



Direction des Études Économiques  
et de l'Évaluation Environnementale

# Recherche Environnement

## ESCOMPTE : une campagne de mesure de la pollution atmosphérique

### SOMMAIRE

- p.1 : ESCOMPTE :  
une campagne de mesure de la  
pollution atmosphérique
- p.2 : Radioécologie et  
écotoxicologie
- p.3 : Résistance aux biopesticides
- p.4 : Retour d'expérience :  
le rapport Phillips sur  
l'Encéphalopathie Spongiforme  
Bovine

n°8/2001

Septembre  
2001

Directeur de la Publication :  
Benoît Lesaffre

Du 5 juin au 16 juillet dernier s'est déroulée la campagne ESCOMPTE autour de Marseille et du complexe scientifico-industriel de Fos-Berre. Plus de cent chercheurs français et étrangers ont déployé un dispositif de mesure de la pollution atmosphérique : radars, sodars, lidars, moyens de radiosondages, stations de mesures chimiques fixes et mobiles (terrestres, aéroportées et maritimes).

L'objectif de cette campagne est de documenter quelques épisodes de pollution en caractérisant de façon très détaillée la dynamique atmosphérique et les concentrations de polluants gazeux et particulaires. La base de données ainsi constituée doit permettre de valider et d'améliorer les modèles prédictifs et diagnostiques de chimie et de transport de polluants à l'échelle régionale ; ces modèles sont notamment dédiés à l'étude d'une forme préoccupante de pollution : la pollution photochimique. Cette pollution est liée aux émissions d'oxydes d'azote et de composés organiques dues aux activités humaines. Elle se traduit par des niveaux élevés d'ozone et d'autres espèces chimiques toxiques pour l'homme et les végétaux. Cette pollution se manifeste de manière préférentielle en été et dans les régions ensoleillées où l'activité humaine est importante. Ces raisons ont motivé le choix de la région de Marseille-Etang de Berre comme lieu de réalisation d'ESCOMPTE. Cette campagne doit permettre en outre de mieux décrire et comprendre les

phénomènes de pollution photochimique dans cette région.

ESCOMPTE s'inscrit dans les efforts de recherche nationaux en matière de pollution de l'air menés depuis plusieurs années par les pouvoirs publics au travers de deux programmes nationaux : PRIMEQUAL-PREDIT, piloté par le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et l'ADEME, PNCA (Programme National de Chimie atmosphérique), piloté par le CNRS / INSU.

A la faveur de conditions météorologiques propices au développement d'épisodes fortement pollués, les coordinateurs scientifiques ont pu déclencher quatre périodes d'observation intensive (POI). Les mesures réalisées en continu et lors de ces POI ont ainsi permis aux scientifiques de récolter un nombre considérable de données dynamiques et chimiques. La phase d'analyse et d'exploitation de ces résultats, qui débute cet automne, s'étendra sur plusieurs années. Un cadastre d'émissions sera également disponible au cours du premier semestre 2002 et conduira à l'amélioration des modèles à partir de 2002 - 2003. Enfin, sous l'égide des deux programmes, les performances de plusieurs modèles français et étrangers seront évaluées à la lumière des observations recueillies au cours de ces POI.

**Contact :**  
[pascal.ebner@environnement.gouv.fr](mailto:pascal.ebner@environnement.gouv.fr)

## Radioécologie et écotoxicologie

La radio-écologie est une discipline récente, initiée à partir de 1950 aux Etats Unis, à la suite des premiers essais nucléaires. Elle est restée pendant longtemps une discipline à part, localisée dans des organismes de recherche spécifiques (En France, CEA-IPSN). Elle concerne l'étude des radioéléments nucléaires dans le domaine plus large de l'écologie et de l'écotoxicologie. Durant les premières années, les études se sont concentrées sur quelques éléments (dérivés de l'uranium), sur les doses élevées de contamination et sur les risques encourus par les travailleurs du nucléaire. L'accident de Chernobyl, avec la contamination globale des milieux qui en a résulté, a accéléré l'évolution de la discipline.

Un congrès, organisé par l'IPSN à Aix-en-Provence du 3 au 7 septembre 2001, a fait le point sur cette évolution.

Les radionucléides, d'origine naturelle (Pb, uranium...) ou artificielle ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ...), posent certains problèmes analogues à ceux créés par les polluants organiques persistants (dioxines, HAP, ...) ou les éléments traces toxiques (As, métaux lourds,...). On observe la même dynamique dans les milieux (sols, air, eau), des transferts analogues dans les êtres vivants et bien souvent les mêmes incertitudes générant les mêmes inquiétudes en terme d'effets. Les mêmes points importants de discussion concernent les notions de spéciation et de biodisponibilité, les seuils de toxicité (s'ils existent), avec les mêmes incertitudes sur les effets à long terme (cancérigène ou non) des faibles doses.

Un nouveau programme de l'IPSN abordera le sujet peu connu des accumulations chroniques (en particulier les très faibles doses) dans les écosystèmes et chez l'être humain (notamment par la chaîne alimentaire). La validation se fera sur des sites ateliers avec la recherche de bioindicateurs pouvant servir ensuite à la surveillance. Une application concernera la surveillance du bassin versant rhodanien soumis à des effluents d'installations nucléaires susceptibles de s'accumuler dans les

sols ou les sédiments, dont le plutonium.

Au niveau européen, des programmes analogues sont mis en place, tels que les programmes FASSET (Framework for Assessment of Environmental Impact) et EPIC (Environmental Protection from Ionising contaminants in the Arctic).

Tout d'abord on assiste à une évolution importante des méthodologies (faisant appel à diverses techniques de spectrométrie), ce qui va permettre d'accroître les recherches sur les faibles doses. L'exposition chronique à des faibles doses est en effet un domaine de recherche qui s'applique déjà à la radioactivité naturelle ; les doses moyennes d'exposition au niveau mondial représentent 2,2 mSv dont 1 dû à l'inhalation de radon et 0,9 lié aux rayonnements cosmiques. Les pollutions historiques passées ont également été analysées.

On peut ainsi montrer l'importance des pollutions radioactives résultant des essais nucléaires réalisés à l'air libre depuis 1950. Ils ont été très nombreux : 423 au total, 193 aux USA, 142 en URSS, 45 en France, 22 en Chine et 21 en Grande Bretagne. La pollution totale engendrée en une trentaine d'année est équivalente à 500 fois celle de Chernobyl et cela explique les pollutions encore importantes constatées dans certains états des Etats Unis voire même dans les régions arctiques avec des bioconcentrations dans les chaînes alimentaires (lichens-rennes).

- Les pollutions des milieux dues aux retombées de Chernobyl ont été discutées pour différents territoires : en Europe ou en France avec les retombées régionales en Corse, en Provence ou dans l'est de la France. Avec des sols pollués montrant une radioactivité de 5000 à 35000 Bcq/m<sup>2</sup>, une concentration dans les champignons (avec un facteur de concentration pouvant être proche de 100) existe, mais on estime qu'il faudrait consommer plus de 100 kg de champignons par an (poids frais) pour

atteindre la dose limite admissible de 1 mSv par an.

- Les problèmes rencontrés dans les régions proches de Chernobyl sont évidemment différents. La radioactivité des sols peut être de 100 000 à 1 million de Bcq/m<sup>2</sup>. Les doses qui viennent s'ajouter à la radioactivité naturelle dépassent la dose limite admissible et atteignent 1,2 à 2,8 mSv. La part liée à l'irradiation externe par le sol et l'environnement pollué est majoritaire (50 à 70 %) et il est difficile de s'en affranchir. On retrouve, comme autres voies privilégiées de contamination de l'homme, le lait et les champignons qui peuvent concentrer jusqu'à 100 000 Bcq par Kg.

La requalification des sols pollués par le Cs ou le Sr radioactifs pour différents usages et en particulier pour l'agriculture pose des problèmes difficilement solubles, analogues aux autres sols pollués par les métaux ou les polluants organiques. Pour les radionucléides toujours concentrés sur quelques centimètres en surface, le mélange avec les horizons de profondeur du sol représenterait une solution pour diluer et atténuer la pollution. Il n'en est pas de même pour les autres polluants.

Les espoirs représentés par la phytodépollution des sols pollués sont contrariés dans le cas de la pollution par  $^{137}\text{Cs}$ . Si on peut en expérimentation en pots extraire sélectivement par des cultures de 20 à 30 % du Cs radioactif, cela devient inopérant en conditions naturelles, sans que l'on en comprenne la raison. Il n'existe donc pas encore de solution opérationnelle pour requalifier les sols qui stockent pourtant l'essentiel des radionucléides en surface et pendant des dizaines d'années.

Les inquiétudes soulevées et les attentes de la société sont grandes, ce qui exige à la fois de nouvelles connaissances et une information complète des citoyens.

L'expérience réalisée dans le Nord-Cotentin, près de la Hague, a fait

l'objet de plusieurs présentations. Elle a fait suite à la controverse sur les risques élevés de leucémie (1955-1997) dans la région de la Hague. (4 cas observés en 14 ans contre 1,4 attendus). Les ministères chargés de l'environnement et de la santé ont été impliqués dans la création d'un groupe radioécologique du Nord Cotentin rassemblant les habitants, les techniciens, les politiques, les organisations non gouvernementales. Un volet recherche a été financé en accompagnement. Une expertise pluraliste a été mise en place (près de

88 experts de différents pays) et elle a été réalisée en contact étroit avec la population et le groupe de pilotage. La discussion a porté sur les résultats des mesures mais aussi sur les méthodes d'évaluation des risques qui se révèlent le point clé. Le rapport final de cette expérience est prévu en octobre 2001.

L'ouverture de la discipline à l'écotoxicologie, la diffusion et la discussion des résultats, le fait de rendre des comptes au citoyen sont donc des évolutions récentes

importantes qui étaient absolument nécessaires et dont le milieu de la recherche rend maintenant compte.

Ces évolutions sont d'autant plus importantes qu'en France l'IPSN va constituer avec l'OPRI (Office de protection contre les rayonnements ionisants) le futur institut de recherches sur la sûreté nucléaire (IRSN).

**Contact :**

*michel.robert@environnement.gouv.fr*

### Résistance aux biopesticides

Le plus utilisé des biopesticides provient de la bactérie *Bacillus Thuringiensis*, qui produit lors de sa sporulation des cristaux protéiques insecticides. Découverte pour la première fois au Japon au début du siècle, dans un élevage de vers à soie, cette bactérie du sol se trouve notamment en quantité importante dans les poussières des silos à grains. Des centaines de souches de cette bactérie existent, qui produisent chacune une protéine insecticide, dont la synthèse est commandée par un seul gène. Le premier insecticide commercial produit à partir de cette bactérie a été disponible en France en 1938. Homologués et largement utilisés en agriculture biologique aujourd'hui, les produits à base de toxines provenant de *Bacillus thuringiensis* représentent 90% du marché des biopesticides, évalué lui-même à 200 millions de dollars en 1995.

Utilisées en pulvérisation sur les cultures, les formulations à base de *Bacillus thuringiensis* sont actives sur différentes espèces d'insectes, comme les lépidoptères, les coléoptères et les diptères, mais aussi sur les acariens et même les nématodes.

Une fois ingérées par les insectes, les protoxines contenues dans les cristaux subissent une transformation enzymatique dans le tube digestif du ravageur ; les toxines polypeptidiques ainsi produites se fixent sur des récepteurs présents sur l'épithélium intestinal, aboutissant à la formation de pores dans la membrane puis à la lyse cellulaire. L'insecte meurt alors en 24 à 48 heures.

L'ingénierie génétique a permis d'insérer les gènes codant pour les toxines Bt dans des plantes comme le tabac, la tomate, le coton, le colza, le maïs, la pomme de terre et le riz. Une telle introduction a, en théorie, l'avantage de protéger des parties de la plante qui le sont de façon incomplète par les techniques de pulvérisation classique. Mais, dans la plupart des cas, la plante ainsi obtenue n'exprime qu'une seule toxine, ce qui facilite l'apparition d'individus résistants. La pression de sélection est encore accrue par le fait que les ravageurs sont soumis en permanence à la toxine présente dans la plante, alors que le rayonnement solaire ultraviolet détruit rapidement les cristaux après épandage.

Alors que la toxine Bt est bien différente, par son origine, son mode d'action et son usage, des autres produits insecticides, elle partage avec eux le problème lié à l'apparition de résistance chez les insectes ravageurs. Le premier cas de résistance à la toxine Bt a été décrit en 1985 dans une population de pyrale des fruits secs, élevée en laboratoire. Depuis, une quinzaine d'espèces ont développé une résistance en laboratoire. Au champ, jusqu'à présent, seule la teigne des crucifères est devenue résistante. Les lignées résistantes, découvertes à Hawaï avaient subi de nombreux traitements à base de Bt (15 en 18 mois pour l'une et de 50 à 400 en 7 ans pour l'autre). Les mécanismes par lesquels les insectes résistent à l'effet létal des toxines Bt, renvoient au mode d'action de ces toxines : les mutations

survenant chez les insectes affectent des gènes impliqués dans la synthèse des récepteurs membranaires ou de protéines enzymatiques agissant sur la liaison toxine-récepteur. Une recherche récente, menée chez le nématode *Caenorabditis elegans*, a en effet montré que, plutôt que la mutation d'un récepteur, la perte d'une enzyme - de type  $\beta$  galactosyltransférase - en affectant le motif carbohydrate de récepteurs par ailleurs totalement différents, peut conduire à un niveau très élevé de résistance, et même à des résistances croisées. Chez *Heliothis virescens*, ravageur du coton, l'étude du DNA a mis en évidence que l'essentiel de la résistance est porté par un gène (*BtR4*), responsable de la synthèse des protéines auxquelles se lie Bt. Des études précédentes ont montré qu'au moins un insecte sur 700 est porteur d'un gène de résistance, ce qui devrait aboutir à l'apparition de problèmes sérieux de résistances en moins de 10 ans, même si dans le cas de plantations OGM, les recommandations de l'Environmental Protection Agency (USA) (zones refuge [HDR]) sont bien suivies.

Références : *Science*, 2001, 293, 860-864 et 857-860 et *Biofutur*, 2000, 201, 42-45.

## Retour d'expérience : le rapport Phillips sur l'Encéphalopathie Spongiforme Bovine

Le Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) "Risques Collectifs et Situations de Crise", qui bénéficie de l'appui du Ministère, a consacré le premier numéro de ses cahiers à une analyse du rapport de la commission d'enquête britannique sur l'Encéphalopathie Spongiforme Bovine (ESB) au Royaume-Uni entre 1986 et 1996, établi par Lord Phillips.

P. Lagadec, du laboratoire d'économétrie de l'Ecole Polytechnique, auteur de cette analyse - qui porte sur le volume central du rapport -, exprime d'abord sa surprise sur l'écart entre la version du déroulement de la crise communément répandue en France et les constats du rapport. Il présente ensuite les grandes lignes de l'approche de Lord Phillips, caractérisée par l'attention donnée à la rigueur des procédures et par l'équité dans les examens et jugements, pour venir à bout de sa mission. Les deux écueils du retour d'expérience ont de ce fait, été évités : l'examen rapide limité aux aspects techniques et logistiques, l'examen global autour d'une thèse simple et globalisante, désignant des boucs émissaires.

La démarche adoptée par Lord Phillips peut être résumée ainsi :

- une logique de questionnement nette et déterminée,
- une investigation elle-même résolument ouverte sur le terrain de l'information publique,
- une recherche des responsabilités prenant en compte la complexité organisationnelle,
- une vigilance vis à vis des interprétations faisant barrage à l'examen ouvert,
- une explicitation des pièges.

Les difficultés inhérentes à la procédure sont rappelées ainsi que les modalités pour les surmonter.

La "force des croyances" (*beliefs*) est un des enseignements du rapport : "au plus profond d'eux-mêmes, ils croyaient que cela n'arriverait jamais". Les pièges des représentations initiales, l'enfermement dans l'erreur, et les blocages du questionnement ressortent des témoignages.

L'information et la communication au fil de la crise sont décortiquées ; s'il n'y a pas eu dissimulation de l'information - au moins après les six premiers mois, souligne le rapport (ce qui peut prêter à discussion, y compris à la lecture du rapport lui-même)-, le public n'a pas été destinataire d'une information équilibrée et ouverte au sujet du risque et, en raison notamment de conflits d'intérêts, a même reçu de fortes assurances sur le fait qu'il était sans danger de manger du bœuf.

L'analyse des dysfonctionnements liés aux comités d'experts et à leurs relations avec les décideurs publics est particulièrement intéressante. Les pièges à éviter par les experts, le mode de pilotage des comités, les enseignements opérationnels pour gérer les comités devraient être précieux pour les décideurs de haut niveau confrontés à des risques nouveaux.

Cette analyse apporte un éclairage nouveau sur la conduite de crise et l'application du principe de précaution. La sécurité de base peut être très insuffisante sur des maillons apparemment "secondaires", les plus faibles, qui vont jouer un rôle critique dans la diffusion du mal. Les structures n'étaient pas préparées aux situations de risque non-conventionnel, situations

différentes des urgences claires, répertoriées, immédiates et spécifiques. Une approche d'ensemble était nécessaire. L'absence de stratégie, un cloisonnement administratif entre les secteurs concernés, et des cultures incapables de se mouvoir dans des univers de crise expliquent les dysfonctionnements et les délais de la gestion de la crise.

Enfin, les principales difficultés caractéristiques du dossier et propres à l'ESB sont discutées, en particulier, celles concernant la décision dans un contexte de fortes incertitudes et la proportionnalité des mesures de précaution.

En conclusion, pour l'auteur, l'analyse du Rapport Phillips, fait ressortir une profonde impréparation culturelle, organisationnelle, technique des administrations dont l'action a été examinée, à affronter les crises contemporaines : non-conventionnelles, transverses, pleines de surprises. Pour prévenir ce type de fiasco, ce sont des efforts déterminés de mutation qui devront être engagés si l'on veut mettre en oeuvre le principe de précaution

### Contact :

Patrick Lagadec, [plagadec@club-internet.fr](mailto:plagadec@club-internet.fr)  
Pour les cahiers du GIS :  
Claude.Gilbert@upmf-grenoble.fr