC 1616 de l'AIEA – "Quantification of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments" de mai 2009.

Renaud et al., 1999. *Dynamic modeling of the cesium, strontium and ruthenium transfer to grass and vegetables*. *Health Physics* Vol n°76, Number 5, may 1999.

Renaud et al., 1997 – *Contamination des productions agricoles de base suite à une émission atmosphérique accidentelle – deuxième partie. Le modèle ASTRAL CRISE. Rapport SERE 97/018.*