

## Pesticides : ce que nous enseigne le passé

### Auteurs :

**SABATIER Pierre**, Maître de conférences, Laboratoire EDYTEM (Environnement DYnamique et TERRitoire de Montagne), Université Savoie Mont Blanc

**POULENARD Jérôme**, Professeur, Laboratoire EDYTEM (Environnement DYnamique et TERRitoire de Montagne), Université Savoie Mont Blanc

**ARNAUD Fabien**, Directeur de Recherche CNRS, Laboratoire EDYTEM (Environnement DYnamique et TERRitoire de Montagne), Université Savoie Mont Blanc

10-03-2021



*L'analyse des sédiments lacustres d'un lac des Alpes, couvrant une période d'environ 100 ans, a permis de suivre l'historique de l'utilisation des herbicides, fongicides, insecticides et traitements divers dans un bassin viticole de Savoie. Il est ainsi possible de suivre précisément l'historique de l'utilisation des substances chimiques, depuis leur apparition jusqu'à leur interdiction officielle. Cette étude a montré que l'utilisation d'herbicides tels que le glyphosate, en éliminant le couvert végétal, a favorisé l'érosion du sol des vignobles et corrélativement permis le relargage de pesticides interdits, tels que le DDT, qui étaient restés stockés dans le sol des vignobles de nombreuses années après leur interdiction et l'arrêt de leur utilisation. Ces résultats indiquent que la dynamique de stockage des pesticides dans l'environnement, qui est cruciale dans l'évaluation des risques écotoxicologiques, doit tenir compte des possibles perturbations ultérieures de l'environnement sur le stockage des pesticides.*

La France est le 1<sup>er</sup> pays consommateur de pesticides en Europe. La vigne, représentant 3% des terres agricoles nationales mais consommant environ 15% des pesticides commercialisés, est emblématique de ce fonctionnement [1]. Dès lors, il est logique de se poser la question de l'effet à long terme de l'utilisation des pesticides en agriculture au cours du dernier siècle à travers, par exemple, des conséquences sur l'environnement et les écosystèmes. Actuellement peu d'études se sont penchées sur la question, principalement par un manque de recul temporel des mesures *in situ*. Une approche basée sur la rétro-observation de l'environnement a permis de pallier ce manque : des carottes de sédiments lacustres ont été utilisées afin de reconstituer la dynamique de mobilité des pesticides appliqués sur des parcelles viticoles en Savoie (Figures 1 & 2) au cours du dernier siècle [2].

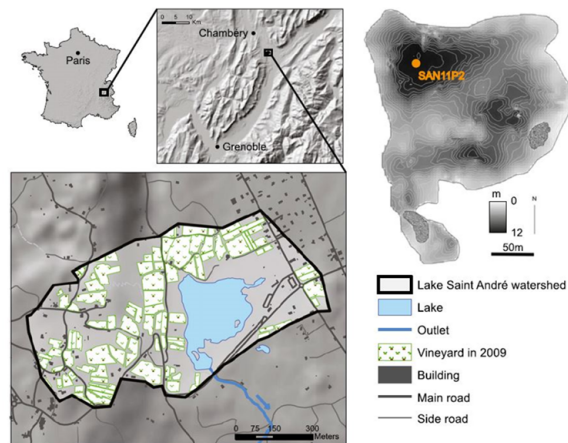


Figure 1. Le Lac Saint André et les vignobles environnants (en 2009). La carte bathymétrique (carte topographique du fond du lac qui présente les profondeurs par des courbes de niveau) montre le site de prélèvement (SAN11P2) dans la zone la plus profonde (la plus sombre sur la carte) du lac. [Source : Adapté de Sabatier et al. [2].]

## 1. Analyse des sédiments lacustres du lac St-André (Savoie)

Des carottes sédimentaires ont été prélevées dans le lac de Saint André (10 km au sud de Chambéry, cf. Figure 1) en 2011. Ces carottes ont ensuite fait l'objet d'une étude multi-traceurs associant des analyses sédimentologiques et géochimiques. Ces analyses ont permis de caractériser à la fois les différentes sources contribuant au remplissage sédimentaire du lac, mais également de mesurer les quantités d'éléments traces métalliques (Cuivre, Plomb...) et de molécules organiques, substances actives des pesticides.



Figure 2. Les vignes du bassin versant du lac de Saint André. Ces vignes ont fait l'objet de traitements tout au long du 20e siècle. [Source : Photo © Pierre Sabatier].

Parmi toutes les molécules mesurées, douze pesticides ont principalement retenu l'attention des chercheurs. Ils se retrouvent plus ou moins profondément enfouis en fonction des années pendant lesquelles ils ont été épanchés dans les vignes environnantes. Ces pesticides sont classés en trois grandes catégories et correspondent à trois herbicides, cinq fongicides et quatre insecticides. En parallèle la datation du sédiment a pu être réalisée à l'aide de radioéléments possédant de courtes périodes de désintégration afin d'obtenir une échelle temporelle couvrant le dernier siècle. Des radioéléments naturels comme le  $^{210}\text{Pb}$ , qui a une période de demi vie de 22,3 ans, et artificiel, comme le  $^{137}\text{Cs}$  lié aux retombées de l'accident de Tchernobyl (1986) [3] ou au maximum des essais nucléaires (1963) [4], ont été mesurés (Figure 3). Ainsi les 45 premiers centimètres des carottes étudiées ont pu être datés et couvrent les 120 dernières années avec deux changements brutaux du taux de sédimentation dans les années 70 et 90

présentant pour ces deux périodes un doublement des apports de matériel terrigène (matériel dérivant des sols environnants) provenant du bassin versant. Une fois la chronologie établie, il a été possible d'étudier la présence des différents pesticides utilisés dans le traitement de la vigne en fonction de la période.

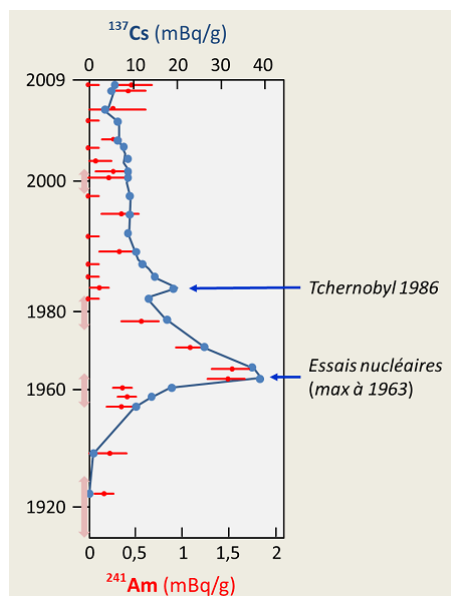


Figure 3. Distribution du Césium 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) dans les sédiments du Lac St-André depuis 1920. L'âge des sédiments estimé (flèches roses) permet de dater les deux pics de  $^{137}\text{Cs}$ . Le pic le plus important correspond à la présence de  $^{137}\text{Cs}$  dans l'atmosphère due aux essais nucléaires (premières retombées datant de 1955 et maximum de  $^{137}\text{Cs}$  dans l'atmosphère observé en 1963). Ce  $^{137}\text{Cs}$  s'est peu à peu déposé sur l'ensemble de la planète (très majoritairement dans l'hémisphère nord). Ces données sont corrélées à la présence de  $^{241}\text{Am}$  (Américium, en rouge), un élément provenant de la désintégration du  $^{241}\text{Pu}$  (Plutonium) à la suite des essais nucléaires. Plus récemment, une augmentation significative, mais transitoire, de la teneur en  $^{137}\text{Cs}$  a été observée dans les sédiments du lac à la suite de la catastrophe de Tchernobyl (1986). [Source : Adapté de Sabatier et al. (voir réf. [2]).]

## 2. La bouillie bordelaise et autres fongicides

Le premier pesticide à être utilisé et dont la présence a pu être mise en évidence est la bouillie bordelaise, inventé dans le Bordelais à la fin du 19<sup>e</sup> siècle, constituée d'un mélange de sulfate de Cuivre et de chaux. Elle apparaît dans l'enregistrement au début du 20<sup>e</sup> siècle et montre une nette augmentation à la fin de la seconde guerre mondiale (Figure 4). C'est un puissant fongicide utilisé pour lutter contre les maladies de la vigne tel que l'Oïdium et le Mildiou. D'autres fongicides, utilisés pour lutter contre ces mêmes maladies, tels que le Captane et le Dimétomorphe introduits plus tardivement par les industriels agrochimiques sont identifiés respectivement à partir des années 50 et 90 et se succèdent dans le temps (Figure 4). Certains fongicides sont également utilisés en domaine viticole pour combattre des maladies moins connues comme la pourriture noire, c'est le cas du Mancozèbe (à base de Zinc) introduit dans les années 60 et contre la pourriture grise avec le Pyriméthanyl présent à partir des années 90. L'utilisation de tous ces fongicides a été validée à l'aide de l'historique des pratiques des vignobles savoyards ; ainsi les dates d'apparition et de disparition sont donc bien contraintes historiquement et totalement cohérentes avec les reconstitutions faites à partir des mesures sur les carottes sédimentaires.

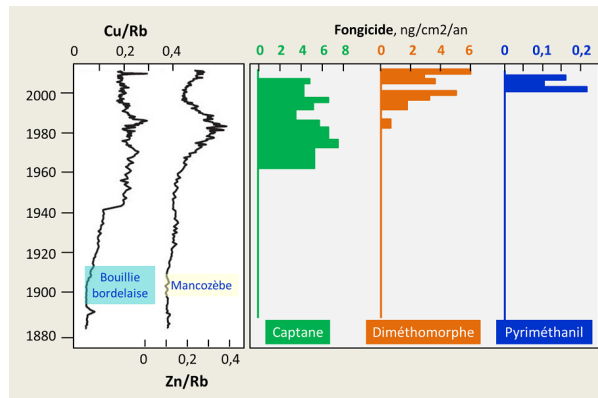


Figure 4. Distribution des fongicides dans les sédiments du lac St-André depuis 1880. La bouillie bordelaise et le Mancozèbe sont des compositions à base de Cuivre et de Zinc, respectivement. Leur quantité est estimée par comparaison avec la teneur des sédiments en Rubidium qui est présent naturellement dans le bassin versant. On voit que l'utilisation de la bouillie bordelaise a fortement augmenté après la seconde guerre mondiale. La partie droite montre la distribution de fongicides de synthèse et on peut suivre les apparitions successives du Captane, du Diméthomorphe et du Pyriméthanol dans les sédiments, suivant en cela les pratiques culturales. [Source : Adapté de Sabatier et al. (voir réf. [2]).]

### 3. Les herbicides

En ce qui concerne les herbicides, trois substances ont pu être identifiées et quantifiées se succédant également dans le temps (Figure 5). Tout d'abord, dans les années 60, les produits de dégradation de l'Atrazine s'accumulent dans le sédiment. Ce puissant herbicide a été utilisé dès la fin des années 50 et interdit en 2003. A l'Atrazine succède, à partir des années 90, le Glyphosate avec l'identification de l'AMPA qui est son métabolite. On le trouve jusqu'au sédiment de surface. Le Glyphosate, toujours autorisé en agriculture mais très débattu, est la substance active du Roundup® de Monsanto. Il est utilisé comme herbicide post-levée, non sélectif, largement commercialisé à partir des années 90 et très efficace pour éradiquer la végétation poussant entre les rangées de vigne, laissant ainsi le sol à nu. Enfin, depuis les 10 dernières années, le Diflufenican (introduit dans les années 90) est présent dans les sédiments du lac [2].

### 4. Les insecticides

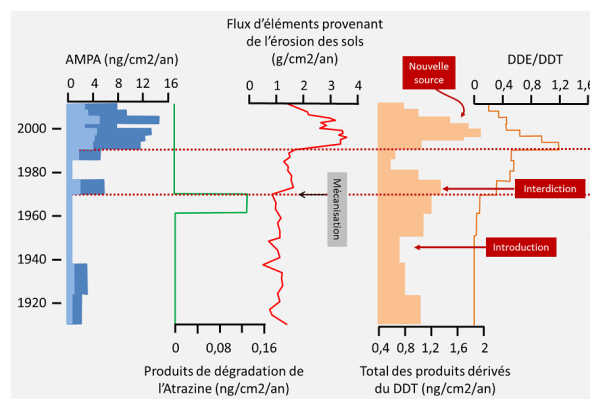


Figure 5. Impact de l'utilisation d'herbicides sur la nature des sédiments du Lac St-André. Le flux de résidus terrigènes (provenant des sols des vignobles entourant le lac) augmente significativement vers les années 1970, puis une seconde fois après 1990. Le premier épisode (interface A/B) est probablement le résultat combiné de l'utilisation d'Atrazine d'une part et de l'augmentation de la mécanisation d'autre part. La seconde phase (interface B/C) est liée directement au développement de l'utilisation de Glyphosate (dont le produit de dégradation est l'AMPA ; en bleu clair : limite de détection). Les plantes poussant autour des pieds de vigne sont détruites par l'herbicide, laissant le sol nu très sensible à l'érosion. La quantité de DDT (et de DDE, qui est un produit de dégradation formé en présence d'oxygène) -insecticide interdit d'utilisation depuis 1972- augmente significativement au milieu des années 90. Cette augmentation de l'accumulation de produits terrigènes et de dérivés du DDT est très probablement due au lessivage, lors des orages, des sols désherbés et donc nus. Les valeurs élevées du rapport DDE/DDT sont liées au fait que le DDT a été dégradé en DDE bien après son utilisation, il a donc été relargué depuis des sols facilement érodables car dépourvus de végétation. [Source : Adapté de Sabatier et al. (voir réf. [2]).]

Quatre insecticides ont également été retrouvés dans les sédiments du lac de Saint André, principalement utilisés pour lutter

contre les insectes ravageurs des cultures. Il a ainsi été possible de mettre en évidence la succession dans le temps de différentes molécules (Dicofol, Bromopropylate et Bifenthrine) en fonction des années d'introduction puis d'interdiction de ces substances (Figure 5). Ce qui a été confirmé par des enquêtes aux près des viticulteurs. Le DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane), puissant insecticide, utilisé pour la première fois à des fins agricoles après la seconde guerre mondiale, est également retrouvé dans les sédiments du lac datant de cette période avec un premier pic de concentration dans les années 70, juste avant son interdiction en France en 1972. La quantité de DDT arrivant dans le lac diminue, mais ne disparaît pas, en lien avec la forte persistance de cette molécule dans l'environnement. En effet, le DDT ayant été reconnu comme fortement toxique et très stable dans l'environnement, il a été interdit en 1972 pour des raisons sanitaires. Mais, de manière surprenante, un deuxième pic de DDT, nettement supérieur au premier apparaît dans les sédiments plus de 20 ans après son interdiction. Comment expliquer qu'après une diminution dans les sédiments des années 1980, le DDT soit encore présent à de fortes concentrations dans les sédiments déposés récemment ? En regardant les métabolites du DDT [5] qui sont le DDE (produit formé par voie aérobie) et le DDD (produit formé par voie anaérobie) il est possible de mettre en évidence l'origine de cette nouvelle source de DDT retrouvée à partir des années 90. C'est en réalité du DDT déjà présent dans l'environnement, en partie dégradé dans des conditions aérobies et remobilisé à partir de cette période ; plutôt qu'une nouvelle introduction dans l'environnement. Dès lors, l'hypothèse la plus probable est que l'utilisation massive d'herbicides dans les vignobles dans les années 70 (Atrazine) puis 90 (Glyphosate) a eu pour conséquence une augmentation de l'érosion des sols se retrouvant nus, et donc facilement érodables lors des précipitations en particulier les orages. Ces sols viticoles, véritable mémoire des pratiques passées contiennent d'importantes teneurs en pesticides et en particulier du DDT très stable dans l'environnement. Ce DDT est ainsi remobilisé à travers les processus d'érosion résultant de la disparition de la végétation entre les rangées de vigne due à l'utilisation d'herbicides. Cette augmentation de l'érosion des sols est aussi responsable d'une accumulation plus importante de la quantité de sédiments transportés et déposés dans le lac, expliquant ainsi les augmentations du taux de sédimentation observé mais conduisant également à une perte notable de terre pour les viticulteurs. La première augmentation de l'érosion dans les années 70 peut également être liée à l'augmentation significative de la mécanisation des pratiques viticoles à partir de cette période.

## 5. Des archives environnementales pour le futur

Depuis les années 50, la France a fondé son modèle agricole sur une utilisation massive de produits phytosanitaires, devenant le troisième consommateur mondial de pesticides [1]. Aujourd'hui, les impacts d'une contamination massive sur les utilisateurs professionnels sont connus, mais on ne cerne pas encore bien les effets d'une contamination chronique ou d'une exposition à des cocktails de pesticides. Cette étude montre que ces molécules persistent dans notre environnement bien après leurs interdictions, qu'elles s'accumulent ou sont remobilisées, en fonction des pratiques agricoles, et qu'aujourd'hui encore, certaines molécules très toxiques comme le DDT, malgré leur interdiction depuis plus de 40 ans, restent présentes dans notre environnement et peuvent resurgir pour nous questionner sur le recours toujours grandissant aux produits phytosanitaires. Cependant, au cours des dernières années l'enherbement des rangées de vignes, encouragé par la chambre de l'agriculture, a notablement diminué l'érosion des parcelles viticoles reconstituées à partir des sédiments lacustres. Dans les années à venir un accent sera mis sur la compréhension de l'effet de ces substances sur les organismes présents à la fois dans le lac (poissons, zooplancton, macrofaune benthique) et sur le bassin versant, à l'aide d'analyses d'ADN fossile préservé dans les sédiments, là aussi basée le concept de rétro-observation. A travers cette étude il a donc été possible pour la première fois de réaliser une chronique sédimentaire de l'utilisation des pesticides qui a pu être validée par l'historique de la succession des traitements chimiques de la vigne en lien avec les périodes d'introduction et d'interdiction. Elle démontre aussi l'importance et la nécessité de prendre en compte les effets à long terme des pesticides afin de mieux évaluer les risques éco-toxicologiques liés à leur utilisation, en particulier dans des conditions de changements environnementaux. Pour finir, on peut se poser la question de la généralisation des processus mis en évidence ici à d'autres régions de France et du monde, et à d'autres types de culture car ces pesticides, DDT, Glyphosate et autres ont été et sont toujours utilisés dans la plupart des agricultures industrialisées à l'échelle mondiale.

---

### Références et notes

**Image de couverture** : Épandeur adapté à l'épandage sur les vignes. [Source : By Karl Bauer (Own work (Original text: eigenes Foto)) [[CC BY 3.0 at](#)], [via Wikimedia Commons](#) ]

[1] Source INRA (données de 2006, page 11) : <http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/V3TAPButault7a26.pdf>

[2] Sabatier P. et al. (2014) *Long-term relationships among pesticide applications, mobility, and soil erosion in a vineyard watershed*. PNAS 111, 15647-15652.

[3] [http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucleides/Documents/environnement/Cesium\\_Cs137\\_V](http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/fiches-radionucleides/Documents/environnement/Cesium_Cs137_V)

[4] Robbins J. & Edgington D. (1975) *Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137*.

[5] Aislabie J.M., Richards N.K. & Boul H.L. (1997) *Microbial degradation of DDT and its residues - a review*. New Zeal J AgrRes 40:269–282.

---

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes - [www.univ-grenoble-alpes.fr](http://www.univ-grenoble-alpes.fr)

Pour citer cet article: **Auteurs** : SABATIER Pierre - POULENARD Jérôme - ARNAUD Fabien (2021), Pesticides : ce que nous enseigne le passé, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950] url : <http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=2499>

Les articles de l'Encyclopédie de l'environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

---