



HAL
open science

Entre pollution et changement climatique, la survie des organismes du sol

Christian Mougin, Isabelle Lamy, Thierry Caquet

► **To cite this version:**

Christian Mougin, Isabelle Lamy, Thierry Caquet. Entre pollution et changement climatique, la survie des organismes du sol. *Biofutur*, 2015, 34 (371), pp.29-31. hal-01535347

HAL Id: hal-01535347

<https://hal.science/hal-01535347>

Submitted on 11 Apr 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Entre pollution et changement climatique, la survie des organismes du sol

Christian Mougin^{1,2}, Isabelle Lamy^{1,2} et Thierry Caquet³

¹Écologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes,
Inra, Versailles

²LabEx Biodiversité, agroécosystèmes, société, climat

³Métaprogramme Adaptation de l'agriculture et de la forêt au changement climatique,
Inra, Champenoux

Le changement climatique modifie le devenir des éléments polluants dans l'environnement, en particulier dans les écosystèmes terrestres, ainsi que leur toxicité vis-à-vis des organismes (micro-organismes, faune, flore...) qui les peuplent. Les conséquences possibles sur la structure des communautés vivantes et leur activité peuvent avoir des répercussions sur l'ensemble de la biosphère.

Le changement climatique aura potentiellement des conséquences sur le devenir et les effets des polluants auxquels les êtres vivants, et en particulier les organismes terrestres, sont exposés (1). Le dernier rapport Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (Giec) prévoit pour la fin du siècle un réchauffement moyen de la surface du globe qui varie, selon une trajectoire optimiste de +1°C à +2,4°C par rapport à 1850, et, selon une trajectoire pessimiste, de +3,3°C et +5,5°C (2). Parallèlement, les scénarios prévoient une augmentation de la variabilité du climat ainsi que de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes (vagues de chaleur, sécheresse ou au contraire précipitations extrêmes), dont les impacts s'accroîtront au cours des prochaines décennies. Le changement climatique interagit avec d'autres pressions sur les écosystèmes entraînant des modifications globales dont il faut comprendre les effets conjoints. En particulier, ces nouvelles conditions environnementales vont moduler le devenir des milliers de composés chimiques comme celui des éléments minéraux présents dans l'environnement et, par voie de conséquence, leur disponibilité pour les êtres vivants.

Les interactions entre changement climatique et polluants sont complexes et se manifestent depuis le niveau des individus jusqu'à celui des écosystèmes. Si les interactions entre changement climatique et composés toxiques commencent à être relativement bien caractérisées dans le cas des espèces et milieux aquatiques, elles restent en revanche peu étudiées en ce qui concerne les écosystèmes terrestres, et notamment le compartiment sol.

Devenir des pesticides dans l'environnement

Parmi les polluants, prenons d'abord l'exemple de composés organiques comme les pesticides (3). Les processus gouvernant leur transfert entre les différents compartiments de l'environnement ainsi que leur dégradation conditionnent leur disponibilité pour les organismes et leur efficacité vis-à-vis des agresseurs des cultures. Ils influencent le devenir des pesticides après leur application (Figure 1 p. XX).

Les processus de transfert des pesticides incluent la volatilisation, l'infiltration et le ruissellement, alors que leur dégradation associe essentiellement métabolisme microbien, transformation chimique et photochimique.

L'augmentation de la température ainsi que celle de l'humidité du sol, suite à un épisode pluvieux, favorisent généralement la volatilisation ou la dégradation des pesticides (4). La volatilisation favorise une large distribution de ces composés dans l'atmosphère, que l'on peut retrouver localement en fortes concentrations dans les eaux de pluie. Des événements pluvieux de forte intensité ou fréquence, ou des tempêtes, peuvent de ce fait accroître en retour le niveau de contamination des sols par des précipitations enrichies en pesticides. Le ruissellement, accru par les fortes précipitations, est l'une des causes les plus importantes de transfert de pesticides vers d'autres parcelles et vers les eaux de surface ou souterraines peu profondes. Il en est de même pour l'érosion des sols, qui déplace des particules éventuellement chargées en polluants d'une parcelle à l'autre, voire sur de longues distances (5). Comme la mobilité des pesticides vers les eaux de drainage, le mouvement vertical des molécules, ou lessivage, est gouverné par les interactions climat/sols/pesticides. Le lessivage est augmenté par des volumes importants de précipitations et leur délai de survenue après l'application des traitements. Il est également fortement influencé par la nature du sol.

La température ne joue pas seulement sur la mobilité des pesticides, elle impacte également leur transformation. Des températures élevées accélèrent les réactions microbiennes et chimiques. En revanche, l'effet de la température sur la cinétique des réactions de photo-transformation est très variable (6). Une humidité importante du sol stimule également l'activité des micro-organismes, qui sont les acteurs majeurs de la dégradation des polluants organiques. Si l'augmentation de température contribue le plus souvent à réduire dans les sols la persistance et les concentrations des polluants facilement biodisponibles et potentiellement toxiques sur le court terme pour les organismes, elle pourrait aussi conduire à la formation plus rapide de résidus stabilisés, non extractibles, dans les sols dont la remobilisation et la toxicité sur le long terme sont mal connues.

Devenir des composés minéraux dans l'environnement

Les contaminations minérales, quant à elles, concernent par exemple des métaux comme le plomb et le cadmium, et des métalloïdes comme l'arsenic et l'antimoine, dénommés « éléments traces » (7). À la différence des micropolluants organiques comme les pesticides, ces éléments sont déjà naturellement dans les sols à des teneurs variables suivant l'origine de la roche mère qui a présidé à la formation du sol. Ils sont cependant apportés dans l'environnement à des concentrations parfois élevées par les activités humaines industrielles, domestiques ou agricoles. À la différence également des micropolluants organiques, les éléments minéraux ne sont pas biodégradables : une fois introduits dans les écosystèmes, ils subissent une série de processus abiotiques et biotiques qui les font changer de forme physicochimique (spéciation) mais n'ont pas d'influence sur leur teneur totale (7). Leur forme physicochimique conditionne leur mobilité dans le sol et leur biodisponibilité pour les organismes du sol, donc leur transfert et leur accumulation. Il peut s'agir d'éléments en solution, réputés davantage biodisponibles, ou d'éléments adsorbés sur les constituants réactifs du sol tels que les argiles ou la matière organique, réputés appartenir majoritairement au stock mobilisable du sol.

La spéciation des éléments minéraux est sous la dépendance de différents paramètres caractéristiques du milieu – pH de la solution du sol, conditions d'oxydoréduction, teneur en matière organique... –, tous sensibles au changement climatique (8). On peut prévoir que des variations de teneurs en CO₂ entraîneront des variations du pH de la solution du sol donc de ses équilibres physicochimiques. L'évolution du régime pluviométrique entraînera, en cas

d'excès d'eau, une dilution des teneurs et un déplacement des équilibres entre phases solide et liquide. À l'inverse, un déficit en eau verra augmenter les concentrations des éléments en traces dans la solution du sol, mais aussi la force ionique de cette dernière, préjudiciable à la vie des organismes. Une augmentation de la température accélérera la minéralisation de la matière organique des sols, avec comme conséquence le relargage des éléments en traces qu'elle piégeait. Les conséquences de ces évolutions sur la mobilité ou la biodisponibilité des micropolluants minéraux sont encore mal connues et difficilement prévisibles, notamment en raison des difficultés à modéliser l'ensemble des réactions biotiques et abiotiques impliquées, ainsi que les relations nature-fonction des différents constituants du sol.

Écotoxicité des polluants

Le changement climatique modifie la phénologie*¹ des organismes, la taille et la distribution des espèces, la composition et la dynamique des communautés dans les écosystèmes aquatiques (9) comme dans les écosystèmes terrestres (10). Chez les invertébrés terrestres comme les insectes ou les mollusques gastéropodes, cela se traduit par une éclosion plus précoce, une modification de la durée de génération associée à une augmentation du nombre de générations annuelles, un changement dans les dates de migration ou un allongement de la période d'activité. Alors que les espèces vivant dans les milieux naturels se sont adaptées au climat au cours du temps ainsi qu'à des évolutions lentes et progressives de leur environnement – hors évènements catastrophiques –, les changements climatiques rapides associés à la fragmentation accélérée des habitats constituent un challenge nouveau d'une importance cruciale pour les organismes des écosystèmes terrestres. Outre ces deux défis, les espèces vont également devoir faire face, sur une courte période de temps, à une exposition modifiée à des polluants parfois plus toxiques, avec probablement des conséquences négatives sur leur sensibilité et/ou leur capacité à restaurer des populations et des communautés.

Un aspect mal connu concerne l'impact, dans ces conditions, de l'exposition des organismes du sol à des facteurs de stress multiples. Dans une méta-analyse publiée en 2010, il a été mis en évidence, dans 60 % des études analysées (28 sur 46 études), l'existence d'interactions significatives entre divers facteurs environnementaux susceptibles d'être modifiés par le changement climatique (température, humidité relative de l'air, humidité du sol) et l'exposition à des toxiques (pesticides, métaux, hydrocarbures...) chez quelques espèces modèles de la faune du sol (vers de terre, collemboles, insectes) (11). Il a aussi été mis en évidence, dans certains cas, un effet des facteurs de l'environnement sur les interactions entre toxiques eux-mêmes (pesticides et métaux), soulignant ainsi la complexité de la situation et la difficulté à effectuer des prévisions. C'est par exemple le cas chez des carabes exposés successivement au nickel, à un insecticide organophosphoré, le chlorpyrifos, et à une élévation de température (12).

En accélérant l'ensemble des réactions métaboliques au sein des individus, une augmentation de température va généralement accroître l'absorption mais aussi l'excrétion des polluants. Cette augmentation peut altérer l'homéostasie des individus et les mécanismes physiologiques vitaux, et exacerber les effets négatifs des polluants. Ces effets sont bien connus chez certaines populations ou communautés d'invertébrés aquatiques (gastéropodes...) exposées de manière chronique à des pesticides. Si elles ont pu acquérir une tolérance, le coût associé à cette acquisition peut réduire leurs capacités à faire face à un autre stress, climatique notamment. Les espèces qui seront les plus vulnérables à la combinaison de facteurs de stress – changement climatique et exposition aux toxiques – sont celles qui ont déjà atteint une limite de tolérance homéostasique ou physiologique. Les résultats d'études expérimentales en laboratoire suggèrent que des réponses similaires sont envisageables concernant les invertébrés terrestres, comme les collemboles, les vers de terre ou les cloportes, exposés à un

assèchement et à du cuivre, des hydrocarbures aromatiques polycycliques, des surfactants (nonyphénol) ou à un insecticide organochloré, le lindane (13-15). Une exposition et/ou une sensibilité plus importantes, lorsqu'elles coïncident avec des phases critiques du cycle de vie comme le développement embryonnaire, la croissance ou la reproduction sont préjudiciables à la *fitness**² des individus concernés voire à la pérennité de l'espèce en un lieu donné (16). Enfin, les réponses observées sont rarement linéaires. Le franchissement de seuils critiques semble souvent potentialiser davantage la synergie entre facteurs de stress que des augmentations régulières de température ou des intensités d'exposition accrues. C'est cependant pour la gamme des concentrations faibles et pour des contaminations diffuses et chroniques de l'environnement que l'on possède le moins de données d'écotoxicologie, essentiellement en raison de difficultés expérimentales.

La rapidité du changement climatique induit aussi des modifications des habitats, des réseaux trophiques et de la composition des communautés qui peuvent augmenter la sensibilité de certaines populations, mais aussi affecter la toxicité des polluants en modifiant les voies d'exposition des organismes. Le changement climatique pourrait avoir des conséquences indirectes sur certaines espèces, liées par exemple à des modifications de la disponibilité des ressources alimentaires, et affecter par contrecoup la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes en modifiant les relations interspécifiques (17). En particulier, en favorisant la colonisation de certains écosystèmes par des espèces en expansion ou envahissantes dont la naturalisation induit un changement de niches pour les espèces autochtones donc un changement d'exposition aux toxiques, le changement climatique pourrait fragiliser certaines populations et affecter la dynamique des contaminants au sein des écosystèmes.

Des données encore insuffisantes

Les travaux portant sur les conséquences des interactions entre changement climatique et exposition aux éléments et produits toxiques montrent qu'il n'existe pas de relation simple ni systématique entre les effets biologiques observés et les facteurs de stress. Plusieurs types d'interaction (synergique, neutre ou antagoniste) entre pollution, changement climatique, invasions biologiques et espèces locales peuvent se manifester mais les données pour les organismes des sols sont encore insuffisamment nombreuses pour pouvoir en tirer des règles générales. Dans le futur, il s'agira de combiner observations de terrain, approches expérimentales dans lesquelles plusieurs facteurs sont manipulés de manière simultanée et modélisation pour permettre l'intégration des connaissances et la généralisation des résultats.

*¹ Ensemble des événements périodiques chez les êtres vivants dont l'apparition est liée aux variations saisonnières ou au climat.

*² Ou valeur sélective : contribution d'un génotype aux générations futures estimée par le nombre de descendants fertiles.

(1) Noyes PD, Lema SC (2015) *Curr Zool* 61, 614-6

(2) leclimatchange.fr/les-elementes-scientifiques

(3) Delcour I *et al.* (2015) *Food Res Int* 68, 7-15

(4) Caceres TC *et al.* (2009) *J Environ Sci Health B* 43, 314-22.

(5) Yang X *et al.* (2015) *Sci Total Environ* 512-513, 406-14

(6) Noyes PD *et al.* (2009) *Environ Int* 35, 971-86

(7) Lamy I *et al.* (2011) *Sols et environnement*. Girard MC *et al.* (Eds), Dunod, Paris. pp 469-90

(8) Gandois L *et al.* (2010) *Euro J Soil Sci* 61, 271-86

- (9) Noyes PD *et al.* (2009) *Environ Int* 35, 971-86
- (10) Schilthuizen M, Kellermann V (2015) *Evolution Appli* 7, 56-67
- (11) Laskowski R *et al.* (2010) *Sci Total Environ* 408, 3763-74
- (12) Bednarska AJ *et al.* (2009) *Environ Toxicol Chem* 28, 864-72
- (13) Friis K *et al.* (2004) *Ecotoxicology and Environmental Safety* 57, 65-73.
- (14) Højer R (2011) *Global Change Biology* 7, 485-94.
- (15) Sørensen TS *et al.* (2005) *Ecotoxicology and Environmental Safety* 60, 132-9.
- (16) Moe SJ *et al.* (2013) *Environmental Toxicology and Chemistry* 32, 49-61
- (17) Cornelissen T (2011) *Neotropical Entomology* 40, 155-63

Figure 1. Devenir des pesticides dans l'environnement

