

Avis du Conseil Scientifique de l'IRSN
sur

les travaux de l'IRSN visant à reconstituer les
retombées en France de l'accident de
Tchernobyl

Mars 2006

EN BREF

Le Conseil Scientifique a été mandaté pour évaluer « *la pertinence et l'adéquation des différentes approches adoptées par l'IRSN pour estimer les retombées atmosphériques en France consécutives à l'accident de Tchernobyl au regard des buts poursuivis (estimer les doses reçues par la population, expliquer les activités mesurées dans les sols) et des données disponibles* ».

Il ressort de l'analyse des documents mis à la disposition du Conseil et des auditions qu'il a conduites les avis et recommandations dont un résumé est donné dans ce qui suit.

L'IRSN a effectué depuis vingt ans un important travail d'analyse des données disponibles suite aux retombées de radionucléides dues à l'accident de Tchernobyl. Les modèles interprétatifs développés dans ce cadre sont cohérents avec les tentatives d'interprétation faites dans d'autres pays également touchés par cette contamination. La faiblesse des données, la complexité et la variabilité des mécanismes qui concourent au dépôt, rendent injustifiée la poursuite d'efforts tournés vers la reconstitution du passé, ce qui n'exclut pas d'utiliser l'accident de Tchernobyl comme élément de référence pour le développement de meilleurs outils pour l'analyse de risque et une meilleure maîtrise des modes de communication en situation de crise. Au vu des connaissances disponibles à l'époque du lancement des différentes études, et tout en regrettant que n'aient pas été soulignées autant que nécessaire les incertitudes sur les résultats obtenus, le Conseil confirme la validité des démarches mises en œuvre par l'IRSN pour aborder cette question.

- Compte tenu de la faiblesse des données de 1986 et des incertitudes des modèles utilisés avec les données ultérieures, la reconstitution de la contamination due à l'accident de Tchernobyl, 20 ans après, a atteint ses limites.
- Cette insuffisance, couplée à la physique mise en jeu lors du transport et dépôt du panache de contamination justifie clairement l'utilisation par l'IRSN d'une démarche de modélisation, exploitant notamment une relation empirique pluie-dépôt, pour mieux estimer la contamination du territoire, même s'il doit être reconnu que celle-ci n'a pas complètement exploité la conception d'outils d'analyse plus statistiques.

Le Conseil recommande :

- De ne pas poursuivre d'études destinées à produire de nouvelles reconstitutions des retombées de l'accident de Tchernobyl en France.
- De conclure, cependant, le très volumineux travail réalisé par une synthèse donnant les résultats des études de reconstitution des dépôts de césium à une échelle (zone ou département), avec leurs incertitudes. Ceci afin de permettre éventuellement une comparaison avec les études antérieures (1997 et carte européenne) et d'évaluer les conséquences sur l'exposition des personnes, en s'intéressant aux valeurs moyennes et aux groupes ou individus critiques.
- D'exploiter le retour d'expérience sur l'interprétation des retombées de l'accident de Tchernobyl pour améliorer l'adaptation du réseau d'observation à ce type de crise (privilégier les mesures directes, valider et améliorer les protocoles de mesure, définir et mettre en place un réseau adapté et coordonné à l'échelle européenne, développer des mesures directes par spectrogammamétrie, et réaliser un état des lieux périodiques de la contamination des sols en césium), en soulignant à cet égard le grand intérêt de la modélisation aussi pour l'analyse de risque.
- De développer des modèles adaptés à l'analyse et la gestion du risque malgré la difficulté inhérente à la complexité des mécanismes en jeu, à savoir : adapter les modèles à leur usage en gestion de crise, approfondir leur dimension statistique, réaliser un meilleur couplage opérationnel avec les données météorologiques, utiliser le cas Tchernobyl pour le test et la validation des outils, ainsi que pour la réflexion prospective.

Sommaire

I	INTRODUCTION	4
II	EVALUATION DES DONNEES	7
II.1	ANALYSE	7
II.1.1	<i>Critères de qualité des mesures.....</i>	7
II.1.2	<i>Plans et procédures d'échantillonnage.....</i>	9
II.1.3	<i>Données de consommation et d'exposition.....</i>	10
II.1.4	<i>Mise à disposition des données</i>	11
II.2	RECOMMANDATIONS	12
II.2.1	<i>Reconstitution du passé</i>	12
II.2.2	<i>Acquisition et exploitation des mesures dans le contexte d'un accident futur</i>	12
II.2.3	<i>Échantillonnage</i>	13
II.2.4	<i>Réaliser un état des lieux et le faire connaître</i>	13
III	MODELES INTERPRETATIFS	15
III.1	ANALYSE.....	15
III.2	RECOMMANDATIONS	18
III.2.1	<i>Reconstitution du passé</i>	18
III.2.2	<i>Des modèles diagnostiques en cas d'alerte.....</i>	19
III.2.3	<i>Des modèles et des données de qualité.....</i>	19
III.2.4	<i>Des modèles interprétatifs pour le futur.....</i>	19
III.2.5	<i>Conclusion.....</i>	20
IV	CALCUL DES DOSES A LA POPULATION.....	21
IV.1	ANALYSE.....	21
IV.2	RECOMMANDATIONS	23
IV.2.1	<i>Reconstitution du passé</i>	23
IV.2.2	<i>Gestion de crise</i>	23
V	SYNTHESE	25
V.1	RECONSTITUTION DES DEPOTS ET DES DOSES DUS A L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL.....	25
V.1.1	<i>Données.....</i>	25
V.1.2	<i>Modèles.....</i>	25
V.1.3	<i>Recommandations concernant la reconstitution des dépôts et des doses.....</i>	26
V.2	RECOMMANDATIONS POUR L'AVENIR.....	26
V.2.1	<i>Réseau d'observation</i>	27
V.2.2	<i>Modèles, et analyse de risque</i>	27
V.3	CONCLUSION GENERALE	29
VI	ANNEXE: COMPOSITION DE LA COMMISSION D'EXPERTS AYANT ASSISTE LE CONSEIL SCIENTIFIQUE ...	31

I INTRODUCTION

Dans le contexte du vingtième anniversaire de l'accident de Tchernobyl, et d'un certain nombre de discussions critiques concernant les travaux effectués par l'IRSN sur la reconstitution des retombées en France (notamment dans le cadre du Groupe de travail dit « mission Aurengo » démarré en 2002), le Conseil Scientifique de l'IRSN a mis en place une procédure d'évaluation concernant les méthodologies d'études utilisées par l'IRSN sur le sujet et les différents résultats produits. Il l'a fait en réponse à la demande transmise au Conseil Scientifique de la part des ministères de tutelle, lors de la séance du 15 novembre 2005, par la direction de l'IRSN. En conséquence, l'évaluation a porté essentiellement sur « *la pertinence et l'adéquation des différentes approches adoptées par l'IRSN pour estimer les retombées atmosphériques en France consécutives à l'accident de Tchernobyl au regard des buts poursuivis (estimer les doses reçues par la population, expliquer les activités mesurées dans les sols) et des données disponibles* ».

Les travaux de l'IRSN sont marqués par 3 jalons qui feront l'objet d'une analyse plus détaillée dans la suite de ce rapport:

- Une première analyse publiée en 1997 a conduit, en s'appuyant sur des mesures disponibles de contamination de productions agricoles, et sur le modèle ASTRAL (modèle dynamique consacré au calcul de la contamination des productions agricoles à la suite d'un dépôt atmosphérique de radionucléides), à découper la France en 4 zones. Chaque zone regroupe les départements pour lesquels l'activité surfacique *moyenne* déposée sur les surfaces agricoles appartient à une même classe de valeurs. Ces activités surfaciques moyennes ont été corrélées, via le modèle ASTRAL, aux activités mesurées dans les produits agricoles telles qu'observées en 1986 (environ 900 observations). La part de cette exposition provenant de l'ingestion de denrées contaminées a également été comparée aux charges corporelles de ¹³⁷Cs mesurées chez les travailleurs de l'industrie nucléaire, mesurées entre 1986 et 1988 sur 39 sites essentiellement localisés dans les régions Rhône-Alpes, Haute Normandie, et Provence Alpes Côte d'Azur. Les résultats ainsi obtenus en termes de contamination de la chaîne alimentaire et de dépôt ont été utilisés pour évaluer l'exposition moyenne des populations dans chacune des 4 zones. L'existence de mesures indiquant des activités de sol plus élevées que celles attribuées en moyenne dans chaque zone a été également relevée dans les travaux présentés en 1997, sans toutefois proposer une analyse quantitative précise du phénomène. Ces dépôts localement plus élevés identifiés par des mesures ont été pris en compte pour évaluer l'exposition d'individus critiques que la situation géographique et le comportement alimentaire mettaient en situation d'exposition majorante par rapport au reste de la population. En l'absence d'outils permettant d'évaluer correctement, d'une part, la répartition géographique détaillée du dépôt en raison du relativement faible nombre de mesures directes et de la faible couverture du territoire qu'elles représentaient, et, d'autre part, les comportements alimentaires des populations, aucune analyse statistique n'a pu être effectuée.

- L'existence de mesures d'activités des sols significativement supérieures aux activités moyennes départementales proposées dans l'étude de 1997 a conduit l'IRSN à développer un modèle plus mécanistique basé sur une corrélation pluies-dépôts. Son expression mathématique est cependant très empirique, compte tenu de la complexité des mécanismes impliqués, et de l'insuffisance des observations, ce qui a donc nécessité un calage à partir de données existantes. Ce modèle publié en 2003, a fait l'objet de nombreuses discussions, notamment dans le cadre de la « mission Aurengo », ce qui a conduit les chercheurs de l'IRSN à proposer des améliorations en vue de mieux prendre en compte des mécanismes conduisant au dépôt. Ce modèle a été présenté en 2005 ; ses performances et ses marges d'amélioration ont été discutées dans le cadre de la « mission Aurengo » et de la présente investigation du Conseil Scientifique.

Les travaux de 2003 et 2005, en s'appuyant sur le principe de cette corrélation pluies-dépôts, permettent, dans leur principe, une analyse plus détaillée des dépôts à l'échelle nationale que celle de 1997 et ont conduit à proposer une carte des dépôts de mai 1986 expliquant mieux les activités observées sur le terrain.

L'ensemble de ces travaux soulève plusieurs questions quant

- à la cohérence des diverses analyses entre elles,
- au statut scientifique des divers modèles utilisés, et à leur valeur (en distinguant moyennes et variance)
- à la pertinence de leur utilisation pour le calcul de doses, et l'analyse de risque.

Compte tenu des enjeux scientifiques, et au delà, le Conseil Scientifique a adopté la méthode de travail suivante:

- constitution d'une Commission d'experts, notamment européens, pilotée par le Conseil Scientifique,
- établissement d'un rapport par cette commission examiné et validé lors d'une séance plénière du Conseil Scientifique.

La Commission et le Conseil Scientifique ont entendu les chercheurs de l'IRSN, ainsi que le Professeur Aurengo. Il faut souligner ici le professionnalisme des diverses contributions qui ont permis d'avancer dans ce travail. De nombreux documents déjà publiés ont été analysés, et certains autres ont été produits en réponse aux demandes d'éclairage de la part de la commission sur un certain nombre de points.

Ce rapport est découpé en plusieurs parties, en fonction des enjeux qui ont été esquissés ci-dessus. Il comprend:

- Une discussion sur les données disponibles. Il s'agit d'un problème majeur compte tenu qu'à l'époque de l'accident le réseau d'observation que l'on considère maintenant comme adapté à ce risque d'accident n'existait pas. Le couplage d'une physique complexe (celle des dépôts), avec des

données insuffisantes, est la source des difficultés d'interprétation qui alimentent largement les polémiques scientifiques sur la question des retombées (sans parler des polémiques sur l'exposition des populations sachant que la relation entre les dépôts et l'exposition des populations est elle-même très complexe).

- Une discussion sur les divers modèles interprétatifs proposés.
- Une discussion sur le calcul des doses à la population, notamment dans les zones où l'impact probable est le plus élevé.
- Une synthèse, tournée, d'une part, sur les outils actuels et leur utilisation dans le contexte des retombées de l'accident de Tchernobyl, et, d'autre part, sur un plan plus général, sur la validité des outils, notamment pour la gestion de futures crises éventuelles.

Cette dimension prospective est en effet fondamentale. La catastrophe de Tchernobyl a montré l'insuffisance des dispositifs disponibles à l'époque. La Commission et le Conseil Scientifique proposent donc un certain nombre de recommandations qui sont détaillées dans chaque chapitre et résumées au §V.2. Il s'agit pour l'essentiel de mettre en place des réseaux d'observation et de préparer des outils d'analyse souhaitables pour assurer une gestion de crise dans les meilleures conditions possibles.

II EVALUATION DES DONNEES

Selon les informations communiquées au Conseil, deux types de données ont été utilisées pour évaluer les retombées de Tchernobyl en France :

- des mesures d'activités faites sur des échantillons de différentes matrices et réparties en plusieurs campagnes ;
- des données prédites à l'aide de modèles basés sur la relation « pluies-dépôts » ou de logiciels, tel qu'ASTRAL (utilisé ici en méthode inverse, c'est-à-dire prédiction du dépôt à partir des contaminations observées).

II.1 ANALYSE

L'évaluation des données prédites sera abordée dans le chapitre III sur les Modèles interprétatifs, mais il est important de noter que, quel que soit le raffinement des modèles prédictifs employés, la qualité des données prédites dépendra toujours fortement de la qualité initiale des données de terrain.

II.1.1 CRITERES DE QUALITE DES MESURES

D'une façon générale, le nombre des mesures directement exploitables n'a pas permis de rendre compte de manière explicite de la répartition de la contamination sur l'ensemble du territoire et, en conséquence, de la distribution des doses reçues par l'ensemble de la population. En fait, les mesures effectuées par le SCPRI en 1986 dans le lait de vache et les légumes à feuilles permettent seulement d'établir une « moyenne » départementale de la contamination de ces aliments et des doses résultant de leur ingestion. Encore faut-il ici relativiser ce terme de moyenne car:

- les mesures donnant une valeur significative (au dessus des seuils de détection) sont peu nombreuses (500 mesures ¹³⁷Cs sur le lait, 150 sur les légumes à feuille...),
- on constate des fluctuations importantes de la contamination des productions agricoles au sein d'un même département, atteignant parfois un facteur 3 ; de plus, ces valeurs de mesure diminuent très rapidement, de l'ordre d'un ordre de grandeur au cours des quelques semaines suivant l'accident,
- en ce qui concerne la contamination des sols, les mesures montrent des variations d'un facteur 10 voire plus dans certains départements de l'Est de la France.

Le Conseil pense qu'il est difficile aujourd'hui, pour ne pas dire impossible, de valider, 20 ans après, certains protocoles expérimentaux. Les lacunes des systèmes d'assurance qualité ne permettent pas de garantir la traçabilité des méthodes de prélèvements et de mesures des nombreux résultats de mesures réalisées dans les laboratoires à l'époque de l'accident. Le Conseil est parfaitement conscient que cette situation de 1986 n'est

pas imputable aujourd'hui à l'IRSN en tant que tel. En revanche, il est aussi évident que si cet état perdurait il serait très préjudiciable. Il est donc important que l'IRSN maintienne en place un système d'assurance qualité qui permette, en permanence :

- de savoir selon quel protocole analytique exact a été faite une mesure;
- d'assurer la traçabilité de ces mesures.

Parmi les mesures disponibles, les chercheurs de l'IRSN ont été parfois conduits à effectuer un tri selon des critères correspondants à des interrogations, en soi, légitimes. Mais on peut regretter que les critères ayant servi à sélectionner les mesures jugées « pertinentes » ne soient pas tous clairement explicités. Par exemple, on ne connaît pas, au moins sous la forme d'une estimation, le nombre total de mesures initialement effectuées par les différentes structures de collecte, ni le taux de rejet pour « non pertinence ». Compte tenu des problèmes apparus suite à l'accident de Tchernobyl, le Conseil attire l'attention de l'IRSN sur la nécessité de réfléchir aux protocoles à retenir dans l'optique d'un réseau d'observation valable en cas de crise similaire, pour garantir notamment la traçabilité des critères de tri de données.

Pour les mesures réalisées après 1986, on ne peut pas qualifier d'optimal le choix des méthodes instrumentales et des protocoles. Il peut être sujet à discussion. Par exemple, il semble que la méthode de carottage du sol à profondeur variable engendre une plus forte variabilité des résultats que les *mesures par spectrométrie in situ*. Dans d'autres pays, cette dernière méthode est d'ailleurs considérée comme celle qu'il faut appliquer. Sans prétendre statuer sur cette question dans ce rapport, le Conseil pense qu'il est indispensable de procéder à une évaluation comparée des méthodes les mieux adaptées à l'établissement de cartes de contamination (prélèvements, mesures in situ au sol, mesures par voie aérienne). En effet, en l'absence d'une estimation de la part d'incertitude qui provient de la méthode, il est très délicat de se prononcer sur l'origine des fortes variances observées : sont-elles dues à la méthode de mesure, au plan d'échantillonnage ou à la variabilité naturelle du phénomène observé ? Des *données complémentaires*, comme des mesures de sols réalisées en particulier par la CRII-RAD postérieurement à 1986, ont également été utilisées, notamment des mesures de dépôts et d'autres mesures expérimentales de terrain. Il convient de souligner l'importance qualitative des mesures réalisées *rapidement* après les retombées par rapport à celles qui sont différées dans le temps. Leur utilisation après plusieurs années est parfois problématique. Incidemment, cet état de fait doit pousser l'IRSN, comme déjà indiqué, à étudier la mise en place d'un système d'assurance qualité et de validation, et à réfléchir à une mise en commun des mesures dans des bases de données validées.

Enfin, certaines mesures posent le problème de la connaissance des conditions initiales avant l'accident. Ainsi, il est difficile d'interpréter les mesures de césium dans le sol si on ne connaît pas bien la quantité de césium provenant des retombées des essais nucléaires atmosphériques. L'absence de cartographie de ce dépôt initial rajoute une incertitude parfois non négligeable à l'interprétation des mesures dans les sols, pour déterminer les retombées dues au seul accident de Tchernobyl.

II.1.2 PLANS ET PROCEDURES D'ECHANTILLONNAGE

Il convient de bien distinguer entre les diverses campagnes de mesure : celles de 1986 et celles qui sont postérieures. Rappelons que l'interprétation des mesures postérieures à 1986 est plus difficile en raison des incertitudes liées aux méthodes employées et à la difficulté de s'affranchir des phénomènes très complexes susceptibles de modifier localement l'activité déposée initialement.

Un point a retenu l'attention du Conseil, il porte sur une meilleure caractérisation des hétérogénéités. Une réflexion approfondie est nécessaire pour définir des plans de prélèvement d'échantillons de sol fournissant un ensemble de mesures représentatives des principales hétérogénéités des dépôts. De même, il est utile de décliner cette approche en fonction des divers compartiments concernés : sol, atmosphère, etc. Par exemple, la cohérence avec le modèle ASTRAL n'est correcte qu'à un ordre de grandeur près. Concernant les protocoles utilisés en 1986, là encore il apparaît qu'ils n'étaient pas forcément adaptés à des contaminations à l'échelle de l'accident de Tchernobyl. Si leur cohérence a cependant pu être *partiellement* vérifiée par des mesures anthropogammamétriques du ^{137}Cs réalisées en particulier chez les travailleurs du nucléaire, il est regrettable que ces résultats n'aient pas pu être complétés par les valeurs correspondantes pour ^{131}I . De telles valeurs ne pouvaient pas être obtenues pour ce nucléide, en raison du seuil de détection élevé (100 Bq), dans les mesures effectuées par les exploitants. Ce point est discuté au paragraphe IV ci-après.

Dans le cas des contaminants, il est reconnu que leurs distributions statistiques ne suivent généralement pas la loi normale : la moyenne arithmétique est donc un critère mal adapté pour restituer une vision globale et l'hétérogénéité de répartition des radionucléides dans l'échantillon explique la non normalité des distributions. Il est d'ailleurs recommandé d'en tenir compte pour proposer un mode d'échantillonnage adapté, souvent basé sur une augmentation de la taille de l'échantillon (comme dans le cas de mycotoxines dans les aliments). Dans ce contexte, la notion de « moyenne » départementale est-elle encore adaptée ? En effet, au sein d'un même département, on constate des fluctuations importantes des dépôts, parfois proches d'un ordre de grandeur et une moyenne simple n'est pas justifiée a priori, si on ne peut pas expliquer l'origine physique de ces fluctuations.

Ces remarques seraient atténuées par l'utilisation d'une méthode de mesure in situ réputée fournir des mesures plus homogènes. Le Conseil souligne ainsi le fait qu'on ne lui a pas vraiment proposé un modèle d'utilisation et/ou d'interprétation des données disponibles basé sur une évaluation de la *représentativité* de chaque mesure permettant de justifier pourquoi leur donner le même poids quelles que soient les pratiques agricoles, de collecte ou de mise sur le marché. Même si on pouvait proposer une pondération associée à chaque mesure, en fonction du volume ou de la surface qu'elle est censée représenter, pourrait-on encore faire des moyennes de ces données ?

Par ailleurs, si on se fixe comme objectif de cartographier une contamination, le dispositif d'échantillonnage le mieux adapté consiste sûrement en un maillage régulier de la zone d'intérêt. Si on y ajoute l'utilisation de

mesures météorologiques pour tenir compte de la relation « pluies-dépôts », on va dans le même sens. Le réseau de stations de mesure tel qu'il était en 1986 - qui favorise une répartition à proximité des centrales - était donc mal adapté à un objectif de cartographie nationale. Dans l'optique de la mise en place d'un réseau capable de gérer une future contamination par voie atmosphérique, il faudra considérer la mise en place d'un réseau réellement adapté à des mesures des retombées.

Sur la base de l'ensemble de ces considérations, le Conseil considère comme tout à fait justifiée la conclusion formulée par l'IRSN, à savoir que la démarche rétrospective se heurte à la faible représentativité des données mesurées et qu'aucune mesure nouvelle ne permettra de compenser cette carence et par conséquent d'améliorer notablement la cartographie actuellement disponible en réduisant les incertitudes de manière significative. Cependant, sur le plan méthodologique, un calcul d'estimation de l'incertitude des données prédites permettrait de faire ressortir les sources de variabilité. Ce calcul ne devrait pas soulever de grandes difficultés, compte tenu de la relative simplicité du modèle « pluies-dépôts » mis en œuvre et il pourrait servir à valider les protocoles à utiliser en cas de crise similaire. En effet, il faut s'interroger ici sur la variabilité observée. Elle semble a priori intrinsèque si on admet qu'elle est associée à des processus éminemment complexes allant de la physique de l'atmosphère, à la biologie, en passant par la physique des sols. Il est sans aucun doute illusoire de penser faire totalement disparaître cette variabilité par un réseau serré d'observations. Il est donc nécessaire, d'une part, de prendre en compte cette variabilité dans le modèle lui-même, en considérant, par exemple, certaines variables comme des variables aléatoires et, d'autre part, de penser le réseau et les protocoles d'observation en fonction de cette variabilité et des objectifs de l'analyse de risque.

Il convient ici de mentionner que ce constat est également valable pour d'autres pays. Malgré un investissement considérable de compétences et de moyens, l'IRSN s'est heurté aux limites de la modélisation en regard d'une demande de réponse sur l'état de la contamination dans l'espace et dans le temps à partir de mesures appropriées. Cela ne met pas en cause la qualité du travail fourni par l'IRSN et n'enlève rien à son effort de reconstitution des retombées de Tchernobyl en France visant à tirer un maximum de renseignements d'un minimum de mesures ainsi qu'à expliciter les phénomènes de transfert et d'accumulation observés dans des zones ateliers, qui ont permis de mieux rendre compte de la grande variabilité des dépôts de césium observés sur le terrain.

II.1.3 DONNEES DE CONSOMMATION ET D'EXPOSITION

Si les concentrations moyennes dans le lait et les légumes à feuilles semblent pertinentes pour estimer l'impact dosimétrique sur la population en général, elles ne renseignent pas sur les doses qu'ont pu recevoir des groupes critiques de la population dont les habitudes alimentaires ont vraisemblablement été à l'origine de doses nettement plus élevées. En effet, les estimations effectuées en Allemagne, Royaume Uni, et Suisse ont, par exemple, indiqué des doses jusqu'à 10 fois supérieures pour des consommateurs de produits locaux en comparaison avec ceux utilisant d'autres modes d'approvisionnement. De même, l'utilisation des résultats de

ces mesures à des fins de cartographie de la contamination du territoire français est soumise aux mêmes limites. Certes, elles rendent *qualitativement* compte du degré de contamination *moyen* croissant d'ouest vers l'est, selon la classification du territoire français en 4 zones basée sur les mesures du SCPRI, mais ne permettent pas une analyse des variations à l'échelle locale. Afin d'obtenir une cartographie plus détaillée, les travaux de l'IRSN ont consisté à sélectionner des mesures additionnelles (mesures initiales dans l'air, mesures ultérieures dans le sol) pour affiner en particulier les paramètres de la relation « pluies-dépôts », utilisée par la suite, et dont il était légitime de vouloir tirer profit. Ceci implique une approche par un modèle de la physique du dépôt. Ces approches par modélisation, qui seront discutées plus en détail par la suite, doivent cependant être interprétées avec précaution vu les incertitudes associées aux paramètres du modèle ainsi qu'à l'imprécision de la reconstitution des dépôts, imprécision qui croît en fonction du temps entre la date effective de dépôt et celle de la mesure reconstituante. L'information qu'elles apportent est certes précise dans les zones d'examen, mais son extrapolation sur l'ensemble du territoire peut conduire à une estimation entachée d'une forte incertitude, ce qui en fait plus un indicateur de l'ordre d'importance du niveau de dépôt atteint, suggérant qu'une région a été plus contaminée relativement à une autre, qu'une évaluation quantitative de la contamination surfacique du sol.

Afin de se placer dans une vision plus prospective, le Conseil souligne que la notion d'exposition moyenne, bien que fondée sur les pratiques de radioprotection (risque proportionnel à la dose, sans seuil, dans tout le domaine des faibles doses), ne suffit pas à la mise en place d'une politique de communication et de gestion du risque adaptée au contexte de gestion d'une situation de crise, ni aux attentes de la population après une crise. En effet, l'objectif fondamental d'une évaluation du risque en situation de crise est la mise en évidence de personnes ou de groupes de personnes à risque. L'exemple corse illustre bien le fait que la question n'est pas seulement de savoir si la population corse « en moyenne » a été exposée à tel ou tel niveau, mais si un groupe d'individus, grands consommateurs de produits laitiers (de chèvre et de brebis en l'occurrence) peut atteindre des niveaux d'exposition jugés excessifs. Pour atteindre cet objectif, il convient de prendre en compte, non plus les consommations moyennes, mais l'intégralité des courbes de distribution de consommations, comme celles dont on dispose aujourd'hui. De même, il faut utiliser les distributions de fréquence des contaminations dans les aliments ou, à défaut, dans les sols (dans la mesure où la corrélation sol/aliment-cible a été correctement établie). Diverses techniques de traitement, dites « probabilistes », de ce type de données sont aujourd'hui disponibles (cf. Projet européen MONTECARLO « Development, validation and application of stochastic modelling of human exposure to food chemicals and nutrients » <http://montecarlo.tchpc.tcd.ie/>).

II.1.4 MISE A DISPOSITION DES DONNEES

Entre 1986 et aujourd'hui, la demande sociétale pour une information aussi complète que possible sur tous les phénomènes touchant la santé publique a très fortement augmenté. Ainsi, la mise à disposition contrôlée des données relatives à Tchernobyl, notamment à destination de la communauté scientifique, sous la forme d'une base de données validées, permettrait de lever un certain nombre de points de blocage :

- Définition de la qualité des méthodes de mesure ou des techniques de modélisation ;
- Définition de la qualité des mesures en termes de représentativité et d'échantillonnage ;
- Coordination de moyens au niveau national et européen ;
- Approche comparative par différentes équipes et/ou disciplines,...

Si on se réfère à d'autres domaines où une mise à disposition contrôlée des données existe déjà, comme pour les missions satellitaires du CNES, cette procédure se révèle très fructueuse pour la recherche. Il s'agit bien sûr de réfléchir en profondeur à cette proposition destinée à faire progresser la recherche scientifique. Elle permettrait de mieux coordonner les efforts avec d'autres sources de données, comme les mesures météorologiques.

II.2 RECOMMANDATIONS

L'ensemble de l'analyse rétrospective de l'IRSN concernant les retombées de l'accident de Tchernobyl en France a mis en évidence le déficit en mesures collectées en 1986 pour évaluer de manière précise la contamination du territoire français et les doses aux groupes de population les plus touchés. Les estimations dont nous disposons aujourd'hui sont entachées d'importantes incertitudes. Les efforts de reconstitution des dépôts de ^{137}Cs , basée sur la relation avérée « pluies-dépôts » en tirant partie de mesures tardives ont montré les limites d'une approche par modélisation. Les recommandations suivantes visent à dégager une plus-value du travail considérable investi afin de disposer à l'avenir des éléments pertinents pour mieux apprécier une situation radiologique accidentelle.

II.2.1 RECONSTITUTION DU PASSE

1. Renoncer à la réalisation d'une nouvelle cartographie dans l'optique de reconstitution du passé, car aucun progrès significatif aussi bien pour la cartographie des dépôts de 1986 du césium, que pour l'estimation des doses à la population (voir chapitre IV) n'est à attendre par rapport aux données disponibles à l'époque et acquises à ce jour.
2. En utilisant les données déjà disponibles, présenter une cartographie consensuelle avec les 4 zones (et si possible à l'échelle du département) en indiquant l'incertitude des domaines de contamination (notamment en tenant compte des incertitudes de mesures et de la variabilité (qui semble physique) des paramètres alpha et bêta des modèles (ce point est discuté au chapitre III ci-après).

II.2.2 ACQUISITION ET EXPLOITATION DES MESURES DANS LE CONTEXTE D'UN ACCIDENT FUTUR

3. Dans le but de mieux décrire la diversité des impacts, mieux articuler l'emploi des modèles et des mesures et favoriser l'acquisition de mesures en nombre et en qualité suffisants pour atteindre une

représentativité satisfaisante au regard de la variabilité des retombées.

4. Développer un critère synthétique d'évaluation de la « qualité » des données, comme il en existe pour d'autres données de contamination, et proposer une base de données, contenant à la fois des résultats de mesures mais aussi des informations sur les conditions d'obtention permettant d'apprécier la « qualité » de la donnée, accessible à la communauté scientifique souhaitant conduire des études alternatives en toute transparence.
5. Poursuivre l'accréditation des laboratoires officiels (harmonisation et traçabilité) et, si possible, permettre un contrôle des données par une tierce partie.
6. Procéder à une évaluation comparée des méthodes les mieux adaptées à l'établissement de cartes de contamination, intégrant la spectrométrie gamma in situ pour faire un état des lieux, de préférence autour des stations météorologiques (corrélation avec la pluie). Cette démarche offre l'avantage d'une harmonisation avec les procédures utilisées par les pays voisins (Allemagne, Suisse et Belgique) pour l'établissement cartographique des contaminations et l'appréciation de l'exposition externe du public.
7. Proposer une approche pour l'estimation de l'incertitude des données prédites, en tenant compte de la part liée à la méthode de mesure, l'échantillonnage et l'hétérogénéité.

II.2.3 ÉCHANTILLONNAGE

8. Proposer des plans d'échantillonnage rigoureux pour éviter des biais méthodologiques et adaptés aux objectifs et aux échelles d'études spatiales et temporelles visées (voir § sur l'utilisation des modèles) : contamination autour des centrales, contamination régionale ... Examiner l'élargissement du réseau de mesures dans les régions sous dotées.

II.2.4 REALISER UN ETAT DES LIEUX ET LE FAIRE CONNAITRE

9. Un des problèmes d'interprétation rencontré était dû à la méconnaissance des niveaux de contaminations préalables à l'accident de Tchernobyl. Réaliser un état des lieux détaillé des activités actuelles en intégrant les données disponibles et en l'enrichissant de nouvelles mesures, et le réviser périodiquement.
10. Développer une base de données accessible à la communauté scientifique, en collaboration avec d'autres organismes nationaux ou européens, permettant d'initier une harmonisation des méthodes et des campagnes de mesures adaptées aux objectifs de l'IRSN.
11. Proposer des voies pour améliorer l'exploitation des différents systèmes de mesure existant (Teleray, aéroradiométrie, spectrométrie gamma in situ, mesures dans le corps humain...) dans la gestion post-accidentelle, en améliorant notamment la robustesse des modèles statistiques utilisés, qui devraient

permettre notamment d'intégrer de manière plus rigoureuse les divers types de données, et d'exploiter de façon positive les nombreux résultats de mesures inférieures au seuil de détection.

III MODELES INTERPRETATIFS

Les modèles proposés par l'IRSN ont été utilisés pour établir des cartes de dépôts successivement en 1997 et 2003-2005. Ils sont de deux types :

- Le modèle ASTRAL de 1997 est fondé sur les concentrations des contaminants mesurés en 1986 dans les aliments essentiellement par le SCPRI dans le lait et les légumes-feuilles.
- Les modèles de 2003 et 2005 sont des modèles mécanistiques visant au calcul direct des dépôts atmosphériques. Celui de 2003 étant essentiellement plus empirique que celui de 2005.

III.1 ANALYSE

L'approche de 1997 s'appuie principalement sur les mesures de la contamination du lait et des légumes à feuilles faites en 1986, en utilisant le code ASTRAL pour *inverser* ces données et évaluer les dépôts qui en sont à l'origine. Plusieurs difficultés apparaissent : complexité et non-linéarité de la relation dépôt/interception par les végétaux, hypothèses sur les dépôts secs et humides. Il faut ajouter à ces difficultés la qualité des mesures disponibles, point qui a fait l'objet des discussions du chapitre précédent. Dans le cas du modèle ASTRAL, le caractère "intégrateur" des données dans les aliments ne permet que l'estimation de dépôts moyens *indicatifs* de la contamination des zones et produits agricoles avec, pour chaque zone, une gamme de valeurs encadrant les dépôts moyens des départements appartenant à la même zone. Le concept et l'utilisation d'ASTRAL sont présentés de façon descriptive avec des hypothèses conservatives quant à la composition des retombées en vue de son application au territoire français tout entier. L'évolution géographique des dépôts moyens estimés définit ainsi 4 zones avec une contamination croissante d'ouest en est. L'IRSN complète adéquatement son rapport en signalant le risque de sous-estimation ou de surestimation locale à l'intérieur d'une même zone. Cette possibilité de divergence est correctement expliquée par l'hypothèse conservatrice choisie pour intégrer l'importance des pluies dans les dépôts. Les risques de sous-estimation liés en particulier à l'altitude ou à l'occupation des sols par la forêt sont illustrés par des exemples chiffrés. En considérant le *caractère très grossier de la représentation recherchée*, la méthode adoptée est a priori correcte, malheureusement non validée mais très certainement satisfaisante en 1997, en l'absence ou sans la recherche d'autres données représentatives de la contamination de tout le territoire en 1986. La carte obtenue est *indicative* de la contamination des zones agricoles en particulier à l'échelle des régions, mais ne peut avoir une valeur prédictive robuste, ni à petite échelle à cause de l'absence de considération de l'altitude, de l'occupation des sols et des paramètres météorologiques locaux, ni certainement à long terme, à cause du manque de prise en compte de la variabilité de la nature des sols.

Les modèles ultérieurs 2003 et 2005 proposés par l'IRSN utilisent une relation entre dépôts et précipitations pour fournir une reconstitution cartographique à l'échelle de la France des retombées atmosphériques en ¹³⁷Cs

en mai 1986, suivant en cela le principe des méthodes utilisées dans les autres pays européens touchés par les retombées de Tchernobyl. Cette relation a tout d'abord été établie suite au programme CAROL (*étude de la distribution spatiale et temporelle des radionucléides artificiels dans la zone Rhône-Méditerranée*). Ainsi, l'IRSN a mis en évidence une corrélation entre les activités surfaciques mesurées dans les sols de la basse vallée du Rhône et la hauteur des précipitations cumulée pendant la période durant laquelle l'air présentait des activités significatives en ^{137}Cs sur tout ou partie de la France. L'IRSN a quantifié cette relation empirique dans la zone d'étude, puis a montré son extrapolation possible à tout l'Est de la France et, moyennant une modulation décroissante en fonction de la longitude, a proposé son application à l'Ouest du 4ème degré de longitude Est. Les données disponibles à ce sujet étaient assez peu nombreuses et les relations empiriques obtenues ont été appliquées aux 3657 points où ont été relevées quotidiennement les hauteurs de pluie entre le 1er et le 5 mai 1986, ce qui a conduit à la carte présentée par l'IRSN en 2003.

Puis un nouveau modèle est développé en 2005, visant à mieux prendre en compte conceptuellement les principaux phénomènes susceptibles d'expliquer l'activité du ^{137}Cs mesurable dans les sols en France : les dépôts secs et humides résultant de l'accident de Tchernobyl et l'activité dans les sols héritée des retombées anciennes des tirs atmosphériques d'armes nucléaires, prise en compte de la variation quotidienne de la contamination de l'air et des précipitations. Contrairement à la démarche précédente partant des données d'une zone d'étude particulière (basse vallée du Rhône), toutes les mesures disponibles dans les sols (prélèvements carottés) ont été examinées et, après sélection de celles qui étaient les plus représentatives du dépôt atmosphérique de 1986 (i.e., sans biais de prélèvement et non affectées de façon évidente par des phénomènes de redistribution du césium contemporains ou postérieurs au dépôt), on a réalisé une détermination des paramètres caractéristiques du dépôt (coefficient de lessivage humide et vitesse de dépôt sec). Malgré les limites de certaines données utilisées, notamment l'insuffisance de données de contamination de l'air à l'échelle de la France entière, il a été possible d'obtenir une valeur du coefficient de lessivage humide montrant la part prépondérante du dépôt humide consécutif à l'accident de Tchernobyl dans l'explication des dépôts rémanents mesurés dans les sols à partir de mai 1986.

Les cartes obtenues avec les modèles 2003-2005 constituent une avancée importante par rapport à celle de 1997 car les relations pluies-dépôts ouvrent de réelles perspectives pour mieux comprendre *a posteriori* la variabilité géographique des dépôts rémanents de césium dans l'Est de la France. Par rapport à celle de 1997, les nouvelles cartes montrent un contraste beaucoup plus important des dépôts dans l'Est de la France, avec des valeurs nettement plus élevées (plus de 20000 Bq/m²) dans certains territoires. En même temps, ces cartes expliquent mieux les dépôts mesurés dans les sols de ces mêmes territoires. Il convient cependant d'avoir présent à l'esprit que la variabilité sur la détermination des paramètres figurant dans le modèle en fonction des données retenues (jour ou région) montre clairement les limites de la démarche.

Après 1997 et la publication des premières cartes des retombées, l'évolution des travaux et de ses résultats traduit clairement le souci de l'IRSN de fournir une information scientifique plus complète, et surtout plus explicative en terme de variabilité des concentrations rémanentes de césium. Il convenait de tenir compte en particulier de l'hétérogénéité des pluies responsables de la plus grande partie des dépôts et de mieux

représenter les extrêmes. Dans ce but, de nouveaux échantillonnages et l'établissement d'une collection des données jugées les plus fiables ont été réalisés successivement pour calibrer son modèle de dépôts radioactifs selon une relation empirique "Pluies-Dépôts" dans une zone atelier et vérifier l'opportunité de son applicabilité sur le reste du territoire national. Il faut souligner ici que les efforts consentis sont impressionnants, et que les résultats les plus importants de ces études ont par ailleurs fait l'objet de publications dans des revues de rang international.

Evaluation des modèles :

Les différents modèles de l'IRSN comportent des hypothèses et des limites qui dépendent principalement du réalisme du concept qui les supporte et de la qualité des données qui les documentent. Ainsi le modèle ASTRAL rend compte de la part des dépôts ayant contribué à la contamination des productions agricoles, tels que déduits de concentrations intégrées observées dans le lait de vache à une échelle départementale, alors que les modèles fondés sur la relation pluies-dépôts mettent en exergue les contrastes d'intensité des retombées atmosphériques. Les deux approches ne sont pas nécessairement comparables mais plutôt complémentaires, (en effet, la modélisation de 1997 utilise la contamination moyenne des sols en tant que critère relais de l'estimation de la contamination moyenne des denrées agricoles, alors que la modélisation de 2003 et son amélioration méthodologique de 2005 visent à représenter la contamination rémanente des sols telle que mesurable sur le terrain). Les modèles fondés sur une relation pluies-dépôts mettent en évidence les variabilités liées à la météorologie, aux propriétés des sols, ils soulignent aussi le besoin de données mieux distribuées spatialement et plus nombreuses. On ne conçoit pas de méthodologie alternative aux modélisations qui ont été réalisées qui puisse offrir plus de précision dans l'estimation des dépôts moyens de césium sans une débauche de moyens supplémentaires, par exemple associés à de vastes campagnes d'échantillonnage et de mesure. Dans tous les cas, comme cela a été rappelé dans le chapitre précédent, l'amélioration de la restitution du passé de 1986 par de nouvelles mesures apparaît illusoire.

Le manque de données pertinentes (notamment les concentrations dans l'air, seulement mesurées sur 39 sites, mal répartis sur le territoire, laissant de vastes zones non documentées) et la diversité des méthodes de prélèvement ou d'échantillonnage au moment de l'accident rendent difficile l'intercomparaison et la validation des modèles qui ont été développés. Ceci a conduit l'IRSN à travailler sur des « zones ateliers », ce qui limite la représentativité de la reconstitution de l'événement à l'échelle nationale. L'extension de la relation établie dans la zone atelier à l'ensemble du territoire français a soulevé plusieurs questions très pertinentes de la part du Prof. Aurengo liées à la vérification de plusieurs hypothèses et paramètres inhérents au modèle "Pluies-Dépôts", et relatives notamment à: l'homogénéité dans le temps et l'espace des masses d'air contaminé, l'activité résiduelle des essais atmosphériques et certaines différences parfois importantes entre dépôts estimés par la mesure et calculés (le cas de la Corse en particulier). La restitution de l'accident est d'autant plus délicate que les rejets du 27 avril, ont formé un panache qui a suivi deux trajectoires distinctes entre l'après-midi et le soir et qui ont concerné le territoire français à deux reprises. Cette restitution est pratiquement devenue impossible a posteriori, du fait des modifications des sols et du terrain depuis l'accident. Incertitude sur les données cibles à reproduire par les modèles, complexité et non-linéarité des mécanismes physiques intervenants (couplage transport atmosphérique - dépôt, interception par les

végétaux, transport dans les sols), tout cela appelle à une vision plus stochastique des modèles. Que pourrait signifier une vision très déterministe alors que la physique sous-jacente est le plus souvent décrite, à un certain stade, de manière statistique (physique de l'atmosphère, physique des sols, etc...) ? Quelle signification doit-on accorder à un écart d'un facteur 2, par exemple, entre les valeurs moyennes proposées par tel ou tel modèle ? Il semble à la commission qu'une présentation des modèles et de leurs résultats plus systématique et pertinente en termes d'outils statistiques permettrait de clore les polémiques qui peuvent surgir si cette dimension n'est pas prise en compte. De ce point de vue, *l'analyse de cohérence des modèles*¹ demandées par la Commission et fournies par l'IRSN apporte des éléments de réponse qui vont dans ce sens, et qui montrent que ces modèles ne peuvent être utilisés quantitativement, avec les limites déjà soulignées, qu'à une échelle géographique suffisante pour effacer les incertitudes liées à la très grande variabilité physique des dépôts (et de leur évolution dans le temps).

Au moment de l'accident, l'état de développement des modèles était très éloigné de celui d'aujourd'hui où la prévision météorologique est devenue opérationnelle même si la prévision des précipitations reste encore problématique. La modélisation de l'épisode sur la France était particulièrement difficile du fait des fortes hétérogénéités du territoire entre l'Est et l'Ouest de la France. Les paramétrisations physiques des modèles étaient très simplifiées, ne permettant pas une bonne représentation des dépôts secs et humides.

Les incertitudes liées aux émissions et aux paramétrisations sont reconnues internationalement (cf. les multiples études d'intercomparaisons effectuées en Europe comme ETEX - European Tracer Experiment- et EKO - Emergency Exercises and Information-) et expliquent probablement la difficulté de raccorder les résultats obtenus par l'IRSN avec les pays limitrophes à la France. Encore que la discussion sur ce raccord n'est pas faite sur une base statistique, qui est, de l'avis de la Commission et du Conseil Scientifique, l'approche correcte. Il apparaît, cependant, que l'IRSN a obtenu une reconstitution des dépôts radioactifs suite à Tchernobyl exploitant au mieux le maximum d'informations, à partir de données lacunaires qui ne justifiaient ou ne permettaient pas l'utilisation de modèles plus sophistiqués.

III.2 RECOMMANDATIONS

III.2.1 RECONSTITUTION DU PASSE

12. Sur la base des modèles existants, il serait utile de disposer de calculs de sensibilité sur les coefficients de dépôt sec et de lessivage pour présenter des plages d'incertitude sur les différentes zones du territoire français ou encore pour expliciter plus clairement les facteurs d'incertitude (durée et intensité des précipitations, nature des surfaces, paramètres de transfert dans les sols, pratiques agricoles, pratiques de consommation...). Des méthodes mathématiques permettent aujourd'hui de calculer des coefficients de sensibilité mettant en évidence les paramètres pertinents des relations empiriques et leur représentativité.

¹ Champion, D., Renaud, Ph., et Metivier, J.-M. 2006, Analyse de cohérence des différentes approches de reconstitution des dépôts de ¹³⁷Cs en France consécutifs à l'accident de Tchernobyl, Rapport DEI 2006-01.

13. Comme on l'a vu plus haut, les cartes proposées en 1997, 2003 et 2005, diffèrent de par les méthodes employées pour les établir. Compte tenu des incertitudes évoquées ci-dessus, et de la qualité limitée des données disponibles, une certaine cohérence qualitative¹ existe entre les divers résultats, notamment la variation Est-Ouest du dépôt en France, qui est un point commun de comparaison entre les divers modèles. En ce qui concerne la reconstitution des dépôts consécutifs à l'accident de Tchernobyl, il semble difficile d'aller au-delà de la précision permise par les données, et le caractère aléatoire de certains des mécanismes physiques mis en jeu. Si le problème Tchernobyl peut faire encore l'objet d'études nouvelles, c'est sans doute principalement dans une perspective visant à affiner les outils d'analyse utilisables lors de crises futures du même type. Sur ce point, un certain nombre de recommandations peuvent être déduites de l'expérience acquise. Elles sont décrites ci-dessous.

III.2.2 DES MODELES DIAGNOSTIQUES EN CAS D'ALERTE.

14. En cas d'accident majeur, des modèles diagnostiques, rapides à mettre en œuvre doivent être disponibles et permettre une première estimation des retombées atmosphériques en fonction des cartes météorologiques et des données représentatives de la nature des sols et de la végétation. Ces modèles peuvent être appliqués en cas d'alerte pour prédéfinir les zones les plus exposées qui devront faire l'objet en priorité d'une étude sur le terrain. Un tel outil prédictif pourrait s'appuyer sur les modèles pluie - dépôt et les modèles de contamination actuellement disponibles à l'IRSN, sans préjuger des améliorations que ces derniers pourraient encore connaître.

III.2.3 DES MODELES ET DES DONNEES DE QUALITE.

15. La modélisation est un outil utile non seulement à l'interprétation des données, à leur validation, mais aussi peut et doit servir de guide pour l'installation d'un réseau optimal de surveillance de la contamination dans l'air et dans les sols. Il est notamment très important de mettre en place des mesures de radioactivité en parallèle avec des mesures météorologiques (vent, précipitations) et plus spécifiquement avec des mesures d'aérosols documentant le nombre et la taille des particules. De nouvelles capacités de mesures par télédétection (sol : radar et lidar, satellite) sont maintenant disponibles et doivent aussi pouvoir être intégrées dans le futur pour obtenir des données spatialement et temporellement mieux documentées.

III.2.4 DES MODELES INTERPRETATIFS POUR LE FUTUR

16. Toutefois, pour compléter les données toujours lacunaires (surtout en vertical) et pour mieux prendre en compte la variabilité naturelle de la météorologie, notamment de la dispersion par les vents et des retombées sèches ou humides, il peut être nécessaire de disposer d'un modèle météorologique robuste comme il en existe actuellement qui assimile les données disponibles en les rendant cohérentes.

17. Ce modèle ne doit pas se limiter au territoire français mais probablement se placer à l'échelle européenne et fonctionner ensuite par grilles imbriquées pour se concentrer sur des domaines à plus petite échelle avec

une résolution accrue jusqu'à l'ordre de la centaine de mètres. Il doit avoir une bonne représentation verticale avec des niveaux resserrés près du sol pour mieux appréhender les phénomènes de turbulence et rendre compte des hétérogénéités d'altitude. L'initialisation du modèle doit inclure les données de terrain, d'occupation des sols, issus de systèmes SIG (Système d'Information Géographique).

18. Ce modèle doit comporter des paramétrisations physiques plus réalistes incluant une représentation plus détaillée des nuages et des précipitations. Actuellement, des modèles plutôt destinés à la prévision de la qualité de l'air sont en plein développement et considèrent l'effet de l'émission de particules d'aérosols qui, selon leur hygroscopicité, leur spectre dimensionnel, peuvent favoriser la formation des nuages et des précipitations. Ces aspects microphysiques sont importants dans le calcul des précipitations et par conséquent sur le calcul des dépôts humides. Les termes de dépôts secs demandent également à être affinés car ils sont dépendants de la turbulence, de l'état de la couche limite atmosphérique, des caractéristiques de la surface (sol, végétation, bâtiments,...) et ont une variabilité diurne et saisonnière importante. Dans cette optique, développer des expérimentations en laboratoire pour affiner certains sous-ensembles des modèles actuellement utilisés (prise en compte du temps dans l'effet lessivage de l'air par exemple).

19. Ce modèle n'est probablement pas à développer à l'IRSN, il doit exploiter les développements communautaires les plus avancés au plan technologique et informatique, probablement à l'échelle de l'Europe et en se rapprochant de services opérationnels tels que ceux de la prévision météorologique ou de la modélisation de la qualité de l'air. Des versions spécifiques d'un tel modèle peuvent être adaptées à la modélisation d'un accident en temps réel (couplage avec un modèle lagrangien de dispersion d'effluents).

III.2.5 CONCLUSION

20. Dans tous les cas, la *complexité*, et la *variabilité intrinsèque* des nombreux mécanismes concourant au dépôt, exigent d'adopter une vision cohérente des modèles en adoptant, par exemple, une vision stochastique, en utilisant les outils modernes disponibles (on n'évoquera pas d'autres outils mathématiques qui pourraient être utilisés dans un contexte analyse de risque). Les outils statistiques existent pour apprécier les qualités des modèles (étude de sensibilité, etc..), et offrir une représentation correcte sous la forme, par exemple, de distributions, permettant de mieux cadrer les discussions sur les scénarios plausibles de doses reçues, et l'analyse de risque, notamment dans le cadre de gestion de crise.

IV CALCUL DES DOSES A LA POPULATION

IV.1 ANALYSE

Une analyse rétrospective des doses reçues par la population dépend beaucoup de l'objectif assigné. Par exemple, pour l'estimation du risque de leucémie induite par radiation dans la population jeune du Nord Cotentin, il a été nécessaire de déterminer l'exposition cumulée moyenne pour les enfants nés dans la région sur de nombreuses années.

Dans le cas de l'accident de Tchernobyl, l'approche de l'IRSN a consisté (étude de 1997) à évaluer la dose moyenne par grande zone du territoire (le territoire national étant découpé en quatre zones), et à compléter cette approche en évaluant la dose susceptible d'avoir été reçue par des individus critiques, soumis à une exposition particulièrement élevée en raison de leur mode d'alimentation (berger, forestier).

En radioprotection, il est postulé que la relation entre la dose et le risque induit pour la santé est linéaire, dès lors que l'on se situe dans le domaine des faibles doses, ce qui est le cas pour l'accident considéré et le territoire national. Ceci signifie que l'estimation du risque à la population peut être faite sur la base des doses moyennes, conformément à ce qui a été fait par l'IRSN : toutefois ceci ne suffit pas en situation de gestion de crise, ni pour les besoins d'information du public après une crise.

Dans le cas de l'accident de Tchernobyl, le processus le plus important a été la consommation de produits agricoles dans les jours et semaines (pour l'iode), semaines et mois (pour le césium) suivant l'événement. Ont également contribué à l'exposition des populations (de manière significative en dose engagée cumulée, mais faible en dose annuelle): l'irradiation directe par les dépôts de césium, et pour certains groupes de populations, la consommation de produits particuliers (gibier, champignons, ...) contaminés.

L'approche suivie par l'IRSN (étude de 1997) pour estimer les doses moyennes en France est considérée comme la meilleure possible, compte tenu des circonstances de l'accident, et des moyens d'observation prévus à l'époque. L'utilisation des mesures dans le lait est particulièrement pertinente, car le lait est un important composant des régimes alimentaires et donc un contributeur important de dose, et un bon indicateur des niveaux moyens de contamination dans une région. Comme discuté plus haut, l'IRSN a dû compléter les données disponibles par l'utilisation de modèles. On ne revient pas dans ce paragraphe sur la validité des modèles retenus. Il est aussi acceptable d'estimer les concentrations dans les autres denrées alimentaires à partir des mesures sur le lait en utilisant les modèles d'extrapolation disponibles. Un autre critère important pour la validation des estimations de dose est la comparaison avec des mesures directes sur la population, ce qui est possible pour les radionucléides relâchés lors de l'accident de Tchernobyl (mesures à la thyroïde pour l'iode, mesures corporelles totales pour le césium). En ce qui concerne la France, il semble y avoir un bon accord entre les mesures corporelles totales pour le césium, pour les travailleurs du nucléaire, et celles

moyennes estimées pour la population dans les différentes régions. Cela confirme la validité des estimations de dose. Il est par contre dommage de ne pas disposer de telles données systématiques pour les doses à la thyroïde (les données disponibles ont été jugées insuffisantes par l'IRSN pour permettre une validation des doses calculées).

L'estimation des dépôts rémanents de césium constitue un point faible de l'étude de 1997, qui avait consisté à évaluer une valeur moyenne, permettant d'estimer correctement (à travers le logiciel ASTRAL), la contamination des produits agricoles. En effet, des divergences fortes ont été constatées entre les moyennes annoncées et les mesures sur le terrain, ces dernières présentant de plus une forte variabilité, observée à toutes les échelles dimensionnelles, (cette variabilité était clairement présentée dans le rapport de 1997).

Ceci a conduit l'IRSN, dans les études de 2003 et 2005 à imaginer et valider une approche plus robuste des dépôts rémanents par région.

On rappelle que ces modèles (2003 et 2005) ne concernent que les dépôts rémanents de césium, fortement influencés par la pluie, et non la contamination alimentaire par l'iode et le césium. Pour cette dernière, le rôle des dépôts secs a son importance, ainsi que l'effet de saturation rencontré lors de très fortes pluies. En effet, les observations montrent que la concentration dans le végétal ne reste pas proportionnelle à la hauteur de précipitation mais atteint une valeur maximale. Il existe également une forte disparité de comportement entre l'iode et le césium. Par exemple, des différences nettes ont été observées au Royaume Uni en ce qui concerne les ratios de dépôt iode-131/césium-137 sur l'herbe, en conditions principalement humides ou sèches. Dans les zones principalement sèches on a observé un ratio de 18 environ, alors que dans des zones ayant reçu des précipitations légères on a observé un ratio d'environ 3.8, et un ratio de 1.8 dans les zones les plus humides.

Le cas particulier des doses reçues en Corse n'a pas pu faire dans le temps imparti l'objet d'une analyse approfondie de la part de la Commission. Cependant, la Commission note que des facteurs locaux sont entrés en jeu: régimes alimentaires particuliers (produits laitiers locaux), spécificité des sols (lessivage rapide des dépôts de césium). Comme indiqué plus haut, il n'est pas approprié d'estimer des doses à la thyroïde sur la base d'estimations de dépôts de césium, corrélés sur des données météorologiques, lorsque les pluies ont été importantes et qu'aucune donnée mesurée n'est disponible pour préciser le rapport iode 131/césium 137. En général, la voie d'exposition prédominante est l'ingestion d'aliments contaminés en iode. Les populations concernées obtiennent généralement leurs aliments à partir de zones de grande extension, et de petites zones plus contaminées ne vont pas nécessairement conduire à des doses plus élevées si l'essentiel des aliments ne provient pas de la zone. Les estimations de doses faites à partir de mesures sur les aliments au moment du dépôt et de leur taux de consommation sont bien entendu les plus fiables.

Quelques commentaires globaux sont à faire :

- les modèles utilisés par l'IRSN pour estimer les doses moyennes sont acceptables, dès lors que les limitations et les incertitudes de ces modèles sont reconnues (notamment l'impossibilité d'accéder à une reconstruction précise des doses à petite échelle, ou à une reconstruction statistiquement rigoureuse de la distribution des dépôts et des doses),
- il ne doit pas y avoir d'ambiguïté sur l'apport des études de 2003 et 2005. Certes elles ont permis de résoudre une incohérence apparente entre les moyennes calculées en 1997 et les observations faites sur le terrain, et d'aborder la compréhension des principaux facteurs de variabilité des dépôts de césium ; mais, en termes d'exposition de la population, cet apport ne concerne pour l'essentiel que la fraction de la dose externe due à l'irradiation directe par les dépôts rémanents, et n'apporte pas d'éléments nouveaux concernant l'exposition interne par l'iode.
- Les conséquences d'un accident radiologique de grande ampleur sont dépendantes de phénomènes de dispersion complexes, conduisant à une forte variabilité des dépôts et de l'assimilation par les plantes ou animaux ; il existe de plus une grande variabilité des comportements alimentaires et des modes de vie : il en résulte que la connaissance de l'exposition d'une population ou d'un groupe à risque restera toujours entachée d'incertitudes, et que vient un moment où la poursuite des études ne permet plus de réduire ces incertitudes.

En conséquence, après mise en forme et exploitation au plan dosimétrique des résultats obtenus sur l'évaluation des conséquences de l'accident de Tchernobyl, l'accent devrait être mis sur la préparation des moyens (outil de calcul et plans de mesure) nécessaires à la préparation de futures crises éventuelles.

IV.2 RECOMMANDATIONS

IV.2.1 RECONSTITUTION DU PASSE

21. Sur la base des études 2003 et 2005, l'IRSN devrait pouvoir mettre à jour l'estimation des doses faites dans le rapport de 1997 (pour la fraction des doses externes provenant de l'irradiation par le sol), soit en conservant l'approche d'une moyenne par grande zone, soit en affinant cette estimation à l'échelle du département ; ces estimations devraient tenir compte des incertitudes liées à la variabilité physique de certains paramètres utilisés dans la modélisation, comme par exemple le coefficient de lessivage

IV.2.2 GESTION DE CRISE

22. Dans le cadre de la préparation à la gestion de crises futures, il serait nécessaire d'améliorer la modélisation, afin de pouvoir déterminer très rapidement, quantitativement (distribution de probabilité) et qualitativement (nature des populations critiques) si certaines populations dans certaines zones géographiques

risquent ou non d'être exposées à un niveau justifiant de prendre des mesures de prévention. Ceci nécessiterait de s'intéresser non seulement à la moyenne, mais à la nature des distributions de probabilité, ce qui n'a pas été inclus dans les objectifs des études IRSN (1997, 2003 et 2005) examinés par la Commission. Ceci nécessiterait également de mener des études socio-économiques permettant de mieux caractériser les habitudes de consommation des populations critiques : notamment les consommateurs de produits locaux (lait et jardinage) ou de produits forestiers (chasse, champignons), en tenant compte d'une part, des groupes d'âge, et d'autre part de la saison à laquelle se produirait un accident hypothétique.

Dans le cadre de la préparation à la gestion de crises futures, il serait souhaitable :

23. de disposer de plans et de protocoles de mesure prédéfinis, permettant une plus grande cohérence de recueil des données et une meilleure exploitabilité de ces données (concernant d'une part les produits agricoles, d'autre part les dépôts rémanents mesurés par spectrogammamétrie de terrain),

24. de disposer de plans de spectrogammamétrie humaine par sondage parmi les populations concernées : la surveillance médicale des travailleurs de l'industrie nucléaire peut être une source d'information précieuse à cet égard, à condition que cet objectif soit explicitement défini par les pouvoirs publics, en complément de l'objectif de surveillance de la santé au travail. Notamment, le recueil d'informations sur l'exposition en iode pourrait être considérablement amélioré (en nombre et sensibilité des mesures), compte tenu des moyens aujourd'hui en place dans certains services de santé du travail (notamment mesures sur prélèvements urinaires).

V SYNTHÈSE

Les analyses présentées dans les paragraphes ci-dessus concernent, conformément au mandat du Conseil Scientifique de l'IRSN, la reconstitution des retombées de l'accident de Tchernobyl en France. Ce travail d'évaluation de la pertinence des moyens mis en œuvre par l'IRSN (collecte de données, modèles interprétatifs, etc...) a permis de dégager un certain nombre de recommandations concernant les outils de gestion de crises similaires. On présente ci-dessous une synthèse des analyses de la Commission et du Conseil Scientifique concernant ces deux aspects : reconstitution historique, perspectives pour les outils d'analyse de risque.

V.1 RECONSTITUTION DES DEPOTS ET DES DOSES DUS A L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL

V.1.1 DONNEES

Concernant les données de 1986 et les données ultérieures, il apparaît que les observations disponibles sont insuffisantes pour faire une interprétation directe précise des dépôts et des doses en France liés à l'accident de Tchernobyl. Il semble illusoire, 20 ans après, d'améliorer cette base de données, avec l'intention de resserrer les incertitudes liées aux modèles interprétatifs utilisés. Il est par contre nécessaire de conserver l'ensemble de ces données.

V.1.2 MODELES

La physique mise en jeu lors du transport et dépôt du panache de contamination, couplée à l'insuffisance des données, justifie clairement l'utilisation de la modélisation pour mieux estimer la contamination du territoire, ce qui a été fait par l'IRSN. Elle justifie également, dimension qui n'a pas été complètement au cœur des démarches de l'Institut, de concevoir les outils d'analyse d'un point de vue plus statistique. La variabilité spatiale et temporelle des dépôts a bien entendu été perçue par les chercheurs impliqués, mais il semble qu'une réflexion doit être engagée pour une meilleure prise en compte de cet aspect dans les modèles, notamment en utilisant tout l'arsenal des outils mathématiques disponibles.

Les modèles développés, si on introduit dans l'analyse la dimension statistique évoquée ci-dessus, peuvent être analysés de la manière suivante. Le modèle de 1997 ne donne qu'une indication grossière (mais bien corrélée à la contamination moyenne des denrées alimentaires) de la moyenne des dépôts dans 4 zones du territoire. Il ne permet pas de prendre en compte la grande variabilité locale observée par ailleurs, et liée aux mécanismes évoqués ci-dessus, et donc ne semble pas être un bon outil d'analyse *détaillée* des dépôts rémanents de césium. Il donne cependant une indication acceptable des moyennes probables pour les régions considérées. Les modèles plus phénoménologiques (2003 et 2005), basés notamment sur les relations pluies-dépôts, modèles

qui ont été aussi utilisés dans les pays limitrophes, permettent de rendre mieux compte de la variabilité, notamment spatiale, d'un certain nombre des dépôts observés ultérieurement sur certaines parties du territoire. Compte tenu de l'insuffisance des données qui auraient permis de mieux contraindre les paramètres de ces modèles, il faut en faire une analyse et une utilisation critique prenant en compte toute la dimension statistique évoquée ci-dessus. Ceci est en particulier important pour la communication avec le public, et l'utilisation pour l'analyse de risque. Si on prend en compte cette dimension statistique, les différences de prédiction entre les divers modèles se fondent dans les incertitudes et variabilité liées à la physique et aux données disponibles. De plus, ces écarts se comprennent d'autant mieux que l'on prend en compte la différence des approches méthodologiques : en 1997, les valeurs moyennes indiquées permettaient une corrélation simple avec la contamination des produits alimentaires ; en 2003 et 2005, les modèles visaient à comprendre la grande variabilité des dépôts de césium observés sur le terrain. Il semble illusoire d'espérer aujourd'hui resserrer les incertitudes observées pour le cas Tchernobyl, même si la « mission Aurengo », ainsi que le travail effectué dans le cadre de cette évaluation, ont permis de suggérer des améliorations intéressantes. Par contre, il reste nécessaire d'améliorer la présentation synthétique des résultats de ces études successives et les incertitudes associées, notamment pour réconcilier les approches et réviser les estimations de doses en tenant compte de l'ensemble de ces résultats.

V.1.3 RECOMMANDATIONS CONCERNANT LA RECONSTITUTION DES DEPOTS ET DES DOSES

a. Compte tenu des incertitudes inhérentes d'une part aux faiblesses des données disponibles et d'autre part à la réalité physique des phénomènes modélisés, la poursuite d'études destinées à produire de nouvelles reconstitutions des retombées de l'accident de Tchernobyl en France et des doses qui y sont associées n'apparaît pas justifiée car aucune plus-value n'est à attendre de cet exercice.

b. Cependant le très volumineux travail réalisé mérite une synthèse permettant d'en exploiter les résultats en regard des aspects suivants:

- Les résultats des études de reconstitution des dépôts de césium à une échelle (zone ou département) devraient être représentés avec les incertitudes associées pour permettre une comparaison avec les études antérieures (étude de 1997 et carte européenne)
- Les conséquences sur l'exposition des personnes, estimées faibles par l'IRSN, devraient être évaluées telle que reconstituée par l'étude de 1997, en s'intéressant aux valeurs moyennes et aux groupes ou individus critiques.

V.2 RECOMMANDATIONS POUR L'AVENIR

Le retour d'expérience sur l'interprétation des retombées de l'accident de Tchernobyl montre clairement le caractère primordial des données collectées (quantité et qualité), particulièrement au moment de la crise.

Ceci a conduit la Commission et le Conseil Scientifique à faire un certain nombre de recommandations concernant un réseau d'observation adapté à ce type de crise. Ces recommandations sont résumées ci-dessous. Par ailleurs, la Commission et le Conseil Scientifique confirment le grand intérêt de la modélisation pour l'interprétation des données et l'analyse de risque. Dans la perspective d'avoir des outils performants dans ce domaine, un certain nombre de recommandations ont été proposées, qui sont résumées également ci-dessous.

V.2.1 RESEAU D'OBSERVATION

Les difficultés et polémiques apparues lors de la discussion sur les modèles sont largement la conséquence de l'absence, en 1986, de réseau d'observation adapté à ce type d'accident. Il apparaît donc logique de recommander à l'IRSN d'entamer, ou poursuivre en l'intensifiant, la réflexion sur les conditions de la mise en place et les caractéristiques d'un tel réseau. De nombreuses propositions sont détaillées dans le §II, elles peuvent être résumées par les grands axes suivants:

c. Privilégier systématiquement les mesures directes par rapport aux calculs et modèles, pour évaluer les conséquences d'un rejet accidentel sur l'homme et l'environnement, les modèles étant toutefois recommandés pour pronostiquer les conséquences à venir et aider la prise de décisions pour engager les actions de prévention vis-à-vis des publics exposés.

d. Valider et améliorer les divers protocoles de mesure, ainsi que la traçabilité, et organiser le partage de ces données en toute transparence.

e. Définir et mettre en place un réseau d'observation adapté (choix de la densité spatiale et temporelle des mesures, ciblage de zones ou groupes à risque, etc...). On ajoutera qu'il serait, sans doute, judicieux et nécessaire de réfléchir à une coordination Européenne sur ce point.

f. Développer les mesures directes par spectrogammamétrie, par plans de sondage sur les populations concernées, en s'appuyant sur les moyens mis en place pour la surveillance des travailleurs de l'industrie nucléaire et des hôpitaux pratiquant la médecine nucléaire (dans certains cas, ces travailleurs peuvent eux-mêmes être considérés comme représentatifs de la population).

g. Réaliser un état des lieux (condition initiale) de la contamination des sols en césium par des méthodes adaptées, et le renouveler périodiquement.

V.2.2 MODELES, ET ANALYSE DE RISQUE

Il est légitime, même indispensable, de développer des modèles adaptés, malgré la difficulté de la tâche due à la complexité des mécanismes mis en jeu, pour pouvoir faire de l'analyse et de la gestion de risque. Dans cette perspective, les recommandations proposées aux paragraphes précédents (chapitres III et IV) peuvent être regroupées de la manière suivante:

h. Adapter les modèles à leur usage, qui est principalement l'aide à la gestion de crise (permettant notamment d'orienter les décisions relatives au déploiement des plans d'échantillonnage) et ultérieurement l'aide au traitement statistique des données (fusion, interpolations, calcul de moyennes pertinentes), puis à la compréhension a posteriori.

i. Approfondir la dimension analyse statistique associée aux modèles, améliorer les outils d'analyse inverse, d'étude de la représentativité et variabilité des paramètres des modèles, etc...

j. Meilleur couplage opérationnel avec les données météorologiques, et les données du type SIG (Système d'Information Géographique) sur les activités agricoles, de consommation, et les autres caractéristiques du territoire reliées à la problématique de contamination étudiée.

k. Développer les actions coopératives avec des partenaires européens, et français, par exemple pour le couplage avec les observations météorologiques, l'utilisation de modèles de transport atmosphérique, etc...

l. Validation : le cas Tchernobyl restant le seul cas réel permettant de tester les outils, il est légitime de l'utiliser (de préférence dans un cadre européen) pour vérifier le calage des modèles développés pour le futur. Notons qu'il ne s'agit pas ici d'un effort pour reconstituer le dépôt de 1986. Il faut peut-être rechercher également si d'autres phénomènes de même ampleur planétaire peuvent être utilisés (éruptions volcaniques, incendies de grande ampleur, travaux sur la qualité de l'air, etc...). Développer une expérimentation en laboratoire chaque fois que cela est envisageable.

m. Utilisation de ces outils pour la réflexion sur le réseau d'observation nécessaire pour la gestion de crise. En particulier, on peut utiliser leur finesse de représentation spatiale (sans oublier le contexte stochastique évoqué ci-dessus) pour mieux comprendre les données mesurées (représentativité de mesures très ponctuelles, en incluant aussi les mesures sur des produits agricoles collectés). Il faut rajouter à cette question du réseau d'observation, une évaluation des protocoles de mesure nécessaires (mesures directes des dépôts, mesures dans l'air, etc...).

n. Réflexion sur leur utilisation opérationnelle: quels seuils prendre en compte pour les niveaux d'alerte ? Comment communiquer sur le risque? Sur ce dernier point, il est difficile de faire des propositions sans une étude spécifique, à dimension sociologique, sur la perception de ce type de risque. On ne peut qu'évoquer quelques pistes de réflexion. En particulier, une communication trop globale, inadaptée à l'échelle caractéristique de la variabilité des dépôts, risque d'être peu pertinente sur le plan scientifique, et mise en défaut par le retour d'expérience, avec les conséquences désastreuses quant à la perception future par le public des messages sur ce type de risque. De la même façon, une communication trop globale sur le risque induit par la consommation de denrées alimentaires contaminées, pourrait également conduire à une perception surévaluée du risque, avec des conséquences socio-économiques tout aussi négatives. Tchernobyl a démontré l'insuffisance d'une approche collective tant les régions et les individus sont touchés de manière inégale. Il est peut-être pertinent de disposer de réseaux et de relais de proximité adaptés et rôlés aux

spécificités locales.

V.3 CONCLUSION GENERALE

L'IRSN a effectué depuis vingt ans (notamment études de 1997, 2003 et 2005) un important travail d'analyse des données disponibles suite aux retombées de radionucléides dues à l'accident de Tchernobyl. Plusieurs modèles interprétatifs ont été développés, nécessitant parfois la mise en place de programmes de recherche spécifiques (CAROL). Ces modèles sont *cohérents* avec les tentatives d'interprétation faites dans d'autres pays également touchés par la contamination due à l'accident de Tchernobyl. Compte tenu, notamment, des faiblesses des données disponibles (en nombre, nature, échantillonnage, traçabilité des techniques et des tris) et de la complexité et variabilité des mécanismes qui concourent au dépôt (et notamment les coefficients de lessivage), l'exercice de reconstitution de la réalité de 1986 a atteint ses limites. Il n'apparaît pas justifié de poursuivre l'analyse, dans une perspective de reconstitution du passé, ce qui n'exclut pas l'utilisation de l'accident de Tchernobyl comme élément de référence pour le développement d'outils pour l'analyse de risque, ni l'intérêt d'une meilleure présentation de synthèse des résultats accumulés au cours des années, notamment en termes d'impact sur la population et l'environnement et d'appréciation des incertitudes associées.

La Commission et le Conseil Scientifique, au vu des connaissances disponibles à l'époque du lancement des différentes études, et tout en regrettant que n'aient pas été soulignées autant que cela aurait été nécessaire les incertitudes sur les résultats obtenus, confirment, la validité des démarches mises en oeuvre par l'IRSN pour aborder cette question des retombées en France de l'accident de Tchernobyl. Bien entendu, s'agissant d'un domaine scientifique complexe, de nombreux points restent des problèmes scientifiques ouverts, et un certain nombre d'entre eux relèvent du domaine de la conjecture. C'est en particulier vrai pour les modèles phénoménologiques de dépôt, et l'on doit percevoir le travail accompli dans cette perspective. L'insuffisance des données sur le cas Tchernobyl génère de nombreuses différences de perception, notamment si on se focalise sur l'écart entre les valeurs moyennes et les extremums locaux observés. La vision plus statistique de l'analyse de risque proposée par la Commission et le Conseil Scientifique est susceptible de dépasser ces différences. En regardant vers le futur, dans l'optique de développement d'outils de gestion et d'analyse de risque, de nombreux enseignements peuvent être tirés des études réalisées sur le « cas Tchernobyl ». De nombreuses propositions sont faites dans ce rapport, sur la collecte de données concernant l'homme, les produits agricoles et l'environnement, ainsi que les facteurs météorologiques; sur la conception et l'utilisation des modèles interprétatifs (dimension statistique et liens nécessaires avec les grands modèles météorologiques notamment) ; et enfin sur la dimension socio-économique à considérer (meilleure connaissance des populations critiques et de leur comportement et meilleure maîtrise des modes de communication en situation de crise). Compte tenu de la nature du processus d'évaluation effectué (limité dans le temps et par les moyens engagés), ces recommandations doivent être perçues comme une *contribution* à la nécessaire réflexion approfondie sur les orientations que pourrait prendre l'Institut et, au-delà, les pouvoirs publics, dans ce domaine des contaminations provoquées par d'éventuels accidents nucléaires majeurs, dont plusieurs aspects nécessitent un

traitement ou une concertation à une échelle et dans un cadre européens. La survenue d'un accident n'est pas une utopie et la vigilance reste de mise ainsi que la modestie vis-à-vis de nos connaissances scientifiques, en particulier dans le domaine de la capacité des modèles à rendre compte de la réalité et de l'effet des faibles doses.

VI ANNEXE: COMPOSITION DE LA COMMISSION D'EXPERTS AYANT ASSISTE LE CONSEIL SCIENTIFIQUE

Membres du Conseil Scientifique:

Amalberti René, Chef du Département de recherche en sciences cognitives de l'Institut de Médecine Aérospatiale du service des Armées (France)

Holm Lars-Erik, Directeur Général de l'Autorité suédoise de protection contre les rayonnements (SSI) (Suède)

Quintard Michel (Président), DR CNRS, Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (France)

Sevestre Bernard, Ingénieur Général de l'Armement, CEA SACLAY (France)

Experts externes:

Chamerliac Nadine, CNRS, Université de Clermont-Ferrand (France)

Feinberg Max, INRA, Paris (France)

Murith Christophe, Office Fédéral de la Santé Publique, Berne (Suisse)

Simmonds Jane, HPA, Didcot (Angleterre)

Thiry Yves, SCK-CEN, Mol (Belgique)