

Robots abeilles et pollinisation des cultures : pourquoi les drones ne peuvent pas remplacer la biodiversité ?

. De Simon G. Potts^a, Peter Neumann^b, Bernard Vaissière^c, Nicolas J. Vereecken^d

^a Centre for Agri-Environmental Research, School of Agriculture, Policy and Development, Reading University, Reading RG6 6AR, UK

^b Institute of Bee Health, Vetsuisse Faculty, University of Bern and Agroscope, Schwarzenburgstrasse 161, CH-3097 Bern, Switzerland

^c Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), UR406 Abeilles & Environnement, 228 route de l'aérodrome, F-84914 Avignon Cedex 9, France

^d Agroecology Lab, Interfaculty School of Bioengineering, Université libre de Bruxelles (ULB), Boulevard du Triomphe CP 264/2, B-1050 Brussels, Belgium

. **Publié** le 14 juin 2018

. **Traduction**, Edwin Dutilleul (lejardinvivant.fr), relue par Bernard Vaissière.

RÉSUMÉ

L'idée qu'une pollinisation robotisée des cultures pourrait résoudre le déclin des insectes pollinisateurs a récemment gagné en popularité, et, en mars 2018, Walmart a déposé un brevet pour des robots abeilles autonomes. Cependant, nous présentons six arguments montrant que cette « solution » n'est actuellement pas viable, ni techniquement ni économiquement, et qu'elle **présente de surcroît des risques écologiques et moraux importants** :

- (1) malgré des avancées récentes, la pollinisation robotique est loin de pouvoir remplacer les abeilles pour polliniser efficacement les cultures,
- (2) il est très improbable que l'utilisation de robots pour la pollinisation soit économiquement viable,
- (3) Cela aurait un impact environnemental totalement inacceptable,
- (4) des écosystèmes seraient endommagés bien au delà des cultures,
- (5) cela conduirait à réduire notre appréciation de la biodiversité,
- (6) se reposer sur la pollinisation robotisée pourrait en fait nous conduire à une situation d'insécurité alimentaire majeure.

Durant l'Anthropocène, la biodiversité a permis de fournir un large éventail de biens et de services liés aux écosystèmes, se traduisant par des bénéfices multiples à l'humanité et améliorant le bien-être humain (Díaz et al., 2015). Souvent ces services ne sont pas pris en compte ou alors ils sont considérés comme « gratuits » (Daly and Farley, 2010), mais les menaces croissantes qui pèsent aujourd'hui sur leur approvisionnement posent des défis majeurs à la société en matière de protection et de gestion de la biodiversité (Global Biodiversity Outlook 4, 2014).

La nature a résolu bien des problèmes avec élégance, et les scientifiques et ingénieurs peuvent apprendre beaucoup en étudiant la biodiversité et la nature. Par exemple, les nombreux succès venant du domaine grandissant du biomimétisme témoignent directement de comment des solutions techniques d'ingénieries innovantes, issues de l'étude des différentes adaptations existant en milieu naturel, peuvent profiter à nos sociétés, depuis le domaine des transports jusqu'à celui de l'architecture, en passant par les maillots de bain ou même le camouflage militaire (Benyus, 2002). Des prototypes de robots servant de désherbants autonomes pour les cultures sont en cours de développement (Reuters, 2018). Une étude récente menée par des chercheurs d'Harvard (Chechetka et al. 2017), et la nouvelle fracassante de Walmart déposant un brevet pour des robots abeilles autonomes (Business Insider, 2018), constituent une proposition d'unir la science biomimétique et la microrobotique pour répondre à la crise imminente de la pollinisation des cultures du fait des besoins croissants en pollinisation biotique alors même que les populations d'insectes pollinisateurs sauvages et domestiques diminuent (Aizen and Harder, 2007; Potts et al., 2016).

La prise de conscience du public quant à la situation des insectes pollinisateurs, et le service de pollinisation qu'ils fournissent, a augmenté rapidement, et une « solution technologique » semble très attrayante pour solutionner ce problème, particulièrement quand les développeurs de prototypes de robots abeilles affirment qu'ils seront tout à fait en mesure d'assurer la pollinisation des cultures dans un avenir proche. Au contraire, les évaluations globales de la faune pollinisatrice, du service de pollinisation qu'elle assure, et de la production alimentaire qu'elle permet par la Plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES, 2016) et la Convention sur la diversité biologique (CDB, 2018) n'ont trouvé aucune preuve permettant de classer les robots abeilles comme une réponse crédible au déclin de la faune pollinisatrice.

Dans cet article, nous reconnaissons que la nature peut inspirer la technologie de pointe, mais nous avançons des arguments solides montrant qu'une pollinisation par des robots est à l'heure actuelle impossible à envisager pour assurer la pollinisation des cultures à l'échelle mondiale pour maintenir la production à son niveau actuel, et, même si les avancées technologiques le permettaient, il y a des raisons économiques, écologiques et sociales majeures pour ne pas poursuivre dans cette voie (Fig. 1). Etant donné la prise de conscience du public, mais aussi celle accrue des mondes scientifique et politique quant à la situation désespérée de la faune pollinisatrice, il est important de séparer les options de solutions basées sur des faits avérés, de celles qui sont hautement spéculatives, faisant des affirmations irréalistes quant à leur efficacité supposée. Le but de cet article est de présenter une réflexion sur les opportunités et les risques de maintenir les services de pollinisation des cultures avec et sans robots abeilles. Nous soulignons que les nouvelles technologies ont de multiples rôles à jouer dans la société, mais dans le cas particulier qui nous intéresse ici, rien ne justifie d'essayer inutilement de remplacer une composante clé de la biodiversité qui peut être facilement protégée et améliorée.

1. Malgré les avancées récentes, la pollinisation robotique est loin de pouvoir remplacer les abeilles pour polliniser efficacement les cultures

Alors que les évolutions technologiques conduisent à des robots sans pilote capables de prendre des décisions complexes, ils sont encore incroyablement maladroits et primaires comparés à des abeilles. Les fleurs constituent des panneaux sensoriels multimodaux, avec des formes, couleurs, odeurs et même des iridescences qui sont détectées, approchées et manipulées par les abeilles pour la collecte de pollen, de nectar et de tout ce que peut offrir une fleur, à travers des réponses neurologiques et comportementales qui restent encore mal comprises (Cresswell, 2000).

Pour fournir une pollinisation croisée efficace, au niveau des communautés d'espèces végétales qui cohabitent, ou même dans un champ plus homogène de plantes cultivées, il ne suffit pas simplement de relever le défi technologique de concevoir un drone miniature capable de se diriger vers une fleur pour y collecter un peu de pollen.

Il y a plus de 350 000 espèces de plantes à fleurs sur la planète (Ollerton et al., 2011) qui, toutes, interagissent de manière unique avec les animaux qui assurent leur pollinisation pour permettre leur reproduction sexuée, la production de fruits et de graines qui en découlent, et leur évolution.

De plus, il y a certes beaucoup d'insectes floricoles qui visitent les fleurs, mais peu sont des pollinisateurs efficaces (King et al., 2013), et c'est leur diversité écologique et comportementale, et non la grande abondance d'une seule espèce d'abeille domestiquée, qui s'est révélée être un facteur déterminant de l'efficacité de la pollinisation et du rendement des cultures (Hoehn et al., 2008; Albrecht et al., 2012; Fründ et al., 2013; Garibaldi et al., 2013; Martins et al., 2015). La technologie a tenté à petits pas de comprendre les mécanismes du processus de pollinisation de quelques cultures "faciles", telles que le tournesol (*Helianthus annuus*), qui possède une grande inflorescence en forme de disque, facilement accessible, mais elle vient à peine de commencer la course, alors que l'évolution, à travers une grande biodiversité fonctionnelle et des systèmes écologiques complexes, a franchi la ligne d'arrivée il y a des millions d'années.

2. L'utilisation de robots a très peu de chance d'être économiquement viable

Il y a plusieurs milliards d'abeilles et d'autres espèces pollinisatrices sur la planète qui effectuent un service efficace de pollinisation des cultures. Étant donné que certaines espèces pollinisatrices sont en déclin, la stratégie la plus rentable pour assurer leur conservation consiste à protéger les espèces pollinisatrices déjà présentes, et à gérer durablement les paysages et les habitats pour augmenter leur nombre (IPBES, 2016). Essayer de remplacer ce service de pollinisation par des nuées de robots n'est pas viable économiquement : même si cela était possible technologiquement, le coût serait très probablement rédhibitoire. Par exemple, **même à un prix raisonnable de 10 dollars par abeille-robot, le coût total de la pollinisation des superficies cultivées dans le monde entier serait de plusieurs centaines de milliards d'euros.**

A cela, il faut ajouter les coûts de réparation et de maintenance de ce matériel et les dépenses liées aux infrastructures de commande et de contrôle. Pour une fraction du coût de la pollinisation par robot, la société pourrait mettre en œuvre des solutions plus sûres et bien établies (Dicks et al., 2016; IPBES, 2016) pour protéger les habitats des espèces pollinisatrices, réduire les menaces qui pèsent sur elles et promouvoir des villes et des paysages respectueux de la biodiversité, protégeant ainsi les véritables héros de la nature, au lieu d'essayer de les remplacer à des coûts exorbitants. Cela ne veut pas dire pour autant qu'à l'avenir des individus ou des entreprises ne devraient pas investir pour développer de telles technologies pour répondre à des problématiques spécifiques, dans la mesure où elles pourraient potentiellement jouer un rôle dans la production alimentaire pour un petit nombre de cultures spécialisées pour lesquelles nous n'avons actuellement pas d'insectes pollinisateurs gérables (comme pour la production de semences hybrides de cultures sans nectar telles que la tomate *Lycopersicon esculentum* ou la laitue *Lactuca sativa* ; Liu et al., 2007).

La technologie mise au point avec les robots pollinisateurs pourrait aussi probablement être rentabilisée dans d'autres champs d'application ; cependant, utiliser des recherches financées sur des fonds publics ou des subventions gouvernementales est très discutable alors qu'il en résulterait probablement une perte d'opportunités de protection de la biodiversité existante.

3. L'impact environnemental serait certainement inacceptable

Il y aurait une énorme dépense d'énergie et d'eau ainsi qu'une empreinte carbone et de matériaux pour extraire, transporter et traiter les matières premières, pour fabriquer, distribuer et mettre en service, puis entretenir et réparer tous les robots abeilles et leurs infrastructures associées, et en définitive pour se débarrasser ou recycler les robots irréparables ou cassés. Par exemple, quel serait l'impact environnemental supplémentaire pour l'extraction de tout le lithium et autres terres rares nécessaires, dont l'exploitation actuelle suscite déjà des préoccupations environnementales et sociales croissantes ? Lorsque les robots atteignent la fin de leur vie active ou cassent, quel est le sort de tous leurs composants polluants vis à vis des chaînes alimentaires de l'homme et de la faune ? Caractériser le coût énergétique et environnemental total de la technologie des robots-abeilles par l'analyse du cycle de vie (ACV) révélera probablement une empreinte carbone et des impacts environnementaux incompatibles avec notre objectif de futur à faible émission de carbone et économe en énergie.

4. Des écosystèmes plus vastes seraient endommagés

Peupler le monde avec des machines robotisées pour la pollinisation constituerait une invasion d'une ampleur considérable. Il est bien connu que, pour la faune pollinisatrice, les plantes sauvages et de nombreux éléments de la biodiversité, les espèces exotiques envahissantes provoquent des extinctions et disparitions locales/régionales, perturbent les réseaux d'interactions entre espèces, ainsi que les fonctions et services écosystémiques (Geslin et al., 2017). L'introduction de robots pollinisateurs pour récolter et disperser le pollen perturberait l'équilibre délicat des espèces déjà présentes et dépendantes des écosystèmes agricoles et naturels, en déplaçant les espèces pollinisatrices existantes, en supprimant les ressources en pollen, sans plus polliniser toutes les plantes à fleurs sauvages qui dépendent aussi de la pollinisation biotique (Ollerton et al., 2011).

5. Notre appréciation de la biodiversité en serait amoindrie

Remplacer une composante clé de la biodiversité par une alternative technologique, tout en ignorant les possibilités de protéger cette composante, ignore les valeurs multiples associées à la biodiversité des espèces pollinisatrices, telles que les valeurs intrinsèques, sociales (l'apiculture), et culturelles (esthétiques et récréatives) (IPBES, 2016). Par exemple, la grande valeur sociale accordée aux papillons monarques en Amérique du Nord a permis de renforcer les mesures de conservation pour cette espèce et d'autres espèces menacées (Diffendorfer et al., 2014). D'autres innovations, telles qu'un désherbant robotique équipé de systèmes de pulvérisation de précision, peuvent considérablement réduire la quantité d'herbicides utilisée, aidant ainsi au développement d'une plus grande biodiversité (Reuters, 2018), ce qui contraste avec les robots pollinisateurs qui cherchent, eux, à remplacer la biodiversité.

6. Se reposer sur une pollinisation robotisée pourrait vraiment nous exposer à une insécurité alimentaire majeure

Il est déjà très risqué de ne dépendre que d'une seule espèce d'abeille pour la pollinisation des cultures (Garibaldi et al., 2013) et il en va de même concernant le remplacement d'une multitude d'espèces pollinisatrices par des robots. Alors que Walmart et d'autres proposent de nouvelles technologies pour sécuriser les chaînes d'approvisionnement et la production alimentaire, en réalité, cette approche pourrait en accroître la vulnérabilité du fait de l'échec d'une technologie complexe ou d'une cyberattaque. De plus, **les agriculteurs avec de faibles revenus représentent plus de 2 milliards de personnes sur de petites exploitations agricoles dans les pays en voie de développement** (Garibaldi et al., 2016), et il est difficile d'imaginer comment ces petits paysans pourraient se payer les services d'une pollinisation par robots alors qu'ils ont déjà du mal à acheter des intrants agricoles de base.

La nature est une source d'inspiration et nous devrions chercher à apprendre de ces millions d'années d'évolution. Mais suivre le mouvement en prétendant que les robots peuvent remplacer les abeilles, ou plutôt «aider à contrer le déclin de la population d'abeilles mellifères», tout en ignorant délibérément plus de 200 ans de recherche sur les interactions plantes-pollinisateurs, va à l'encontre de nombreuses initiatives locales, régionales, nationales et internationales qui visent à protéger les insectes pollinisateurs et leur rôle essentiel pour le bien-être humain (IPBES, 2016). La technologie proposée est à un stade embryonnaire, son coût est prohibitif, et, déployée à grande échelle, les risques environnementaux et sociétaux sont inacceptables.

Il faut prendre en compte les menaces qui planent sur la pollinisation des cultures, et il existe un large éventail d'options disponibles pour cela, allant d'interventions concrètes ayant déjà fait leurs preuves (par exemple, l'aménagement d'habitats pour aider la faune pollinisatrice sauvage et/ou augmenter le nombre d'insectes pollinisateurs domestiqués), à la mise en application de nouveaux systèmes de production alimentaire (par exemple, l'intensification écologique de l'agriculture pour intégrer les insectes pollinisateurs dans l'agriculture, ou pour créer et/ou développer par génie génétique des cultures parthénocarpiques ou plus autocompatibles et autofertiles afin d'avoir des plantes moins dépendantes de la pollinisation biotique) (IPBES, 2016; Knapp et al., 2016). Il existe des pratiques et des politiques fiables qui peuvent aider à protéger les insectes pollinisateurs des problèmes liés aux pesticides, aux parasites, aux maladies et au changement climatique, mais il existe aussi des approches plus ambitieuses pour transformer les relations qu'entretiennent les sociétés avec la nature. Ensemble, ces propositions constituent une gamme d'outils et de solutions efficaces pour protéger la pollinisation des cultures.

On est dès lors en droit de se demander si les abeilles robotisées ne constituent pas un ultime justificatif pour promouvoir cette solution technologique afin d'apporter une solution à un problème enfin très réel.

Les robots volants miniatures, comme d'autres technologies numériques, peuvent avoir de nombreuses utilisations potentiellement importantes (Arts et al., 2015). Cependant, la pollinisation robotique n'est tout simplement pas la solution pour sécuriser la pollinisation des cultures à grande échelle, et encourager son développement constitue une perte de temps, d'argent, et d'autres ressources qui pourraient être orientées vers des politiques, des initiatives et des plans nationaux et internationaux en faveur des insectes pollinisateurs (Dicks et al., 2016), et s'efforcer d'assurer de façon durable la conservation de la biodiversité et la production alimentaire.

Références

- Aizen, M.A., Harder, L.D., 2007. Expanding the limits of the pollen-limitation concept: effects of pollen quantity and quality. *Ecology* 88, 271–281.
- Albrecht, M., Schmid, B., Hautier, Y., Müller, C.B., 2012. Diverse pollinator communities enhance plant reproductive success. *Proc. R. Soc. B* 279, 4845–4852.
- Arts, K., van der Wal, R., Adams, W.M., 2015. Digital technology and the conservation of nature. *Ambio* 44, 661–673.
- Benyus, J.M., 2002. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. Perennial, New York.
- Business Insider, 2018. A Giant US Retail Corporation Just Filed a Patent For Autonomous Robot Bees. Retrieved from: <https://www.sciencealert.com/walmart-has-filed-a-patent-for-robot-bees-pollination-drones>.
- CBD, 2018. Convention on Biological Diversity, Subsidiary Body on Scientific, Technical and Technological Advice 22nd meeting of SBSTTA “Conservation and Sustainable use of Pollinators”, Montreal, Canada, 2018.
- Chechetka, S.A., Yu, Y., Tange, M., Miyako, E., 2017. Materially engineered artificial pollinators. *Chem* 2, 224–239.
- Cresswell, J.E., 2000. Manipulation of female architecture in flowers reveals a narrow optimum for pollen deposition. *Ecology* 81, 3244–3249.
- Daly, H.E., Farley, J., 2010. *Ecological Economics: Principles and Applications*. 2nd edition. Island Press.
- Díaz, S., Demissew, S., Joly, C., Lonsdale, W., Ash, N., et al., 2015. The IPBES conceptual framework—connecting nature and people. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 14, 1–16.
- Dicks, L.V., Viana, B., Bommarco, R., Brosi, B., Arizmendi, M.C., et al., 2016. Ten policies for pollinators. *Science* 354, 975–976.
- Diffendorfer, J.E., Loomis, J.B., Ries, L., Oberhauser, K., Lopez-Hoffman, L., et al., 2014. National valuation of monarch butterflies indicates an untapped potential for incentive-based conservation. *Conserv. Lett.* 7, 253–262.
- Fründ, J., Dormann, C.F., Holzschuh, A., Tschamtker, T., 2013. Bee diversity effects on pollination depend on functional complementarity and niche shifts. *Ecology* 94, 2042–2054.
- Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M.A., Bommarco, R., et al., 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey-bee abundance. *Science* 339, 1608–1611.
- Garibaldi, L.A., Carvalheiro, L., Vaissière, B.E., Gemmill-Herren, B., Hipólito, J., et al., 2016. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science* 351, 388–391.
- Geslin, B., Gauzens, B., Baude, M., Dajoz, I., Fontaine, C., et al., 2017. Massively introduced managed species and their consequences for plant–pollinator interactions. In networks of invasion: empirical evidence and case studies. *Adv. Ecol. Res.* 57, 147–199.
- Global Biodiversity Outlook 4, 2014. Secretariat of the Convention on Biological Diversity.

- Hoehn, P., Tschardtke, T., Tylianakis, J.M., Steffan-Dewenter, I., 2008. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proc. R. Soc. B* 275, 2283–2291.
- IPBES, 2016. *The Assessment Report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on Pollinators, Pollination and Food Production*. IPBES, Bonn, Germany.
- King, C., Ballantyne, B., Willmer, P.G., 2013. Why flower visitation is a poor proxy for pollination : measuring single-visit pollen deposition, with implications for pollination networks and conservation. *Methods Ecol. Evol.* 4, 811–818.
- Knapp, J.L., Bartlett, L.J., Osborne, J.L., 2016. Re-evaluating strategies for pollinator dependent crops: how useful is parthenocarpy? *J. Appl. Ecol.* 54, 1171–1179.
- Liu, L.-W., Wang, Y., Gong, Y.-Q., Zhao, T.-M., Liu, G., et al., 2007. Assessment of genetic purity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) hybrid using molecular markers. *Sci. Hortic.* 115, 7–12.
- Martins, K.T., Gonzalez, A., Lechowicz, M.J., 2015. Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. *Agric. Ecosyst. Environ.* 200, 12–20.
- Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S., 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120, 321–326.
- Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H.T., Aizen, M.A., Biesmeijer, J.C., et al., 2016. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature* 540, 220–229.
- Reuters, 2018. Robots fight weeds in challenge to agrochemical giants. Retrieved from. <https://www.reuters.com/article/us-farming-tech-chemicals-insight/robots-fightweeds-in-challenge-to-agrochemical-giants-idUSKCN11N0IK>