

## Annexe 12

### **Influence de la date d'occurrence des retombées radioactives sur les conséquences d'un rejet atmosphérique accidentel**

**Philippe Renaud**  
**Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire**

En cas de rejet accidentel, la date d'occurrence des dépôts atmosphériques radioactifs est déterminante sur leurs conséquences dans l'environnement, notamment sur la chaîne alimentaire et donc sur l'homme.

En effet, pour de nombreuses productions agricoles ou d'élevage, cette date détermine les niveaux de contamination les plus élevés qui vont être atteints dans les jours, semaines ou mois suivant les dépôts radioactifs. Elle aura également un effet, quoique plus modéré, sur la contamination de ces productions dans les années suivantes.

Une partie des retombées radioactives atmosphériques est interceptées et retenues par la masse foliaire des végétaux. Plus cette masse foliaire est importante, plus la captation des dépôts radioactifs est forte. Au cours de son cycle végétatif une céréale comme le maïs passe d'une efficacité de captation de moins de 10 % (stade de développement à trois feuilles) à plus de 90 % à la fin de la montaison, et ceci en quelques semaines.

Par ailleurs, une partie de l'activité retenue par les feuilles est ensuite transférée aux autres organes de la plante : fruit, grain, racine ou tubercule de l'année en cours, et aussi aux futures pousses et/ou récoltes dans le cas de végétaux pérennes : arbres de verger, de vignes ou d'ornement. L'intensité de ce transfert interne à la plante, appelé translocation, peut varier de plusieurs ordres de grandeur en l'espace de quelques jours comme l'illustre la figure ci-dessous. Cette figure présente la contamination en césium 137 de grains de blé en fonction de la date d'occurrence d'un dépôt fictif par temps sec de  $10\,000\text{ Bq/m}^2$  de ce radionucléide. Des aérosols radioactifs déposés en septembre (cas  $D_1$ ) seront incorporés dans l'horizon racinaire par le labour. La récolte suivante sera alors atteinte essentiellement par transfert racinaire. Dans ce cas, la concentration attendue dans les grains est relativement faible, de l'ordre de  $0,5\text{ Bq.kg}^{-1}$ . Si le dépôt survient entre octobre et mars (cas  $D_2$ ), les radionucléides déposés à la surface du sol et remis en suspension contaminent le plant tout au long de son développement conduisant à une faible activité massique de la récolte, du même ordre de grandeur que dans le cas précédent. Si le dépôt se produit après la montaison, à partir de mi-avril et jusqu'à la récolte (cas  $D_3$ ), le plant a atteint son développement foliaire maximum, le transfert prédominant est le transfert foliaire direct résultant de l'interception des aérosols par les feuilles et tiges. Un dépôt survenant dans les trois mois qui précèdent la récolte conduit à une activité massique des grains de  $1\,000\text{ Bq.kg}^{-1}$  frais. Cette contamination élevée résulte d'une translocation intense car la plante a un besoin important d'éléments minéraux durant la formation des grains.

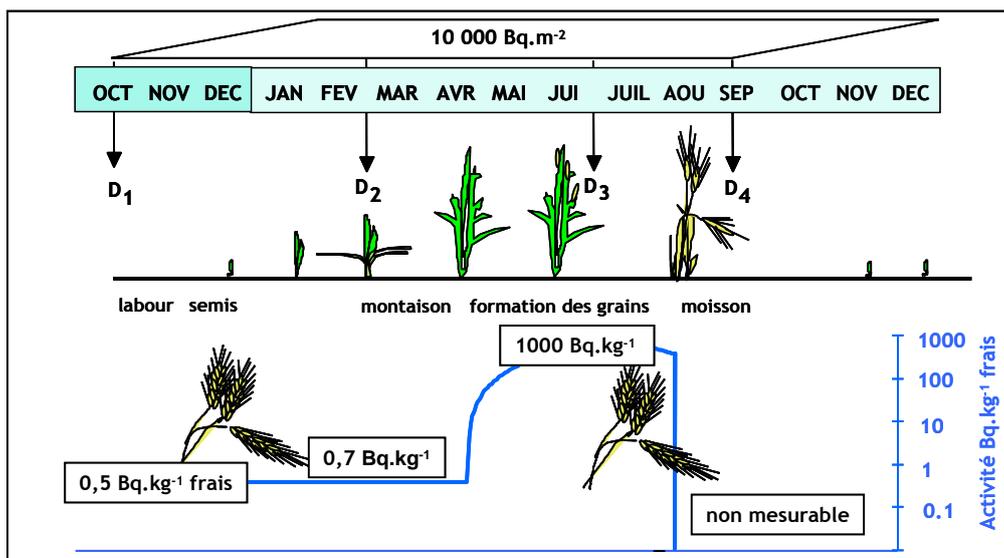


Figure 1 – Activité en <sup>137</sup>Cs d'une récolte de blé (Bq.kg<sup>-1</sup> frais) en fonction du stade de développement de la plante au moment du dépôt.

Si le blé est déjà récolté au moment du dépôt, il n'a fait l'objet d'aucun transfert et se trouve évidemment exempt de contamination. Pour la plupart des cultures, les récoltes suivantes ne sont atteintes que par le seul transfert racinaire. En effet, une fois que l'activité déposée initialement sur la surface du sol y est incorporée de manière plus ou moins homogène, le phénomène de remise en suspension devient négligeable par rapport au transfert racinaire. Ainsi, dans l'exemple précédent, les récoltes de blé des années suivantes ne seront atteintes que par le transfert racinaire et leur activité massique sera de l'ordre de 0,5 Bq.kg<sup>-1</sup> comme dans le cas D<sub>1</sub>.

Les retombées en France de l'accident de Tchernobyl ont eu lieu début mai. A ce moment de l'année, le blé d'hiver, principale culture céréalière française, se trouvait au stade de montaison, avec un développement foliaire important (figure 2). L'interception des dépôts a donc été forte. Toutefois, ce n'est que dans quelques départements du Sud-est de la France que la floraison avait eu lieu entraînant un transfert du césium intercepté vers le grain. C'est pourquoi, sur les 330 échantillons de céréales analysés par l'OPRI, seuls ceux provenant de 5 départements (Corse, Drôme, Ardèche, Bouches du Rhône et Vaucluse) ont dépassé la limite de détection de 50 Bq/kg de <sup>137</sup>Cs. Dans les autres régions, l'activité n'a probablement pas dépassé 10 Bq/kg. La contamination céréalière la plus élevée, 200 Bq/kg, a été mesurée dans de l'orge de Corse, dont le stade végétatif était le plus avancé.

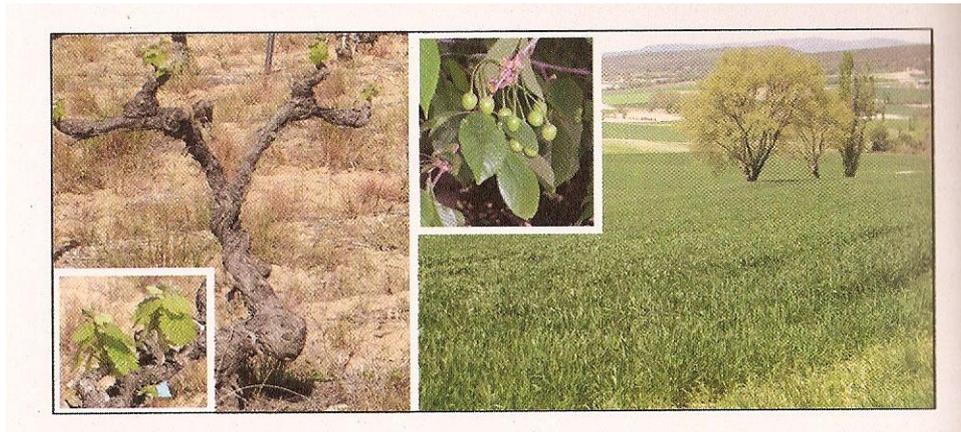


Figure 2 – Stade de développement du blé de la vigne et des cerisiers le 3 mai 2005 en Provence.

Si les dépôts radioactifs avaient eu lieu fin mai 1986 au lieu de début mai 1986, toutes les céréales produites dans l'Est de la France auraient atteint quelques centaines de Bq/kg de  $^{137}\text{Cs}$  et de  $^{134}\text{Cs}$ , voire dépassé 1 000 Bq/kg.

Il ne s'agirait toutefois pas du cas le plus pénalisant. En effet, cette variabilité du transfert de certains radionucléides des feuilles vers les produits consommés en fonction de la date, existe également pour toutes les autres grandes productions agricoles, y compris les fruits de verger et plus particulièrement le raisin. Début mai 1986, les arbres fruitiers étaient à un stade végétatif très précoce. Seules quelques variétés de cerises présentaient des fruits formés. Ce n'est que dans ces fruits, que des activités de quelques dizaines à quelques centaines de Bq/kg de césium ont été mesurées en France en juin 1986. Pour la même raison, la contamination du vin français a été extrêmement limitée : autour de 0,5 à 1 Bq/L (figure 3). À dépôts radioactifs équivalents (10 000 à 20 000 Bq/m<sup>2</sup>), des activités 10 à 30 fois plus élevées ont été observées dans du vin grec en raison d'un stade végétatif de la vigne plus avancé. Si les dépôts radioactifs avaient eu lieu fin juin, la plupart des grandes productions agricoles françaises dont le vin, auraient présenté une contamination en césium de quelques centaines à quelques milliers de Bq/kg. Dans le cas des fruits de verger et du vin, cette contamination aurait perduré plusieurs années. En effet, le suivi radiologique du vin fait en France après l'accident de Tchernobyl, a montré une rémanence de la contamination des crus successifs qui n'a diminué que d'un facteur 30 en 15 ans (figure 3) en liaison avec une remobilisation du césium fixé dans les parties ligneuses (cep).

De tels niveaux d'activités durant plusieurs années auraient certainement eu des conséquences économiques extrêmement préjudiciables pour les pays d'Europe de l'Ouest et plus particulièrement pour la filière viticole française.

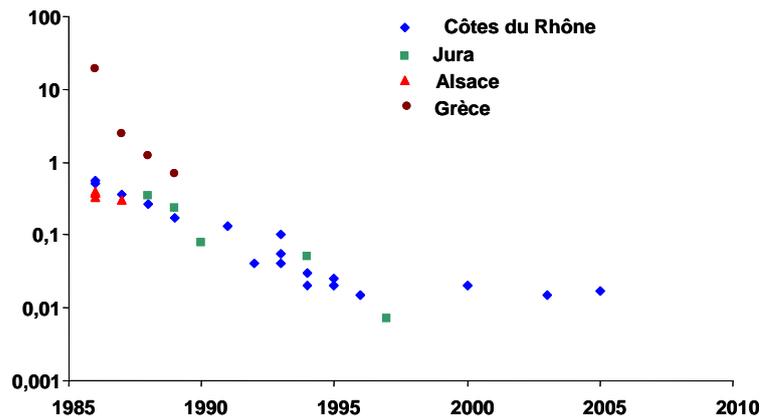


Figure 3 – Évolution de la contamination en  $^{137}\text{Cs}$  du vin en France et en Grèce dans les années suivant l'accident de Tchernobyl.

La date d'occurrence des dépôts influe aussi sur la contamination des produits animaux qui est directement liée à celle de leur alimentation. Début mai 1986, la plupart des bovins, ovins et caprins français étaient à l'extérieur en libre pâturage. Il s'en est suivi une contamination maximale en iode 131 et en césium 137 de l'ordre de 1 000 Bq/L et 100 Bq/L respectivement dans les premiers jours de mai. Cette contamination a heureusement diminué très rapidement dans les semaines suivantes avec le renouvellement de l'herbe pâturée. Si les retombées de l'accident de Tchernobyl avaient eu lieu 2 mois auparavant, la majeure partie des produits laitiers français auraient été presque exempt de contamination, la plupart des animaux étant alimentés avec du fourrage de l'année précédente.

Les retombées de l'accident de Fukushima constituent une autre illustration de l'influence d'une date encore plus précoce. Parmi les productions agricoles, les activités les plus élevées n'ont concerné que les légumes et principalement les légumes à feuilles (épinards notamment) les plus sensibles. La contamination de ces produits a diminué rapidement comme attendu. La filière laitière a été touchée modérément et la contamination de la viande, à cinétique plus lente, concerne principalement des animaux alimentés avec des fourrages stockés en extérieur dans des zones où les dépôts ont été très importants.

Trois types de produits présentent actuellement une contamination significative : les pousses de bambou, les feuilles de thé crues ou raffinées et les abricots du Japon. Ci-dessous, un extrait de la synthèse faite par l'IRSN le 13 juillet concernant la contamination de la chaîne alimentaire au Japon.

*« Au moment du dépôt, les bambous et les théiers avaient un feuillage persistant qui a intercepté les dépôts radioactifs. Les radionucléides interceptés par les feuilles, notamment le césium, ont été assimilés par la plante et transportés par la sève dans l'ensemble des tissus et organes, conduisant ainsi à la contamination globale des plantes (phénomène de translocation). Le théier et le bambou ayant une biomasse importante (7 à 14 kg matière sèche/m<sup>2</sup> pour le thé par exemple), l'interception des dépôts radioactifs en mars a été particulièrement efficace. Une partie du dépôt foliaire a été assimilée par les plantes et transférée aux nouvelles pousses récoltées dès la fin du mois d'avril, ce qui explique les contaminations significatives en césium observée dans les nouvelles feuilles de thé et les pousses de bambou, même si celles-ci ont poussé plusieurs semaines après la formation des dépôts.*

*Les activités massiques mesurées (césiums 134+137) peuvent dépasser de l'ordre de 1 000 Bq/kg frais pour le thé issu de la première récolte (1 330 Bq/kg frais à Kanagawa et 981 Bq/kg frais à Shizuoka le 21 juin) et de 2 000 Bq/kg frais pour les pousses de*

*bambou (2 060 Bq/kg à Minamisoma et 1 070 Bq/kg à Souma le 23 juin). Ces niveaux de contamination pourraient correspondre à des dépôts de césium relativement modérés, estimés à quelques dizaines de milliers de Bq/m<sup>2</sup>, qui ont pu se former jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres de la centrale de Fukushima Dai-ichi. Il est donc possible que des contaminations beaucoup plus importantes de ces produits puissent être observées dans des productions en provenance de zones plus touchées par les retombées radioactives. Les mesures effectuées sur les feuilles de thé et les pousses de bambou sont relatives aux premières récoltes après les dépôts. Les récoltes suivantes devraient être de moins en moins contaminées.*

*Ainsi, les feuilles de thé qui ont fait l'objet d'une seconde coupe sont moins contaminées que celles de la première coupe : les activités en césiums mesurées en juin varient entre 29 et 306 Bq/kg frais.*

*Toutefois, la consommation de ces denrées n'est pas immédiate et les produits conditionnés issus des premières récoltes sont susceptibles de perdurer sur le marché durant des mois. Les produits venant des récoltes à venir pourraient encore présenter des activités significatives, pouvant parfois dépasser les niveaux maximaux admissibles pour leur commercialisation. C'est pourquoi, il est justifié de maintenir une surveillance de ces catégories de denrées dans les mois, voire les années à venir.*

*Les abricots du Japon (umé) sont les fruits d'arbres à floraison très précoce, qui étaient probablement déjà en fleurs mi-mars. Cet arbre fruitier peut être considéré comme intermédiaire entre le prunier et l'abricotier. Sa floraison semble correspondre à celle des abricotiers français : les fleurs éclosent tôt au printemps, en mars-avril, parfois dès janvier-février selon le climat. Les feuilles n'apparaissent que bien plus tard et les fruits arrivent à maturité vers la fin du mois de mai. Les résultats de mesure les plus récents dans les abricots japonais récoltés dans la préfecture de Fukushima varient entre 137 et 700 Bq/kg frais de césiums 134+137. Les plus hauts niveaux de contamination actuellement observés, résultent de dépôts très importants, contrairement au thé et aux pousses de bambous pour lesquels des dépôts modérés ont suffi à provoquer une contamination significative. Cette contamination résulte de l'interception des dépôts radioactifs par les organes végétatifs présents à ce moment là. Il est probable que la contamination des abricots japonais ne se limitera pas à cette première récolte. Toutefois ces productions devraient être, dans l'avenir, moins sensibles à cette pollution radioactive que les feuilles de thés ou les pousses de bambous ».*

Les conséquences de l'accident de Fukushima sur la chaîne alimentaire au Japon doivent donc être analysées en considérant l'influence de la date d'occurrence des dépôts qui les a considérablement limitées.

**Pour en savoir plus :** « Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français », Philippe Renaud, Didier Champion, Jean Brenot (2007). Lavoisier, Paris ISBN, 978-2-7430-1027-0.