

ACRO

2016

Tchernobyl, 30 ans après ? Bilan de la cartographie citoyenne



**Association pour le contrôle de
la radioactivité dans l'Ouest**

acro.eu.org

tchernobyl30.eu.org

Sommaire

PRESENTATION DE L'ACRO	33
RESUME	4
PRESENTATION DE L'OPERATION	4
BILAN DE LA PARTICIPATION	4
RESULTATS	5
PRESENTATION DE L'OPERATION	6
POURQUOI UNE CARTOGRAPHIE DU CESIUM-137 ?	6
UNE DEMARCHE PARTICIPATIVE	6
LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL	7
BILAN DE LA PARTICIPATION	8
REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES PRELEVEMENTS	8
TYPE D'ECHANTILLONS PRELEVES	9
RESULTATS	13
LES SOLS	13
LES SEDIMENTS AQUATIQUES	17
LES LICHENS	18
LES AUTRES INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX	20
LES CHAMPIGNONS	23
LES DENREES	28
CONCLUSION	31
ANNEXE 1 : RESULTATS D'ANALYSES	33
ANNEXE 2 : LE CESIUM DANS L'ALIMENTATION EN EUROPE : QUELS SONT LES NIVEAUX DE REFERENCES ?	45
ANNEXE 3 : GUIDE DU PRELEVEUR VOLONTAIRE	51

Présentation de l'ACRO

L'**ACRO** est une **association** agréée de protection de l'environnement. Elle fut créée par un millier de personnes, dans les mois qui ont suivi l'accident de Tchernobyl en réaction à une carence en information et en moyens de contrôles indépendants de la radioactivité. L'émergence d'une telle organisation est liée à la volonté de la société civile de rendre **le citoyen auteur et acteur de la surveillance de son environnement comme de son information, mais également dans le cadre des processus de concertation.**

Les missions de l'ACRO :

L'**Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest** est une association loi 1901, agréée de protection de l'environnement et dotée d'un laboratoire d'analyse de la radioactivité.

Elle fut créée en 1986 après la catastrophe de Tchernobyl en réponse à une demande d'informations et de mesures fiables et indépendantes.

Grâce aux compétences humaines et matérielles qu'elle fédère, l'ACRO a développé au fil des années une **capacité d'expertise** qui en fait un acteur essentiel du débat public et l'amène à participer à de nombreux Groupes de travail et Commissions institutionnelles.



Dotée d'un laboratoire de mesure de la radioactivité dans l'environnement, l'ACRO mène des travaux d'études et de surveillance de la radioactivité dans l'environnement à sa propre initiative ou bien pour répondre à la demande de collectivités territoriales, commissions locales d'information et d'associations. Dans ce contexte, l'ACRO anime au quotidien **l'Observatoire Citoyen de la Radioactivité dans l'Environnement**, qui implique les riverains des installations nucléaires aux côtés du laboratoire dans une surveillance active des niveaux de la radioactivité autour de chez eux.



Le laboratoire de l'ACRO est agréé dans le cadre du Réseau national de mesure de la radioactivité dans l'environnement (12 agréments) et pour l'évaluation de l'activité volumique du radon dans les lieux ouverts au public.

Enfin, l'ACRO s'est engagée depuis 2004 en **Biélorussie** auprès des habitants de territoires contaminés par l'accident de Tchernobyl et depuis 2011 **au Japon**. Les actions sur le terrain visent à améliorer les moyens de surveillance, d'information et de prévention de la contamination radioactive.

Résumé

Présentation de l'opération

En 2016, trente années se seront écoulées depuis la catastrophe de Tchernobyl, ce qui correspond à la période radioactive du césium-137. Avec l'iode-131 et le césium-134, c'est le principal radionucléide artificiel qui s'est propagé sur la quasi-totalité de l'Europe par transport atmosphérique et qui a entraîné une contamination de l'environnement. Aujourd'hui, seul le césium-137 est encore détectable en France.

Si l'ACRO a souhaité réaliser une cartographie à l'échelle de la France puis de l'Europe, 30 ans après l'accident, c'est donc pour tenter de répondre à plusieurs questions :

- **Tous les compartiments de l'environnement sont-ils contaminés par le césium-137 ?**
- **Quels sont les niveaux d'activité que l'on peut trouver dans notre environnement quotidien (jardin, forêt...) aujourd'hui ?**
- **Quelles denrées alimentaires sont encore contaminées ?**

L'opération Tchernobyl+30 s'inscrit dans une démarche participative.

Une grande autonomie a été laissée à chaque préleveur volontaire, aussi bien sur le lieu du prélèvement que sur la nature des échantillons à prélever avec une devise :

vous prélevez, l'ACRO analyse !

Un guide méthodologique réalisé pour l'occasion a permis à chaque préleveur de réaliser ses prélèvements au plus proche des techniques employées habituellement par le laboratoire de l'ACRO.

Bilan de la participation

L'opération « Tchernobyl, 30 ans après ? » a rencontré un grand succès, **une centaine de préleveurs volontaires** ont participé à l'opération et trois associations ont souhaitées participer à cette campagne : ***Les Enfants de Tchernobyl, l'Observatoire Mycologique et Greenpeace Allemagne.***

La participation du public a permis l'analyse d'un **nombre très important d'échantillons** (364) répartis **dans toute l'Europe** (13 pays). La liberté laissée aux préleveurs dans le choix des échantillons et des lieux de prélèvements a permis de cerner des indicateurs auxquels nous n'aurions pas pensé, et de révéler des zones qu'on pouvait imaginer relativement épargnées par les retombées.

Résultats

Les sols :

Notons d'abord que **l'ensemble des échantillons de sol analysés en France comme en Europe présente une contamination par le césium-137.**

Les zones de dépôts préférentiels ont été les massifs montagneux, car c'est là que les précipitations sont généralement les plus importantes. En montagne, on observe la formation de « **points chauds** » créés par le ruissellement lors de la fonte des neiges et des congères. De grandes quantités d'éléments radioactifs (contenus dans la neige) se sont alors accumulées sur un espace réduit, entraînant des concentrations très importantes de radioactivité dans le sol. On mesure jusqu'à **68 000 Bq/kg** de sol sec dans les Alpes.

En France, les prélèvements réalisés dans **le tiers Est du pays** présentent encore des contaminations importantes. En plaine, on mesure jusqu'à 70 Bq/kg sec en Isère et 174 Bq/kg sec dans le Haut-Rhin. Des contaminations importantes ont par ailleurs été mesurées ponctuellement dans des zones globalement moins impactées par les retombées radioactives : on mesure, par exemple, 91 Bq/kg sec de césium-137 dans un sol forestier de Seine-Maritime.

Les champignons :

Nous avons pu constater les propriétés déjà connues d'accumulation du césium du sol par les champignons : **80% des échantillons de champignons analysés sont contaminés** par le césium-137.

Des contaminations parfois très importantes ont été observées : jusqu'à **4 410 Bq/kg sec** dans des pieds de mouton prélevés au Luxembourg et **860 Bq/kg sec** dans des chanterelles prélevées dans la Drôme. La capacité d'accumulation du césium-137 par les champignons conduit à des contaminations importantes de champignons dans des zones moins impactées par les retombées radioactives. On mesure par exemple 97 Bq/kg sec dans des bolets prélevés dans le calvados.

Les denrées :

Les fruits et les légumes semblent épargnés par la contamination par le césium-137. Seules des châtaignes prélevées dans le Gard présentaient un marquage par ce radioélément. Les produits de ruches, les produits laitiers (fromage de vache et de chèvre) et les plantes aromatiques analysées ne révèlent pas la présence de césium-137.

Ce n'est pas le cas du gibier, par leur alimentation et leur milieu de vie, ils ingèrent quotidiennement du césium-137. Le sanglier analysé au cours de cette campagne présentait une contamination 3,2 Bq/kg frais par le césium-137.

En Norvège, en Suède et en Finlande, la contamination de la viande de renne est devenu un problème sanitaire qui perdure encore actuellement. Nous avons mesuré **690 Bq/kg frais** de césium-137 dans la viande de renne et **25,3 Bq/kg frais** dans la viande d'élan, ces viandes ont été achetées dans un supermarché en Norvège. Les rennes se nourrissent principalement de lichens connus pour accumuler le césium-137. Ce césium-137 est transféré du lichen au renne, puis du renne à l'Homme.

Présentation de l'opération

Pourquoi une cartographie du césium-137 ?

En 2016, trente années se seront écoulées depuis la catastrophe de Tchernobyl, ce qui correspond à la période radioactive du césium-137. Avec l'iode-131 et le césium-134, c'est le principal radionucléide artificiel qui s'est propagé sur la quasi-totalité de l'Europe par transport atmosphérique et qui a entraîné une contamination de l'environnement. **Aujourd'hui, seul le césium-137 est encore détectable en France.**

Etant donné le nombre de mesures de radioactivité réalisées chaque année en France, on sait bien que cet élément radioactif est encore présent aujourd'hui dans l'environnement. Mais comme toujours, ce sont les zones proches des installations nucléaires qui bénéficient du plus grand nombre de données de surveillance, tandis que les lieux les plus éloignés sont souvent ignorés. De même, la liste des échantillons analysés régulièrement n'est pas exhaustive.

Ainsi, on n'a aujourd'hui qu'une vision incomplète de la répartition réelle de ce césium-137.

On sait aussi que **cette pollution a migré dans l'environnement au cours de ces trente années**, et qu'une cartographie faite aujourd'hui à partir de mesures réelles n'aura sans doute pas la même apparence que les cartes des dépôts effectuées dans les années 90.

Si l'ACRO a souhaité réaliser une cartographie à l'échelle de la France puis de l'Europe, 30 ans après l'accident, c'est donc pour tenter de répondre à plusieurs questions :

- **Tous les compartiments de l'environnement sont-ils contaminés par le césium-137 ?**
- **Quels sont les niveaux d'activité que l'on peut trouver dans notre environnement quotidien (jardin, forêt...) aujourd'hui ?**
- **Quelles denrées alimentaires sont encore contaminées ?**

Une démarche participative

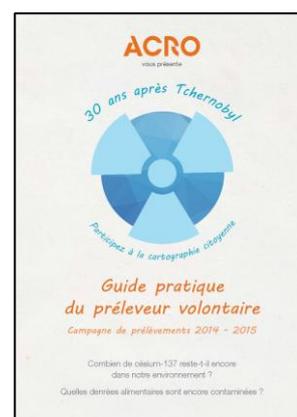
Pour répondre à ces questions, l'ACRO a lancé, en 2014, une cartographie citoyenne de la pollution radioactive rémanente en faisant appel à toutes les personnes intéressées : simples particuliers, promeneurs, jardiniers amateurs ou professionnels, cueilleurs de champignons, consommateurs, voyageurs... Bref, nous avons voulu réaliser cette cartographie avec l'aide de toutes les personnes concernées par cette pollution rémanente.

Une grande autonomie a été laissée à chaque préleveur volontaire, aussi bien sur le lieu du prélèvement que sur la nature des échantillons à prélever avec une devise :

vous prélevez, l'ACRO analyse !

Concernant les techniques de prélèvement, le guide méthodologique (présent en annexe) réalisé pour l'occasion a permis à chaque préleveur de réaliser ses prélèvements au plus proche des techniques employées habituellement par le laboratoire de l'ACRO.

Une centaine de préleveurs volontaires ont participé à cette campagne, ainsi que trois associations.



La catastrophe de Tchernobyl

Le 26 avril 1986, le cœur du réacteur n° 4 de la centrale de Tchernobyl explose. C'était un réacteur de 1000 MW(e) en service depuis 1983. Le cœur de ce réacteur était constitué

d'un imposant bloc de graphite dans lequel étaient placés des tubes de force qui renfermaient chacun plusieurs assemblages de combustible nucléaire. Le graphite assurait le rôle de modérateur : la réduction de la vitesse des neutrons étant nécessaire à l'entretien de la réaction en chaîne. Le refroidissement était assuré par de l'eau bouillante circulant à l'intérieur des tubes de force au contact du combustible.

L'accident a été provoqué par une expérience qui a mal tourné et l'augmentation incontrôlée de la puissance de ce réacteur a conduit à la fusion du cœur. Cela a entraîné une explosion et la libération d'importantes quantités d'éléments radioactifs dans l'atmosphère. Des fragments du cœur ont été projetés à travers le toit d'où s'échappera durant plusieurs jours un panache de poussières radioactives dû à l'incendie.

*Réacteur de Tchernobyl,
26 avril 1986*

Photo : IGOR KOSTIN



Les rejets radioactifs massifs de Tchernobyl ont duré une dizaine de jours. Des rejets de moindre importance perdurent. Deux explosions ont été responsables du rejet initial de matières radioactives. Un nuage de plusieurs kilomètres de haut s'est formé puis dispersé ensuite sous la forme d'un panache. Le cœur du réacteur, laissé à nu et, en particulier, l'incendie du modérateur en graphite, ont été ensuite à l'origine d'un dégagement continu de grandes quantités de matières radioactives dans l'atmosphère sous forme de gaz, d'aérosols et de particules. Le feu dans le modérateur en graphite n'a pu être stoppé qu'au bout de dix jours.

Il s'agit du premier accident classé au **niveau 7 sur l'échelle internationale des événements nucléaires (INES)**, le second étant la catastrophe de Fukushima du 11 mars 2011. Il est considéré comme le plus grave accident nucléaire jamais répertorié. Les conséquences de la catastrophe de Tchernobyl sont considérables aussi bien au plan sanitaire, humain, écologique, économique que politique.

Les radionucléides projetés par l'explosion et l'incendie ont touché principalement la **Biélorussie, l'Ukraine et l'Ouest de la Russie**, mais se sont également dispersés sur une grande partie de l'Europe. Des concentrations élevées se sont déposées notamment en Autriche, et en Scandinavie. La France n'a pas été épargnée : **les Alpes, la Corse et l'Alsace sont les régions les plus touchées.**

L'importance des retombées radioactives en Europe dépend des trajectoires des masses d'air, de la distance parcourue par le panache et de l'intensité des pluies. Ces retombées ont formé de vastes zones discontinues de dépôts. En dehors de la région de Tchernobyl, seul le césium-137 a conduit à une contamination des territoires encore détectable du fait de sa période radioactive qui est de 30 ans.

D'autres éléments, comme les isotopes radioactifs de l'iode, ont également contaminé significativement des territoires européens, mais ils ont disparu du fait de leur courte demi-vie. Localement, les zones d'évacuation sont déterminées à partir de la contamination en césium, strontium et plutonium.

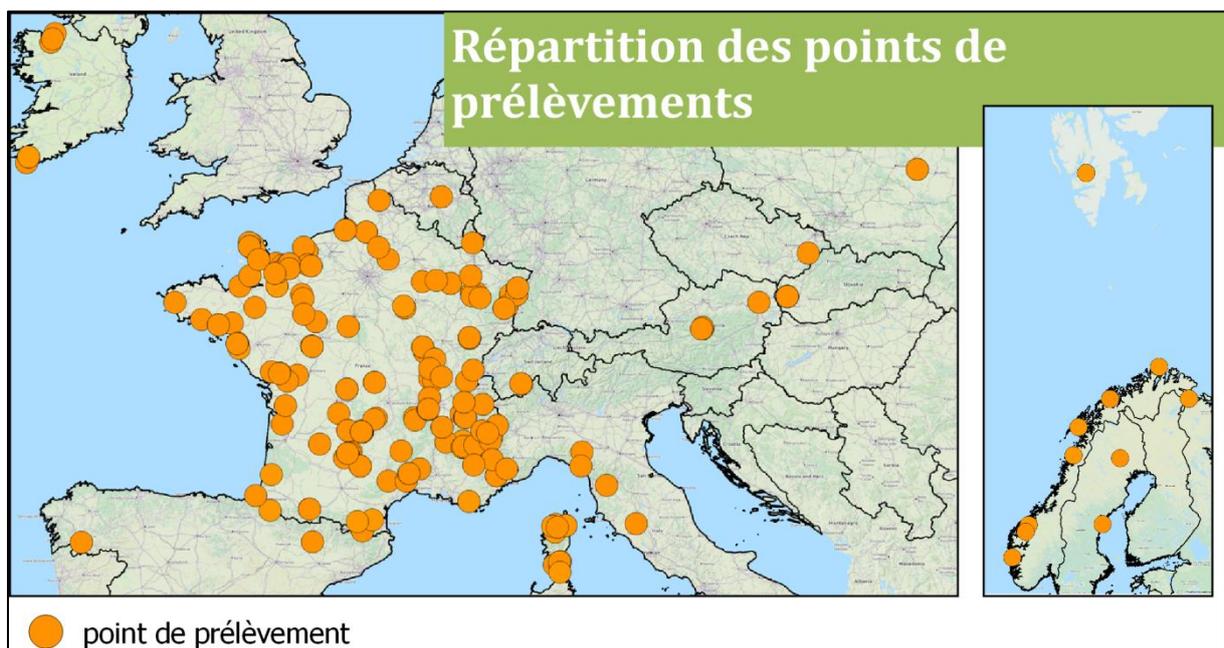
Bilan de la participation

L'opération « Tchernobyl, 30 ans après ? » a rencontré un grand succès, d'août 2014 à février 2016 nous avons reçu **364 échantillons collectés par 94 préleveurs**. Les prélèvements ont été réalisés en France et dans 12 autres pays européens. La plupart des prélèvements ont été effectués par des particuliers ; toutefois, trois associations se sont associées à cette campagne, il s'agit des **Enfants de Tchernobyl**, de **l'Observatoire mycologique** et de **Greenpeace Allemagne**.

Répartition géographique des prélèvements

300 échantillons ont été prélevés en France. La répartition des prélèvements à l'échelle du pays est globalement assez bonne, mais certaines régions sont toutefois mieux représentées que d'autres. C'est le cas de la Normandie et de l'ex-région Rhône-Alpes. La première bénéficie d'un important réseau de préleveurs du fait de l'implantation de l'ACRO dans cette région. Quant à la région Rhône-Alpes, les échanges avec les préleveurs ont montré un vif intérêt de leur part pour ces analyses, la plupart des personnes ayant bien conscience d'habiter dans l'une des régions ayant subi des retombées radioactives parmi les plus importantes du pays en 1986.

Le Sud-Ouest, la région parisienne et le centre de la France sont des zones où les prélèvements ont été moins nombreux. Les lieux de prélèvement sont représentés sur la carte ci-dessous.



Les lieux de prélèvement n'ont pas été prédéterminés, mais laissés à l'appréciation des participants. Ils ont, en grande partie, été réalisés sur le lieu d'habitation des préleveurs. Dans les autres cas, les participants ont profité de déplacements professionnels ou personnels pour participer à la cartographie.

Pour le reste de l'Europe, certaines zones ont bénéficié d'un nombre important de prélèvements et d'autres ont été moins investiguées. Par exemple, la Norvège, où les contaminations ont été conséquentes, a fait l'objet de prélèvements répartis sur tout le littoral et jusqu'à l'île Spitzberg ! À l'inverse, d'autres pays comme l'Allemagne font défaut à notre cartographie. Le tableau ci-dessous présente la répartition des échantillons par pays.

Nombre d'échantillons par pays	
France	299
Espagne	2
Luxembourg	16
Suisse	4
Autriche	7
Norvège	14
Pologne	2
Irlande	7
Belgique	1
République Tchèque	1
Italie	5
Slovaquie	6
Suède	4

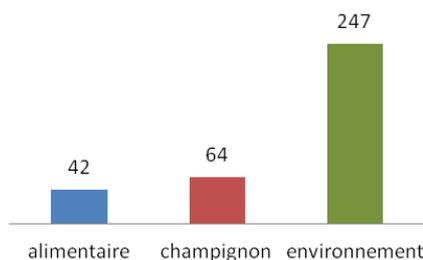
Type d'échantillons prélevés

Trois catégories d'échantillons étaient préconisées : les indicateurs environnementaux, les denrées alimentaires et les champignons (pouvant être à la fois des denrées alimentaires et des indicateurs environnementaux). Nous proposons aux préleveurs la collecte d'espèces (végétales ou animales) ou de compartiments de l'environnement réputés pour leur capacité d'accumulation ou de stockage du césium-137. Mais la stratégie était également de laisser les préleveurs libres de faire analyser les échantillons de leur choix. Malgré la grande diversité d'échantillons reçus, nous avons néanmoins suffisamment de prélèvements de même nature nous permettant d'effectuer des comparaisons géographiques.

Lors de cette campagne, nous avons reçu 42 échantillons alimentaires, 64 de champignons et enfin 247 indicateurs de l'environnement.

Les denrées ont été collectées par des préleveurs soucieux de connaître les niveaux de radioactivité dans leur alimentation. Les échantillons les plus prélevés sont les fruits et les légumes. Ils ont le plus souvent été récoltés dans le potager de la maison. Nous avons également reçu des plantes aromatiques : thym, persil, sauge, lavande, ail des ours. Les graphiques ci-après illustrent la diversité de ces prélèvements.

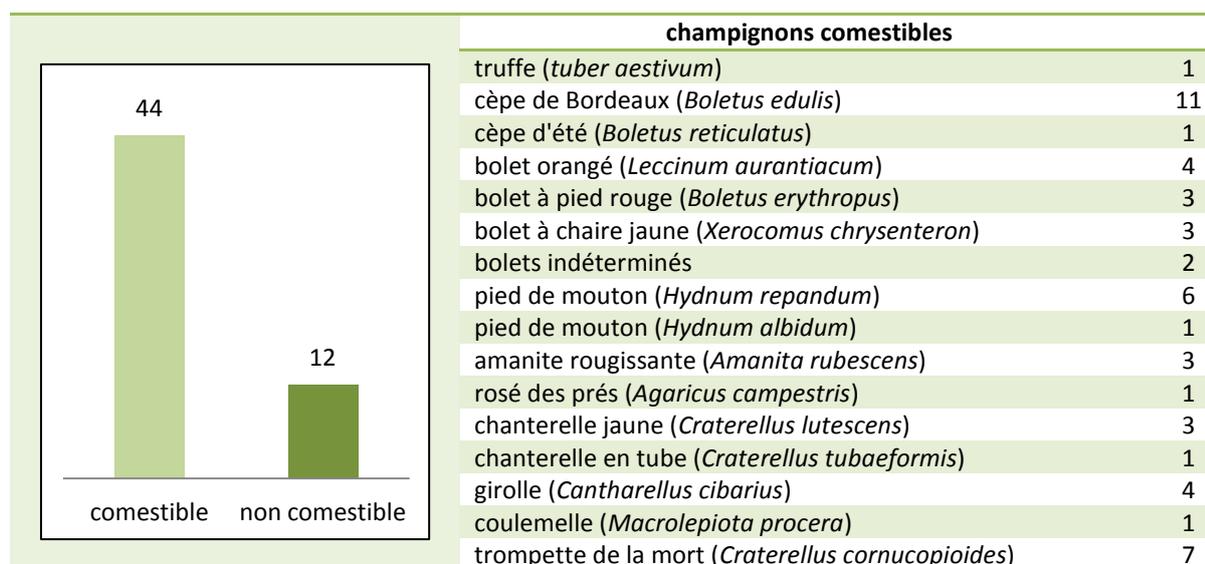
Nombre d'échantillons par catégorie



Les champignons analysés ont été, pour partie, prélevés par des préleveurs volontaires. Nous avons également établi un partenariat avec l'Observatoire Mycologique qui nous a fait bénéficier de ses connaissances et de son réseau d'adhérents. Ainsi, les différentes associations locales de mycologues ont réalisé 26 prélèvements de champignons et 5 prélèvements de sol associés à ces champignons. En concertation avec l'Observatoire Mycologique, nous avons orienté les prélèvements de champignons vers des espèces réputées pour leur capacité à accumuler le césium-137 et fréquentes sur une grande partie du continent européen. Nous recommandons le prélèvement de cèpes de Bordeaux (*Boletus edulis*) et de pieds de mouton (*Hydnum repandum*) tout en laissant les préleveurs libres de prélever les espèces correspondant mieux à leurs habitudes de cueillette.



Nous avons également analysé 5 champignons achetés en grande surface provenant de Russie, de Biélorussie, de Bulgarie et de Roumanie. Le tableau ci-dessous présente les espèces de champignons analysés.



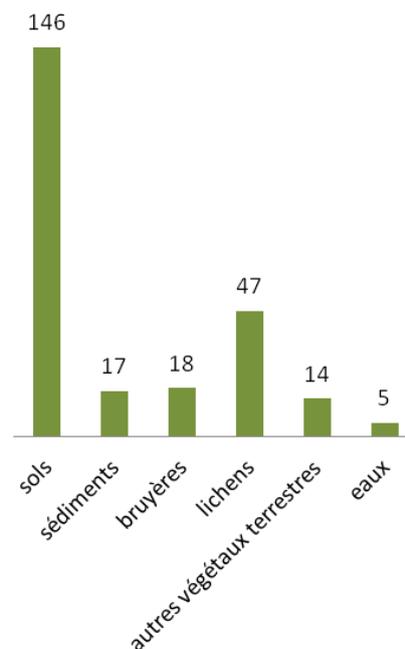
Les indicateurs de l'environnement ont été les échantillons les plus prélevés. Nous recommandons aux participants des prélèvements d'indicateurs du **compartiment minéral**, compartiment qui stocke le césium-137 pouvant par la suite être transféré aux organismes vivants :

du **sol**, sur 2 horizons (0-10 cm et 10-20 cm) pour avoir une information sur la migration verticale du césium-137, et des **sédiments aquatiques**.



Nous avons aussi aiguillé les préleveurs vers des **indicateurs biologiques** : les lichens (en particulier *Xanthoria parietina*), qui sont de très bons indicateurs de pollution atmosphérique, et les bruyères (*Erica cinerea* et *Calluna vulgaris*) dont les capacités d'accumulation du césium sont reconnues.

Certains préleveurs nous ont envoyé du couvert végétal : de l'herbe, des mousses terrestres, de la tourbe blonde (sphaigne) et des joncs. Nous avons également reçu des prélèvements d'eau : eau de rivière et eau de puits. Le graphique ci-contre illustre la diversité des prélèvements environnementaux.

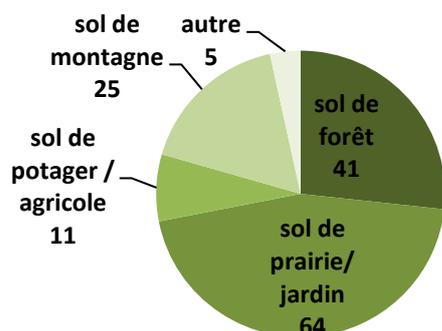


Focus sur les sols

Les 146 échantillons de sol ont été récoltés sur 106 points de prélèvements différents et 40 ont été réalisés sur deux horizons au même point de prélèvement afin d'étudier la migration verticale du césium-137.

Etant donné l'importance d'un certain nombre de facteurs dans la rétention du césium-137 par un sol (comme l'activité biologique, les caractéristiques physico-chimiques, le pH, etc.), nous avons choisi de les classer en fonction de leur milieu : sol de forêt, de jardin ou de prairie, de massif montagneux et sol de potager. Le graphique ci-après présente la diversité des échantillons de sol reçus.

Prélèvement de sol



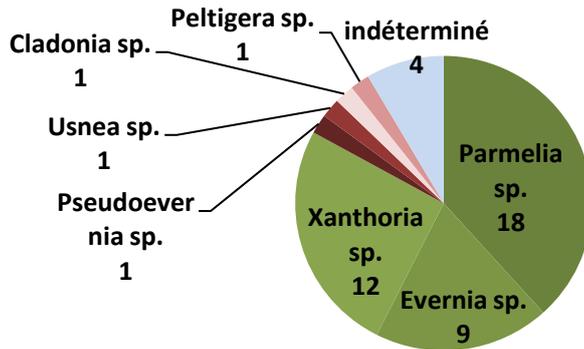
Sols prélevés au cours de cette campagne

Dans la catégorie « autre », nous comptons du substrat de mousse terrestre, de la tourbe, un sol prélevé dans un talus et du sol d'un marécage.

Focus sur les lichens

Parmi les échantillons de lichens, plusieurs genres ont été récoltés, dont trois de manière récurrente : *Xanthoria sp.*, *Evernia sp.* et *Parmelia sp.*. Ces 3 genres de lichens représentent 83 % des lichens prélevés au cours de cette campagne. La figure suivante présente le nombre de chaque genre de lichens prélevés.

Xanthoria parietina

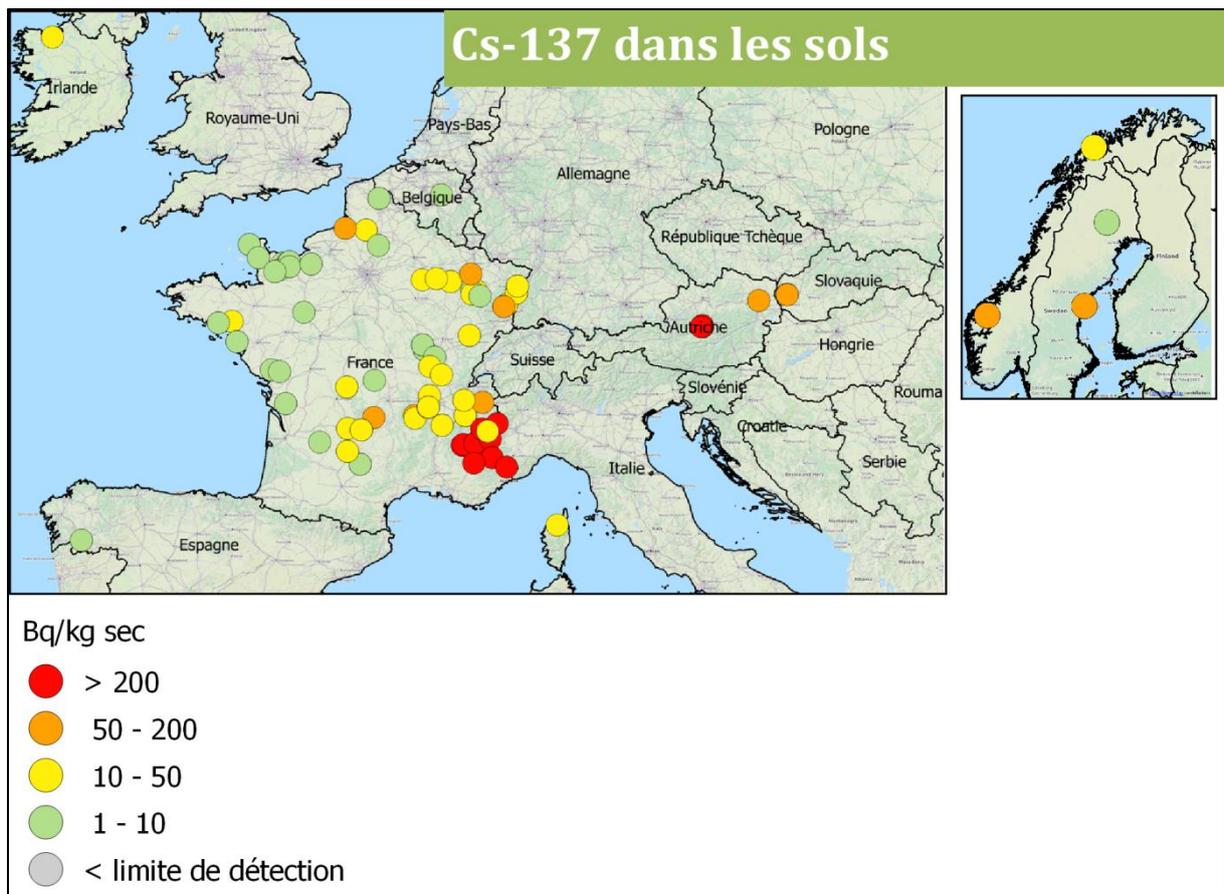


Lichens prélevés au cours de cette campagne

Résultats

Les sols

La première observation à la lecture des résultats est que **l'ensemble des échantillons de sol analysés en France comme en Europe présente une contamination par le césium-137**, due à la fois aux retombées des essais nucléaires atmosphériques et à la catastrophe de Tchernobyl. Dans les deux cas, les zones de dépôts préférentiels ont été les massifs montagneux, car c'est là que les précipitations sont généralement les plus importantes.



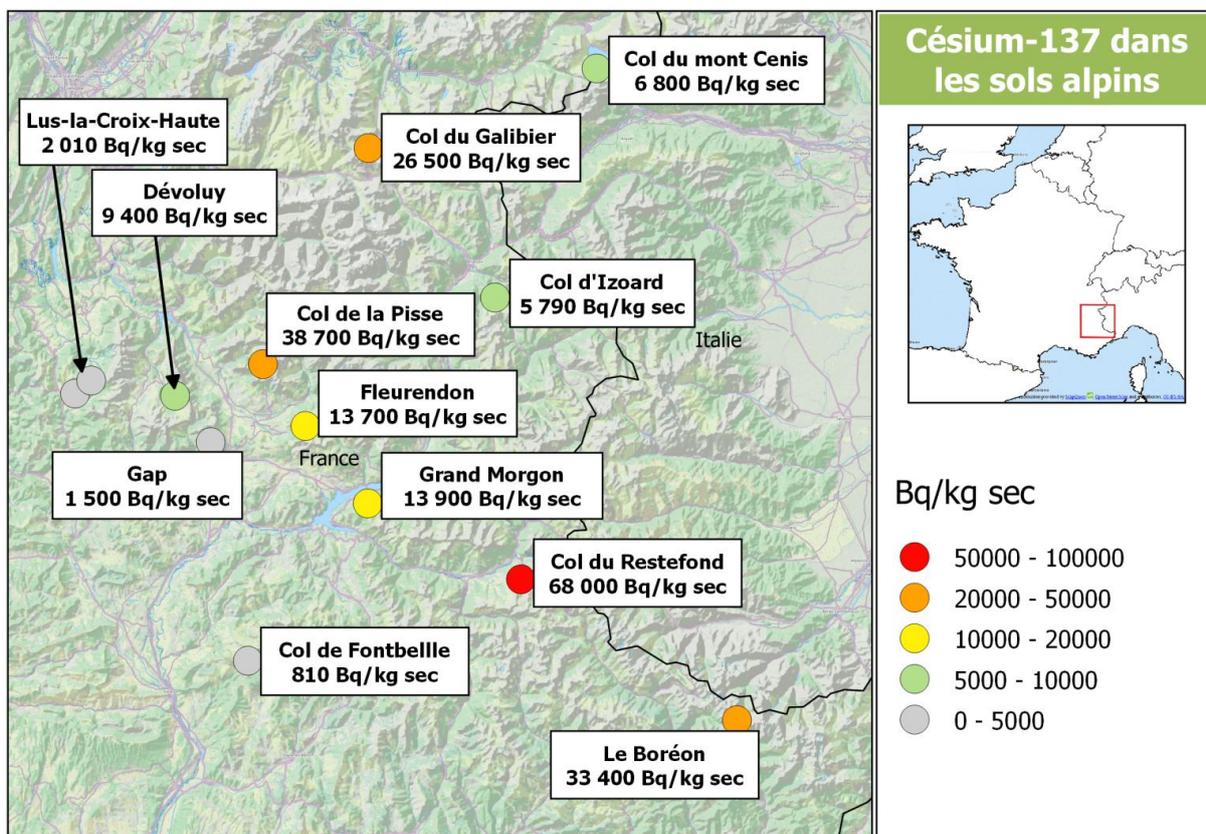
En France, les prélèvements réalisés dans l'Est du pays présentent encore des contaminations importantes. **En dehors de la zone montagneuse des Alpes** (points rouge sur la carte), on mesure jusqu'à 70 Bq/kg sec en Isère et 174 Bq/kg sec dans le Haut-Rhin.

Des contaminations importantes ont par ailleurs été mesurées ponctuellement dans des zones globalement moins impactées par les retombées radioactives : on mesure, par exemple, 91 Bq/kg sec de césium-137 dans un sol forestier de Seine-Maritime.

Malgré le nombre limité de prélèvements dans les autres pays d'Europe, des contaminations conséquentes ont pu y être mesurées, notamment dans les **Alpes autrichiennes** (jusqu'à 12 800 Bq/kg sec), en **Slovaquie** (87 Bq/kg sec) et en **Suède** (188 Bq/kg sec).

Les zones de dépôt préférentiel ont été les massifs montagneux, car c'est là que les précipitations ont été les plus importantes lors des passages de nuages contaminés. En montagne, on observe aussi la formation de « points chauds » sur de petites surfaces, créés par le ruissellement lors de la fonte des neiges et des congères. Les éléments radioactifs (contenus dans la neige) se sont alors accumulés sur un espace réduit, entraînant des concentrations très importantes de radioactivité dans le sol.

C'est pourquoi, l'association *Les Enfants de Tchernobyl* a choisi le massif alpin pour réaliser ses prélèvements. Cette zone de montagne représente aujourd'hui l'une des zones les plus contaminées de France, 30 ans après les dépôts radioactifs. La carte ci-dessous présente les résultats d'analyses de l'étude conduite en partenariat avec *Les Enfants de Tchernobyl*.



Influence du milieu

Le tableau suivant présente les activités minimales, maximales ainsi que la médiane¹ des concentrations en césium-137 observées pour chaque type de sol (résultats France et Europe).

Milieu	Nombre de mesures	Minimum mesuré (en Bq/kg sec)	Maximum mesuré (en Bq/kg sec)	Médiane
prairie	64	1,6	84	8,9
forêt	41	2,08	188	21,8
montagne	25	442	68 000	6 800
potager/agricole	11	4,4	48	8,4

Minimum, Maximum et médiane par type de sol

Il ressort de ce tableau une très forte disparité entre les résultats observés en montagne et ceux des autres types de milieu. La principale raison est que les prélèvements de la zone de montagne ont été faits à l'aide d'un détecteur de terrain permettant de mesurer le rayonnement ambiant et donc de repérer les « **points chauds** », c'est-à-dire là où le césium-137 s'est concentré. Pour tous les autres prélèvements de sols, aucun repérage préalable n'a été effectué, autre que l'étude visuelle de la topographie pouvant aider à trouver des zones d'accumulation préférentielle. L'idée n'était pas de cibler les zones les plus contaminées (pour la plupart déjà bien identifiées) mais bien d'évaluer sans a priori toutes sortes de lieux différents.

Prélèvement de sol avec détecteur.

Photo : A. PARIS



On note également une **différence nette entre les zones de forêt et de prairie**, les arbres ayant intercepté des particules radioactives à la fois par temps sec et humide. Les concentrations maximales en césium-137 atteignent des niveaux deux fois plus importants en forêt (188 Bq/kg sec) qu'en prairie (84 Bq/kg sec) ; pour autant, la moitié des résultats sont inférieurs à 22 Bq/kg en forêt et inférieurs à 9 Bq/kg en prairie.

Etude de la migration du césium en profondeur

Depuis 1986, une partie du césium-137 déposé à la surface des sols a migré, soit en surface (c'est le ruissellement et l'entraînement par les cours d'eau), soit en profondeur (c'est la percolation). Afin d'apprécier dans quelles proportions cette migration a eu lieu, nous avons demandé aux personnes effectuant des prélèvements de sol, de réaliser un carottage, c'est-à-dire de prélever à deux profondeurs successives. N'ayant pas directement maîtrisé ces prélèvements (ils sont réalisés par des tierces personnes), les résultats que nous présentons ci-dessous différencient simplement l'horizon supérieur de l'horizon inférieur. Généralement, l'horizon supérieur représente la couche entre la surface et 10 cm et l'horizon inférieur celle comprise entre 10 et 20 cm de profondeur.

¹ **Médiane** : Valeur qui sépare les activités mesurées pour chaque type de sol en deux parties égales : 50 % des activités sont inférieures à cette valeur médiane, et 50 % lui sont supérieures.

La migration verticale du césium dans le sol dépend notamment de ses caractéristiques physico-chimiques (composition, pH...) et de son activité biologique (faune, micro-organismes...). Dans les sols pauvres en argile et en matière organique, la migration en profondeur (ou percolation) du césium sera plus importante que dans des sols argileux et constitués d'une riche litière.

Le tableau suivant présente pour chaque type de sol, la répartition du césium entre les deux horizons. Ce tableau ne concerne que les échantillons ayant bénéficié d'un découpage en deux couches (horizon supérieur et horizon inférieur).

Séparation des horizons supérieur et inférieur d'un prélèvement de sol



Milieu	nombre de points de prélèvements sur plusieurs horizons	Horizon supérieur plus contaminé que l'horizon inférieur	Horizon supérieur moins contaminé que l'horizon inférieur	Horizon supérieur aussi contaminé que l'horizon inférieur
prairie	21	7 (33 %)	0 (0 %)	14 (67 %)
forêt	10	5 (50 %)	3 (30 %)	2 (20 %)
montagne	7	5 (71 %)	1 (14 %)	1 (14 %)
potager/agricole	3	0 (0 %)	0 (0 %)	3 (100 %)

Horizon le plus contaminé par site de prélèvement

On observe des différences assez nettes dans la graduation de la contamination avec la profondeur, en fonction du type de sol considéré :

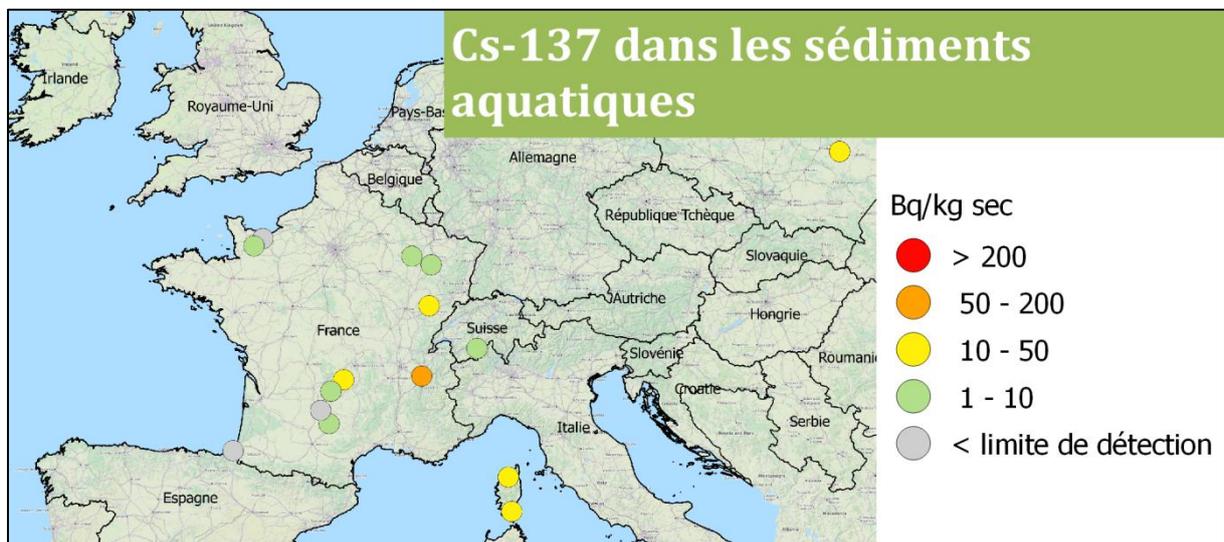
- Les sols de forêt ayant une activité biologique très importante, en particulier au niveau de la surface (horizon humique), le césium y est en permanence remonté par l'activité des organismes fongiques. Etant sous-forme bio-disponible, il est également pompé par les végétaux (arbres, arbustes, champignons etc.) pour être redéposé au sol lors de la chute des feuilles, ou de la décomposition des champignons.
- Les sols de prairies/pâturages ont une activité biologique plus homogène sur les 40 premiers centimètres, aussi le césium parvient à atteindre les couches plus profondes.
- Les sols potagers et agricoles sont des sols travaillés et retournés régulièrement, la contamination y est donc totalement homogénéisée. Ici c'est l'activité humaine mécanique qui limite la percolation.
- Les sols de montagne qui ont fait l'objet de prélèvements sur deux horizons, sont pour la plupart des sols de prairie d'altitude et, la contamination semble davantage confinée dans les 10 premiers centimètres de surface.

Les sédiments aquatiques

Les sédiments aquatiques sont des particules minérales déposées au fond des cours d'eau ou des plans d'eau. Celles-ci peuvent être transportées par l'air (sous forme de poussières) ou par l'eau par lessivage des sols préalablement marqués par les retombées radioactives. Il peut s'agir de particules plus ou moins grosses, allant des vases (fines) aux sables (grossiers). Les sédiments reçus pour cette cartographie proviennent de cours d'eau (10 échantillons), de lacs ou étangs (6 échantillons), et un d'une plage. 14 échantillons proviennent de France, 1 de Suisse et 2 de Pologne.

Sur les 17 échantillons de sédiments analysés, 14 présentent une contamination par le césium-137.

La contamination maximale (70 Bq/kg sec) a été mesurée dans la vase prélevée en Isère dans une zone marécageuse en bordure d'un ruisseau. Comme dans le cas des sols, ce sont les sédiments des rivières des massifs montagneux de l'Est de la France qui présentent les activités observées les plus importantes. La carte suivante présente les mesures de césium-137 dans les sédiments en France et Suisse.



Influence de la taille des particules

La fixation du césium-137, comme de tout polluant, dans les sédiments dépend directement de sa granulométrie, c'est-à-dire de la taille des particules. Plus un sédiment est fin, comme les vases par exemple (diamètre inférieur à 63 µm), plus il offre des sites de fixation au césium et plus sa capacité de concentration est grande. A l'inverse, des sédiments plus grossiers, comme les sables (entre 0,5 et 5 mm de diamètre), ont une capacité de concentration du césium plus faible. A défaut d'études granulométriques précises qui permettraient une meilleure interprétation des résultats, nous différencions d'abord visuellement les vases des sables puis, nous écartons par tamisage, les éléments les plus grossiers des sédiments (> 2 mm) avant analyse.

Les autres valeurs significatives ont été mesurées en Corse, dans le Cantal, en Lorraine et en Franche-Comté. Elles n'excèdent pas 16 Bq/kg sec (Lac de Lastioules, Cantal).

Les lichens

Les lichens sont de très bons indicateurs atmosphériques, ils captent, absorbent et accumulent les polluants de l'air.

Quelles espèces sont concernées ?

Parmi les 47 échantillons, trois genres² principaux ont été analysés, il s'agit de *Xanthoria*, *Parmelia* et *Evernia*.

Ce sont des lichens que l'on retrouve assez facilement à travers toute l'Europe et qui sont assez facilement reconnaissables.

Il est difficile d'attribuer de meilleures capacités de concentration du césium-137 à l'une ou l'autre des espèces. En France, la valeur maximale (319 Bq/kg sec) a été mesurée dans un lichen du genre *Parmelia sp.*. En Italie c'est dans le genre *Evernia* que l'on a mis en évidence l'activité la plus forte (33,2 Bq/kg sec), et en Norvège (127 Bq/kg sec) le genre n'a pas été précisément identifié.



Xanthoria sp.



Parmelia sp.



Evernia sp.

D'où provient le césium-137 potentiellement présent dans les lichens ?

Plusieurs voies de contaminations sont possibles et peuvent coexister :

Si le lichen a été prélevé à proximité d'une installation nucléaire, on ne peut pas exclure une contribution de l'installation.

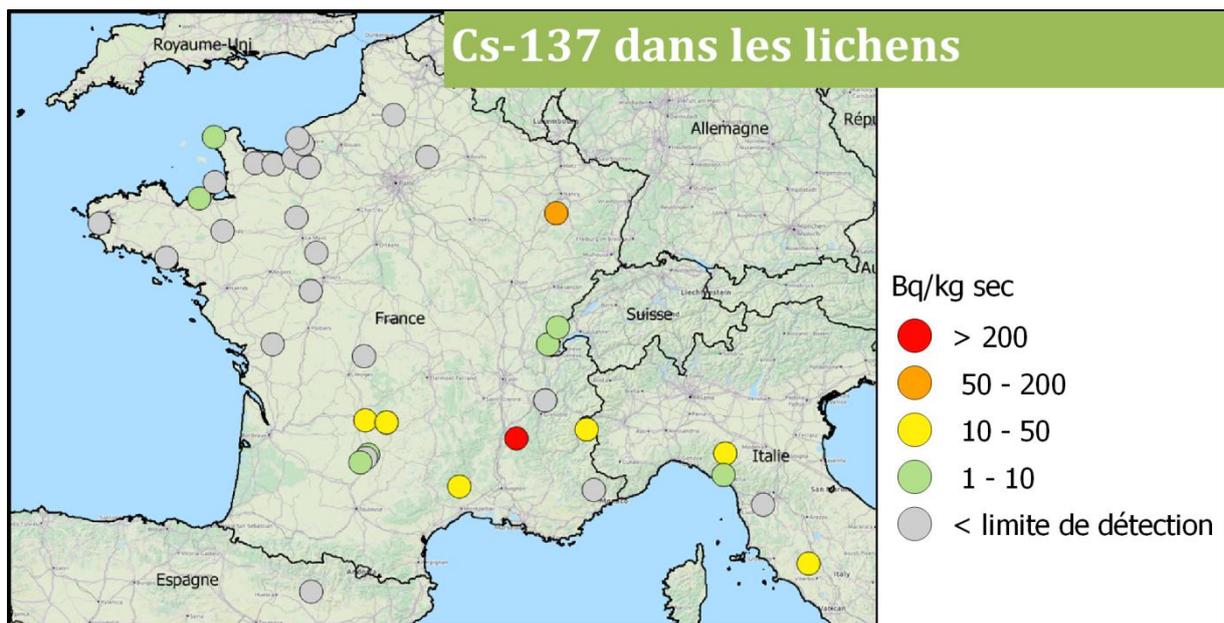
- Pour les lichens ayant plus de 30 ans, il est possible qu'une partie du césium-137 mesuré ait été déposé par le nuage radioactif en 1986. Les lichens ont une **croissance très lente** dépendante de facteurs environnementaux : entre 1,5 et 5 mm par an pour *Evernia sp.*, entre 0,5 et 4 mm pour *Parmelia sp.* et entre 0,5 et 2 mm pour *Xanthoria sp.*. Ce qui signifie qu'un individu de type *Xanthoria* de 6 cm de diamètre a entre 15 et 60 ans ! Il n'est donc pas rare de trouver des spécimens ayant recueilli des dépôts datant de la catastrophe de Tchernobyl et des essais atmosphériques. Malheureusement, nous n'avons pas recueilli de données relatives à la taille des individus prélevés lors de cette campagne, il nous est donc difficile d'évaluer leur âge.
- Le phénomène, sans doute le plus systématique, est la remobilisation du césium-137 par l'action mécanique de la météo (vent) et des pratiques agricoles qui procèdent au brassage des sols (labour notamment). Le césium-137 qui a été déposé au sol il y a 30 ans est en permanence rendu disponible dans la voie aérienne pour une partie de l'environnement et de ses êtres vivants. Dans le cas de lichens poussant sur des troncs d'arbres, une remobilisation du césium-137 présent dans l'écorce est également possible.
- Enfin, on ne peut pas exclure la contribution de nouveaux dépôts liée à l'incinération de bois contaminés (cheminées d'habitations ou chaufferie au bois) ou à des émissions accidentelles comme en 1998 à Algésiras, en Espagne, où une source de césium-137 avait été accidentellement incinérée dans des hauts-fourneaux (mesurée par l'IPSN jusqu'à Orsay en région parisienne).

² Etant donné la difficulté d'identifier avec précision les espèces de lichens, seul le nom de genre est renseigné.

Résultats

Nous avons **analysé 47 lichens** au cours de cette campagne, en provenance de France, d'Italie, de Norvège et d'Espagne. **19 présentent une contamination par le césium-137 soit 40 % d'entre eux.** En France, la répartition des prélèvements n'est pas très homogène, la plupart des 38 échantillons provenant surtout du Nord-Ouest et du Sud-Est du pays. La contamination la plus importante a été mesurée sur un lichen prélevé dans la Drôme : **319 Bq/kg sec**. Il s'agit d'un lichen du genre *Parmelia sp.*

Malgré une couverture géographique insuffisante, la répartition de la contamination en césium-137 dans les lichens se superpose assez bien avec la carte de contamination des sols (voir résultats sols).



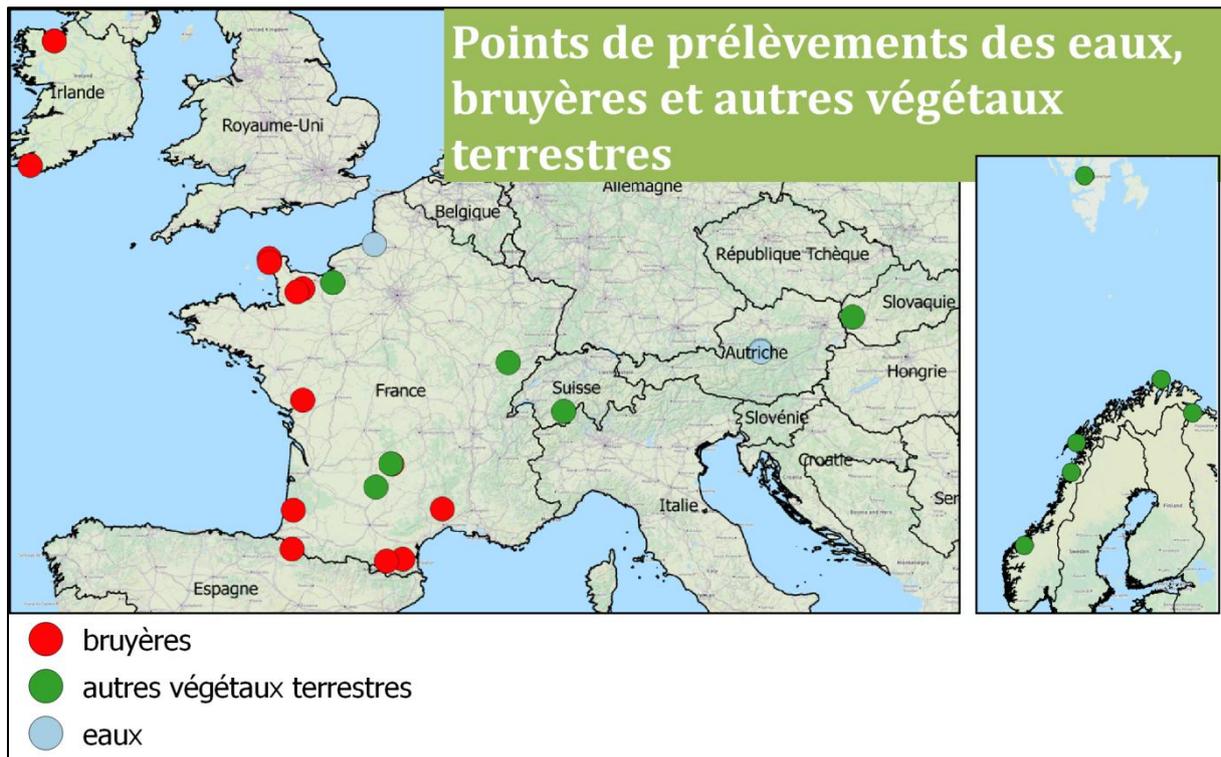
En ce qui concerne le lichen prélevé en Normandie (Diélette, Manche) contenant du césium-137, la contribution des installations nucléaires du Nord-Cotentin, notamment de l'usine de retraitement de combustible irradié AREVA NC est possible. En effet, dans les lichens prélevés à Diélette nous avons mesuré 9,2 Bq/kg sec pour le césium-137, mais aussi 1,1 Bq/kg sec pour l'iode-129 qui est la signature radioactive des usines de retraitement. La majorité des rejets radioactifs contenant de l'iode-129 des usines de retraitement étant effectuée en mer, la contamination par cet isotope des lichens de Diélette (situé en bord de mer) est probablement liée à l'influence des embruns, très importants dans cette région.

Conclusion

La contamination des lichens semble directement liée à la contamination des sols. Toutefois, il est délicat d'avancer s'il s'agit d'une contamination liée au dépôt initial de 1986 et/ou d'une remise en suspension du césium-137 déposé au sol. Si en France les niveaux de contamination observés n'appellent pas de commentaire particulier, rappelons seulement qu'en Scandinavie, l'enjeu sanitaire est encore d'actualité puisque les lichens terricoles représentent une part importante de l'alimentation des rennes d'élevage : il y a donc un transfert direct de la contamination entre l'environnement et la chaîne alimentaire.

Les autres indicateurs environnementaux

Les autres indicateurs environnementaux ont été prélevés moins fréquemment et leur répartition géographique, très hétérogène, ne permet pas toujours de faire des comparaisons. Cependant, certains apportent ici des réponses à des interrogations légitimes de préleveurs sur leur environnement. D'autres apportent des connaissances supplémentaires sur la capacité de bioaccumulation des végétaux. Ces prélèvements sont présentés sur la carte suivante.



Résultats d'analyses des eaux :

Durant cette campagne, nous avons analysé 5 échantillons d'eau : 2 eaux de ruisseaux en Autriche (prélevés par Greenpeace) et dans l'Eure, une eau de puits et une eau de rivière. Aucun de ces échantillons ne présentait de contamination au césium-137 détectable.

Ces résultats sont rassurants d'autant que les eaux d'Autriche ont été prélevées dans des ruisseaux à proximité de sols présentant des contaminations importantes (jusqu'à 12 800 Bq/kg sec). Mais qu'en est-il de la faune et de la flore vivant au contact de ses sols et sédiments contaminés ? Un élément de réponse est donné dans le paragraphe consacré aux denrées alimentaires (écrevisses).

Aucune contamination n'a été décelée dans les eaux de Haute-Normandie. Il s'agissait d'eau de ruisseau et d'eau de puits.

Résultats d'analyses des bruyères :

Les bruyères semblent être des indicateurs sensibles. Leur capacité d'absorption est importante et dépend des paramètres physico-chimiques du sol (nature, pH...). Deux espèces de bruyères ont été prélevées : la bruyère cendrée (*Erica cinerea*) et la callune ou fausse bruyère (*Calluna vulgaris*). Nous avons également analysé une bruyère ornementale. Le tableau suivant présente le nombre de bruyères analysées, la proportion des échantillons contaminés ainsi que le niveau maximum mesuré.

Espèce	Nombre d'échantillons analysés	Proportion d'échantillons contenant du Cs-137	Activité maximale mesurée
Bruyère cendrée (<i>Erica cinerea</i>)	9	4 (44 %)	64 Bq/kg sec à Mervent (85)
Callune (<i>Calluna vulgaris</i>)	8	5 (62 %)	140 Bq/kg sec à Lesperon (40)
Bruyère ornementale	1	0 (0 %)	à St-Martin-Don (14)

Comparaison des niveaux de Cs-137 dans les espèces de bruyères analysées

La ressemblance morphologique et la cohabitation des deux espèces *Erica cinerea* et *Calluna vulgaris* entraîne un risque de confusion important. Ainsi, dans 4 stations de prélèvement, *Erica cinerea* et *Calluna vulgaris* ont été prélevées ensemble, permettant de comparer leur capacité d'accumulation dans des environnements identiques. Le tableau ci-dessous présente ces résultats.

lieu de prélèvement	espèce	concentration en Cs-137	rapport des concentrations (Callune/Bruyère cendrée)
Jurques (14)	<i>Erica cinerea</i>	2,3 Bq/kg sec	12,6
	<i>Calluna vulgaris</i>	29 Bq/kg sec	
Vauville (50)	<i>Erica cinerea</i>	< LD	-
	<i>Calluna vulgaris</i>	3,4 Bq/kg sec	
Ox Moutains (Irlande)	<i>Erica cinerea</i>	2,2 Bq/kg sec	11,8
	<i>Calluna vulgaris</i>	26 Bq/kg sec	
Sheep Head Peninsula (Irlande)	<i>Erica cinerea</i>	2,3 Bq/kg sec	38,3
	<i>Calluna vulgaris</i>	88 Bq/kg sec	

Comparaison des niveaux de Cs-137 dans *Erica cinerea* et dans *Calluna vulgaris* prélevées sur le même lieu de prélèvement

Ces résultats montrent que la capacité d'accumulation de la callune (*Calluna vulgaris*) est 10 à 40 fois supérieure à celle de la Bruyère cendrée (*Erica cinerea*). Des résultats similaires ont déjà été publiés dans la littérature³ notamment en Irlande où la contamination des bruyères entraînait la contamination des moutons. Dans cette publication, les rapports de concentration en Cs-137 entre Bruyère cendrée et Callune vont de 7 à 20.

³ Source : A New Method for Prediction of Radiocaesium Levels in Vegetation: Evidence from Irish Uplands - E. J. McGee, H. J. Synnott & P. A. Colgan; J. Environ. Radioactivity p18 (1993)

Résultats d'analyses des autres végétaux terrestres :

Dans cette dernière catégorie nous rangeons les végétaux terrestres non comestibles, qui ne sont ni des lichens ni des bruyères. Nous avons analysé des mousses terrestres (10), un échantillon de tourbe blonde (sphaigne), un échantillon de monnaie du pape (lunaire), un échantillon de jonc et un échantillon d'herbe.

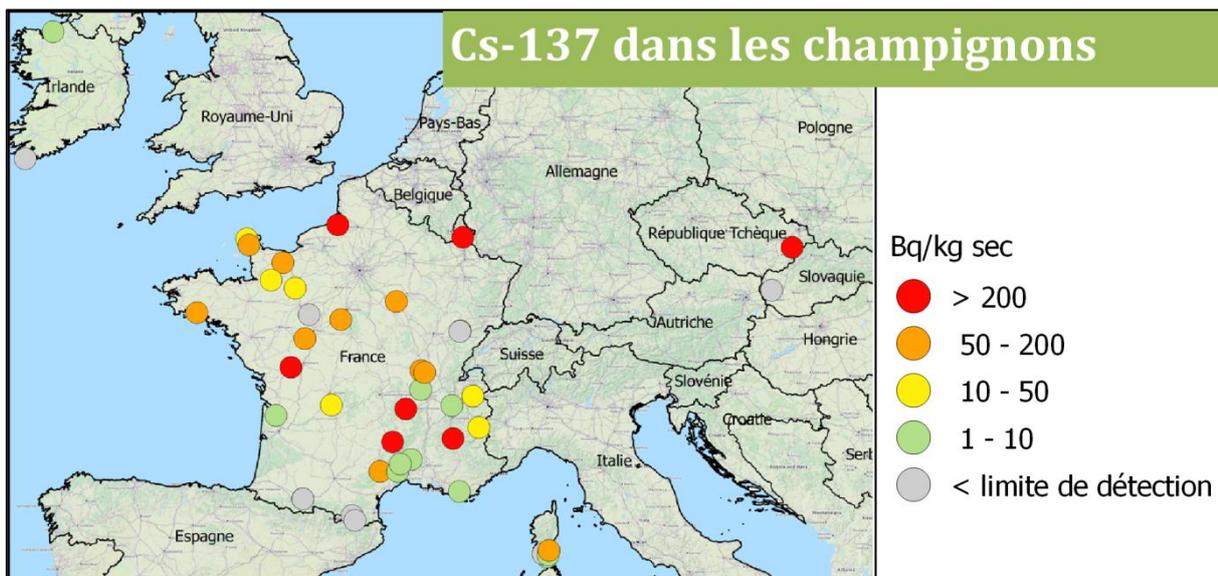
La monnaie du pape, le jonc et l'herbe ne présentent pas de contamination au césium-137.

La tourbe blonde (sphaigne) a été prélevée sur un alpage en Suisse près de Moosalp dans le Valais, et présente une contamination de **19 Bq/kg sec.**

Les mousses terrestres constituent également de bons indicateurs. Sur les 10 mousses terrestres analysées, 6 viennent de Norvège, 3 de France et une de Slovaquie. Huit échantillons présentent une contamination au césium-137. Le maximum ayant été analysé dans une mousse prélevée en Norvège présentant une contamination de **145 Bq/kg sec.** La difficulté de l'interprétation de ces résultats réside dans l'identification assez complexe des espèces de mousse terrestre. En revanche, leur mode de vie se rapproche un peu de celui des lichens, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas de véritable système racinaire. Elles captent donc principalement leurs ressources de l'air et de la remise en suspension de poussières, ce qui pourrait expliquer des niveaux de contamination assez proches entre ces deux indicateurs.

Les champignons

Avec l'aide de l'Observatoire Mycologique, nous avons collecté et analysé 64 échantillons de champignons. La plupart d'entre eux (77 %) ont été cueillis en France, mais certains ont été récoltés dans d'autres pays du continent européen : en Irlande, au Luxembourg, en République tchèque, en Bulgarie, en Biélorussie et en Russie. La carte ci-dessous présente les concentrations en césium-137 des champignons analysés.



Une proportion importante des champignons analysés contient du césium-137. **52 champignons sur 64 analysés sont contaminés par le césium-137, soit plus de 81 % !** Le maximum a été mesuré dans un champignon toxique, un hébélome brulant (*Hebeloma sinapizans*) ramassé dans la Drôme ; il contenait **4 890 Bq/kg sec** de césium-137.

En France, nous observons des contaminations importantes dans le Sud-Est : dans la Drôme, nous avons aussi analysé des chanterelles jaunes (*Craterellus lutescens*) contenant **860 Bq/kg sec** de césium-137. Des niveaux de césium-137 importants ont été détectés dans des champignons de Normandie : nous avons mesuré **1 110 Bq/kg sec** dans des clavaires droites (*Ramaria stricta*) prélevées en Seine-Maritime et **97 Bq/kg sec** dans des bolets orangés (*Leccinum aurantiacum*) prélevés dans le Calvados. Nous avons également pu constater une concentration en césium-137 importante dans des cèpes de Bordeaux collectés dans les Deux-Sèvres (**238 Bq/kg sec**). Mais il est regrettable que peu de champignons aient été prélevés dans le Nord-Est : compte-tenu des niveaux dans les sols des Vosges ou d'Alsace, il aurait été intéressant d'avoir des prélèvements dans ces régions.

Pied de mouton (Hydnum repandum)



Dans les autres pays d'Europe, les contaminations peuvent parfois être très importantes : **4 410 Bq/kg sec** dans des pieds de mouton (*Hydnum repandum*) du Luxembourg, **1 580 Bq/kg sec** dans des pieds de mouton (*Hydnum repandum*) de Bulgarie, **770 Bq/kg** dans des girolles (*Cantharellus cibarius*) de Biélorussie ou **434 Bq/kg sec** dans des cèpes de Bordeaux de République Tchèque.

Les champignons achetés en grandes surfaces

Parmi les champignons analysés, 5 ont été achetés en grande surface et tous présentent une contamination. Etant donnée l'origine de ces échantillons, nous pouvons comparer ces valeurs à la limite réglementaire mentionnée dans le **règlement (CE) n°733/2008** du Conseil du 15 juillet 2008 relatif aux conditions d'importation de produits agricoles originaires des pays tiers à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de **Tchernobyl**, qui stipule que la radioactivité maximale cumulée de césium 134 et 137 dans les produits alimentaires autres que le lait ne doit pas dépasser **600 Bq/kg** de produit prêt à être consommé (soit, en appliquant un coefficient 5 de reconstitution préconisé par la réglementation, **3 000 Bq/kg sec**).

Espèces	Provenance	Concentration mesurée (Bq/kg sec)
Girolles (<i>Cantharellus cibarius</i>)	Biélorussie	770
Cèpe de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	Roumanie	32
Girolles (<i>Cantharellus cibarius</i>)	Russie	7,6
Pied de mouton (<i>Hydnum repandum</i>)	Bulgarie	1580
Pied de mouton (<i>Hydnum repandum</i>)	Roumanie	780

Présentation des niveaux de Cs-137 dans les champignons achetés en grande surface.

Aucun résultat ne dépasse le seuil de **3 000 Bq/kg sec**, malgré des niveaux de césium-137 parfois importants.

Remarque : le facteur de reconstitution de 5 stipulé dans la réglementation est une valeur enveloppe puisqu'elle considère que la quantité d'eau d'un échantillon de champignon est d'environ 80%. Or, quelle que soit la famille concernée, le taux réel d'hydratation des champignons se situe généralement au-delà des 90%. Ce qui signifie que pour obtenir par calcul la concentration exprimée en Bq/kg frais, il faudrait diviser par 10 voire plus, la concentration initiale mesurée en Bq/kg sec.

Les espèces les plus accumulatrices

Les espèces préconisées pour cette étude nous avaient été conseillées par l'Observatoire Mycologique : il s'agissait du cèpe de bordeaux (*Boletus edulis*) et du pied de mouton (*Hydnum repandum*). Ces espèces ont été choisies pour leur large répartition géographique, leur facilité d'identification, mais aussi pour leur capacité reconnue à capter le césium-137 du sol et le concentrer dans leur carpophore⁴. Le tableau ci-dessous compare les activités en césium-137 des principales espèces de champignons prélevés.

Cèpe de Bordeaux
(*Boletus edulis*)



Espèce	Echantillons analysés	Echantillons contaminés	Maxima mesurés en césium-137
Cèpes de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	11	11 (100 %)	434 Bq/kg sec en Rep. Tchèque
Autres bolets	13	11 (85 %)	930 Bq/kg sec dans (<i>Xerocomus chrysenteron</i>) au Luxembourg
Chanterelles : (<i>Craterellus lutescens</i>) et (<i>Craterellus tuaeformis</i>)	4	4 (100 %)	860 Bq/kg sec (<i>Craterellus lutescens</i>) dans la Drôme
Girolles (<i>Cantharellus cibarius</i>)	4	4 (100 %)	770 Bq/kg sec En Biélorussie
Pieds de mouton (<i>Hydnum repandum</i>)	6	6 (100 %)	4 410 Bq/kg sec Biirgerkreiz, Luxembourg
Trompettes de la mort (<i>Craterellus cornucopioides</i>)	7	6 (86 %)	39 Bq/kg sec En Seine-Maritime

Comparaison de la contamination des principales espèces de champignons.

Certaines espèces ont un potentiel d'accumulation du césium-137 plus important que d'autres. Les espèces préconisées pour l'opération « Tchernobyl, 30 ans après ? » - **cèpes de bordeaux et pieds de mouton** - concentrent de manière importante le césium-137 : **100 % des échantillons prélevés contiennent du césium-137** et les niveaux maximaux mesurés sont très importants. A contrario, les trompettes de la mort (*Craterellus cornucopioides*) sont des champignons dont la bioaccumulation du césium-137 est moins importante, les niveaux de radioactivité mesurés étant beaucoup moins élevés.

Le facteur de transfert

Pour quantifier le pouvoir d'accumulation d'un polluant d'un sol par une espèce végétale (ou un champignon), on utilise le facteur de transfert : c'est le rapport de concentration d'un radionucléide entre deux compartiments de la biosphère, ici entre le sol et le champignon. Il est calculé en divisant la concentration de ce polluant dans le champignon par la concentration de ce polluant dans le sol. Ce coefficient est normalement calculé pour un polluant précis dans une espèce précise, mais il dépend de nombreux paramètres comme la composition du sol et ses caractéristiques physico-chimiques. Au cours de cette campagne, des champignons et des sols ont été prélevés

⁴ **Carpophore** : Partie aérienne qui produit et disperse les spores, **chez les champignons supérieurs. C'est la partie consommée.**

simultanément. Nous avons donc analysé le champignon et son substrat afin d'estimer un facteur de transfert. Le tableau ci-dessous présente les différents facteurs de transfert.

Espèce	Lieu de prélèvement	Cs-137 dans le champignon	Cs-137 dans le substrat	Facteur de transfert
Bolet à pied rouge (<i>Boletus erythropuss</i>)	hameau Chauffour (42)	91 Bq/kg sec	64 Bq/kg sec	1,4
Bolets orangés (<i>Leccinum aurantiacum</i>)	Grimbosq (14)	97 Bq/kg sec	13 Bq/kg sec	7,5
Cèpe de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	Estivareilles (42)	344 Bq/kg sec	165 Bq/kg sec	2,1
Cèpe de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	Mazille (71)	57 Bq/kg sec	69 Bq/kg sec	0,8
Cèpe d'été (<i>Boletus reticulatus</i>)	Légny (69)	6,9 Bq/kg sec	10,1 Bq/kg sec	0,7
Clavaire droite (<i>Ramaria stricta</i>)	Monchaux- Soreng (76)	1 110 Bq/kg sec	91 Bq/kg sec	12,2
Girolle (<i>Cantharellus cibarius</i>)	Valprivas (43)	41,3 Bq/kg sec	39 Bq/kg sec	1,1
Pied de mouton (<i>Hydnum repandum</i>)	Helmsange (Luxembourg)	4 410 Bq/kg sec	59 Bq/kg sec	74,7
Trompette de la mort (<i>Craterellus cornucopioides</i>)	Ugine (73)	22,8 Bq/kg sec	61 Bq/kg sec	0,4

Calcul des facteurs de transfert du césium-137 entre le sol et les champignons.

L'accumulation du césium-137 dans certains champignons comme les pieds de mouton peut être très importante : la concentration de césium-137 dans ce champignon est 75 fois supérieure à celle de son substrat ! Ce facteur peut varier fortement dans une même espèce. Par exemple, le facteur de transfert du césium-137 dans les cèpes de bordeaux est évalué à 0,8 dans les cèpes prélevés à Mazille (Saône et Loire) alors qu'il est de 2,1 dans ceux prélevés à Estivareilles (Loire).

Cette accumulation peut également être très variable au cours d'une même saison pour des champignons d'une même espèce prélevés sur un même site. Sur le site de Biirgerkreiz au Luxembourg, deux espèces (*Amanite rougissante* et *Bolet à chair jaune*) ont été récoltées respectivement lors de deux et trois campagnes successives espacées de 2 à 3 semaines.

espèce	lieu de prélèvement	date de prélèvement	concentration en Cs-137
<i>Amanite rougissante</i> (<i>Amanita rubescens</i>)	Biirgerkreiz (Luxembourg)	21/09/2015	128 Bq/kg sec
<i>Amanite rougissante</i> (<i>Amanita rubescens</i>)	Biirgerkreiz (Luxembourg)	11/10/2015	87 Bq/kg sec
<i>Bolet à chair jaune</i> (<i>Xerocomus chrysenteron</i>)	Biirgerkreiz (Luxembourg)	21/09/2015	930 Bq/kg sec
<i>Bolet à chair jaune</i> (<i>Xerocomus chrysenteron</i>)	Biirgerkreiz (Luxembourg)	11/10/2015	336 Bq/kg sec
<i>Bolet à chair jaune</i> (<i>Xerocomus chrysenteron</i>)	Biirgerkreiz (Luxembourg)	28/10/2015	247 Bq/kg sec

Variation des concentrations en césium-137 de deux espèces de champignons sur le même point de prélèvement au cours d'une même saison

Les résultats montrent des écarts importants de contamination : la concentration a diminué d'un facteur proche de 4 pour les bolets entre le 21 septembre 2015 et le 28 octobre 2015. Si cette observation ne remet pas en cause l'identification d'espèces particulièrement accumulatrices de césium-137, en revanche elle nous montre la difficulté à anticiper leur degré de contamination, même pour des espèces connues et suivies.

Conclusion

L'ensemble des résultats obtenus après analyse des 64 échantillons de champignons révèle assez clairement que les séquelles de Tchernobyl sont encore nettement visibles trente ans après l'accident et ses retombées. Comme nous l'avons vu précédemment, **du césium-137 est détectable dans plus des trois quarts des échantillons de champignons prélevés en France**. La répartition géographique de la contamination est certes liée à la répartition de la contamination des sols, mais le pouvoir d'accumulation de certaines espèces étant très important, on observe des champignons avec des contaminations importantes en dehors des zones connues pour avoir subi d'importants dépôts en 1986 (Deux-Sèvres et Seine-Maritime).

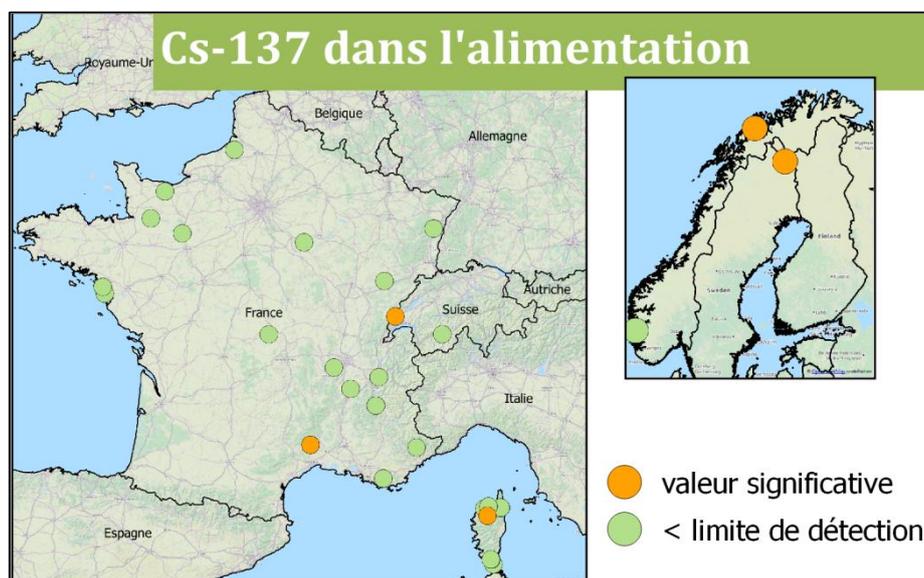
Trois grandes familles semblent accumuler le césium-137 de manière assez importante, il s'agit des cèpes et bolets, des pieds de mouton et des girolles et chanterelles. A l'inverse, les trompettes de la mort semblent moins propices à concentrer cet élément radioactif.

Malgré cette prédisposition pour certaines espèces à transférer le césium-137 du sol, les conditions propres à chaque site de développement des champignons entraînent une variabilité des résultats, notamment dans le temps, rendant difficile la prévision de leur niveau de contamination radioactive.

Les denrées

En parallèle des échantillons dits « de l'environnement » tels que sols et lichens, l'opération *Tchernobyl, 30 ans après ?* a été l'occasion pour de nombreux préleveurs de nous envoyer des denrées alimentaires afin de pouvoir répondre directement à la question de la contamination par l'ingestion de produits contaminés.

Au cours des quinze mois de cette cartographie, nous avons reçu pour analyse un total de 42 échantillons de denrées alimentaires. Le choix de leur nature ayant été laissé à l'initiative complète des préleveurs, le résultat de la collecte est très diversifié : fruits et légumes, aliments d'origine animale, produits laitiers, produits de la ruche et plantes aromatiques. Nous avons également analysé de la spiruline, microalgue consommée comme complément alimentaire, cultivée ici dans les Alpes-Maritimes. La carte ci-dessous présente les résultats d'analyses de ces prélèvements.



Comme on peut le voir sur cette carte, une part non négligeable des **denrées alimentaires** présente une **contamination par du césium-137** : 6 échantillons sur 42, soit **14 % d'entre elles**.

La diversité des types de denrées étant importante, nous présentons dans le tableau suivant la le nombre d'échantillons contenant du césium-137 pour chacune des catégories d'aliment. La spiruline étant un produit particulier et n'ayant été analysé qu'une seule fois sans présenter de contamination, elle n'est pas représentée dans ce tableau.

Type d'aliment	Echantillons analysés	Echantillons contaminés	Activité maximale en césium-137
aliments d'origine animale (viandes et crustacés)	4	4	690 Bq/kg frais dans de la viande de renne en Norvège
baies	5	1	1,1 Bq/kg frais dans des Camarines en Suède
fruits et légumes	19	1	0,5 Bq/kg frais dans des châtaignes dans le Gard (30)
plantes aromatiques	8	0	-
produits laitiers	3	0	-
produits de la ruche	2	0	-

Comparaison de la contamination des principales catégories de denrées alimentaires

Ces résultats montrent bien qu'une partie du césium-137 des retombées de Tchernobyl et des essais nucléaires atmosphériques encore présent dans l'environnement aujourd'hui, peut être remis en circulation dans la chaîne alimentaire et être détecté à différents maillons de celle-ci, depuis les végétaux tirant leurs ressources du sol, jusqu'aux animaux supérieurs.

Animaux terrestres

Tout comme les espèces végétales, les espèces animales peuvent éliminer naturellement le césium par le biais de divers processus biologiques de détoxification. Ainsi, la détection d'une contamination dans une espèce animale en 2016, témoigne d'une contamination régulière de l'espèce en question. En raison de leur mode de vie (régime alimentaire et habitat), les animaux dont la viande a été analysée au cours de cette campagne sont exposés à des ingestions chroniques de césium-137. Les rennes et les élans se nourrissent de lichens terrestres et champignons potentiellement contaminés, en Norvège, en Suède et en Finlande. Nous avons mesuré **690 Bq/kg frais** de césium-137 dans la viande de renne et **25,3 Bq/kg frais** dans la viande d'élan. Ces échantillons ont été achetés en supermarché sous forme congelée.

De tels écarts peuvent être dus aux différences de contamination de l'alimentation de ces animaux, au régime alimentaire, à la date d'abattage, etc. Avant l'abattage, la teneur en césium dans l'animal est mesurée afin de le nourrir avec une nourriture non contaminée dans le cas où la concentration ne serait pas compatible avec la réglementation en vigueur. La concentration en césium-137 dans la viande de renne analysée dépasse la limite de mise sur le marché en vigueur en Europe, mais pas celle en vigueur en Norvège.

La situation est presque similaire pour les sangliers : ces animaux grattent la terre (tout en l'ingérant) pour trouver leur nourriture composée entre autres de champignons, dont on a vu que la contamination pouvait être importante. Le sanglier analysé par l'ACRO a été chassé en Corse, il présentait une contamination par le césium-137 de **3,2 Bq/kg frais**. Cette activité peut paraître faible au regard de l'importance des dépôts sur cette île en 1986, mais la contamination des sols corses a aujourd'hui en partie disparu dans certains endroits (lié à la nature du sol et de la roche mère très fracturée) ce qui peut expliquer que le sanglier analysé soit faiblement contaminé.

Même faible, la contamination est bien présente et concerne vraisemblablement plusieurs compartiments du milieu naturel, comme nous avons pu le voir au cours de cette étude. Le sanglier est sans doute l'espèce animale représentant le mieux la diversité des sources de contamination

possibles, puisqu'il se nourrit exclusivement d'animaux, de baies, de racines et de champignons, tous vivant dans les premières dizaines de centimètres des sols, lesquels contiennent encore l'essentiel de la contamination déposée il y a 30 ans.

Animaux aquatiques

Les écrevisses pêchées dans le lac de Joux en Suisse et analysées au laboratoire de l'ACRO, présentent une concentration en césium-137 de **81 Bq/kg frais**. Les écrevisses vivent dans les sédiments des lacs et des rivières et se nourrissent de matière organique, elles sont donc en contact permanent avec le césium-137 stocké dans les sédiments. A la différence des rivières où le transport des particules sédimentaires est réel, les lacs sont de véritables pièges à sédiments et donc à polluants. La contamination des animaux vivants dans les lacs est donc potentiellement supérieure à celle des cours d'eau, même si nous n'avons pas d'échantillon nous permettant d'effectuer la comparaison.

Ecrevisse



Fruits et légumes

À part les châtaignes prélevées dans le Gard, les fruits et légumes n'ont pas révélé de contamination supérieure aux limites de détection de nos appareils. Ces châtaignes présentent un niveau de césium-137 de **0,5 Bq/kg frais**. Les châtaignes ayant été épluchées avant analyse, une contamination par le sol vers la châtaigne tombée au sol est exclue, il ne peut s'agir alors que d'une contamination par la sève du châtaigner, lui-même puisant par ses racines le césium-137 du sol.

Les plantes aromatiques

Les échantillons de thym, sauge, persil, ail des ours et lavande n'ont pas montré de contamination par le césium-137 au-delà des limites de détection.

Les produits laitiers et de la ruche

Les échantillons de lait de chèvre, de fromage à raclette et de fromage de chèvre n'ont pas révélé de contamination. Les produits de la ruche, miel et cire d'opercule n'ont pas, non plus, montré de contamination au-delà des limites de détection.

Conclusion

Toutes les denrées alimentaires (hors champignons) ne sont pas exposées de la même manière au stockage du césium-137. Après le passage du nuage de Tchernobyl, les légumes feuilles (choux, salades et aromatiques...) ont été très contaminés par le dépôt direct dû à la catastrophe. Heureusement, le transfert du césium-137 par les racines des légumes est suffisamment faible pour limiter la contamination depuis le sol.

Par leur milieu de vie et leur alimentation, certains animaux sont exposés à des contaminations chroniques par le césium-137 entraînant des contaminations parfois importantes de leur chair. Une consommation occasionnelle de ces aliments induit un risque sanitaire *a priori* limité. Mais qu'en est-il dans le cas de consommation plus régulière de ces aliments ? La consommation de viande de renne peut être très courante dans les pays nordiques. L'exposition de l'Homme par ingestion de ces quantités de césium-137 reste dans la limite des « faibles doses ».

Conclusion

Par le nombre de participants, le nombre d'échantillons collectés et l'amplitude géographique de l'étude, la **campagne « Tchernobyl, 30 ans après ? »** souligne l'intérêt des citoyens pour la problématique de la pollution rémanente de la catastrophe de Tchernobyl.

La liberté laissée aux préleveurs dans le choix des échantillons et des lieux de prélèvements a permis de cerner des indicateurs auxquels nous n'aurions pas pensé, et de révéler des zones qu'on pouvait imaginer relativement épargnées par les retombées.

Les résultats de 364 analyses ont montré que la pollution radioactive, consécutive à 35 années d'essais nucléaires atmosphériques et à la catastrophe de Tchernobyl il y a 30 ans, est toujours présente dans une grande partie des compartiments de l'environnement.

Tous les sols analysés contiennent du césium-137. La contamination des sols est cependant très hétérogène et a été fonction des conditions climatiques au moment des dépôts, de la végétation, de la topographie du terrain, et de leur capacité de rétention du césium-137. En France, « le tiers Est » présente encore des contaminations importantes, et nous avons mesuré des niveaux conséquents de césium radioactif dans les forêts du Haut-Rhin et les massifs montagneux du Sud-est. Trop peu de prélèvements nous sont parvenus d'autres pays d'Europe pour avoir une vue exhaustive de la contamination encore présente dans les sols, mais des niveaux de césium-137 importants ont été mesurés en Autriche, en Slovaquie, en Norvège et en Suède.

Une fois déposé au sol, le césium-137 présent dans l'environnement peut être **rendu disponible pour la chaîne alimentaire**. Un transfert peut se faire dans des espèces comme les champignons (cèpes, giroles, etc.) qui accumulent très efficacement le césium du sol ; ou dans certaines essences comme le châtaigner (contamination de châtaignes dans le Gard). Les animaux chassés en forêt, comme le sanglier, sont, par leur mode de vie, exposés à des ingestions chroniques de césium que l'on peut mesurer dans leur chair. Les poissons, et autres animaux aquatiques comme les écrevisses analysées au cours de cette campagne, vivant au plus proche des sédiments peuvent également contenir du césium-137. Fort heureusement, aucun légume analysé ne présentait un niveau de césium-137 mesurable avec nos appareils. A priori, cette observation reflète la réalité de la situation pour les pays ayant subi les mêmes niveaux de dépôts radioactifs que la France, mais l'on sait bien que dans un environnement plus marqué par le césium, certaines denrées alimentaires sont encore fréquemment contaminées.

La catastrophe de Tchernobyl a contaminé l'environnement de manière durable.

30 ans après, le césium-137 est encore bien présent dans tous les sols du continent rendant son transfert possible vers une partie de la chaîne alimentaire. En France, après de véritables campagnes de désinformation juste après l'accident en 1986, les contaminations pourtant avérées n'ont jamais fait l'objet d'une véritable information par les pouvoirs publics, de même, aucune précaution ne fut préconisée.

Avec l'émergence de laboratoires citoyens créés en réaction aux différentes catastrophes nucléaires, l'information et la mesure indépendantes ont réussi à faire leur place, à se faire entendre et à se rendre incontournables. En outre, avec la diffusion instantanée de l'information, les citoyens savent

qu'en cas de nouvel accident nucléaire, ils pourront obtenir des données fiables, qui les intéressent, dans un délai relativement court.

Annexe 1 : Résultats d'analyses

Résultats d'analyses des sols

Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes

Commune	Dép.	Type de sol	Horizon	Cs-137 (Bq/kg sec)
Issigeac	33	forestier	0-10 cm	2,9 ± 0,5
Issigeac	33	forestier	10-20 cm	2,08 ± 0,44
Chaniers	17	jardin/prairie	0-10 cm	7,4 ± 1,7
Chaniers	17	jardin/prairie	10-20 cm	8,3 ± 1,0
Collonge la rouge	19	jardin/prairie	0-10 cm	15,9 ± 2,2
Collonge la rouge	19	jardin/prairie	10-20 cm	11,7 ± 1,3

Auvergne-Rhône-Alpes

Commune	Dép.	Type de sol	Horizon	Cs-137 (Bq/kg sec)
Ugine	73	forestier		61 ± 6
Légnay forêt de la flachère	69	forestier		10,1 ± 2,6
Larajasse bois de Bellandrin	69	forestier	0-10 cm	81 ± 7
Larajasse bois de Bellandrin	69	forestier	10-20 cm	2,3 ± 1,0
Larajasse - bois du nézel	69	forestier	0-10 cm	11,8 ± 1,4
Larajasse - bois du nézel	69	forestier	10-20 cm	16,1 ± 1,6
Champs sur Tarentaine	15	forestier	humique 0-1 cm	50,1 ± 4,4
Champs sur Tarentaine	15	forestier	minéral 1-5 cm	86 ± 7
hameau Chauffour	42	forestier		64 ± 6
Valprivas	43	forestier		39 ± 13
Villebret	03	jardin/prairie		7,7 ± 1,0
Charmes-sur-l'Herbasse	26	jardin/prairie	0-10 cm	14,4 ± 1,6
Charmes-sur-l'Herbasse	26	jardin/prairie	10-20 cm	12,8 ± 1,9
Chanaz	73	jardin/prairie	0-10 cm	24,6 ± 2,8
Chanaz	73	jardin/prairie	10-20 cm	29,1 ± 3,0
Cros de Montvert	15	jardin/prairie		8,5 ± 1,1
Cros de Montvert	15	jardin/prairie		26,1 ± 2,1
Cros de Montvert	15	jardin/prairie	supérieur	9,7 ± 1,1
Cros de Montvert	15	jardin/prairie	inférieur	10,1 ± 1,2
Chavannes-sur-Reyssouze	01	jardin/prairie	10-20 cm	16,3 ± 3,0
Chavannes-sur-Reyssouze	01	jardin/prairie	0-10 cm	28,6 ± 2,3
Lus-la-croix-haute	26	montagneux	0-5 cm	2010 ± 160
Lus-la-croix-haute	26	montagneux	0-10 cm	1470 ± 110
Valloire Col du Galibier flanc nord	73	montagneux	10-20 cm	12000 ± 1000
Valloire Col du Galibier flanc nord	73	montagneux	0-10 cm	26500 ± 2200
Lanslebour-Mont-Cenis Col du Mont-Cenis	73	montagneux	10-15 cm	6600 ± 600
Lanslebour-Mont-Cenis	73	montagneux	0-10 cm	6700 ± 600

Col du Mont-Cenis				
St Pierre d'Entremont	38	potager	0-5 cm	47,3 ± 4,2
St Pierre d'Entremont	38	potager	5-10 cm	47,5 ± 4,7
St Pierre d'Entremont	38	potager	10-15 cm	48,8 ± 4,3
St Pierre d'Entremont	38	potager	15-20 cm	48,4 ± 4,4

Bourgogne-Franche-Comté				
Commune	Dép.	Type de sol	Horizon	Cs-137 (Bq/kg sec)
Boult	70	forestier	0-10 cm	32,1 ± 3,0
Boult	70	forestier	10-20 cm	28,2 ± 2,7
Mazille	71	forestier		69 ± 6
Mazille	71	forestier		56 ± 5
st Clément-sur-Guye	71	forestier		18,0 ± 1,8
Igornay	71	jardin/prairie	0-10 cm	5,0 ± 0,9
Igornay	71	jardin/prairie	10-20 cm	6,7 ± 0,8
Vianges	21	jardin/prairie	0-10 cm	6,7 ± 1,4
Vianges	21	jardin/prairie	10-20 cm	4,5 ± 0,8
Rully	71	jardin/prairie	0-10 cm	9,3 ± 1,6
Vianges	21	potager	0-10 cm	11,9 ± 1,7
Vianges	21	potager	10-20 cm	11,1 ± 1,3
Igornay	71	potager	0-10 cm	7,0 ± 1,3
Igornay	71	potager	10-20 cm	7,8 ± 1,0

Bretagne				
Commune	Dép.	Type de sol	Horizon	Cs-137 (Bq/kg sec)
Molac	56	jardin/prairie		12,9 ± 1,7
St Anne d'Auvray	56	jardin/prairie	0-20 cm	5,9 ± 0,9
St Anne d'Auvray	56	jardin/prairie	20-40 cm	3,8 ± 0,8

Corse				
Commune	Dép.	Type de sol	Horizon	Cs-137 (Bq/kg sec)
Novella	2B	jardin/prairie		23,8 ± 3,4

Grand Est				
Commune	Dép.	Type de sol	Horizon	Cs-137 (Bq/kg sec)
Labaroche	68	forestier		174 ± 13
Etrepy	51	forestier		49 ± 5
Labaroche	68	forestier		66 ± 6
Vroncourt	54	jardin/prairie		8,9 ± 1,2
Strasbourg	67	jardin/prairie	0-20 cm	26,5 ± 2,5
Strasbourg	67	jardin/prairie	20-40 cm	18,8 ± 1,8
Erstein	67	jardin/prairie	0-10 cm	19,5 ± 1,9
Erstein	67	jardin/prairie	10-20 cm	11,8 ± 1,1
Bennwihr	68	jardin/prairie		11,9 ± 1,0
Soudé	51	jardin/prairie	0-12 cm	11,2 ± 1,2
Ligny-en-Barrois	55	jardin/prairie	0-12 cm	11,3 ± 1,4
Ligny-en-Barrois	55	jardin/prairie	12-24cm	14,2 ± 1,6
Forcelles-sous-Gugney	54	jardin/prairie		29,7 ± 3,2
Belval	88	jardin/prairie	0-10 cm	8,8 ± 1,6
Sigolsheim	68	vignoble		9,0 ± 0,9

Hauts-de-France

Commune	Dép.	Type de sol	Horizon	Cs-137 (Bq/kg sec)
Laventie	62	jardin/prairie	0-10 cm	2,6 ± 0,7
Laventie	62	jardin/prairie	10-20 cm	3,0 ± 0,8
Amiens	80	jardin/prairie	0-20 cm	12,5 ± 3,0
Amiens	80	jardin/prairie	20-40 cm	10,2 ± 2,0
Ressons-sur-Matz	60	jardin/prairie		6,9 ± 0,8
Laventie	62	jardin/prairie	0-10 cm	2,6 ± 0,7
Laventie	62	jardin/prairie	10-20 cm	3,0 ± 0,8
Amiens	80	jardin/prairie	0-20 cm	12,5 ± 3,0

Languedoc-Roussillon-Midi-Pyrénées

Commune	Dép.	Type de sol	Horizon	Cs-137 (Bq/kg sec)
Montirat	81	jardin/prairie	0-10 cm	8,0 ± 1,1
Montirat	81	jardin/prairie	10-20 cm	9,5 ± 1,1
Montirat	81	jardin/prairie		10,6 ± 1,4
Cabrerets forêt de Moutdar	46	forestier	0-20 cm	20,3 ± 1,9
Cabrerets forêt de Moutdar	46	forestier	20-40 cm	18,8 ± 2,5
Montirat	81	potager		7,9 ± 1,4

Normandie

Commune	Dép.	Type de sol	Horizon	Cs-137 (Bq/kg sec)
Grimbosq	14	forestier	0-10 cm	13,0 ± 1,9
Grimbosq	14	forestier	humus	13,5 ± 4,6
Monchaux-Soreng forêt d'Eu	76	forestier	humus	91 ± 11
Mobecq	50	forestier		6,9 ± 1,0
Eterville	14	forestier	0-10 cm	4,28 ± 0,45
Eterville	14	forestier	10-20 cm	9,2 ± 0,9
Grimbosq	14	forestier	0-5 cm	15,1 ± 2,6
Grimbosq	14	forestier	5-10 cm	19,4 ± 2,0
Grimbosq	14	forestier	10-20 cm	2,9 ± 0,8
Verson	14	jardin/prairie	0-20 cm	4,3 ± 0,6
Le Bény-Bocage	14	jardin/prairie		3,7 ± 0,6
Diélette	50	jardin/prairie	0-10 cm	1,6 ± 0,5
Diélette	50	jardin/prairie	10-20 cm	2,3 ± 0,5
Monchaux-Soreng	76	jardin/prairie		4,4 ± 0,7
Mobecq	50	jardin/prairie		6,9 ± 1,0
Cordebugle	14	jardin/prairie	0-15 cm	5,9 ± 0,8
Cordebugle	14	jardin/prairie	15-25 cm	6,4 ± 0,7
St-martin-Don	14	jardin/prairie	0-20 cm	5,1 ± 0,6
St-martin-Don	14	jardin/prairie	20-40cm	6,0 ± 0,8
Lisieux	14	jardin/prairie	0-10 cm	8,5 ± 1,5
Lisieux	14	jardin/prairie	10-20 cm	3,1 ± 0,9
Anctoville	14	potager		4,44 ± 0,46

Pays de Loire

Commune	Dép.	Type de sol	Horizon	Cs-137 (Bq/kg sec)
L'Orbrie	85	Forêt		3,9 ± 0,7

forêt de Mervent-Vouvant				
st Hermine	85	jardin/prairie		7,5 ± 0,9
Saint-Nazaire	44	jardin/prairie	0-10 cm	6,8 ± 1,0
Saint-Nazaire	44	jardin/prairie	10-20 cm	3,5 ± 0,6
Estival-Lès-Le-Mans	72	jardin/prairie		3,8 ± 0,8

Provence-Alpes-Côte d'Azur

Commune	Dép.	Type de sol	Horizon	Cs-137 (Bq/kg sec)
Névache	05	Forêt		29,8 ± 2,4
Névache	05	jardin/prairie		29,8 ± 2,4
Saint-michel-de Chaillol	05	Montagne	10-15 cm	26 000 ± 2 000
Saint-michel-de Chaillol	05	Montagne	0-10 cm	39 000 ± 3 300
Castellard-Mélan Col de Fontbelle	04	Montagne	0-7 cm	810 ± 70
Gap	05	Montagne	0-10 cm	1 500 ± 130
Ancelle - Fleurendon	05	Montagne	0-10 cm	14 000 ± 1 000
Ancelle - Fleurendon	05	Montagne	10-20 cm	6 400 ± 490
Les Crots - Grand Morgon	05	Montagne	0-7 cm	13 900 ± 1 100
Les Crots - Grand Morgon	05	Montagne	0-10 cm	11 900 ± 900
Les Crots - Grand Morgon	05	Montagne	10-20 cm	3 230 ± 250
Molines-en-Champsaur	05	Montagne	0-10 cm	442 ± 39
Molines-en-Champsaur	05	Montagne	10-15 cm	6 800 ± 600
St Etienne-en-Dévoluy	05	Montagne	0-8 cm	9 400 ± 800
Cervièrès - col d'Izoard	05	Montagne	0-8 cm	5 790 ± 440
Jausiers - col du Restefond	04	Montagne	10-20 cm	19 300 ± 1 600
Jausiers - col du Restefond	04	Montagne	0-10 cm	68 000 ± 5 000
Saint-Martin-de-Vésubie Le Boréon	06	Montagne	0-6 cm	33 400 ± 2 800

Pays d'Europe

Pays	Commune	Type de sol	Horizon	Cs-137 (Bq/kg sec)
Autriche	Wiener Wald	forestier	0-10 cm	56 ± 5
Autriche	Wiener Wald	forestier	10-20 cm	23,2 ± 2,3
Autriche	station de wurzeralm	montagneux	humique	1 190 ± 100
Autriche	station de wurzeralm	montagneux		12 800 ± 1100
Autriche	station de wurzeralm	montagneux		3 610 ± 310
Belgique	Orp Le Grand	forestier		9,1 ± 0,9
Espagne	Allariz	forestier	humique	6,0 ± 1,3
Irlande	Easkey	tourbe		10,0 ± 1,0
Luxembourg	Biigerkreiz	Forêt	humique	59 ± 6
Norvège	Tromso	substrat mousse terrestre		32 ± 5
Norvège	Geiranger	substrat mousse terrestre		80 ± 7
Slovaquie	častá papiernička	forestier	0-5 cm	63 ± 6
Slovaquie	častá papiernička	forestier	5-15 cm	21,8 ± 2,6
Slovaquie	častá papiernička	jardin/prairie	0-10 cm	84 ± 7
Slovaquie	častá papiernička	boues zone marécageuse		73 ± 7
Suède	Västernorrland	forestier	2-10 cm	43,0 ± 3,5
Suède	Västernorrland	forestier	10-20 cm	188 ± 17

Suède	Stentrosk	remblais	6,0 ± 0,7
-------	-----------	----------	-----------

Résultats d'analyses des sédiments aquatiques

Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes

Commune	Dép.	Type de sédiment	Lieu de prélèvement	Cs-137 (Bq/kg sec)
Guéthary	64	sable	océan Atlantique	< LD

Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes

Commune	Dép.	Type de sédiment	Lieu de prélèvement	Cs-137 (Bq/kg sec)
St-Martin-de-Vaulserre	38	vase	Ruisseau de Mélets	70 ± 6

Auvergne-Rhône-Alpes

Commune	Dép.	Type de sédiment	Lieu de prélèvement	Cs-137 (Bq/kg sec)
Lastiouilles	15	vase	lac de Lastiouilles	15,9 ± 1,5
Pont des Estourocs	15	vase	Affluent de la Maronne	9,3 ± 1,3
Pont des Estourocs	15	sable/vase	La Maronne (rivière)	3,5 ± 0,6

Bourgogne-Franche-Comté

Commune	Dép.	Type de sédiment	Lieu de prélèvement	Cs-137 (Bq/kg sec)
Boult	70	vase	la Tounolle (rivière)	11,7 ± 1,3

Corse

Commune	Dép.	Type de sédiment	Lieu de prélèvement	Cs-137 (Bq/kg sec)
Balagne	2B	vase	étang Ostriconi	13,0 ± 2,5
L'Ospedale	2A	sable/vase	lac de l'Ospedale	10,8 ± 2,1

Grand Est

Commune	Dép.	Type de sédiment	Lieu de prélèvement	Cs-137 (Bq/kg sec)
Vroncourt	54	vase	Le Brénon (rivière)	2,6 ± 0,6
Ligny-en-Barrois	54	vase	canal de la Marne au Rhin	6,8 ± 0,9

Languedoc-Roussillon-Midi-Pyrénées

Commune	Dép.	Type de sédiment	Lieu de prélèvement	Cs-137 (Bq/kg sec)
Montirat	81	vase	le Viaur (rivière)	2,0 ± 0,7
Marcillac-sur-Célé	46	sable	Le Célé (rivière)	< LD

Normandie

Commune	Dép.	Type de sédiment	Lieu de prélèvement	Cs-137 (Bq/kg sec)
Verson	14	sable	l'Odon (rivière)	< LD
Le Moulin Pinel	14	vase	la Souleuvre (Fleuve)	1,8 ± 0,6

Pays d'Europe

Commune	Pays	Type de sédiment	Lieu de prélèvement	Cs-137 (Bq/kg sec)
Kazimierz Dolny	Pologne	sable	La Vistule	< LD
Kazimierz Dolny	Pologne	vase	La Vistule	12,6 ± 1,3
Moosalp	Suisse	vase	lac du Bonigersee	6,0 ± 0,9

Résultats d'analyses des lichens

Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes

Commune	Dép.	Genre	Cs-137 (Bq/kg sec)
Collonge la rouge	19	Xanthoria sp.	19,3 ± 1,7
Niort	79	Xanthoria sp.	< LD

Auvergne-Rhône-Alpes

Commune	Dép.	Genre	Cs-137 (Bq/kg sec)
St Pierre d'Entremont	38	Usnée barbue	< LD
St Pierre d'Entremont	38	Parmelia sp.	< LD
Beaufort-sur-Gervanne	26	Parmelia sp.	319 ± 30
Cros de Montvert	15	Evernia sp.	< LD
Cros de Montvert	15	Xanthoria sp.	28,7 ± 3,5

Bourgogne-Franche-Comté

Commune	Dép.	Genre	Cs-137 (Bq/kg sec)
Les Moussières	39	Pseudoevernia	7,1 ± 2,0
La-Capelle-des-Bois	25	Evernia sp.	3,0 ± 1,6

Bretagne

Commune	Dép.	Genre	Cs-137 (Bq/kg sec)
St Anne d'Auvray	56	Evernia sp.	< LD
Crozon	29	Parmelia sp.	< LD
Rennes	35	Xanthoria sp.	< LD
Saint-Jacut-de-la-mer	22		3,7 ± 1,6

Centre-Val de Loire

Commune	Dép.	Genre	Cs-137 (Bq/kg sec)
Panzoult	37	Parmelia sp.	< LD
Panzoult	37	Evernia sp.	< LD

Grand Est

Commune	Dép.	Genre	Cs-137 (Bq/kg sec)
Forcelles-sous-Gugney	54	Parmelia sp.	57 ± 6

Languedoc-Roussillon-Midi-Pyrénées

Commune	Dép.	Genre	Cs-137 (Bq/kg sec)
Cros	30	Parmelia sp.	17,3 ± 3,1
Cros	30	Cladonia sp.	< LD
Cros	30	Peltigera sp.	74 ± 6
Sauliac	46	Parmelia sp.	3,0 ± 1,4
Saint-Cirq-Lapopie	46	Evernia sp.	< LD
Laburgade	46	Parmelia sp.	9,0 ± 3,0

Nord-Pas-de-Calais-Picardie

Commune	Dép.	Genre	Cs-137 (Bq/kg sec)
Villers-Cotterêts	02	Xanthoria + Parmelia	< LD
Amiens	80	Xanthoria sp.	< LD

Normandie

Commune	Dép.	Genre	Cs-137 (Bq/kg sec)
Montfiquet	14	Parmelia sp.	< LD
Verson	14	Evernia sp.	< LD
Verson	14	Xanthoria sp.	< LD
Mont St Pierre	50	Xanthoria sp.	9,2 ± 0,9
Lisieux	14	Parmelia sp.	< LD
La Forgé Moisy	14	Parmelia sp.	< LD
Cordebugle	14	Evernia sp.	< LD
Le Havre	76	Xanthoria sp.	< LD
Octeville-sur-mer	76	Xanthoria sp.	< LD
Chausey	50	Parmelia sp.	< LD
Lisieux	14	Xanthoria sp.	< LD

Pays de la Loire

Commune	Dép.	Genre	Cs-137 (Bq/kg sec)
St Pierre du Lorouer	72	mélange de variétés	< LD
Fye	72	Parmelia sp.	< LD

Provence-Alpes-Côte d'Azur

Commune	Dép.	Genre	Cs-137 (Bq/kg sec)
La Penne	06	Evernia sp.	< LD

Pays d'Europe

Commune	Pays	Genre	Cs-137 (Bq/kg sec)
Tromso - Prestavent	Norvège	Parmelia sp.	20,9 ± 4,4
Kirkenes	Norvège	inconnue	127 ± 31
Bergen	Norvège	inconnue	47 ± 7
Capella	Espagne	Xanthoria sp.	< LD
Clavière Sagna Longa	Italie	Evernia sp.	33,2 ± 4,2
Berceto	Italie	Parmelia sp.	14,8 ± 2,9
Aulla	Italie	Parmelia sp.	5,3 ± 1,6
Calenzano	Italie	Parmelia sp.	< LD
San Lorenzo	Italie	Parmelia sp.	11,6 ± 2,9

Résultats d'analyses des autres indicateurs environnementaux

Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes

Commune	Dép.	Indicateur	Cs-137 (Bq/kg sec)
Lesperon	40	callune	106 ± 9
Col d'Oraate	64	callune	< LD

Auvergne-Rhône-Alpes

Commune	Dép.	Indicateur	Cs-137 (Bq/kg sec)
Cros de Montvert	15	monnaie du pape	< LD

Bourgogne-Franche-Comté

Commune	Dép.	Indicateur	Cs-137 (Bq/kg sec)
Boult	70	mousse terrestre	< LD

Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes

Commune	Dép.	Indicateur	Cs-137 (Bq/kg sec)
St-Arnac	66	bruyère cendrée	< LD
Le Pouget	30	bruyère cendrée	< LD
Cabrerets	46	mousse terrestre	< LD

Normandie

Commune	Dép.	Indicateur	Cs-137 (Bq/kg sec)
Jurques	14	callune	16,1 ± 2,1
Jurques	14	bruyère cendrée	29 ± 3,2
Vauville	50	callune	2,3 ± 0,7
Vauville	50	bruyère cendrée	3,4 ± 2,1
Diélette	50	callune	< LD
St-martin-Don	14	bruyère ornementale	< LD
	14	mousse terrestre	< LD
Lisieux	14	jonc	17,6 ± 1,7
Lisieux	14	herbe	< LD

Pays d'Europe

Commune	Pays	Indicateur	Cs-137 (Bq/kg sec)
Ox Moutains	Irlande	bruyère cendrée	2,2 ± 1,3
Ox Moutains	Irlande	callune	26 ± 6
Sheep Head Peninsula	Irlande	bruyère cendrée	2,3 ± 0,7
Sheep Head Peninsula	Irlande	callune	88 ± 8
Trollstigen	Norvège	mousse terrestre	101 ± 15
Glacier de Svartisen	Norvège	mousse terrestre	21 ± 10
Kirkenes	Norvège	mousse terrestre	145 ± 32
Svalvaer	Norvège	mousse terrestre	90 ± 8
Longyearbyen	Norvège	mousse terrestre	< LD
Cap Nord	Norvège	mousse terrestre	7,5 ± 1,8
častá papiernička	Slovaquie	mousse terrestre	12,5 ± 2,8
Moosalp	Suisse	tourbe blonde (sphaigne)	18,9 ± 2,6

Résultats d'analyse des champignons

Aquitaine-Limousin-Poitou-Charentes

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg sec)
Coussac-Bonneval	87	cèpe de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	39 ± 8
Saint-Maixent-l'École	79	cèpe de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	238 ± 21

Auvergne-Rhône-Alpes

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg sec)
Estivareilles	42	cèpe de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	344 ± 46
Valprivas	43	girolles (<i>Cantharellus cibarius</i>)	41,3 ± 4,7
Ugine	73	trompette de la mort (<i>Craterellus cornucopioides</i>)	22,8 ± 4,8
Lus-la-Croix-Haute	26	chanterelle jaune (<i>Craterellus lutescens</i>)	860 ± 70
Lus-la-Croix-Haute	26	hebelome brulant (<i>Hebeloma sinapizans</i>)	4 890 ± 380
Légnay	69	cèpe d'été (<i>Boletus reticulatus</i>)	6,9 ± 1,6
Saint-Albin-de-Vaulserre	38	hypholome vasculé	7,6 ± 1,3
hameau Chauffour	42	bolet à pied rouge (<i>Boletus erythropus</i>)	91 ± 9

Bourgogne-Franche-Comté

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg sec)
Boeurs-en Othe	89	pied de mouton (<i>Hydnum repandum</i>)	114 ± 19
Boult	70	trompette de la mort (<i>Craterellus cornucopioides</i>)	4,4 ± 1,7
Boult	70	bolets orangés (<i>Leccinum aurantiacum</i>)	62 ± 9
Mazille	71	cèpe de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	57 ± 9
St Clément sur Guye	71	Truffe (<i>Tuber aestivum</i>)	< LD
Boult	70	rosés des prés (<i>Agaricus campestris</i>)	< LD
La Roche Vineuse	71	cèpes de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	75 ± 10

Bretagne

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg sec)
Toulfoën	56	cèpe de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	50 ± 7

Centre-Val de Loire

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg sec)
Panzoult	37	bolets orangés (<i>Leccinum aurantiacum</i>)	104 ± 15
La Ferté-St-Cyr	41	bolets orangés (<i>Leccinum aurantiacum</i>)	132 ± 20

Corse

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg sec)
Figari	2A	bolet à pied rouge (<i>Boletus erythropus</i>)	< LD
Figari	2A	indéterminé	5,3 ± 1,3
Sotta	2A	trompette de la mort (<i>Craterellus cornucopioides</i>)	1,9 ± 1,2
Sartène	2A	amanite rougissante (<i>Amanita rubescens</i>)	< LD
Porto-Vecchio	2A	pied de moutons (<i>Hydnum repandum</i>)	116 ± 11

Languedoc-Roussillon-Midi-Pyrénées

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg sec)
Ceilhs-et-Rocozels	34	chanterelle en tube (<i>Craterellus tuaeformis</i>)	126 ± 11
Avéne	34	trompette de la mort (<i>Craterellus cornucopioides</i>)	3 ± 1,5
St-just-et-Vacquières	30	pied de mouton (<i>Hydnum albidum</i>)	4,7 ± 1,0

Le Born	48	cèpes de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	208 ± 18
St-martin-de-Londres	34	girolles (<i>Cantharellus cibarius</i>)	3,8 ± 1,5
Batsère	32	Boletus sp.	16,4 ± 4,4
Espèche	65	Champignon lignicole	< LD
Formiguères	66	Coulemelle (<i>Macrolepiota procera</i>)	< LD
Fontpedrouse	66	Boletus sp.	< LD
Le Pouget	30	trompette de la mort (<i>Craterellus cornucopioides</i>)	4,9 ± 1,0

Normandie

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg sec)
Grimbosq	14	pied de mouton (<i>Hydnum repandum</i>)	9,9 ± 4,1
Grimbosq	14	trompette de la mort (<i>Craterellus cornucopioides</i>)	< LD
Grimbosq	14	bolets orangés (<i>Leccinum aurantiacum</i>)	97 ± 6
Aqueville	50	cèpes de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	26,3 ± 2,6
Aqueville	50	bolet à pied rouge (<i>Boletus erythropuss</i>)	7,5 ± 3,7
Bricquebec	50	cèpes de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	83 ± 7
Condé-sur-Sarthe	61	entolome	25 ± 6
Barenton	50	chanterelle jaune (<i>Craterellus lutescens</i>)	18 ± 2,3
Monchaux-Soreng	76	clavares	1110 ± 140
Monchaux-Soreng	76	trompette de la mort (<i>Craterellus cornucopioides</i>)	39 ± 7

Pays de la Loire

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg sec)
Braud-et-St-Louis	49	russule	< LD
St-Pierre-du-Lorouer	72	champignon lignicole	< LD

Provence-Alpes-Côte d'Azur

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg sec)
Val-des-prés	5	tricholome	22,5 ± 2,4
Méounes	83	chanterelle jaune (<i>Craterellus lutescens</i>)	7 ± 1,9

Pays d'Europe

Commune	Pays	Espèce	Cs-137 (Bq/kg sec)
Importation	Provenance Russie	Girolles (<i>Cantharellus cibarius</i>)	32 ± 6
Importation	provenance Roumanie	cèpes de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	17,6 ± 4,4
Importation	Provenance Bulgarie	pied de mouton (<i>Hydnum repandum</i>)	1580 ± 130
Importation	provenance Biélorussie	Girolles (<i>Cantharellus cibarius</i>)	770 ± 60
Importation	provenance Roumanie	pied de mouton (<i>Hydnum repandum</i>)	780 ± 70
Aughris Head	Irlande	indéterminés	1,4 ± 0,7
Barleycore	Irlande	coprin chevelu (<i>Coprinus comatus</i>)	< LD
častá papiernička	Slovaquie	champignon lignicole	< LD
Malà Bystrice	République Tchèque	cèpes de Bordeaux (<i>Boletus edulis</i>)	434 ± 38
Helmsange	Luxembourg	pied de mouton	4410 ± 420

		<i>(Hydnum repandum)</i>	
Biirgerkreis	Luxembourg	Amanite rougissante <i>(Amanita rubescens)</i>	87 ± 7
Biirgerkreis	Luxembourg	Amanite rougissante <i>(Amanita rubescens)</i>	128 ± 11
Biirgerkreis	Luxembourg	bolet à chaire jaune <i>(Xerocomus chrysenteron)</i>	930 ± 120
Biirgerkreis	Luxembourg	bolet à chaire jaune <i>(Xerocomus chrysenteron)</i>	336 ± 45
Biirgerkreis	Luxembourg	bolet à chaire jaune <i>(Xerocomus chrysenteron)</i>	247 ± 34

Résultats d'analyses des denrées

Auvergne-Rhône-Alpes

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg frais)
Villebret	03	persil	< LD
St-Pierre-d'Entremont	38	bettes	< LD
Charmes-sur-l'Herbasse	26	thym	< LD
Mens	38	radis violet	< LD
Mens	38	rutabaga	< LD
Mens	38	feuilles d'ail des ours	< LD
Larajasse	69	carottes	< LD

Bourgogne-Franche-Comté

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg frais)
Fournandin	89	carottes	< LD
Boult	70	miel	< LD

Corse

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg frais)
Balagne	2B	pistachier lentisque	< LD
Balagne	2B	mûres	< LD
Asco	2B	thym	< LD
Asco	2B	sanglier	3,18 ± 0,28
Balagne	2B	courgette	< LD
Biguglia	2B	bettes	< LD
Biguglia	2B	carottes	< LD
Biguglia	2B	salade	< LD
Bonifacio	2A	thym	< LD
Figari	2A	Lait de chèvre	< LD
Figari	2A	myrte	< LD

Grand Est

Commune	Dep.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg frais)
Heiligenstein	67	carottes	< LD

Languedoc-Roussillon-Midi-Pyrénées

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg frais)
Cros	30	potirons	< LD
Cros	30	betterave rouge	< LD
Le Pouget	30	châtaignes	0,53 ± 0,21

Normandie

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg frais)
Barenton	50	carottes	< LD
Fontaine-Etoupefour	14	sauge officinale	< LD
Monchaux-Soreng	76	pommes	< LD
Monchaux-Soreng	76	carottes	< LD
Cernay	14	Miel et cire d'opercule	< LD
St-martin-Don	14	Lavande	< LD

Pays de la Loire

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg frais)
Préfailles	44	radis noirs	< LD
St Nazaire	44	bettes (racines)	< LD
Fye	72	baie d'églantier	< LD

Provence-Alpes-Côte d'Azur

Commune	Dép.	Espèce	Cs-137 (Bq/kg frais)
La Penne	6	spiruline	< LD
La Penne	6	betterave	< LD
Méounes-lès-Montrieux	83	thym	< LD

Pays d'Europe

Commune	Pays	Espèce	Cs-137 (Bq/kg frais)
Tromso	Norvège	viande de renne	690 ± 60
Tromso	Norvège	viande d'élan	25,3 ± 3,4
Tysnesoy	Norvège	fromage de chèvre	<LD
	Suède	camarines	1,11 ± 0,15
Turtmann	Suisse	fromage à raclette	<LD
Lac de Joux	Suisse	écrevisses	1,2 ± 0,6

Annexe 2 : Le césium dans l'alimentation en Europe : quels sont les niveaux de références ?

L'addition délibérée de radioactivité dans l'alimentation est interdite. Cependant, après un accident nucléaire, on n'a pas le choix, la nourriture peut se trouver contaminée pour des décennies. On trouve encore du césium-137 dans certains aliments suite aux essais nucléaires atmosphériques et à l'accident de Tchernobyl. Quels sont les niveaux de référence en Europe ? Force est de constater qu'il y en a pour tous les goûts !

La limite guide du Codex Alimentarius est de 1 000 Bq/kg pour la nourriture, y compris celle des nourrissons. Il s'agit d'une « limite indicative » qui s'applique aux denrées alimentaires faisant l'objet d'un commerce international suite à un accident nucléaire.

Limites européennes actuelles

Le règlement (CE) n°733/2008 du Conseil du 15 juillet 2008 relatif aux conditions d'importation de produits agricoles originaires des pays tiers à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl stipule que « la radioactivité maximale cumulée de césium 134 et 137 ne doit pas dépasser :

- a) 370 becquerels par kilogramme pour le lait et les produits laitiers énumérés à l'annexe II et pour les denrées alimentaires qui sont destinées à l'alimentation particulière des nourrissons pendant les quatre à six premiers mois de leur vie et qui répondent à elles seules aux besoins nutritionnels de cette catégorie de personnes, qui sont conditionnées au détail en emballages clairement identifiés et étiquetés en tant que « préparations pour nourrissons » ;
- b) 600 becquerels par kilogramme pour tous les autres produits concernés. »

Ce règlement précise que « la tolérance applicable aux produits concentrés ou déshydratés est calculée sur la base du produit reconstitué prêt pour la consommation ».

Suite à la catastrophe de Fukushima, l'Europe a fixé d'autres restrictions sur les produits alimentaires en provenance du Japon. Ainsi, le dernier règlement en date, le règlement d'exécution (UE) n°322/2014 de la Commission du 28 mars 2014 imposant des conditions particulières à l'importation de denrées alimentaires et d'aliments pour animaux originaires ou en provenance du Japon à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima stipule que « tous les produits, à l'exception de ceux figurant à l'annexe III, doivent respecter la limite maximale applicable à la somme de césium-134 et de césium-137 telle qu'elle figure à l'annexe II. » Cette annexe II donne les « limites maximales (en Bq/kg) prévues par la législation japonaise pour les denrées alimentaires » qui sont :

- Aliments pour nourrissons et enfants en bas âge, lait et boissons à base de lait : 50 Bq/kg ;
- Autres aliments, à l'exception de l'eau minérale et des boissons similaires, du thé obtenu par infusion de feuilles non fermentées : 100 Bq/kg ;
- Eau minérale et boissons similaires; thé obtenu par infusion de feuilles non fermentées : 10 Bq/kg.

Pour les aliments déshydratés comme les champignons qui concentrent le césium, il est précisé que « *la limite maximale s'applique au produit reconstitué prêt à être consommé. Pour les champignons déshydratés, un coefficient de reconstitution de 5 est appliqué. Pour le thé, la limite maximale s'applique à l'infusion obtenue à partir des feuilles de thé. Un coefficient de transformation de 50 est appliqué pour le thé déshydraté; ainsi, une limite de 500 Bq/kg applicable aux feuilles de thé séchées permet de garantir que le niveau de radioactivité dans l'infusion ne dépasse pas la limite maximale de 10 Bq/kg.* »

En Norvège et Suède, la forte contamination de certains animaux et plantes après la catastrophe de Tchernobyl, a conduit à l'adoption de limites plus élevées. Selon l'Autorité de Radioprotection Norvégienne (NRPA), pour les poissons de rivière, le gibier et la viande de renne, la limite est actuellement de 3 000 Bq/kg en Norvège depuis 1994. C'était deux fois plus, à partir de 1987, juste après la catastrophe nucléaire de Tchernobyl. La Suède a adopté une limite 1 500 Bq/kg en 1987. Pour les autres aliments, c'est comme le reste de l'Europe.

En cas de nouvel accident nucléaire

En cas de nouvel accident nucléaire, d'autres niveaux seront adoptés « *en mode réflexe immédiatement après un accident* » et deviendront alors les limites réglementaires sur le marché communautaire. D'autres radioéléments sont pris en compte, mais focalisons nous sur le césium. L'Europe a adopté les standards fixés juste après la catastrophe de Tchernobyl (règlement EURATOM n°3954/87 modifié par le règlement EURATOM n°2218/89) : les niveaux maximaux admissibles pour le césium radioactif seront de 1 000 Bq/kg dans les produits laitiers et 1 250 Bq/kg pour la plupart des autres aliments. La limite sera dix fois plus élevée pour les aliments de « *moindre importance* » dont la liste est donnée dans le règlement EURATOM n°944/89. Elle sera de 400 Bq/kg pour les aliments destinés aux nourrissons.

Parmi les aliments de « *moindre importance* », on trouve, les truffes, l'ail, de nombreuses épices, les levures, le cacao et sa pâte...

Ces valeurs préétablies sont valables pour une durée limitée de 3 mois au maximum, un nouveau règlement devant être proposé par la Commission dans un délai d'un mois après la mise en vigueur du règlement initial, confirmant ou adaptant les niveaux en fonction de l'événement particulier. Ces valeurs maximales admissibles ne sont pas justifiées dans les textes européens. Il faut aller lire la revue spécialisée Radiation Protection n°105 pour avoir une discussion scientifique. Il apparaît que les experts ont supposé que seulement 10% des aliments consommés seront contaminés aux niveaux maximum admissibles. A titre de comparaison, le Canada considère que ce sera 20%. Ainsi, ces valeurs ne peuvent être appliquées que dans les zones très éloignées des territoires contaminés.

Au tout début de la catastrophe nucléaire, le Japon a adopté d'autres standards. La limite maximale admissible pour le césium radioactif dans les produits laitiers était de 200 Bq/kg et de 500 Bq/kg pour les autres aliments. Ces limites ont été baissées au bout de presque un an. Les nouvelles règles de sûreté japonaises préconisent d'adopter les mêmes limites lors d'un prochain accident.

Après le précédent japonais, il est peu probable que les consommateurs européens acceptent les limites retenues. A l'instar de ce qui s'est passé au Japon, ils adopteront leur propres limites en se donnant les moyens de contrôler la nourriture.

Le 10 janvier 2014, la Commission européenne a adopté un nouveau projet de règlement qu'elle présente comme une refonte des textes en vigueur. De fait, bien que la commission prétende tenir compte, d'une part, des enseignements de la catastrophe de Fukushima et, d'autre part, des nouvelles connaissances scientifiques acquises sur le risque radio-induit, elle considère que les valeurs établies depuis 1987 restent toujours valables. En conséquence, ce projet de pseudo-refonte ne fait que reconduire les anciennes valeurs de concentrations maximales admissibles de contaminations radioactives des denrées alimentaires établies depuis plus d'un quart de siècle. Voici le seul changement : « *Afin de tenir compte des variations considérables possibles dans le régime alimentaire des nourrissons au cours des six premiers mois de leur vie, ainsi que des incertitudes concernant le métabolisme des nourrissons âgés de six à douze mois, il y a lieu d'étendre à toute la période des douze premiers mois de vie l'application de niveaux maximaux admissibles réduits pour les aliments pour nourrissons.* »

Après passage devant le Parlement européen, le 9 juillet 2015, plusieurs amendements ont été adoptés. Il est notamment demandé que « *les niveaux maximaux admissibles réduits devraient également concerner les femmes enceintes et allaitantes.* » De plus, « *l'adoption des niveaux maximaux admissibles en vertu du présent règlement devrait se baser sur les exigences de protection des populations les plus critiques et les plus vulnérables, notamment les enfants et les personnes vivant dans des régions isolées ou pratiquant la production vivrière. Les niveaux maximaux admissibles devraient être les mêmes pour toute la population et se baser sur les niveaux les plus bas.* » Ce vœu n'est pas encore traduit dans les limites adoptées. Cependant, la commission devra présenter au Parlement européen, avant le 31 mars 2017, un rapport sur la pertinence des NMA fixés. Par ailleurs, il est maintenant stipulé que « *la Commission réalise la première révision au plus tard un mois après un accident nucléaire ou une urgence radiologique dans le but de modifier, si nécessaire, les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive et la liste des radionucléides.* » Une concertation avec les parties-prenantes sur ce dossier est indispensable.

Enfin, le Parlement juge que « *les pratiques consistant à mélanger des aliments présentant des concentrations supérieures aux niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour bétail avec des aliments non ou peu contaminés, ce afin d'obtenir des produits conformes à ces niveaux, ne sont pas autorisées.* »

Le nouveau règlement européen a finalement été publié le 15 janvier 2016 et ne modifie aucune valeur limite... Il ne fait qu' « *étendre aux douze premiers mois de vie l'application de niveaux maximaux admissibles réduits pour les aliments destinés aux nourrissons.* » Le parlement européen ne semble pas avoir eu une grande influence. Il est maintenant précisé que « *ces niveaux sont basés en particulier sur un niveau de référence de 1 mSv par an pour l'augmentation de la dose efficace individuelle par ingestion et sur l'hypothèse d'une contamination de 10 % des denrées alimentaires consommées sur un an.* »

En France, le Plan National de Réponse « *Accident nucléaire ou radiologique majeur* » de février 2014 aborde la contamination des aliments. Il précise que « *pour des populations vivant à distance du site accidenté et ne consommant qu'une part faible de denrées contaminées provenant du pays affecté*

par l'accident, les Niveaux Maximaux Admissibles du règlement EURATOM ne sont pas stricto sensu des normes sanitaires. Ce sont des indicateurs, à un instant donné, de la qualité radiologique des productions alimentaires [...].

Le respect des NMA au sein de l'Union Européenne assure ainsi à tout citoyen européen une exposition du fait de la consommation de denrées provenant de territoires contaminés bien inférieure aux limites de dose [...].

Toutefois, si un accident nucléaire ou une situation d'urgence radiologique survenait dans un pays européen, une gestion du risque alimentaire élaborée uniquement sur une comparaison aux NMA ne serait appropriée que pour les populations nationales vivant à distance du site accidenté.

En effet, plus les populations à protéger seraient proches du site accidenté et plus la proportion de denrées contaminées issues de circuits de commercialisation courts pourrait être importante. La part des autres voies d'exposition, notamment l'irradiation externe, serait également croissante.

Ces considérations ont amené le CODIR-PA à proposer une démarche plus globale pour la gestion du risque alimentaire au niveau national à la suite d'un accident. Cette démarche repose sur un triple dispositif visant à concilier protection de la population et préservation de la qualité des productions et du potentiel économique des territoires.

-> Dans l'environnement proche de l'installation accidentée, où la contamination des denrées alimentaires est la plus forte, une gestion spécifique du risque radiologique lié à l'alimentation est nécessaire. Dans la zone correspondante, un contrôle des denrées alimentaires par comparaison aux NMA ne permettrait pas d'assurer une protection sanitaire suffisante de la population. A cette fin, une Zone de Protection des Populations (ZPP) serait définie à partir de valeurs guides exprimées en doses prévisionnelles ; du point de vue du risque alimentaire, la commercialisation et la consommation de toute denrée alimentaire, quel que soit son niveau de contamination, serait d'interdire dans cette zone ;

-> Dans les territoires où la contamination est significative sans toutefois imposer des contraintes de radioprotection à la population comme en ZPP, l'enjeu n'est plus une gestion sanitaire de la situation mais davantage un maintien de la qualité radiologique des denrées susceptible d'intégrer les marchés nationaux et européens et la préservation du potentiel économique des territoires. Ces territoires seraient regroupés dans la Zone de Surveillance renforcée des Territoires (ZST). La commercialisation des denrées produites dans cette zone serait conditionnée à la réalisation de contrôles libératoires sur la base des NMA européens. Outre la protection économique, la définition de cette zone participerait également à la protection des consommateurs français et européens en évitant des doses inutiles.

-> Sur le reste du territoire national, au-delà de la ZST une surveillance serait à exercer pour détecter d'éventuelles concentrations de contamination pouvant induire des dépassements ponctuels des NMA.

La ZPP et la ZST seraient élaborées à partir d'une modélisation prédictive afin de gérer par anticipation les conséquences prévisibles des dépôts de radioactivité dans l'environnement. Ces zones seraient ensuite réévaluées au cours du temps en tenant compte de l'amélioration de la connaissance réelle de la contamination des territoires. »

Références :

- **Règlement (EURATOM) n°3954/87** du Conseil du 22 décembre 1987 fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour le bétail après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31987R3954&rid=4>

- Règlement (EURATOM) n°944/89 de la commission du 12 avril 1989 fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires de moindre importance après un accident nucléaire ou dans toute autres situation d'urgence radiologique

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31989R0944:FR:PDF>

- Règlement (EURATOM) n°2218/89 du conseil du 18 juillet 1989 modifiant le règlement (Euratom) n°3945/87 fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées et les aliments pour bétail après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31989R2218:FR:PDF>

- **Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization**, Codex General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed, Codex Standard 193-1995, revised in 2009, amended in 2013

http://www.codexalimentarius.org/download/standards/17/CXS_193e.pdf

- **Norwegian Radiation Protection Authority**, NRPA Bulletin 19•06, 10 November 2006, Radioactive contamination of Norwegian foodstuffs after the Chernobyl accident.

<http://www.nrpa.no/dav/8261e12842.pdf>

- **Règlement (CE) n°733/2008** du Conseil du 15 juillet 2008 relatif aux conditions d'importation de produits agricoles originaires des pays tiers à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Tchernobyl :

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:201:0001:0007:FR:PDF>

- **Règlement d'exécution (UE) n°322/2014** de la Commission du 28 mars 2014 imposant des conditions particulières à l'importation de denrées alimentaires et d'aliments pour animaux originaires ou en provenance du Japon à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0322&from=FR>

- **Proposition de règlement du Conseil** fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour bétail après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique. [COM(2013)943 final]

http://www.senat.fr/europe/textes_europeens/e9022.pdf ANNEXES 1 to 5

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013PC0943&from=en>

- **Radiation Protection n°105, 1998**

<https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/105.pdf>

- **Parlement Européen**, Textes adoptés, Résolution législative du Parlement européen du 9 juillet 2015 sur la proposition de règlement du Conseil fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour bétail après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique (COM(2013)0943 – C7-0045/2014 – 2013/0451(COD))<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+TA+P8-TA-2015-0267+0+DOC+PDF+V0//FR>

- **RÈGLEMENT (Euratom) 2016/52** DU CONSEIL du 15 janvier 2016 fixant les niveaux maximaux admissibles de contamination radioactive pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux après un accident nucléaire ou dans toute autre situation d'urgence radiologique, et abrogeant le règlement (Euratom) no 3954/87 et les règlements (Euratom) no 944/89 et (Euratom) no 770/90 de la Commission

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32016R0052>

- **Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale (SGDSN)**, Plan national de réponse, accident nucléaire ou radiologique majeur, février 2014

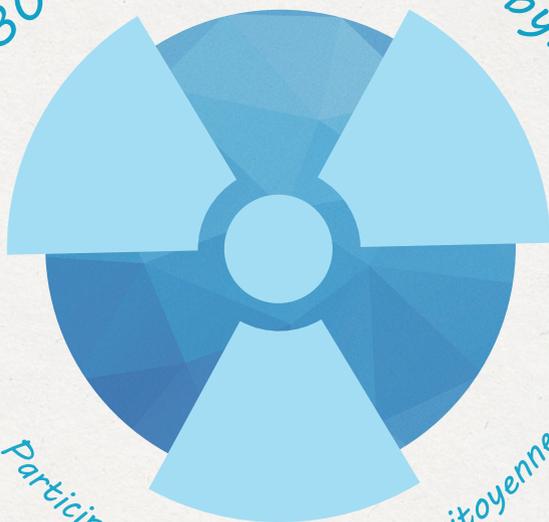
http://www.risques.gouv.fr/sites/default/files/upload/sgdsn_parties1et2_270114.pdf

Annexe 3 : Guide du préleveur volontaire

ACRO

vous présente

30 ans après Tchernobyl



Participez à la cartographie citoyenne

Guide pratique du préleveur volontaire

Campagne de prélèvements 2014 - 2015

Combien de césium-137 reste-t-il encore
dans notre environnement ?

Quelles denrées alimentaires sont encore contaminées ?



Pourquoi devenir préleveur volontaire ?

En 2016, trente années se seront écoulées depuis la catastrophe de Tchernobyl, soit l'équivalent d'une période radioactive du césium-137. En 30 ans, la radioactivité du césium-137, qui a contaminé une grande partie de l'Europe, dont la France, doit avoir diminué de moitié par rapport à 1986. Elle est loin d'avoir disparu, d'autant qu'elle a migré dans l'environnement.

Quelles activités trouve-t-on encore aujourd'hui dans notre environnement ? Les denrées contaminées sont-elles les mêmes qu'en 1986 ?

Pour tenter de répondre à ces questions, l'ACRO souhaite dresser une cartographie de la contamination en césium-137 encore présente en France et en Europe. Pour cela elle organise une grande campagne de prélèvements sur l'ensemble du territoire, entre octobre 2014 et décembre 2015. Nous lançons donc un appel à tous les préleveurs volontaires qui souhaitent participer à la réalisation de ce bilan 30 ans après le passage du nuage de Tchernobyl sur la France, pour nous aider à collecter des échantillons variés.

Deux catégories d'échantillons pourront être prélevées :

- Une catégorie « environnement » avec des échantillons de sols ou de sédiments, de lichens et de champignons ;
- Une catégorie « produits comestibles », lesquels seront choisis selon les envies, les questionnements, ou les spécificités des régions. Il peut s'agir de légumes, de fruits (baies), de poissons, de lait, de fromage, etc.

Les méthodes d'échantillonnage sont détaillées dans la suite de ce guide, tout comme le conditionnement et l'envoi des échantillons. Chaque échantillon reçu au laboratoire de l'ACRO, sera préparé puis analysé par spectrométrie gamma.



Quel site de prélèvement ?

A vous de choisir !

Votre connaissance du terrain vous permettra de déterminer le meilleur lieu de prélèvement. Si vous ne devez retenir qu'un seul critère, regardez la topographie : les vallées (ou cuvettes) sont souvent plus contaminées que les sommets à cause du ruissellement des eaux de pluie.

Le plus important est de noter les caractéristiques du site de prélèvement.

Conditions optimales : sol plat, sec et non cultivé.

Exemples de paramètres à préciser : présence de grands arbres (hêtres), pylônes ou gros éléments naturels (rochers).

Avant tout prélèvement :

Contactez-nous pour recevoir la fiche de terrain à renseigner et à nous renvoyer avec les échantillons.

Appel aux dons

Cette campagne d'analyses a un coût élevé pour notre association, vos dons sont donc les bienvenus !

Vous pouvez nous les faire parvenir par chèque, par virement ou PayPal (voir le site ACRO). Ils sont déductibles jusqu'à 66 % de votre impôt sur le revenu, dans la limite de 20% du revenu net imposable.

N'oubliez-pas de nous fournir vos coordonnées afin de vous envoyer le reçu !





Prélèvements « environnement »

Les indicateurs du compartiment minéral :



Les sols : sols forestiers ou sols de prairie

Méthode : prélever, à l'aide d'une pelle-bêche, un volume d'environ 10 cm de côté pour 20 cm de profondeur. Eliminer les herbes et les racines puis scinder la motte en deux parties afin de réaliser deux échantillons : 0-10 cm et 10-20 cm de profondeur.

Quantité : environ 150 g en sachet ou en pot étanche par échantillon.



*Les sédiments de lacs et de cours d'eau :
prélever une couche jusqu'à 10 à 15 cm de
profondeur (selon disponibilité)*

Méthode :

- Lac : à faible profondeur (à hauteur de bottes) avec une petite pelle.
- Cours d'eau : prélever dans les zones où le courant est faible (calme hydrodynamique).

Quantité : selon le type de substrat, 1 litre pour des vases fines et 0,5 litre si très sableux, en pot hermétique.

Les indicateurs biologiques :



Des Lichens :

De préférence l'espèce *Xanthoria parietina* (voir photos ci-dessus) vivants sur des troncs d'arbres debout. De couleur verdâtre à l'ombre et jaune orangé au soleil.

Méthode : Humidifier (vaporisateur) puis racler à l'aide d'un couteau en bois ou en plastique.

Quantité : Minimum 50 g, dans un sachet étanche.

Pieds de moutons



Cèpes de Bordeaux



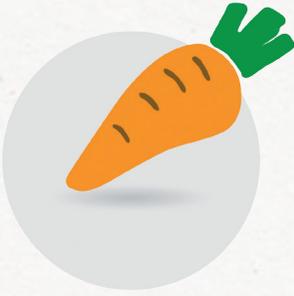
Des Champignons :

Cèpes de Bordeaux (*Boletus edulis* ; chapeau marron et tubes fins sous le chapeau) ou pieds de mouton (*Hydnum rependum* ; chapeau irrégulier et aiguillon sous le chapeau).

Méthode : couper à la base du pied.

Quantité : minimum 500g frais par espèce.





Prélèvements « comestibles »

Les denrées alimentaires végétales :

Méthode d'échantillonnage :

Comme pour vos propres récoltes, à la main ou au couteau. Ramasser à maturité. Ne conserver que la partie habituellement consommée. Laisser le moins de traces de terre possible.



Des baies sauvages : myrtilles, mûres, fraises des bois.

Quantité : Environ 300 g par espèce.



Des champignons : toute espèce comestible (giroles, trompettes de la mort, morilles, rosés des prés, truffes...)

Quantité : environ 500 g frais par espèce.



Des légumes : en priorité les légumes racines et les plantes aromatiques (thym, sauge...)

Quantité : Légumes racines : 500 g frais ; aromatiques : 200 g.



Les bruyères : variété *Calluna vulgaris* ou *Erica* si possible.

Quantité : 100 à 200 g de sommités fleuries (grappes de fleurs et de feuilles).

*Au moindre doute sur le choix d'une variété, de la quantité à prélever ou sur la méthode, n'hésitez pas, CONTACTEZ-NOUS :
acro-laboratoire@wanadoo.fr ou 02 31 94 35 34*

Les denrées alimentaires animales :

Méthode d'échantillonnage :

Si vous n'êtes pas vous-même producteurs de ce type de produits, merci de demander l'accord préalable des producteurs pour participer à ce projet.



Miel (100g environ) et autres produits de la ruche (cire, pollen...) : nous contacter.



Lait et produits laitiers (chèvre, brebis, vache...) : 600 ml de lait et/ou 1 fromage entier.



Poissons de fond ou carnassiers : 1 à 2 kg par espèce. Poissons entiers.

Gibier : environ 500 g de muscle.

Pour le poisson et le gibier, merci de congeler les échantillons avant l'envoi. En mettant une bouteille congelée dans le colis, la conservation n'en sera que meilleure.

RAPPEL : Tous les échantillons décrits dans ce livret, ne sont que des propositions ; nous vous laissons la liberté de choisir les variétés qui vous intéressent, qui sont facilement disponibles, et que vous pouvez prélever sans difficulté particulière.





Expédition des échantillons

Conditionnement et envoi des échantillons :

Traçabilité : renseigner la fiche de prélèvement qui vous sera fournie par l'ACRO (espèce prélevée, lieu et date au minimum) et la joindre aux échantillons. Si plusieurs prélèvements d'une même espèce sont effectués en des lieux différents, annoter clairement le lieu de prélèvement sur chaque sac pour éviter toute confusion (étiquette autocollante ou marqueur indélébile).

Conditionnement pour transport : boîtes hermétiques ou sacs plastiques à zip. Ne mettre qu'une seule espèce par sac de prélèvement. La congélation est possible si l'envoi ne se fait pas rapidement après prélèvement, elle ne nuit pas à la mesure.

Pour l'expédition des échantillons par voie postale

Mettre chaque échantillon dans un double emballage type sac « zip » (2 sacs l'un dans l'autre) bien fermés pour éviter tout risque de fuite de liquide pendant le transport. Pour les échantillons liquides, éviter les contenants en verre, préférer les flacons ou bouteilles en plastique (qui ne cassent pas). Dans le carton d'expédition, caler le plus possible les échantillons susceptibles de s'ouvrir en cas de fortes secousses.

Envoyer le tout au laboratoire à l'adresse suivante :

ACRO

138 rue de l'Eglise

14200 Hérouville Saint-Clair - France

Tél : 02 31 94 35 34 - Mail : acro-laboratoire@wanadoo.fr

www.acro.eu.org

Une question ? Besoin d'un complément d'information ?

Contactez l'ACRO !