

en 1920, plus de 20 producteurs en écoulaient plus de 4 500 tonnes par an ; en 1927, une compagnie se spécialisa dans les pulvérisations aériennes et s'annonçait capable de traiter plus de 2 000 kilomètres carrés... Jusqu'à la commercialisation du DDT, l'arséniate de calcium a été, avec l'arséniate de plomb, la substance chimique la plus utilisée comme insecticide.

L'essor de la chimie américaine après 1914

Ce développement de la chimie ne peut se comprendre sans être replacé dans le cadre de la Grande Guerre. Avant 1914, l'essentiel de la production des substances chimiques de base était assuré par l'Allemagne. L'embargo imposé sur l'industrie allemande permit aux compagnies américaines de trouver de nouveaux débouchés : leurs chiffres d'affaires ont été multipliés par 60 entre 1914

et 1917. Bien sûr, ces nouveaux géants (*DuPont, Hercules, Dow Chemical Company...*) ne produisaient pas que des pesticides, mais ils en sont devenus des acteurs majeurs, notamment en matière de régulation. La Première Guerre mondiale changea aussi la perception de la chimie : le rôle des gaz sur le champ de bataille comme les innovations en matière d'explosifs démontrèrent l'efficacité de la chimie moderne.

Gagner enfin la guerre contre les insectes nuisibles devenait envisageable. L'utilisation d'arsenic sur des substances alimentaires posait pourtant des problèmes sanitaires. Durant l'entre-deux-guerres, se sont mises en place deux façons de considérer cette question, qui expliquent en grande partie les conditions d'utilisation et de popularisation du DDT. D'un côté, le monde agricole (et ses alliés, les hommes politiques), les entomologistes et une grande partie des autorités de santé considéraient

qu'il ne faut prendre en compte que la dose d'intoxication des produits. En d'autres mots : si aucun effet direct n'est constatable, le produit est sûr. D'un autre côté, les consommateurs et leurs associations, l'Agence fédérale américaine des produits alimentaires et médicamenteux (la FDA) et quelques spécialistes de la santé publique s'intéressaient aux conséquences d'une exposition sur une longue durée et à des doses trop faibles pour provoquer un effet immédiat et visible.

Un véritable bras de fer s'engagea entre ces deux forces très inégales, dont l'enjeu était la mise en place d'une régulation acceptable par les industriels. La bataille fut largement gagnée par le lobby pro-insecticides, qui non seulement mit un terme au programme de recherche de la FDA sur les effets d'une exposition aux pesticides à des faibles doses, mais augmenta le seuil de tolérance des résidus de plomb dans les aliments, qui passa de 0,018 gramme par livre en 1935 à 0,025 gramme par livre en 1938.

Le DDT, ou dichlorodiphényltrichloroéthane, apparaît sur la scène internationale en 1943. Ce composé a été synthétisé en 1874, mais son action insecticide n'a été démontrée qu'en 1939 par le chimiste suisse Paul Müller. Or la guerre mondiale fait naître un grand besoin en insecticides : on craint les éventuelles épidémies de typhus (dont les poux sont vecteurs) en Europe et le paludisme pour les troupes engagées dans le Pacifique. Fin 1943, les États-Unis testent le DDT en grandeur réelle en Italie, afin d'y combattre les poux. La même année, une production industrielle de grande ampleur se met en place.

1943: le DDT, bombe atomique des insectes

Et ce fut l'engouement : entre le mois de mai 1944 et l'automne 1945, le DDT fit l'objet de plus de 20 000 références dans la presse américaine ! Toute une littérature de propagande vit le jour, pour vanter son efficacité comme sa simplicité d'utilisation. Le DDT n'a pourtant pas été universellement célébré et a suscité de nombreuses inquiétudes. Dès 1944, des articles de spécia-

Le parcours d'une auteure à succès

Rachel Carson (1907-1964) est très tôt passionnée par la nature et l'écriture, et fait paraître son premier texte à dix ans dans un célèbre magazine pour enfants, *St. Nicholas*. Elle lutte une grande partie de sa vie pour subvenir aux besoins de sa famille après la mort de son père et de sa sœur. Parce qu'elle est contrainte de rechercher un emploi, elle abandonne ses études de zoologie et son projet de thèse. Elle passe brillamment le concours d'entrée dans l'administration fédérale et obtient un poste à l'*U. S. Bureau of Fisheries* (bureau fédéral des pêches).

Cependant, Rachel Carson ne cesse jamais d'écrire et, outre les publications réalisées pour son employeur, elle fait paraître de nombreux textes pour le grand public sur la nature et sur la mer. Dès son deuxième livre, *The Sea Around Us* (Cette mer qui nous entoure, 1951), elle obtient un succès qui lui permet de devenir un écrivain à part entière, s'inscrivant dans la longue tradition américaine des auteurs sur la nature, ou *Nature Writing*.

La célébrité de *Silent Spring* (Printemps silencieux), paru en 1962, a fait oublier le reste de l'œuvre de Rachel Carson, comme *The Edge of the Sea* (Les Merveilles de la mer et de ses rivages, 1955) resté 39 semaines à la première place de la liste des best-sellers du *New York Times*. Tous les critiques ont loué ses qualités littéraires qui lui ont valu de nombreux prix et hommages, dont la médaille Burroughs, la médaille Audubon ainsi qu'un siège à l'Académie américaine des arts et des lettres.



© Pittsburgh Post-Gazette/ZUMA Press/Corbis

listes tentent d'alerter l'opinion des dangers d'un insecticide trop puissant ou utilisé sans contrôle. L'activité scientifique sur l'impact du DDT est intense et conduit à des tests sur la faune sauvage à partir de 1945. C'est cette riche littérature scientifique, souvent produite au sein des organismes gouvernementaux, qu'a exploitée Rachel Carson pour son livre.

L'histoire du DDT est indissociable des transformations du monde de l'après-guerre. Son usage n'avait de sens que parce que l'agriculture s'industrialisait massivement : la place croissante de la monoculture favorisait la prolifération des ravageurs ; les variétés cultivées étaient plus productives, mais aussi plus fragiles, ce qui nécessitait l'emploi intensif d'engrais chimiques ; la mécanisation diminuait le besoin en main-d'œuvre, mais son coût incitait à rechercher une rentabilité maximale en augmentant les surfaces de monocultures... Par ailleurs, le contexte de la guerre froide a facilité l'exportation du modèle américain, le DDT étant l'un de ses symboles au même titre que le plastique, l'automobile ou la télévision.

La collusion entre recherche et industrie dénoncée

Les inquiétudes les plus vives au sujet du DDT ont été exprimées par des naturalistes amateurs de la Société nationale Audubon, et par des professionnels, dont ceux travaillant pour l'*U. S. Fish and Wildlife Service*. Le monde de l'entomologie appliquée était, quant à lui, largement indifférent à ces questions, d'autant que, avec le succès du DDT, les recherches d'après-guerre ont été réorientées vers la toxicologie ou la chimie, au détriment de la biologie des organismes.

Pourtant, l'entomologie américaine a longtemps été pionnière en écologie et elle disposait de tous les outils intellectuels et scientifiques pour comprendre et anticiper une bonne partie des problèmes posés par le DDT. Le cas du phénomène de résistance aux insecticides est à ce titre explicite. Le premier exemple de résistance à un pesticide inorganique avait été décrit en 1914



Tiré de E. H. Forbush et Ch. H. Fernald, *The Gypsy Moth* [...], Wright & Potter, 1896

3. DES ARBRES TRAITÉS AVEC UN INSECTICIDE dans le Massachusetts, au XIX^e siècle, pour lutter contre la spongieuse, ou bombyx disparate (*Lymantria dispar*). Ce papillon a été introduit involontairement en Amérique en 1869 par le scientifique français Étienne Léopold Trouvelot, et y est devenu un fléau.

sous le terme « acclimatation » par l'entomologiste Axel Melander, et le premier cas observé de résistance au DDT (chez une mouche domestique) fit l'objet d'une publication en 1947. Pourquoi cette découverte n'a-t-elle pas conduit à une modification des pratiques ? Principalement parce que l'on s'était déjà engagé dans une course folle aux nouvelles molécules toujours plus puissantes et plus efficaces.

Rachel Carson est partie de ce phénomène de résistance pour expliquer l'existence d'autres alternatives. *Silent Spring*, bien loin d'être un discours contre la science ou le progrès, plaide pour une action raisonnée contre les insectes et mettait en avant la logique inhérente aux pesticides de synthèse : une foi aveugle dans la capacité du progrès technique à répondre à tous les problèmes. Avant Rachel Carson, le développement de ces substances – et les choix agricoles, industriels et environnementaux qu'ils supposent – reposait entièrement sur un trio constitué par les scientifiques, les industriels et le pouvoir centralisé. Son ouvrage, en dénonçant la collusion entre recherche et industrie et en vulgarisant des résultats scientifiques confidentiels, a marqué une étape décisive en permettant aux citoyens d'entrer dans le débat. ■

L'AUTEUR



Valérie CHANSIGAUD, historienne des sciences et de l'environnement, est chercheuse associée

au Laboratoire SPHERE (Science, philosophie, histoire) du CNRS et de l'Université Paris-Diderot.

À ÉCOUTER

Jeudi 1^{er} novembre, Valérie Chansigaud interviendra en compagnie de Patrick Matagne dans l'émission **La marche des sciences** consacrée à Rachel Carson : celle qui transforma l'Amérique !, sur France Culture de 14 h à 15 h. www.franceculture.com

BIBLIOGRAPHIE

J. E. McWilliams, *American Pests : The Losing War on Insects from Colonial Times to DDT*, Columbia University Press, 2008.



LOGIQUE & CALCUL

Les entiers ne naissent pas égaux

Il est impossible de définir une loi de probabilité uniforme sur l'ensemble des nombres entiers. Ce fait est étroitement lié à la loi de Zipf, une loi statistique dont les manifestations sont innombrables.

Jean-Paul DELAHAYE

Dans un dé à six faces, le « 1 », comme chacune des autres faces, a la probabilité $1/6$ de « sortir » et en lançant le dé on a une probabilité de $3/6 = 1/2$ d'obtenir un nombre pair. Sur un ensemble ayant n éléments, une probabilité est équilibrée (on dit aussi « uniforme ») quand chaque élément, comme une face d'un dé, a la même probabilité. La probabilité d'un sous-ensemble de p éléments est alors p/n , le quotient du nombre de « cas favorables » sur le nombre total de cas. Cette probabilité p/n est l'outil de base pour comprendre la roulette des casinos et les tirages du loto. La question est : que se passe-t-il quand le nombre total d'éléments est infini ?

Pour l'ensemble infini des nombres réels compris entre 0 et 1, il est facile de définir une probabilité uniforme. On obtient la mesure de Lebesgue découverte par Henri Lebesgue (1875-1941) au début du XX^e siècle. Cette mesure sur $[0, 1]$ est fondée sur la longueur des intervalles $[a, b]$ de $[0, 1]$ auxquels on attribue la probabilité $b - a$. Elle donne un sens à l'opération « tirer un nombre réel équitablement entre 0 et 1 ». Elle indique par exemple que la probabilité pour qu'un tel nombre se trouve à moins d'un centième de

$1/\pi$ ou de $1/e$ est exactement $1/25$, car la zone favorable est composée des deux morceaux disjoints $[1/\pi - 1/100, 1/\pi + 1/100]$ et $[1/e - 1/100, 1/e + 1/100]$ dont la longueur totale est $4/100 = 1/25$ (voir le schéma en bas de la page).

La mesure de Lebesgue montre aussi que les nombres rationnels sont négligeables : la probabilité de tirer au hasard un nombre rationnel est nulle et la probabilité de tirer un nombre irrationnel est égale à un. En effet, on sait enfermer les rationnels, qui sont numérotés par des entiers (ils sont dénombrables), dans une réunion d'intervalles de longueurs $c/2^n$, de longueur cumulée c que l'on peut rendre aussi petite que possible.

Étrangement, bien que l'infini dénombrable (celui des nombres entiers $1, 2, \dots, n, \dots$) précède et soit plus simple que l'infini des réels de l'intervalle $[0, 1]$ (dénommé « continu »), il est impossible d'y définir une probabilité uniforme qui jouerait, pour les entiers, le rôle que la mesure de Lebesgue joue pour $[0, 1]$. C'est très ennuyeux, car cela interdit de donner un sens mathématique au choix aléatoire équitable d'un entier. « Tirer un nombre réel au hasard entre 0 et 1 sans en favoriser aucun » est mathématiquement possible et la théorie moderne des probabilités déduit de la solution de Lebesgue des résultats concernant

la physique, l'économie et toutes sortes de problèmes concrets. « Tirer un entier au hasard, sans en favoriser aucun » n'a, en revanche, mathématiquement pas de sens pour quiconque veut rester dans le cadre de la théorie des probabilités fixée en 1933 par Andreï Kolmogorov. Nous allons voir cependant qu'il existe de subtiles et merveilleuses solutions de remplacement, nommées densités, mises au point pour les besoins de l'arithmétique et qui sont importantes pour comprendre les distributions statistiques concrètes.

Probabilités non uniformes

Pour déterminer la probabilité d'un ensemble de nombres entiers positifs en oubliant temporairement l'exigence d'uniformité, nous prenons une série $\{a_n\}$ de nombres positifs ou nuls dont la somme est égale à 1, par exemple $a_n = 1/2^n$ qui vérifie bien $1/2 + 1/4 + \dots + 1/2^n + \dots = 1$. Une fois $\{a_n\}$ choisi, la probabilité d'un ensemble d'entiers A est la somme des termes a_n dont l'indice n est un élément de A .

Avec le choix $a_n = 1/2^n$, nous trouvons que l'ensemble I des nombres impairs $\{1, 3, \dots, 2n+1, \dots\}$ a pour probabilité $1/2 + 1/8 + 1/32 + \dots + 1/2^{2n+1} + \dots = 2/3$ et que l'ensemble P des nombres pairs $\{2, 4, \dots, 2n, \dots\}$ a pour probabilité $1/3$. Ce n'est guère satisfaisant : cela ne semble

