Impact environnemental de l'iodure d'argent

L'association WMA (association de modification du temps) a réalisé une synthèse sur cette question parue en Juillet 2009 dont voici la traduction.

L'association WMA (Weather Modification Association) est parfois interrogée sur les effets sur l'environnement liés à l'utilisation d'aérosols sous forme d'iodure d'argent ou de complexes iodure d'argent-chlorure d'argent. L'iodure d'argent étant le principal composant des agents de glaciation utilisés en modification du temps, cette déclaration se rapportera donc à lui.

Les publications scientifiques montrent clairement qu'***aucun effet nocif sur l'environnement*** lié à l'utilisation d'aérosols à base d'iodure d'argent pour ensemencer des nuages n'a été observé, ni envisagé d'être observé. En se basant sur ces travaux, WMA juge que l'iodure d'argent n'est pas dangereux lorsqu'il est utilisé dans les conditions actuelles d'ensemencement des nuages.

Contexte

L'argent et des composés chimiques contenant de l'argent sont utilisés par diverses industries et une petite proportion d'argent est émise dans l'atmosphère par déperdition dans les processus de fabrication. Les sources industrielles étaient beaucoup plus importantes dans le passé, on peut citer les émissions liées à l'industrie photographique, l'argenture électrochimique, les déchets urbains, les épandages de traitement des plantes, les alliages métalliques spéciaux et les composants électriques.

En 1978, on estimait à 2 740 tonnes l'argent disséminé dans l'environnement aux USA. Ceci a conduit le service américain pour la santé (US Health Services) et l'agence de protection de l'environnement des Etats-Unis (EPA) à lancer des études pour évaluer les risques pour l'environnement et la santé de l'argent. Ces agences et d'autres agences d'état ont appliqué la loi sur l'eau de 1977 et 1987 pour établir des règles concernant ce type de pollution. Des normes ont été établies pour l'industrie et les rejets de laboratoire des eaux usées aux égouts, les concentrations limites en argent dans l'eau de consommation et les taux d'argent néfaste pour la biosphère. En 1978, l'ensemencement des nuages rejetait 3 tonnes d'argent (sous forme d'iodure d'argent) dans l'environnement soit environ 0.1% du total (Eisler, 1996). Aujourd'hui, la quantité d'iodure d'argent rejetée par les activités d'ensemencement aux USA et Canada est la même qu'en 1978. Les activité d'ensemencement rejettent de l'iodure d'argent au dessus de régions délimitées de l'ouest des Etats-Unis, du Canada et d'autres zones autour du globe pour augmenter les précipitations, augmenter la neige ou réduire la grêle. Les études d'impacts sur l'environnement ont démarré dans les années 60 et continuent aujourd'hui ; à ce jour toutes indiquent qu'il n'y a pas d'impact négatif sur l'environnement ou la santé humaine (ASCE 2004, 2006; WMA 2005; WMO 2007.

Combien d'argent est rejeté dans l'environnement lors des opérations d'ensemencement de nuage?

L'iodure d'argent est généralement vendu par les fournisseurs de produits chimiques sous forme de granulés ou de poudre. Il est utilisé en combinaison avec d'autres produits, la plupart du temps des sels, et est utilisé depuis un demi siècle comme agent glaçogène (particules microscopiques appelées embryons de glace, noyaux glaçogènes ou noyaux de congélation qui initient la formation des cristaux de glace). L'iodure d'argent est considéré comme insoluble dans l'eau ($Ks= 10^{-9}$ g $.g^{-1}$) ce qui veut dire que si 1g du produit est ajouté à 1 g d'eau , environ 1 millionième de ce gramme peut se dissoudre dans l'eau, le reste persistera sous forme non dissoute dans l'eau. Cette propriété permet à l'iodure d'argent de garder sa structure avant tout contact avec l'eau surfondue des gouttelettes du nuage (eau sous forme liquide à des températures inférieures à 0°C). L'iodure d'argent est soit dissout dans une solution inflammable, soit combiné à d'autres solides inflammables pour produire des torches pyrotechniques ou d'autres engins qui sont brûlés pour produire des particules microscopiques, invisibles, d'aérosol complexe à base d'iodure

d'argent dans l'atmosphère. Il existe beaucoup de complexes qui permettent d'augmenter la probabilité de former des cristaux de glace lorsqu'ils se retrouvent dans les conditions de températures du nuage (T° proche ou plus froide que le seuil de nucléation de l'AgI c'est-à-dire -5°C). Ceci est sensiblement plus chaud que le seuil d'activation des noyaux glaçogènes naturels qui se situe à environ -15°C ou plus froid.

Ce sont seulement de petites quantité d'iodure d'argent qui sont libérées par les appareils individuels ; généralement 5 à 25g d'iodure d'argent par générateur au sol[(1)] et quelques kilos par heure à partir d'avion selon la taille de la zone cible. De plus ces opérations ont lieu durant des périodes limitées pendant la saison où les précipitations se forment. La raison pour laquelle on utilise d'aussi petites quantités est que ces dispositifs permettent de fabriquer plus de 10^{15} particules glaçogènes par gramme d'AgI (e.g., ASCE 2004, 2006). Cela signifie qu'une petite quantité d'iodure d'argent peut produire une très grande quantité d'embryons de glace. L'insolubilité de l'iodure d'argent est une propriété déterminante qui permet aux particules de garder leur structure intacte sans se dissoudre dans l'eau des gouttelettes du nuage. Sans cette propriété, il ne pourrait pas y avoir d'effet des ensemencements.

Pour mesurer l'impact des agents glaçogènes, les concentrations en argent ont été mesurées dans le manteau neigeux de plusieurs zones ensemencées dans l'ouest des Etats-Unis. La concentration moyenne va de 4 à 20 x 10^{-12} $g.g^{-1}$ et dépasse rarement 100 x 10^{-12} $g.g^{-1}$ (Warburton *et al.* 1995a,b, 1996; McGurty 1999). Comme l'ensemencement intervient dans le processus de formation de la pluie (lorsque les particules glacées fondent avant d'atteindre le sol), on a aussi mesuré les teneurs en argent dans les précipitations et les résultats donnent aussi de faibles concentrations (Sanchez *et al.* 1999).

Pourquoi y a-t-il des inquiétudes sur l'utilisation de l'iodure d'argent.

On sait que l'argent sous certaines formes est toxique pour les microorganismes alors qu'il ne l'est pas pour des animaux plus gros (Kotrba 1968). De nombreuses études en laboratoire ont montré que lorsqu'on ajoute de l'argent, du nitrate d'argent mais aussi de l'iodure d'argent à des aquariums, même à des niveaux de trace, cela peut être toxique sur certains poissons et sur d'autres organismes aquatiques lorsqu'ils y sont soumis pendant une longue période. La toxicité est relative à certains composés, certaines concentrations, et d'autres facteurs comme la dureté de l'eau, etc (Davies & Goettl 1978). Cependant, ces conditions de laboratoire sont très éloignées des conditions naturelles où la plupart de ces composés vont se lier à d'autres composants pour en former de nouveaux moins toxiques. Ainsi, les composés toxiques ne se trouvent pas sous forme libre. Les résultats de laboratoire obtenus pour des études biologiques ne peuvent pas être appliqués pour mesurer l'effet de l'iodure d'argent en modification du temps car compte tenu de son caractère insoluble il est pratiquement impossible que l'iodure d'argent se dissocie en quantité suffisante ou suffisamment rapidement pour atteindre des niveaux de toxicité. L'évaluation de la toxicité doit tenir compte de la nature des composés contenant l'argent (ion argent, nitrate d'argent, iodure d'argent), les quantités mises en jeu et la nature chimique voire physique de l'environnement. Il faut donc être particulièrement prudent lorsqu'on compare l'impact de l'iodure d'argent en modification du temps à l'impact de l'iodure d'argent en condition de laboratoire, qui n'est pas représentatif des conditions d'ensemencement en milieu naturel.

[(1)] La quantité d'iodure d'argent émise par le générateur à vortex de l'ANELFA est de 8,8g par heure d'alerte et 740 Kg d'AgI sont dispersés en moyenne par an au dessus des 66 500 km^2 du territoire français concerné.

Bases permettant d'affirmer que l'ensemencement des nuages à l'aide d'iodure d'argent a un impact négligeable sur l'environnement.

L'impact potentiel des opérations d'ensemencement à l'aide d'iodure d'argent sur l'environnement a été étudié depuis les années 60. Toutes les études ont conclu que les agents glaçogènes et plus particulièrement l'iodure d'argent tel qu'il est utilisé dans les opérations d'ensemencement présente un risque négligeable sur l'environnement, (et qu'il n'a aucun effet sur les animaux et les plantes), (e.g., Cooper & Jolly 1970; Howell 1977; Klein 1978; Dennis 1980; Harris 1981; Todd & Howell 1985; Berg 1988; Reinking *et al.* 1995; Eliopoulos & Mourelatos 1998; Ouzounidou & Constantinidou 1999; Di Toro *et al.* 2001; Bianchini *et al.* 2002; Tsiouris *et al.* 2002a; Tsiouris *et al.* 2002b; Christodoulou *et al.* 2004; Edwards *et al.* 2005; Keyes *et al.* 2006; Williams & Denholm 2009).

Le ministère de la santé américain (U.S. Public Health Service) a fixé à 50 µg d'argent par litre le seuil de toxicité pour l'eau de consommation humaine (par ex., Erdreich *et al.* 1985). Les concentrations en argent potentiellement introduites à l'aide des techniques modernes sont significativement inférieures à ce niveau.

Les publications font état de milliers d'échantillons collectés dans des zones ensemencées durant une période de plus de 30 ans. La concentration moyenne d'argent dans la pluie, la neige ou l'eau de surface est typiquement inférieure à 0,01 µg. Le plus important est que ce chiffre représente la quantité totale d'argent contenu dans l'échantillon sans tenir compte de la forme sous laquelle se trouve l'argent. Quoiqu'il en soit, ces mesures ont montré que l'argent était quasiment indétectable sous quelque forme que soit dans la majorité des milliers d'échantillons collectés dans ces zones.

Plus d'une centaine de lacs de la Sierra Nevada ont été étudiés depuis les années 1980 (Stone 1986); on n'a pas détecté de concentration en argent supérieure aux concentrations naturelles dans l'eau, dans les précipitations et les échantillons de sédiments des lacs, ni mis en évidence une accumulation d'argent après plus de 50 ans d'opérations continues d'ensemencement (Stone 1995; Stone 2006). La plupart de ces lacs de montagne n'ont pratiquement pas d'effet tampon, les rendant très sensibles aux effets d'acidification ou à des changements de concentration en métal. Donc ces études ont été menées dans un souci de respect de l'environnement afin de déterminer si les ensemencements avaient un effet sur ces lacs. Aucune preuve d'un impact sur la composition chimique des lacs n'a pu être mise en évidence ce qui est logique compte tenu du caractère insoluble et du délai important nécessaire pour mobiliser l'iodure d'argent émis dans ces bassins. La comparaison de l'argent avec d'autres métaux présents à l'état de trace dans les lacs et les sédiments collectés dans le bassin Mokelumne de la Sierra Nevada montre que l'argent est d'origine naturelle (Stone, 2006). De la même manière Sanchez et al (1999) ont analysé la composition chimique d'échantillons d'eau et de précipitations collectés durant une campagne d'ensemencement estivale en Espagne et ont montré que les apports d'argent par ensemencement ne peuvent être distingués de l'argent naturel. Les scientifiques grecs, qui ont étudié les effets sur le sol, les plantes et leur physiologie, les précipitations, le plancton, les animaux et les hommes, ainsi que l'impact de l'irrigation et des matières organiques sur l'AgI provenant des ensemencements en Grèce, ont trouvé des résultats similaires à partir des analyses de 2500 échantillons de sols (par ex., Tsiouris *et al.* 2002a; Tsiouris *et al.* 2002b).

Résumé

Les publications scientifiques existantes montrent clairement l'absence d'observation d'effets néfastes induits par l'ensemencement des nuages à l'aide d'aérosols d'iodure d'argent et ne mentionnent pas la perspective de tels effets néfastes. En se fondant sur ces travaux, la WMA trouve l'iodure d'argent, tel qu'il est utilisé dans les programmes d'ensemencement des nuages, sans danger pour l'environnement.

Bibliographie

ASCE (2004). "*Standard Practice for the Design and Operation of Precipitation Enhancement Projects*". ASCE(American Society Civil Engineers) /EWRI Standard 42-04, Reston, VA.

ASCE (2006). "*Guidelines for Cloud Seeding to Augment Precipitation*". 2nd Edition. American Society Civil Engineers(ASCE)/EWRI, Reston, VA.

Berg, N.H. (1988). A Twelve-Year study of environmental aspects of weather modification in the Central Sierra Nevada and Carson Range. *The Sierra Ecology Project*, Unpublished report on file at Pacific SW Res. Station, Forest Service USDA, Albany CA.

Bianchini, A., M. Grosell, S.M. Gregory, C.M. Wood (2002). Acute silver toxicity in aquatic animals is a function of sodium uptake rate, *Env. Sci. & Techn.*, **36**, 1763-1766.

Christodoulou, M., S. Tsiouris, I. Papadoyannis, F. Aravanopoulos, I. Vlemmas, D. Mourelatos, S. Mourelatos, H.-L. Constantinidou (2004). Determination and impact of silver iodide on terrestrial and aquatic ecosystems of areas where cloud seeding has been applied. *Proceedings of the 7th Panhellenic (International) Conference of Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Volume A, 195-203.

Cooper, C.F., W.C. Jolly (1970). Ecological Effects of Silver Iodide and other Weather Modification Agents: A review. *Water Resources Research*, **6**, AGU, 88-98.

Davies, P.H., J.P. Goettl, Jr. (1978). Evaluation of the potential impacts of silver and/or silver iodide on rainbow trout in laboratory and high mountain lake environments. In: Environmental impacts of artificial ice nucleating agents. Klein, D.A. (Ed.). Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Stroudsburg, PA.

Davies, P.H., J.P. Goettl, Jr., J.R. Winley (1978). Toxicity of silver to rainbow trout (Salmo gairdneri). Water Res., **12**, 113-117.

Dennis, A. S. (1980). "*Weather Modification by Cloud Seeding*". International Geophysics Series, **24,** Academic Press, New York, NY, 21-22.

Di Toro, D.M., H.E. Allen, H.L. Bergman, J.S. Meyer, P.R. Paquin, R.C. Santore (2001). Biotic Ligand Model of the acute toxicity of metals. 1. Technical basis. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **20**, 2383-2396.

Edwards, R., A. Huggins, J. McConnell (2005). "*Trace Chemistry Evaluation of the Idaho Power Company Operational Cloud Seeding Program 2003 to 2005*". DRI Publication #41223.

Eisler, R. (1996). Silver Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review, *Contaminant Hazard Reviews*, **32,** Patuxent Wildlife Research Center, U.S. National Biological Service, Laurel, MD.

Eliopoulos P., D. Mourelatos (1998). Lack of genetoxicity of Silver Iodide in the SCE Assay in vitro, in vivo, and in the Ames/Microsome Test. *Terratogenesis, Carcinogenesis and Mutagenesis*, **18**, 303-308.

Erdreich, L., R. Bruins, J. Withey (1985). Drinking Water Criteria Document for Silver (Final Draft). U.S. EPA, Washington, D.C., EPA/600/X-85/040 (NTIS PB86118288).

Harris, E. (1981). "*Environmental Assessment and Finding of No Significant Impact*". Sierra Cooperative Pilot Project, Bureau of Reclamation, Denver, Co.

Howell, W. E. (1977). Environmental impacts of precipitation management: Results and inferences from Project Skywater. Bull. Amer. Meteor. Soc., **58**, 488-501.

Keyes, et al. (2006). "*Guidelines for Cloud Seeding to Augment Precipitation"*. 2nd Edition. American Society Civil Engineers, Reston, VA.

Kotrba, G. (1968). "*The Encyclopedia of the Chemical Elements*", Hampel, C. A., Editor, Reinhold Book Corporation, New York, Amsterdam, and London.

Klein, D.A. (1978). "*Environmental Impacts of Artificial Ice Nucleating Agents*" Colorado State University, Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. Library of Congress Catalog Card Number, 78-7985.

McGurty, B. M. (1999). Turning silver into gold: Measuring the benefits of cloud seeding. *HydroReview*, **18**, 2-6.

Ouzounidou G., H.-I.A. Constantinidou (1999). Changes in growth and physiology of tobacco and cotton under Ag exposure and recovery. Are they of direct or indirect nature? *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **37**, 480-487.