

Etude sur la contribution des brouillards aux dépôts humides

Jackie Tav, Olivier Masson

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
IRSN – bâtiment 153, 13115 St Paul lez Durance Cedex

jackie.tav@irsn.fr

Les modèles opérationnels de transport/dépôts, utilisés en situation d'urgence radiologique pour simuler la contamination radioactive de l'environnement à la suite d'un accident nucléaire, considèrent les dépôts par temps sec et les dépôts par la pluie. Jusqu'à présent aucune étude de terrain n'a considéré l'éventualité d'un dépôt de radionucléides par immersion dans un brouillard ou impaction d'un nuage sur un relief montagneux. Cette situation n'a en particulier pas été documentée au moment de l'accident de Tchernobyl. Seules quelques études, au Royaume-Uni principalement (Fowler et al., 1995; Graustein et Turekian, 1986; Le Roux et al., 2008), ont suggéré ultérieurement le rôle possible des nuages dans les niveaux de contamination en altitude. Ce rôle a été confirmé après l'accident de Fukushima par Hososhima et Kaneyasu (2015) qui ont mesuré des niveaux de contamination des sols, supérieurs à des altitudes (entre 960 et 1480 m) coïncidant avec la couche nuageuse au cours de la journée du 15 mars 2011 lorsque le panache radioactif se dirigeait vers la métropole de Tokyo. La formation des gouttelettes de brouillard et de nuage résulte de la condensation de vapeur d'eau sur des aérosols. Lorsque ces derniers sont marqués par des radionucléides, les gouttelettes d'eau seront plus concentrées en radionucléides que les gouttes de pluie car moins diluées. Toutefois ces dépôts de gouttelettes de brouillard ou de nuages sont qualifiés "d'occultes" car les instruments dédiés à la quantification des précipitations, comme les pluviomètres ou les radars « pluie », ne sont pas assez sensibles pour les quantifier ou les déceler. Ils n'en restent pas moins important du point de vue de la contamination des surfaces.

Récemment Katata (2014) a incorporé un schéma simple de dépôt par eau de brouillard dans son modèle de dispersion/dépôt et a ainsi pu reproduire de manière qualitative le dépôt de césium 137 dans les régions montagneuses de l'Est du Japon. Ces résultats ont mis en évidence l'importance de la prise en compte de ce processus de dépôt pour mieux qualifier les retombées radioactives sur des terrains complexes ou en contact avec les nuages ou les brouillards. Pour les besoins de refroidissement les CNPE sont placés à proximité immédiate des cours d'eau ou du littoral. Ils sont de ce fait souvent immergés dans des brouillards en particulier à l'automne et au cours de l'hiver. A plus grande échelle, le nombre de jours affectés par le brouillard peut atteindre 80 jours par an dans certaines régions et jusqu'à 50 % des mois d'octobre, novembre et décembre (Fig. 1). De plus il est à noter que la France métropolitaine compte 7,5 % de son territoire à des altitudes supérieures à 1000 m pouvant être plus ou moins fréquemment immergées dans les nuages (ex. Puy de Dôme = 45 % du temps) et sur lesquelles des nuages peuvent s'impacter et déposer une fraction de leur contenu en eau liquide ce qui justifie la nécessité d'une étude sur les dépôts occultes de radionucléides en France.

L'objectif de ce travail est donc d'évaluer le potentiel de dépôt de radionucléides lié à la présence de brouillard et de nuage sur des surfaces différentes en termes d'impaction ou de captation des gouttelettes en suspension. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à des surfaces végétales du fait des risques de contamination de l'écosystème forestier et de la chaîne alimentaire.

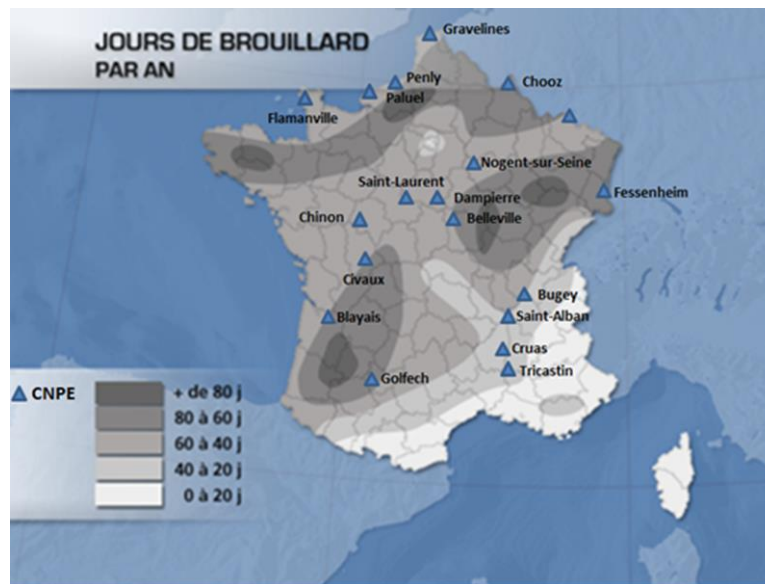


Figure 1 : Carte de France du nombre de jour avec au moins un épisode de brouillard par an (meteo-express.com) et implantations des CNPE.

Méthodologie

Afin de déterminer les quantités d'eau déposées par les gouttelettes de brouillards et de nuages, une mesure de la masse d'eau déposée sur des végétaux est réalisée parallèlement à la collecte des eaux de brouillards à la plateforme atmosphérique de l'Observatoire Pérenne de l'Environnement (OPE) de l'ANDRA à Houdelaincourt (Meuse). La mesure de la masse d'eau déposée sur les plantes est effectuée sur trois types de végétaux (choux (= légume-feuille), graminées et petits conifères) qui sont exposés au brouillard et pesés à intervalles réguliers grâce à une balance de précision. Les épisodes de brouillard sont également caractérisés grâce à un granulomètre à gouttelettes (Fog Monitor), un visibilimètre et un Particle Volume Monitor (PVM) fournissant respectivement le diamètre des gouttelettes (en μm), la visibilité (en m) et le contenu en eau liquide du brouillard (en g d'eau / m^3 d'air). En mesurant le contenu en eau liquide (LWC) dans l'air ainsi que la masse d'eau déposé sur les plantes, il est possible de calculer la vitesse de dépôt des gouttelettes de brouillard.

Les vitesses de dépôts

Plusieurs campagnes de terrain ont été réalisées sur la période d'octobre 2015 à février 2016 à Houdelaincourt. Les résultats de vitesse de dépôt d'un épisode de brouillard (01-02/10/15) sont présentés. Les vitesses de sédimentation théoriques sont calculées pour des gouttelettes de 10, 20 et 50 microns.

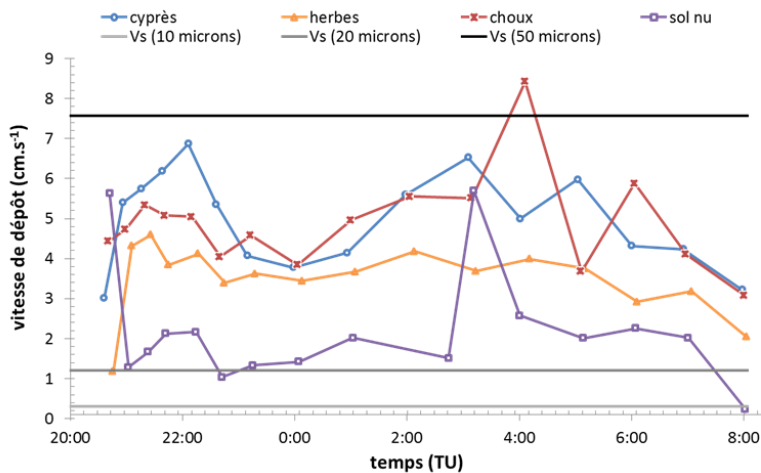


Figure 2 : Vitesse de dépôt pour l'épisode de brouillard du 01/11/2015 au 02/12/2015

Cet épisode est particulièrement intéressant car les valeurs de LWC sont majoritairement au-dessus de 0,1 g.m⁻³. Ce contenu en eau liquide élevé peut être expliqué par le nombre de grosse gouttelettes entre 10 et 50 µm. Les gouttelettes de 10 à 50 µm représentent 90 % de masse d'eau condensée contenue dans l'air. Durant cet épisode, le flux de dépôt sur les cyprès est au moins deux fois plus important que sur les choux et l'herbe. Le flux de dépôt sur le sol est proche de celui sur la végétation basse (herbe et choux). Les vitesses de dépôt sur sol nu sont plus faibles que sur la végétation. La vitesse moyenne de dépôt est de $2,2 \pm 0,1 \text{ cm.s}^{-1}$ sur sol nu, $4,9 \pm 1,6 \text{ cm.s}^{-1}$ sur les choux, $3,5 \pm 0,5 \text{ cm.s}^{-1}$ sur l'herbe et $5 \pm 1 \text{ cm.s}^{-1}$ sur les cyprès.

Les vitesses de dépôts sont du même ordre de grandeur que les vitesses de sédimentation théoriques de particules de 20 à 50 µm. Dans ce cas le processus de sédimentation est supposée prédominant dans le dépôt des gouttelettes de brouillard.

Activité dans les eaux de brouillards

Les résultats obtenus sur différents épisodes entre octobre 2014 et février 2015, montrent que la quantité d'eau déposée sur une surface nue par les brouillards représente moins d'1 % du cumul des pluies sur la même période (404 L.m⁻²). La présence de végétation augmente considérablement le dépôt des gouttelettes de brouillard pour une même surface au sol.

La collecte d'échantillons d'eau de brouillard durant l'automne 2014 et l'hiver 2015 permet de déterminer une activité moyenne en ^{137}Cs proche de 1 mBq.L^{-1} . L'activité moyenne pour la même période dans l'eau de pluie est de $0,05 \text{ mBq.L}^{-1}$. L'eau de brouillard est donc 20 fois plus concentrée en ^{137}Cs que l'eau de pluie. En termes de dépôt surfacique, les gouttelettes de brouillard déposées contribuent donc à hauteur de 10 % des dépôts de ^{137}Cs par la pluie entre octobre 2014 et février 2015 à Houdelaincourt.

Références

Fowler, D., Leith, I. D., Binnie, J., Crossley, A., Inglis, D. W. F., Choularton, T. W., . . . Conland, D. E. (1995). Orographic enhancement of wet deposition in the United Kingdom: Continuous monitoring. *Water, Air, and Soil Pollution*, 85(4), 2107-2112. doi: 10.1007/bf01186145

Lien(s) vers le document : <http://dx.doi.org/10.1007/BF01186145>
<http://dx.doi.org/10.1007/bf01186145>

Graustein, W. C. et Turekian, K. K. (1986). ^{210}Pb and ^{137}Cs in air and soils measure the rate and vertical profile of aerosol scavenging. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 91(D13), 14355-14366. doi: 10.1029/JD091iD13p14355

Lien(s) vers le document : <http://dx.doi.org/10.1029/JD091iD13p14355>
<http://dx.doi.org/10.1029/JD091iD13p14355>

Hososhima, M. et Kaneyasu, N. (2015). Altitude-Dependent Distribution of Ambient Gamma Dose Rates in a Mountainous Area of Japan Caused by the Fukushima Nuclear Accident. *Environmental Science & Technology*, 49(6), 3341-3348. doi: 10.1021/es504838w

Lien(s) vers le document : <http://dx.doi.org/10.1021/es504838w>
<http://dx.doi.org/10.1021/es504838w>

Le Roux, G., Pourcelot, L., Masson, O., Duffa, C., Vray, F. et Renaud, P. (2008). Aerosol deposition and origin in French mountains estimated with soil inventories of ^{210}Pb and artificial radionuclides. *Atmospheric Environment*, 42(7), 1517-1524. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.083>

Lien(s) vers le document :
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231007010151>
<http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.083>