

Annexe 10

Analyse du rapport UNSCEAR 2011 - Annex D : Aspects environnementaux de l'accident de Tchernobyl

Henri Métivier

Professeur émérite à l'INSTN – Ancien membre de la CIPR

Grâce aux très nombreuses études et expérimentations faites tant en laboratoire que sur le terrain, l'accident de Tchernobyl a permis d'améliorer nos connaissances sur les conséquences environnementales d'un accident nucléaire grave et sur l'efficacité des contremesures. Les leçons tirées ont permis de mettre en place des protocoles d'actions dans de nombreux pays « nucléarisés ». Ces études se sont faites dans un cadre international, principalement européen, permettant ainsi une meilleure harmonisation des plans d'action en cas d'accident grave.

Comme pour l'aspect sanitaire le rapport UNSCEAR 2011 reprend sans grandes modifications les conclusions du Forum Tchernobyl.

Le rapport UNSCEAR 2011

Le rapport rappelle les conditions de l'accident et revient sur la partie physicochimique, des aérosols émis. Rappelons que lors de la première phase, les particules issues essentiellement du combustible étaient de grande taille (10 μm), de densité élevée (8-10 g/cm^3) souvent insolubles. Elles étaient composées de particules du combustible (plutonium et uranium) d'éléments réfractaires – zirconium, molybdène, cérium, neptunium ainsi que de composés intermédiaires ruthénium, baryum, strontium). Lors de la seconde phase (le feu), les particules émises étaient submicroniques (0,4 - 0,7 μm) et plus solubles. Les premières se sont déposées au plus, à quelques dizaines de kilomètres du réacteur accidenté (*near zone*) les secondes (*far zone*) de 100 à 2 000 km et étaient composées des éléments volatils (iode, tellure, césium). Par exemple, au Royaume-Uni toutes les particules déposées étaient solubles.

Aujourd'hui les radionucléides les plus importants en termes d'impact environnemental restent le ^{137}Cs et ^{90}Sr .

Les particules déposées sur les sols migrent lentement en profondeur et seront plus tard au contact des racines. Le transfert aux plantes est donc lors de la première période essentiellement foliaire, ensuite il sera racinaire. Le premier est plus élevé que le second, c'est pourquoi la contamination des plantes a été maximale l'année de l'accident. Le **transfert foliaire dépend essentiellement du stade de développement de la plante**. La vitesse de migration dépend essentiellement de la nature des sols, elle est très lente dans les prairies et sous-bois, la contamination des produits de la forêt, champignons¹ et baies, restera donc importante durant de nombreuses années.

La première récolte suivant le dépôt peut avoir été contaminée par les deux modes de transfert la seconde ne le sera que par le transfert racinaire. Pour les fruits, la contamination dépend également de la production fruitière et de la période de croissance des fruits.

¹ Il est certain que le public a retenu que les champignons captaient fortement le césium radioactif. Leur structure racinaire (mycélium en surface), fait que les champignons captent toutes les pollutions métalliques qui ne migrent pas rapidement en profondeur.

La contamination des eaux de rivières et des lacs provient essentiellement du ruissellement des terres contaminées.

En France par exemple, la contamination fin avril début mai, n'a pas conduit à une contamination des céréales, la floraison et la germination n'étant pas commencée.

Pour les vins français, les vignes, comme les arbres fruitiers n'avaient encore que quelques feuilles lors des dépôts (transfert foliaire faible). La période où a lieu l'accident est donc très importante. En général, les grains sont toujours moins contaminés que la rafle. Mais c'est pendant la vinification du vin rouge, lorsque le jus et les rafles macèrent ensemble que le césium est transféré au vin, ceci explique que la contamination des vins blancs est toujours inférieure à celle des vins rouges.

Le lecteur souhaitant mieux connaître tous les mécanismes de transfert dans l'environnement pourra se référer au livre de Philippe Renaud (Lavoisier, 2007).

Les contremesures

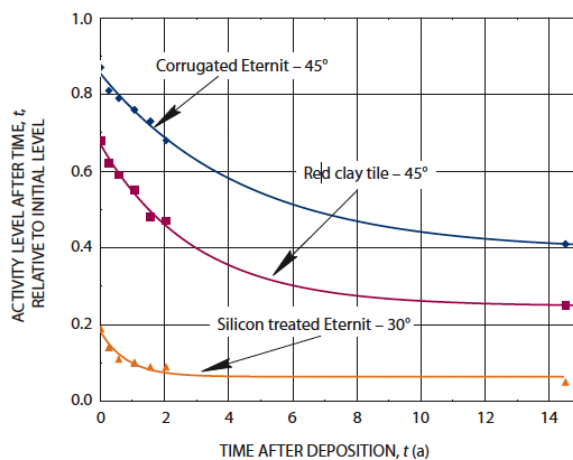
Parmi les questions fréquemment posées par les médias, on retrouve la notion d'irradiation liée au dépôt des radionucléides lors du passage du panache de radionucléides et comment diminuer cette irradiation par des contremesures appropriées. L'expérience des médias, montre que leurs préoccupations portent essentiellement sur l'agriculture alors que bon nombre d'habitants vivent dans des villes et des villages et que la contamination des surfaces non agricoles est une source potentielle d'irradiation.

Les zones habitées

La contamination en milieu urbain dépend essentiellement des conditions météo. Le dépôt par voie sèche pollue plus les arbres, arbustes pelouses et les toits. La pluie et les activités humaines conditionneront la décontamination.

Après 14 ans la décontamination naturelle des murs des zones contaminées n'était que de 50-70 % du dépôt initial. Au Danemark la contamination des toits à diminué de 60-95 %, durant la même période, selon la nature des matériaux.

Figure A-VI. Measured ^{137}Cs activity levels (relative to the initial deposition on soil) on three types of roof at Risø, Denmark [A6]



L'asphalte et le bitume se sont décontaminés rapidement. Un lavage régulier enlève les poussières encore contaminées.

L'accident de Tchernobyl a montré que la contamination des sols et des surfaces contaminées dans les villes et villages, telles les toits, les murs et les revêtements routiers n'est pas négligeable. Elle entraîne une irradiation gamma. Une contre-mesure efficace consiste à retirer la couche supérieure du sol et à nettoyer toutes les surfaces construites. Le nettoyage des rues a été largement utilisé dans la ville de Kiev. Bien que peu touchée, le lavage journalier des rues a évité une contamination par inhalation de particules remises en suspension estimée pour la ville de Kiev (3 millions d'habitants) à 3 000 homme-sievert. Dans les villes, l'arrachage des arbres et des arbustes et le labourage profond des jardins publics est une mesure efficace. Une aspersion de solutions organiques fixant la contamination peut être également utilisée pour éviter la remise en suspension.

Pour les maisons, la dose d'irradiation est essentiellement due au dépôt sur les toits, mais également sur les murs. Les techniques de décontamination sont différemment efficaces selon la nature des matériaux. Parfois, pour être efficace, l'utilisation de solutions corrosives est nécessaire mais elle engendre un autre problème, celui du traitement des effluents produits contaminés. Le remplacement des toits peut être une solution extrême.

Selon les techniques utilisées, la réduction des doses a été évaluée à un facteur 1,5 à 15.

En plus de la relative efficacité de ces techniques, le principal facteur limitant est leur coût. C'est pourquoi après l'accident de Tchernobyl on estime que ces techniques ont réduit la dose d'irradiation de 10 à 20 % pour les adultes et d'environ 30 % pour les enfants fréquentant les jardins d'enfants et les écoles maternelles. Ces techniques n'ont, par contre réduit la dose reçue par les travailleurs extérieurs (bergers et forestiers) que de 10 %.

Depuis 1990, la décontamination de larges surfaces a été abandonnée dans les territoires contaminés. Seuls quelques bâtiments particulièrement contaminés ont fait l'objet de décontaminations plus poussées. Les installations industrielles et plus particulièrement les systèmes de ventilation, contaminés pendant les rejets, ne sont pas à négliger.

Contre-mesures agricoles

L'objectif est de ramener la contamination des denrées produites à des niveaux inférieurs aux niveaux d'action.

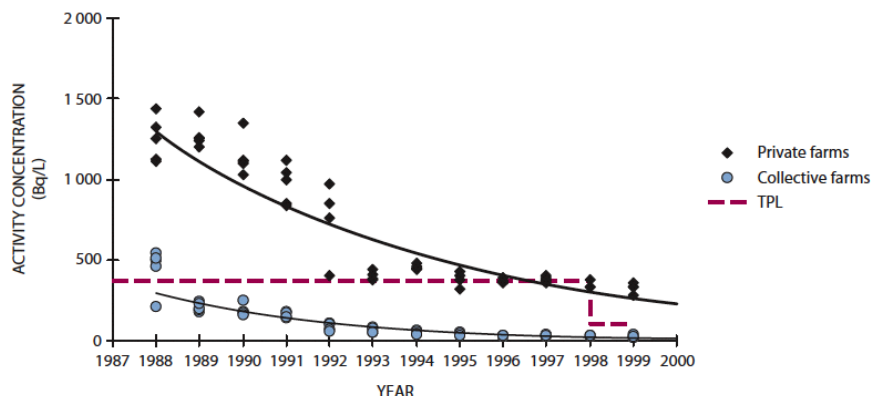
Phase précoce

Durant les tout premiers jours qui ont suivi l'accident, 50 000 vaches, 13 000 porcs, 3 300 chèvres et 700 chevaux ont été évacués de la zone d'exclusion de 30 km avec les habitants. Toujours dans cette zone, plus de 20 000 animaux domestiques ont été tués et enterrés car ne pouvant être évacués. Devant l'impossibilité d'estimer rapidement et correctement la contamination il a été procédé à l'abattage de 95 500 vaches et 23 000 porcs de mai à juillet 2006 dans les territoires contaminés. Il a été jugé que la conservation des viandes dans des installations réfrigérées présentait trop de difficultés sur le plan de l'hygiène et elles ont été détruites bien que générant d'énormes quantités de déchets.

La première action a été de retirer les animaux survivant des zones de pâturage et de les nourrir avec une alimentation moins ou pas contaminée dans les étables. Le lait contenant plus de 3 700 Bq/l a été retiré du système de distribution. Il faut noter qu'un lait contaminé par l'iode radioactif peut être utilisé ultérieurement en le transformant en lait en poudre fromage ou beurre qui après quelques semaines seront largement en dessous des seuils autorisés de consommation.

Les restrictions liées au lait n'ont été formulées qu'aux dirigeants locaux des fermes collectives et aux autorités locales mais n'ont pas été expliquées aux fermes individuelles. Ceci a expliqué la relative inefficacité des mesures préconisées.

Figure A-XV. Typical dynamics of activity concentrations of ^{137}Cs in milk produced on private and collective farms in the Rovno oblast, Ukraine with a comparison to the national temporary permissible level (TPL) [P6]



Pour les animaux contaminés par du ^{137}Cs , la meilleure technique consiste à les nourrir avec une alimentation non contaminée, pendant deux mois avant l'abattage. Malheureusement l'absence d'une telle alimentation pendant la période de croissance de la végétation (période de l'accident) a rendu cette technique quasi inefficace.

Sur la base de mesures effectuées entre mai et juillet 1986, environ 130 000 ha ont été initialement exclues d'une production agricole en Biélorussie, 17 300 en Russie et 57 000 en Ukraine.

L'enlèvement des couches supérieures des terres agricoles, un temps envisagé, a été jugé inapproprié, car très coûteux d'une part et rendant les terres stériles d'autre part, sans oublier l'impossible gestion de ces sols contaminés.

Ensuite (août - septembre 1986) une cartographie plus précise des pâturages contaminés a permis une réduction importante de la contamination des troupeaux. L'application de ces mesures s'est heurtée à l'organisation politique locale, le programme européen ETHOS a montré dans des zones laboratoires qu'elles pouvaient être d'une très grande efficacité.

Quelques pays d'Europe ont pris des mesures sur le plan agricole en plus des limites imposées à l'importation. La Suède a interdit le libre pâturage des vaches dans les zones où la contamination était supérieure à 10 kBq/m^2 pour ^{131}I et 3 kBq/m^2 pour le ^{137}Cs . Elle a procédé à des labourages profonds et a limité le fauchage de prairies contaminées. La Norvège a détruit toutes les denrées contaminées à plus de 600 Bq/kg . En Allemagne on a tout de suite pensé à différer la consommation de lait contaminé en le destinant à l'alimentation porcine, mais finalement ceci n'a pas été fait.

Phase tardive

Fin 1986, 80 % des productions agricoles provenant des oblasts les plus contaminés étaient au dessus des niveaux d'intervention. En 1987 l'objectif principal a été la diminution de la contamination en ^{137}Cs du lait et de la viande. La culture de la pomme de terre et de légumes racinaires a été intensifiée car contenant moins de ^{137}Cs . En 1988 la contamination des céréales repassait en dessous des niveaux d'intervention. En 1991, moins de 0,1 % des céréales dans les trois républiques restaient en dessous de 370 Bq/kg .

Avec le temps les trois républiques ont abaissées leur niveau d'intervention ce qui a conduit à augmenter artificiellement la quantité de denrées dépassant les niveaux d'intervention.²

Figure A-XXI. Changes with time in temporary permissible levels (TPLs) in the former Soviet Union (until 1991) and later in the three independent countries [S14]²

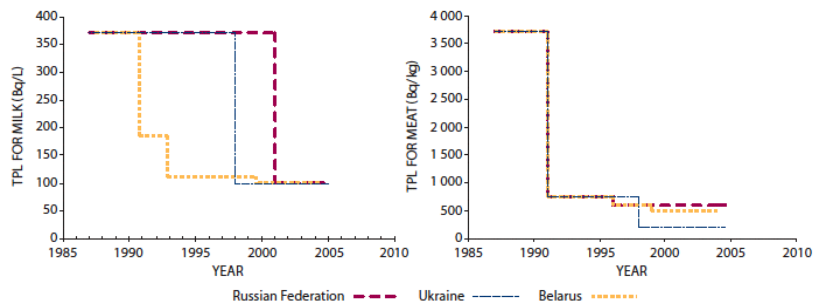
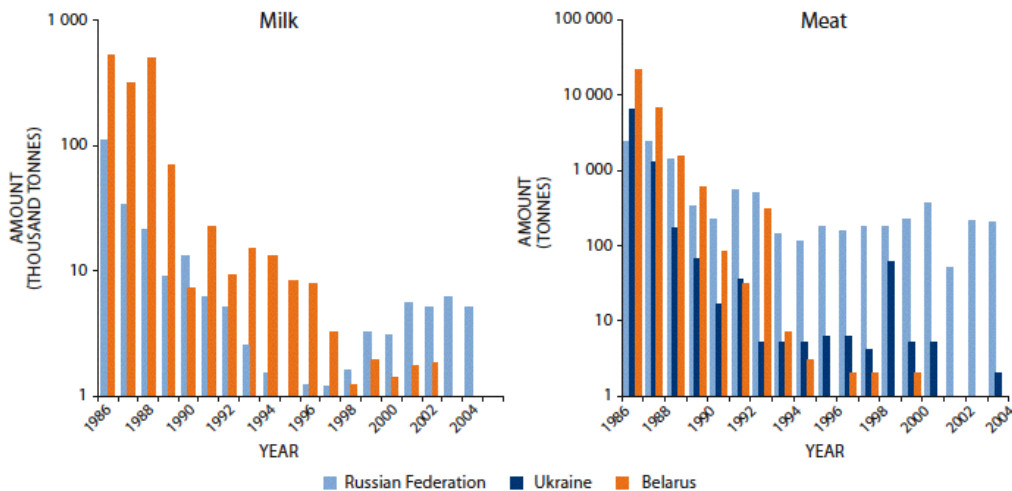


Figure A-XX. Amounts of milk and meat exceeding the temporary permissible levels in the Russian Federation (from collective and private farms), Ukraine and Belarus [N8]

These figures relate to milk and meat entering processing plants



Cette augmentation n'a pas été seulement liée à l'abaissement de ces niveaux d'intervention mais aussi au fait que les contremesures ont été abandonnées en Russie après 1997. En Biélorussie et en Ukraine, la baisse de quantités de viandes contaminée est liée à une surveillance avant abattage.

L'efficacité des contremesures a été importante entre 1986 et 1992 mais des contraintes financières ont conduit, moitié des années 1990 en l'abandon de l'application de ces contremesures.

- Les sols

Les techniques sont le labourage plus ou moins profond qui dilue la contamination, l'ensemencement ou l'application d'engrais à base d'azote, potassium phosphore qui en accroissant la production dilue la radioactivité et modifie le rapport Cs:K des solutions du sol.

² Aujourd'hui le niveau de référence du Codex Alimentarius est de 1 000 Bq/kg pour le commerce international de la nourriture

Lors des premières années, c'est l'utilisation d'engrais qui a été favorisée dans des zones où l'on a pratiqué la culture de légumes et céréales. Dans les zones à fourrage et les pâturages l'efficacité dépend fortement des propriétés des sols et de la nature des prairies. Les sols acides furent chaulés. Aujourd'hui l'emploi d'engrais est limité par leur coût.

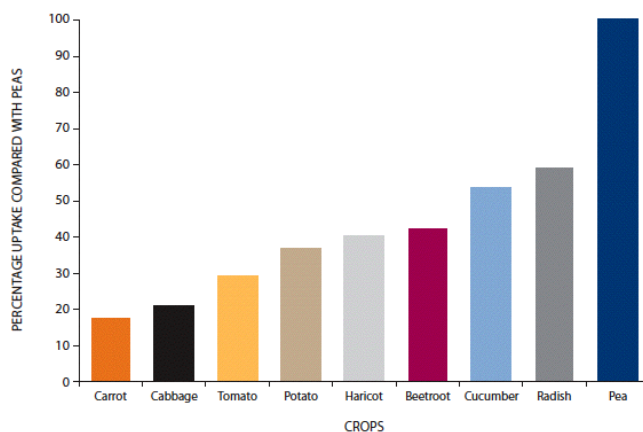
Les bénéfices liés à l'utilisation des engrais ont été estimés à un facteur allant de 2 à 4 pour les sols pauvres et sableux et de 3 à 6 pour les sols plus riches en matière organique. Auquel il faut ajouter un facteur allant de 2 à 3 lié à la dilution par labourage.

Malgré ces contremesures 20 % des pâturages et du foin restaient au dessus du niveau d'action en 2000 dans les zones les plus affectées. La concentration en ^{137}Cs dans le foin variait entre 650 à 66 000 Bq/kg de poids sec.

- Changement de cultures

Toutes les plantes ne captent pas le césium au même taux. Les lupins, les pois, le sarrasin et le trèfle capturent de grandes quantités de césium, ils furent exclus des espèces cultivées.³

Figure A-XXII. Comparison of ^{137}Cs uptake in different crops normalized to that for peas [B18]



En Biélorussie on a favorisé la culture de colza pour la production d'huiles et tourteaux pour l'alimentation du bétail. Certaines espèces de colza, captent 2 à 3 fois moins de ^{137}Cs et ^{90}Sr que la plupart des végétaux. De plus en fin de culture l'ajout d'engrais potassés diminue encore d'un facteur 2 le transfert de Cs. Ainsi la culture du colza a été multipliée par 4 dans ces zones biélorusses.

- Décontamination par une nourriture propre

Cela consiste à donner aux animaux une nourriture non contaminée durant une période appropriée avant abattage. Le bénéfice dépend de la période biologique du Cs chez ces animaux. Pour le lait la réponse est très rapide, pour la viande plus longue. On estime que 5 000 à 20 000 vaches ont ainsi été traitées en Russie, 20 000 en Ukraine jusqu'en 1996, ou cette technique a été abandonnée. Le coût était supporté par les gouvernements.

- Complexants du césium

Le bleu de Prusse est utilisé pour piéger le césium au niveau du tube digestif. Son emploi est préconisé lors de contaminations humaines. Sa toxicité est très faible. Il peut être utilisé pour réduire le transfert du césium vers le lait et la viande. Son efficacité peut atteindre un facteur 10, plus généralement d'un facteur 1,5 à 6. Il a été utilisé uniquement dans les zones

³ À l'inverse on peut utiliser de telles espèces pour capter préférentiellement le césium et traiter les récoltes comme des déchets contaminés (phytoremédiation).

où l'on ne pouvait pas réduire la contamination des pâturages. En Biélorussie un gain d'un facteur 3 a été observé sur la contamination du lait.

En Ukraine de l'argile a été également utilisé pour diminuer la concentration du césium dans le lait et la viande, la technique est moins efficace mais beaucoup moins coûteuse.

- Zone d'élevage intensif

Le bleu de Prusse a été utilisé dans les trois républiques depuis le début des années 1990, mais c'est l'apport de nourriture non contaminée qui s'est révélée la technique la plus utilisée tant dans les trois républiques qu'en Europe; Norvège, Suède, Royaume-Uni et Irlande.

- Les forêts

La principale contre mesure a été la restriction des activités forestières; accès à la nourriture et utilisation du bois de chauffage.

- L'eau

Malgré les craintes des populations, la contamination des eaux du Dniepr est restée faible. C'est pourquoi les quelques contremesures prises (restrictions de consommation) ont été vite abandonnées.

Des restrictions de consommation du poisson d'eau douce ont été prises en Scandinavie et en Allemagne. Pour ce que l'on appelle des lacs fermés, ces restrictions perdurent encore.

Pour le milieu marin, aucune contremesure s'est justifiée et n'a été prise.

Pour conclure il est rapporté ici quelques transparents présentés par ailleurs principalement sur les contre mesures prises en Europe juste après l'accident.

Quelques références supplémentaires

Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Balonov MI *et al.* Twenty years'application of agricultural countermeasures following the Chernobyl accident. J.Radiol.prot, (2006) 351-359.

Fesenko S.V., Alexakhin R.M., Balonov MI *et al.* An extended critical review of twenty years countermeasures used in agriculture after the Chernobyl accident. Science of teh Total Environnement 383(2007) 1-24.

Nisbet A.F., Brown J., Howard B.J. *et al.*, Decision aiding handbooks for managing contaminated food production system, drinking water and inhabited areas in Europe, Radioprotection, 2010, vol45, n°5, S23-S37.

Nisbet A.F., Rochford H., Cabianca T. *et al.*, generic guidance on the lifting of emergency countermeasures. Radioprotection, 2010 vol 45, n°5, S39-S46.

Renaud Ph., Champion D., Brenot J., Les retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl sur le territoire français. Lavoisier, Paris 2007.

Mesures prises, Lait et produits laitiers

Mesures	Pays	
Interdiction de pâturage des bovins	A, I, L	1 à 2 semaines (¹³¹)
Conseil de pâturage	B,RFA,S	Mai
Restriction à la consommation et commercialisation de lait et PL	A, RFA,I,S	Enfants, nourrissons femmes enceintes
Conseils de consommation Lait de vache	A, CH	Lait frais
Conseils de consommation Lait de brebis et chèvre	A, CH	
Restriction d'importation de PL	Tous	
Interdiction d'importation de PL provenant de l'Europe de l'est	Tous	

Mesures prises, Légumes fruits, céréales

Mesures	Pays	
Conseil de ne pas consommer de légumes frais à feuilles	A, RFA, I, CH,S	Certains lands (RFA) Femmes enceintes (CH)
Conseil de laver les légumes frais	A,B,RFA,I, L,S, CH	
Conseils pour les champignons	A, RFA, S	Mai à septembre (RFA)
Restrictions de commercialisation intérieure	RFA, S	3 semaines
Interdiction de commercialisation de légumes frais à feuilles	A, F, I, L	Epinards en Alsace Max 18 mai
Restriction d'importation de Légumes, fruits et céréales	Tous	
Interdiction d'importation provenant de l'Europe de l'est	Tous	
Mise au point de méthodes de récoltes	S	

Mesures prises, Viande

Mesures	Pays	
Restriction de commercialisation intérieure, agneau mouton	A, CH, S, UK	Niveau d'intervention de la CCE de 1000 Bq/kg (Art 31)
Restriction de commercialisation intérieure, bœuf cheval	A	Jusqu'en septembre
Conseils pour les poisson d'eau douce	S	Mai à septembre (RFA)
Interdiction de commercialisation du poisson d'eau douce	CH	Lac de Lugano
Conseil de ne pas chasser le gibier	S	Oiseaux migrateurs en Espagne
Restrictions d'importation de viande	Tous	
Interdiction d'importation de viande des pays de l'est	Tous	Jusqu'au 12 mai dans la CCE