



## L'iodure d'argent a-t-il un impact sur l'environnement et la santé ?

(Claude Berthet, Directrice de l'Anelfa; Jean Dessens, Physicien des nuages;  
Jacques Fontan, Physicien de l'atmosphère, spécialiste des pollutions atmosphériques)

La sensibilité aux questions écologiques et à leur répercussion sur la santé s'est fortement accrue ces dernières années. C'est pourquoi les interrogations sur l'impact environnemental des ensemencements en iodure d'argent peuvent sembler relever de préoccupations récentes mais, il n'en est rien. Dès 1972, le découvreur des effets bénéfiques de l'iodure d'argent sur la grêle, le physicien B. Vonnegut s'est inquiété des effets possibles de cette substance sur la santé humaine. Dans les années qui suivirent, plusieurs études spécifiques ont été réalisées sur l'impact des substances glaçogènes artificielles dispersées dans l'atmosphère. Toutes ces études ont démontré l'innocuité des ensemencements en iodure d'argent sur l'environnement. Cependant, on trouve parfois sur Internet des affirmations contraires, et il est dommage que celles-ci, bien que non étayées par des références fiables soient prises plus au sérieux que des résultats publiés avec des références bibliographiques accessibles à ceux qui souhaitent vraiment avoir une réponse objective à cette question.

Il faut tout d'abord se rappeler que nous sommes entourés de produits chimiques : l'air que nous respirons ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ...), le sel de table ( $NaCl$ ), les plastiques (polyéthylène, ...) les médicaments (aspirine ou acide acétylsalicylique), etc ... Parmi ces produits chimiques, certains sont naturels et d'autres sont anthropiques mais ce n'est pas cette caractéristique qui détermine leur dangerosité.

La solution acétonique d'iodure d'argent est composée à 99% d'acétone et la part d'iodure d'argent représente 1% en poids, soit 3.68 g d'argent et 4.32 g d'iode par litre. Lors d'une alerte grêle, cette solution est brûlée dans la cheminée du générateur et cette combustion libère de l'eau et du  $CO_2$  en même temps que les particules d'iodures d'argent.

La combustion de l'acétone est à rapprocher de la combustion de l'essence et en ce sens on peut donc dire qu'un générateur pollue (émission de  $CO_2$ ) autant qu'une tondeuse à gazon.

**En réalité les questions concernent surtout l'iodure d'argent émis à hauteur de 0,1 g/ha/an. Pour évaluer le risque encouru, il faut s'intéresser à la toxicité du composé chimique puis à la quantité ou dose susceptible de pénétrer dans l'organisme (exposition).**

La principale interrogation concerne le risque pour la santé de l'homme de respirer un air contenant des particules d'iodure d'argent émises par un générateur proche ou par un réseau de générateurs. Les lois de diffusion des panaches permettent d'évaluer les concentrations en argent à différentes distance des générateurs :

- Au sol, à 100 m sous le vent d'un générateur (1) :  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Dans l'atmosphère d'un réseau de générateurs (2) :  $10^{-4} \mu\text{g}/\text{m}^3$

Ces concentrations sont de 10 à 100 000 fois plus faibles que celle de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  admise pour les composés de l'argent pour un risque professionnel avec exposition pendant 8h, tant aux Etats-Unis (3) qu'au Royaume Uni (4). Très près d'un générateur, la concentration reste acceptable par suite de

la surélévation d'une dizaine de mètres du panache du générateur produite par la combustion, et il est d'ailleurs improbable qu'une même personne reste pendant 8 heures dans l'axe d'un panache qui fluctue avec le vent.

L'exposition à l'iode et à l'argent avec les ensemencements ne sont pas chroniques puisque en moyenne il y a 25 jours d'alerte sur 365 j annuel dans la zone du réseau Anelfa qui fonctionne le plus (Sud-Est).

Si on considère que nous respirons en moyenne  $15 \text{ m}^3$  d'air par jour, et en supposant que l'on aspire donc chaque jour d'alerte  $15 \mu\text{g}$  d'argent (hypothèse largement surévaluée), on en aspire  $375 \mu\text{g}$  dans l'année.

Le signe de surcharge en argent de l'organisme est l'argyrie qui se manifeste par une intense coloration de la peau et des cheveux, mais il faut une absorption de l'ordre **de  $400 \mu\text{g}$  /jour sur la vie entière** pour l'apparition de cette manifestation qui n'est pas au demeurant considérée comme grave.

Avec les mêmes hypothèses hautes, on déduit que la quantité d'iode inhalée est de l'ordre de  $15 \mu\text{g}$  par jour. A comparer à la quantité d'iode recommandée pour l'alimentation:  $150 \mu\text{g}$  d'iode par jour pour un adulte et  $80 \mu\text{g}$  pour un enfant. En effet c'est un oligoélément indispensable et c'est la raison pour laquelle, le sel de table est supplémenté en iode à hauteur de 15 à 20 mg/kg de sel.

La deuxième question habituelle porte sur la concentration en argent dans les précipitations issues de nuages traités. Au cours de différents programmes d'ensemencement des nuages, ces concentrations ont été mesurées, par exemple en France en en Espagne où on a trouvé des valeurs maximales respectivement de  $0,9 \mu\text{g/l}$  (6) et  $0,16 \mu\text{g/l}$  (7). La norme admise pour l'eau du service public est de  $50 \mu\text{g/l}$  (3), soit 50 à 100 fois plus que les concentrations maximales mesurées.

Le troisième point, important, porte sur les conséquences possibles à long terme des ensemencements pour l'environnement par suite des retombées des particules d'iode d'argent au sol. Les concentrations permanentes et plus ou moins naturelles en argent dans l'atmosphère sont déjà 5 à 10 fois supérieures (8, 9, 10, 11) à celles rajoutées très occasionnellement par les ensemencements, ce qui explique la difficulté de mettre en évidence l'effet d'un apport des ensemencements qui ne peut représenter qu'un impact négligeable.

Le dernier point abordé concerne les informations diffusées sur la toxicité des nanoparticules d'argent, nanoparticules utilisées pour leur effet bactéricide dans des produits de consommation courante (chaussettes, réfrigérateurs, cosmétique...). On peut qualifier les particules produites par le générateur au sol de particules submicroniques ou grosses nanoparticules car leur diamètre est de l'ordre de 80 nm (12). Mais la principale propriété de l'iodure d'argent est qu'il s'agit d'un **composé insoluble dans l'eau** (13) si bien qu'on ne le retrouve pas sous la forme d'ion cations  $\text{Ag}^+$ , la forme biodisponible dont on craint un relargage massif dans l'environnement par accroissement de l'utilisation de nanoparticules d'argent. Ainsi, on n'a jamais observé que les particules d'iodure d'argent présentaient un danger plus élevé que les autres particules fines ou ultrafines, naturelles ou anthropiques présentent dans l'atmosphère à des concentrations dix mille ou cent mille fois plus forte.

De nombreuses études sur les effets de l'argent sur les hommes, les animaux (poissons, brebis...), les végétaux et les microorganismes ont été menées dans les années 1970-1980, et, en ce qui concerne les ensemencements, aucune atteinte appréciable à l'environnement n'a été décelée (3, 14). L'ensemble de ces études a conduit la Weather Modification Association américaine à la

conclusion générale que « l'iodure d'argent tel qu'il est utilisé dans les programmes d'ensemencement des nuages est sans danger pour l'environnement » (15).

De même, l'**Organisation Météorologique Mondiale**, a conclu que « **les études publiées ont montré qu'il n'y a pas d'impact significatif de l'iodure d'argent tel qu'il a été utilisé dans les opérations de modification du temps, tant sur le plan de la santé humaine que sur celui de l'environnement** » (16).

Ces conclusions ne dispensent toutefois pas de poursuivre les études sur le sujet. L'Anelfa a ainsi fait doser par le laboratoire EPOC (17) les quantités d'argent trouvées dans les grappes de raisin d'une vigne sous le vent d'un générateur. Ce dosage a montré que ces quantités ne sont pas distinguables des quantités d'argent trouvées naturellement. L'association suit aussi avec attention les nouvelles études publiées sur ce sujet compte tenu du nombre croissant de pays mettant en place des opérations de modifications du temps. Certains projets se déroulent dans des parcs naturels où les questions écologiques sont abordées avant le début des opérations (18) et l'utilisation de l'iodure d'argent acceptée.

## Références

- (1) Fontan, J., 2015. Professeur émérite de l'université de Toulouse. Spécialiste de la pollution atmosphérique. *Communication à Jean Dessens, physicien des nuages.*
- (2) Dessens, J., J.L. Sanchez, C. Berthet, L. Hermida, A. Merino, 2016. *Hail prevention by ground-based silver iodide generators: results of historical and modern field projects. Atmos. Res., 170, 98-111.*
- (3) U.S. National Library of Medicine, National Institutes of Health, 2016. *Hazardous Substances Data Bank, H.S.D.B.: Silver Iodide, 20 p. (toxnet.nlm.nih.gov).*
- (4) Carson, P., C. Mumford, 2002. *Hazardous Chemical Handbook, Butterworth-Heineman, Elsevier Science, 608 p. (ccc.chem.pitt.edu).*
- (5) Site de l'Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [https://www.anses.fr/fr/content/iode\\_consulté\\_1/02/16](https://www.anses.fr/fr/content/iode_consulté_1/02/16)
- (6) Lacaux, J.P., 1972. *Dosage de l'argent dans les précipitations par spectrométrie d'absorption atomique sans flamme. J. Rech. Atmos., 6, 329-333.*
- (7) Sanchez, J.L., J. Dessens, J.L. Marcos, J.T. Fernandez, 1999. *Comparison of rainwater silver concentrations from seeded and non-seeded days in León, Spain. J. Wea. Modif., 31, 87-90.*
- (8) Shah, M.H., N. Shaheen, 2010. *Seasonal behaviours in element composition of atmospheric aerosols collected in Islamabad Pakistan. Atmos. Res., 95, 210-223.*
- (9) Alleman, L.Y., L. Lamaison, E. Perdrix, A. Robache, J.C. Galloo, 2010. *PM<sub>10</sub> metal concentrations and source identification using positive matrix factorization and wind sectoring in a French industrial zone. Atmos. Res., 96, 612-625.*
- (10) Enamorado-Baez, S.M., J.M. Gomez-Guzman, E. Chamizo, J.M. Abril, 2015. *Levels of 25 trace elements in high-volume air filter samples from Sevilla (2001-2002): Sources, enrichment factors and temporal variations. Atmos. Res., 155, 118-129.*
- (11) Wang, J., Y. Pan, S. Tian, X. Chen, L. Wang, Y. Wang, 2016. *Size distributions and health risks of particulate trace elements in rural areas in northeastern China. Atmos. Res., 168, 191-204.*
- (12) Dennis, A.S., 1980. *Weather modification by cloud seeding. Academic Press, international Geophysics Series, Volume 24, 267 pages.*
- (13) ATC, 2010. *Fiche résumée toxico écotoxicologique chimique FRTEC N° 15 (rédacteur : A. Picot). Iodure d'argent. <http://atctoxicologie.free.fr>*

- (14) Klein, D.A., 1978. *Environmental impacts of artificial ice nucleating agents*. Academic Press, ISBN 0-87933-334-0, 256 p.
- (15) WMA, 2009. *Weather Modification Association position statement on the environmental impact of using silver iodide as seeding agent* (<http://www.weathermodification.org>).
- (16) WMO, 2010. *Executive summary of the WMO statement on weather modification*. WMO documents on weather modification, Abu Dhabi, 22-24 March, 13p.
- (17) UMR EPOC, *Unité Mixte de Recherche Environnements et Paléoenvironnements Océaniques et Continentaux*, Bordeaux.
- (18) Williams, B.D., J.A. Denholm (2009). *Assessment of the Environmental Toxicity of Silver Iodide-With Reference to a Cloud Seeding Trial in the Snowy Mountains of Australia*. . *J. Weather Mod.*, 41, 75-96.