

CARTE
BLANCHECes femmes
qui ont compté
dans l'ombre

L'un de mes articles scientifiques préférés a été écrit par Edward Lorenz, en 1963, et s'intitule « Deterministic Nonperiodic Flow » (flot déterministe et non périodique). Il s'agit de l'un des textes fondateurs de la théorie du chaos. Son contenu passera dans le grand public un peu plus tard à travers la belle image de l'effet papillon : un battement d'ailes d'un papillon au Brésil pourrait engendrer un ouragan au Texas. Cette publication est un mélange extraordinaire de physique, de météorologie, de mathématiques et de simulations numériques. Je l'ai lue et relue un très grand nombre de fois et je croyais la connaître jusque la semaine dernière.

Un article de Joshua Sokol dans *Quanta Magazine* m'a appris que j'aurais dû lire le dernier paragraphe dans lequel l'auteur remercie « Miss Ellen Fetter qui a pris en charge les nombreux calculs et les graphiques ». Comment ? Ce n'est pas Edward Lorenz qui a fait les calculs, mais une assistante ? Il faut comprendre que simuler le mouvement de l'atmosphère sur un ordinateur était une composante essentielle de l'article. En 1963, les ordinateurs étaient primitifs et « prendre en charge les calculs » aurait probablement mérité un peu plus qu'un discret remerciement.

Ce n'est pas la première fois que des scientifiques utilisent des « calculatrices féminines », dont les noms apparaissent au mieux dans les remerciements. Dix ans auparavant, Enrico Fermi, John Pasta et Stanislaw Ulam publiaient la première simulation numérique d'un système physique complexe. On peut considérer cet article comme la naissance d'une nouvelle discipline de physique mathématique. Il s'agissait d'étudier, sur un ordinateur, les vibrations d'une chaîne constituée d'une soixantaine de ressorts « non linéaires ».

Là encore, deux lignes discrètes dans la publication remercient Miss Mary Tsingou pour « la programmation efficace du problème et pour avoir effectué les calculs sur l'ordinateur Maniac de Los Alamos », ce qui représente pourtant une partie très importante du travail. Ce n'est qu'en 2008 que le physicien Thierry Dauxois lira ces deux lignes et proposera d'appeler Fermi-Pasta-Ulam-Tsingou cette simulation numérique. J'aurais même proposé de respecter l'ordre alphabétique...

En remontant encore dans le temps, on arrive à une période où les calculs étaient faits à la main, et où la main en question était bien souvent féminine. Dans les années 1940, un membre d'un institut de mathématiques appliquées ose parler du *kilogramme* (kilofille) : la quantité de calculs qu'une femme peut produire en mille heures ! Vers 1880, l'astronome Edward Charles Pickering recrute, à Harvard (Massachusetts), une équipe de plus de 80 calculatrices féminines surnommées « harem de Pickering » et payées moins qu'un ouvrier.

On sait que la comète de Halley est visible dans le ciel à peu près tous les soixante-seize ans. Sa trajectoire est perturbée par l'attraction de Jupiter et de Saturne. Au milieu du XVIII^e siècle, certains savants doutaient encore de la théorie de la gravitation de Newton. Le calcul de la date du retour de la comète fut un grand moment de l'histoire des sciences. En novembre 1758, l'académicien Alexis Clairaut annonce un retour « vers le mois d'avril de l'année prochaine ». Ce fut un triomphe quand sa prédiction se réalisa.

La théorie est en effet due à Clairaut, mais les calculs monstrueux ont été effectués par Joseph Lalande et Nicole-Reine Lepaute qui « calculaient depuis le matin jusqu'au soir, parfois même à table ». Clairaut « oubliera » de remercier sa collaboratrice. La Ville de Paris rendra partiellement justice à Nicole-Reine, en 2007, en donnant son nom à une rue.

En 2017, l'ingénieur de Google James Damore a été renvoyé après avoir affirmé que le manque d'informatiennes était d'origine biologique. ■

Etienne Ghys

Mathématicien, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, directeur de recherche (CNRS) à l'ENS Lyon. etienne.ghys@ens-lyon.fr

Il faut stopper au plus vite l'usage des pesticides

TRIBUNE - Un collectif de chercheurs dénonce l'incapacité des experts en toxicologie à protéger la nature et l'homme. Selon eux, on en sait assez pour interdire ces substances dès maintenant

Publiée dans *Le Monde* du 17 mai, la tribune intitulée « Sur l'impact des pesticides, la recherche scientifique doit éclairer la décision publique » rappelle l'angoissante perspective vers laquelle nous entraîne l'usage sans cesse croissant de ces substances. Depuis le constat de la chute des populations d'insectes pollinisateurs jusqu'aux données jugées probantes en termes d'impact sur la santé humaine, elle souligne la gravité du problème. Simultanément à ce constat, elle se fait l'avocate d'un financement d'études jugées nécessaires pour « éclairer » une éventuelle décision d'interdire l'usage des pesticides.

Pourtant, en dépit d'un tel constat, le texte ne mentionne nulle part la nécessité de l'arrêt urgent de l'utilisation massive des pesticides. L'urgence découle des dégâts déjà constatés à ce jour sur la faune et la biodiversité. Pour l'homme, au regard des incertitudes concernant les mécanismes d'action des pesticides ou les conséquences de lentes imprégnations par ceux-ci, les réponses pourraient bien n'être là que dans dix, vingt ans ou plus. Les cancers reconnus en justice comme liés à l'utilisation du Roundup se sont par exemple révélés trente années ou plus (en 2011 et 2015) après le début de l'exposition (1982).

Le temps représente un enjeu décisif avec lequel les firmes de l'agrochimie jouent pour commercialiser des pesticides, qui, du fait de leur toxicité, sont retirés les uns après les autres pour y substituer d'autres molécules, ou des mélanges variés, ouvrant à de nouvelles études... et de nouveaux profits. La course est sans fin entre les firmes, les agences de sécurité, les chercheurs

toxicologues, et les politiques qui n'ont pas, le plus souvent, les connaissances pour discerner le vrai du faux. Un fongicide, comme l'époxiconazole, mis en cause en 2013, enfin retiré par l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) le 28 mai, est déjà remplacé par une molécule sœur !

Certains d'entre nous, à l'origine de l'alerte de 2018 parue dans le journal *Libération* concernant les fongicides SDHI, avaient souligné l'urgence d'interdire l'usage immodéré de ces pesticides. Les SDHI peuvent inhiber la succinate déshydrogénase, depuis celle des champignons jusqu'à celle des cellules humaines. Ils sont vendus comme fongicides pour l'agriculture. Les nouvelles alarmantes sur la destruction de la biodiversité nous ont conduits à renouveler cette demande début 2019. Parallèlement, l'Anses a produit un rapport dit « d'expertise », mais critiquable dans sa réalisation et ses conclusions. Les experts choisis, et à leur suite l'Anses, y redisent leur foi en la capacité de la science à garantir l'innocuité de ces pesticides.

Et pourtant, ces trente dernières années ont démontré l'incapacité des experts en toxicologie à protéger la nature et possiblement l'homme des méfaits des pesticides. Pour ceux d'entre nous qui travaillent sur les maladies mitochondriales humaines (liées à des dysfonctions des mitochondries assurant la respiration cellulaire), nous avons appris à reconnaître que nos connaissances sont trop insuffisantes pour pouvoir se prononcer sur les conséquences possibles d'une imprégnation lente par des pesticides, en particulier par ceux qui, comme les

L'URGENCE FAIT QUE
NOUS NE POUVONS
PLUS ATTENDRE LES
RÉSULTATS DE
NOUVELLES ÉTUDES

SDHI, viendraient perturber la respiration des cellules. De fait, les tests toxicologiques utilisés actuellement sont largement inadaptés. Ainsi, tels quels, ils ne permettent pas de détecter les atteintes qui toucheraient les fonctions des mitochondries, comme celles causées par les SDHI. Idem pour la capacité de pesticides comme les SDHI d'induire des cancers par des mécanismes épigénétiques qui ne sont pas étudiés.

En outre, du fait qu'ils développent des formes de cancer qui leur sont propres sans développer nécessairement ceux observés chez l'homme, les modèles rongeurs utilisés ne sont en réalité pas informatifs. Pour finir, les cohortes humaines disponibles sont trop réduites, réunissant des individus aux histoires trop hétérogènes en termes d'exposition aux pesticides (nature, durée, quantité) pour assurer une interprétation fiable des observations cliniques. Les études de quantification des risques demandées dans la tribune du *Monde* du 17 mai, outre qu'elles apparaissent contradictoires avec le constat d'un désastre déjà présent, sont pour partie irréalisables. Et, contrairement à ce qu'affirme le titre, elles ne sont pas nécessaires pour « éclairer » la décision de les interdire.

Entre le million d'espèces en voie de disparition, disparition dans laquelle

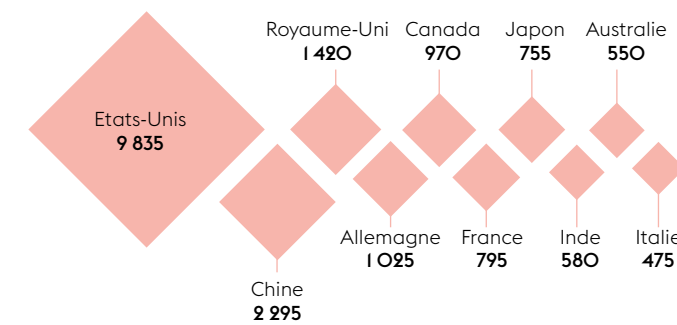
les scientifiques s'accordent à attribuer un rôle non négligeable au déversement des milliers de tonnes de pesticides dans la nature, et le temps requis pour quantifier un éventuel impact sur la santé humaine, le choix se trouve vite fait. Nous connaissons, pour les vivre tous les jours, les difficultés financières que rencontre la recherche publique, mais l'urgence fait que nous ne pouvons plus attendre les résultats de nouvelles études.

Face aux dégâts déjà constatés sur la nature et à l'incertitude menaçante pour l'homme, les opinions publiques seraient sans doute aujourd'hui favorables à l'application immédiate du principe de précaution. Selon nous, il faut concentrer les moyens pour « Cultiver et protéger autrement », comme l'affirme le programme prioritaire de recherche gouvernemental, passer du discours aux actes et stopper l'usage des pesticides au plus vite. ■

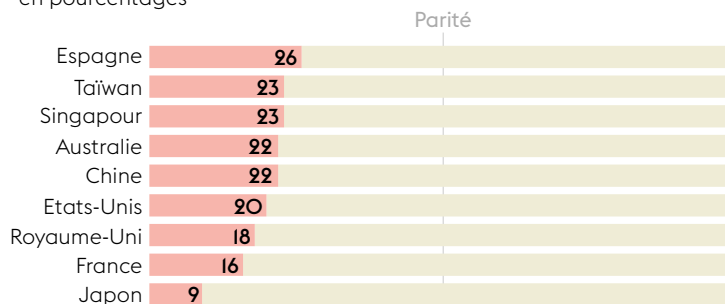
¶ **Paule Bénit**, ingénieure de recherche Inserm, UMR 1141, Inserm-univ. Paris-Diderot, hôpital Robert-Debré, Paris ; **Jorge Gallego**, directeur de recherche Inserm, UMR 1141, Inserm-univ. Paris-Diderot, hôpital Robert-Debré ; **Pascal Reynier**, professeur des universités, praticien hospitalier, biochimie et biologie moléculaire, université d'Angers ; **Pierre Rustin**, directeur de recherche CE émérite CNRS, UMR 1141, Inserm-univ. Paris-Diderot, hôpital Robert-Debré ; **Manuel Schiff**, maître de conférences des universités, praticien hospitalier AP-HP, hôpital Robert-Debré. La liste complète sur <http://endsdhi.com/signataires-tribune-du-monde>

Le supplément « Science & médecine » publie chaque semaine une tribune libre. Si vous souhaitez soumettre un texte, prière de l'adresser à sciences@lemonde.fr

GÉOGRAPHIE MONDIALE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Principaux pays d'origine des chercheurs en intelligence artificielle (IA)
(en nombre de chercheurs)

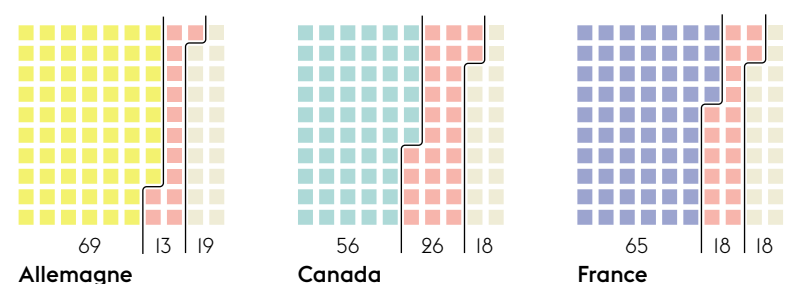
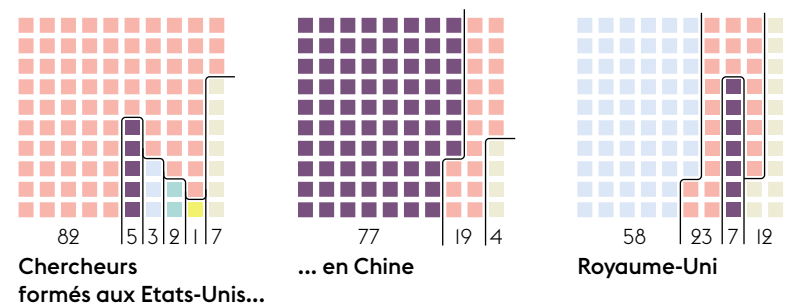
La France est le sixième pays en nombre de chercheurs ayant participé à l'une des vingt-et-un plus importantes conférences de 2018. 16 % de ses experts sont des femmes.

Part des femmes ayant publié, selon leur pays d'origine,
en pourcentages

SOURCE : JFGAGNE.AI/RAPPORT-MONDIAL-2019-SUR-LES-TALENTS-EN-IA/

Pays d'emploi des chercheurs en IA
selon le pays où ils ont étudié,
en pourcentages

Allemagne, Canada, Chine, Etats-Unis, France, Royaume-Uni, Autres



Les départs des docteurs français vers l'étranger sont plus rares qu'au Royaume-Uni ou au Canada. Les docteurs de ces deux pays sont, eux, plus attirés par les Etats-Unis. Le Royaume-Uni compense avec une arrivée forte de docteurs de l'étrangers.

INFOGRAPHIE : LE MONDE

L'entreprise canadienne de logiciels d'intelligence artificielle, Element AI, s'est intéressée, par la voix de son cofondateur, Jean-François Gagné, aux ressources humaines de son secteur pour savoir d'où viennent les experts du do-

maine et où ils travaillent. En récupérant la liste des participants à 21 conférences phares du domaine en 2018, 22 400 personnes ont été identifiées, soit 36 % de plus qu'en 2015 et 16 % de plus qu'en 2017. 18 % seulement sont

des femmes. La France, avec 800 experts, se situe dans le top 10 des pays en pointe, dominé par les Etats-Unis, la Chine, le Royaume-Uni, le Canada et l'Allemagne. Une fouille dans les réseaux sociaux a permis d'extraire encore plus

de spécialistes, 36 250, soit 66 % de plus qu'un an avant. L'étude montre aussi qu'environ un tiers travaille pour un employeur situé dans un pays autre que celui d'obtention du doctorat. ■

DAVID LAROUSSIERE