



innovations agronomiques

n°111 / mars 2026

Ce numéro spécial traite de :

l'évaluation de la pollinisation animale des cultures, à travers une méthode accessible et déployable de l'échelle de la parcelle à celle du territoire national ; l'optimisation des cycles de croissance en serres intelligentes grâce à l'intelligence artificielle ; les défis du secteur agricole dans le sud du Sénégal, à partir d'un diagnostic des acteurs.



Innovations Agronomiques

Volume 111 – Mars 2026

Numéro spécial

Ce numéro spécial traite de :

- l'évaluation de la pollinisation animale des cultures, à travers une méthode accessible et déployable de l'échelle de la parcelle à celle du territoire national ;
- l'optimisation des cycles de croissance en serres intelligentes grâce à l'intelligence artificielle ;
- les défis du secteur agricole dans le sud du Sénégal, à partir d'un diagnostic des acteurs.

Directeur de la publication : Philippe Mauguin, Président directeur Général INRAE

Rédaction en chef : Christian Huyghe, Chargé de mission à la Direction Scientifique Agriculture INRAE, et Isabelle Litrico, Directrice Scientifique Agriculture INRAE

Coordination éditoriale : Aurélie Gauguery, Responsable des Carrefours de l'Innovation INRAE

Comité scientifique : Claire Rogel-Gaillard, Sophie Thoyer et Christian Lannou, Directrices et directeur scientifiques Agriculture adjoints ; Sophie Nicklaus, Directrice scientifique Alimentation et bioéconomie adjointe ; Alban Thomas et Pierre Renault, Directeurs scientifiques Environnement adjoints, INRAE ; Nathalie Munier-Jolain, Directrice générale déléguée à la science et à l'innovation adjointe, INRAE ; Isabelle Pion, Chargée de mission agroécologie et transition des systèmes agricoles, Direction de l'Appui aux Politiques Publiques, INRAE ; Marianne Sellam, Directrice scientifique et technique, ACTA, Luc Mounier, Enseignant-chercheur, VetAgro Sup ; Nicolas Brault, Directeur adjoint de l'unité de recherche Interact, Institut Polytechnique UniLaSalle ; Alessia Lefébure, Directrice, Sciences Po Aix.

Coordination scientifique du numéro : Christian Huyghe, Chargé de mission à la Direction Scientifique Agriculture INRAE.

Initiée en 2007, la revue de transfert Innovations agronomiques a pour ambition de diffuser les savoirs et de favoriser les échanges entre les acteurs de la recherche et les professionnels de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement, et de faciliter leur appropriation par les acteurs de la chaîne de valeur agri-alimentaire (professionnels du secteur, chercheurs, conseillers, R&D, agriculteurs, enseignants et apprenants, décideurs publics, société civile, etc.). Elle complète la démarche générale de transfert des Carrefours de l'Innovation INRAE (<https://ciag.hub.inrae.fr/>) qui réunissent ces acteurs impliqués dans les travaux au cœur des défis mondiaux et sociétaux de notre siècle : production et performance économique, santé, changement climatique, raréfaction des ressources non renouvelables, préservation de la biodiversité, des ressources naturelles et de l'environnement, qualité de vie et des emplois...

La revue est une propriété d'INRAE, intégralement financée sur des fonds publics.

Revue en accès libre diamant, publiée par INRAE. Les articles sont relus et validés par des experts scientifiques et opérationnels.

Site de la revue : <https://ciag.hub.inrae.fr/revue-innovations-agronomiques>

Contact : innovations-agronomiques@inrae.fr

Adresse : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement – 147 rue de l'Université – 75338 Paris Cedex 07

ISSN : 1958-5853 (édition électronique)



ISBN (PDF) : 978-2-7380-3023-8

ISBN (ePub) : 978-2-7380-3024-5

DOI : <https://doi.org/10.17180/innovagro-2026-vol111>

Pour citer ce numéro : Collectif. Innovations agronomiques. Numéro spécial, 2026, 111. [10/17180/innovagro-2026-vol111](https://doi.org/10.17180/innovagro-2026-vol111)

Photos de couverture : Christophe MAITRE / INRAE ; Aurélie MARQUOT / INRAE ; Elisabeth DIOP / Unsplash

Licence : CC BY 4.0



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue *Innovations agronomiques* et son DOI, la date de publication.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE

Sommaire

Emmanuelle PORCHER, Francesco ACCATINO, James DESAEGHER, Colin FONTAINE, Thibault GANDARA, Antoine GARDARIN, Gabrielle MARTIN & Alice MICHELOT-ANTALIK, 2026 - **Une méthode accessible pour évaluer la pollinisation animale des cultures, déployable de la parcelle à la France entière.**

Innovations Agronomiques 111, 1-12
<https://doi.org/10.17180/ciag-2026-vol111-art01>

Myriam LAROCHE, Claudiane OUELLET-PLAMONDON & Stéphane GODBOUT, 2026 - **L'intelligence artificielle pour optimiser les cycles de croissances en serres intelligentes contrôlés.**

Innovations Agronomiques 111, 13-32
<https://doi.org/10.17180/ciag-2026-vol111-art02>

Adama TOUNKARA, Abou BA, Elisabeth Yaka THIONE, Bougouma MBAYE, Marie Agnès DIOUF & Pape Malick Nzally DIATTA, 2026 - **Défis du secteur agricole dans le sud du Sénégal : diagnostic des acteurs.**

Innovations Agronomiques 111, 33-45
<https://doi.org/10.17180/ciag-2026-vol111-art03>



Une méthode accessible pour évaluer la pollinisation animale des cultures, déployable de la parcelle à la France entière

Emmanuelle PORCHER¹, Francesco ACCATINO², James DESAEGHER³, Colin FONTAINE¹, Thibault GANDARA¹, Antoine GARDARIN⁴, Gabrielle MARTIN⁵, Alice MICHELOT-ANTALIK⁶

¹ Centre d'Ecologie et de Sciences de la Conservation (CESCO), Muséum national d'Histoire naturelle, Centre National de la Recherche Scientifique, Sorbonne Université, Paris 75005, France

² UMR SADAPT, INRAE, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, Palaiseau 91120, France

³ INRAE, UR406 Abeilles et environnement, Avignon 84914, France

⁴ Agronomie, INRAE, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, Palaiseau 91120, France

⁵ Centre de Recherche sur la Biodiversité et l'Environnement (CRBE) UMR 5300, Université de Toulouse, Toulouse INP, CNRS, IRD, CRBE, Toulouse 31077, France

⁶ Université de Lorraine, INRAE, LAE, Nancy 54000, France

Correspondance : emmanuelle.porcher@mnhn.fr

Résumé

La pollinisation animale, centrale pour la majorité des espèces cultivées, est susceptible de devenir limitante du fait du déclin des pollinisateurs. Les outils existants pour mesurer la contribution des pollinisateurs au rendement des cultures sont difficilement transposables à de grandes surfaces, comme celle d'une exploitation agricole ou d'un territoire. Nous proposons un nouvel indicateur de la pollinisation animale. Cet indicateur est simple à produire car il ne nécessite que des données de dépendance des cultures aux pollinisateurs et de rendement des cultures sur un ensemble de parcelles. Nous montrons que, modulo quelques points de vigilance dans l'interprétation, cet indicateur permet de comparer des sites entre eux, d'identifier des zones de déficit de pollinisation animale, et de mettre en évidence les effets des pratiques agricoles et du paysage sur cette pollinisation.

Mots-clés : pollinisateurs, rendements, infrastructures agroécologiques, pratiques agricoles, exploitation agricole.

Abstract: A turn-key method for assessing animal pollination of crops, applicable from individual agricultural fields to France as a whole

Animal pollination, which is central to the yield of most crop species, is likely to become limiting due to the decline of pollinators. Existing tools for measuring the contribution of pollinators to crop yields are difficult to apply to large areas, such as farms or whole regions. We propose a new indicator of animal pollination. This indicator is simple to produce as it only requires data on crop dependence on pollinators, as well as crop yields across a set of fields. We show that, with a few points to bear in mind when interpreting the results, this indicator can be used to compare sites, identify areas with a deficit in animal pollination, and highlight the effects of farming practices and landscape on pollination.

Keywords: pollinators, crop yield, agroecological infrastructures, farming practices, farm

1. Introduction

Une majorité des plantes cultivées dépend au moins en partie des insectes ou d'autres animaux pour leur pollinisation (Ollerton *et al.*, 2011), c'est-à-dire le transfert des grains de pollen des parties mâles vers les parties femelles des fleurs, permettant la production de graines et de fruits (Therond *et al.*, 2017). Ceci rend les enjeux de pollinisation animale centraux dans le monde agricole, particulièrement



dans un contexte où les pollinisateurs sont en déclin (Powney *et al.*, 2019 ; Zattara & Aizen, 2021) et où les surfaces cultivées avec des espèces dépendantes des pollinisateurs sont en augmentation à l'échelle mondiale (Aizen *et al.*, 2008). Plusieurs études démontrent des changements majeurs dans l'abondance et/ou la diversité des pollinisateurs sauvages (par exemple Koh *et al.*, 2016 ; Powney *et al.*, 2019), ainsi que des problèmes d'effondrement des colonies d'abeilles mellifères (Paudel *et al.*, 2015), mais les conséquences en termes d'efficacité de la pollinisation des cultures comme des plantes sauvages, bien que déjà documentées (Artamendi *et al.*, 2025), restent incertaines. En effet, la relation entre abondance ou diversité des pollinisateurs et pollinisation animale n'est pas univoque (Ricketts *et al.*, 2008).

Les incertitudes autour d'une éventuelle érosion générale de l'efficacité de la pollinisation animale tiennent en partie au fait que la mesure de la contribution des pollinisateurs est fastidieuse et difficile à déployer sur des grandes surfaces, telles une exploitation agricole, un territoire, voire un pays entier, ou sur des durées de plusieurs années. Les méthodes expérimentales d'estimation de la pollinisation (par exemple en ensachant des fleurs pour exclure les pollinisateurs) sont très lourdes à mettre en œuvre et ne sont donc utilisées que sur des durées et des surfaces réduites. Ce type d'approche a par exemple permis de démontrer une limitation par les pollinisateurs pour le tournesol (Chabert *et al.*, 2022) ou le colza en France (Perrot *et al.*, 2018), ou encore d'évaluer le service de pollinisation sur un territoire dans le projet Sebioref (Ouin *et al.*, 2022), mais uniquement sur des surfaces restreintes et au prix d'un très fort investissement humain.

Pour évaluer la pollinisation animale sur de plus grands territoires et avec des moyens financiers et humains limités, les seules approches disponibles actuellement reposent sur des indicateurs de pollinisation potentielle modélisant l'abondance des pollinisateurs (Rouabah *et al.*, 2024) selon les caractéristiques paysagères. En particulier, des indicateurs utilisant le modèle de Lonsdorf (2009) sont de plus en plus disponibles et appliqués (Bockstaller *et al.*, 2021 ; Sharp *et al.*, 2018 ; Zulian *et al.*, 2013). Leur principe est de mobiliser des données d'occupation du sol, et parfois de climat, pour identifier les zones favorables à certains pollinisateurs sauvages, souvent des abeilles, en termes de disponibilité de ressources alimentaires, sites de nidification et conditions climatiques. Le modèle associe également un modèle de déplacement des pollinisateurs pour identifier les zones susceptibles d'être visitées à partir des sites de reproduction. Cet indicateur potentiel a été utilisé par exemple pour optimiser la distribution des cultures à floraison massive et ainsi maximiser la pollinisation animale (Desaegher *et al.*, 2021). Cependant, le modèle ne mesure pas la pollinisation effectivement réalisée, mais indique les endroits où des pollinisateurs sont susceptibles d'être présents en plus ou moins grand nombre. De plus, il se focalise sur un seul type de pollinisateurs, là où les cultures peuvent dépendre d'une grande diversité de pollinisateurs sauvages, comme les syrphes ou autres diptères (Rader *et al.*, 2016), ou encore ne prend pas en compte l'effet de pratiques agricoles comme l'utilisation d'insecticides, aux effets démontrés sur la pollinisation (Stanley *et al.*, 2015).

Dans cet article, nous présentons un nouvel indicateur de pollinisation animale, appelé "indicateur de pollinisation réalisée", qui s'appuie sur les données de rendement des cultures afin d'inférer la contribution des pollinisateurs en comparant les cultures dépendantes des pollinisateurs à celles qui ne le sont pas. Cet indicateur nécessite peu de données, assez facilement accessibles ou récoltables, et peut être calculé à différentes échelles spatiales, de la parcelle agricole (Gandara *et al.*, 2025) à la France entière (Martin *et al.*, 2019). Il pourrait être déployé massivement pour identifier les zones avec un déficit de pollinisation animale, mettre en évidence les effets de certaines pratiques agricoles sur l'efficacité de cette pollinisation, et suivre les variations du succès de pollinisation des cultures au cours du temps. Dans la suite, nous présentons d'abord la méthode de calcul de l'indicateur, suivie de quelques résultats principaux et nous terminons par des recommandations importantes pour l'utilisation et l'interprétation de l'indicateur.



2. Données et principe du calcul de l'indicateur de pollinisation réalisée

2.1. Données nécessaires

Le calcul de l'indicateur de pollinisation réalisée nécessite deux types de données agronomiques élémentaires : d'une part des données de rendement des cultures, à une résolution spatiale la plus fine possible, d'autre part, une information sur la dépendance du rendement de ces cultures à la pollinisation animale. Ces données élémentaires sont souvent déjà disponibles sur beaucoup de territoires.

2.1.1. Rendement des cultures

Comme nous sommes intéressés par une mesure de la pollinisation, nous travaillons préférentiellement avec des cultures dont le rendement dépend de la production de graines ou de fruits, résultant de la pollinisation des fleurs. Pour les premiers tests de l'indicateur, à deux échelles spatiales différentes, nous avons utilisé des données de rendement issues de deux sources : (1) celles fournies par le ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire dans le cadre de la [Statistique Agricole Annuelle](#), qui recense chaque année le rendement moyen des cultures dans chaque département français (= un site). Pour cette approche nationale nous avons sélectionné 55 espèces cultivées dont les rendements dépendent de la production de graines ou de fruits, et nous avons extrait les rendements pour la période 2000-2010 ; (2) les données collectées sur la [plateforme d'observation paysagère de Fénay](#), composée de 140 parcelles commerciales de grandes cultures contiguës (environ 1 000 ha) dans la plaine de Dijon. Chaque parcelle (= un site) est suivie chaque année depuis 2007 par l'unité de recherche Agroécologie (INRAE-Institut Agro-Université de Bourgogne), avec notamment une collecte des données de rendement et de pratiques. Pour cette deuxième zone d'étude nous avons sélectionné 14 espèces cultivées et les données de rendement sur la période 2007-2019.

2.1.2. Dépendance du rendement à la pollinisation animale

Pour chaque culture, la dépendance à la pollinisation animale est définie comme la diminution du rendement (exprimée en pourcentage du rendement maximum) qui serait observée en l'absence de tout pollinisateur. Cet indice varie de 0, pour les cultures non-dépendantes des pollinisateurs comme les céréales, à presque 100 % pour des cultures qui ne sont pas du tout productives en l'absence de pollinisateurs comme les kiwis ou certaines courges. Ces valeurs ont été estimées par diverses études expérimentales, et synthétisées dans l'article de Klein *et al.* (2007), qui propose 5 classes : aucune dépendance (0 %), et dépendances faible (5 %), modeste (25 %), forte (65 %) et essentielle (95 %). Cette synthèse mondiale fournit une seule valeur par espèce, et ignore l'existence de différences entre variétés pour la dépendance aux pollinisateurs, mais en première approche elle fournit une information utile pour la majorité des espèces cultivées en France. Récemment, Siopa *et al.* (2024) se sont affranchis des classes en proposant des valeurs continues de dépendance aux pollinisateurs.

2.2. Le calcul de l'indicateur

2.2.1. Standardisation des données de rendement

Comme nous allons le voir ci-dessous, l'indicateur de pollinisation réalisée met en relation les rendements des cultures avec leur dépendance aux pollinisateurs. Cependant, les rendements bruts des cultures sont par nature très différents d'une espèce à l'autre, dépendants notamment de la quantité d'eau dans la partie récoltée (exemple des concombres avec des rendements très élevés). Pour pouvoir comparer les rendements entre cultures, la première étape consiste donc en une standardisation, afin que toutes les cultures aient le même rendement moyen (= 0) et la même variabilité du rendement (= 1). Cette standardisation se fait **au sein de chaque culture**, à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude (Figures 1 A et B). Dans ce cas, des valeurs standardisées négatives



dans un site donné indiquent que les rendements y sont inférieurs aux rendements moyens de cette culture dans la zone d'étude. À l'inverse, des valeurs standardisées positives dans un site indiquent que les rendements y sont supérieurs aux rendements moyens de cette culture dans la zone d'étude.

2.2.2. Mise en relation des données de rendement avec la dépendance des cultures aux pollinisateurs

La philosophie générale de calcul de l'indicateur est simple : elle repose sur l'hypothèse que, **toutes choses égales par ailleurs**, dans un site avec un déficit de pollinisateurs, le rendement standardisé des cultures dépendantes des pollinisateurs devrait être inférieur, en moyenne, au rendement standardisé des cultures non-dépendantes des pollinisateurs. La première partie de la phrase « toutes choses égales par ailleurs » est importante, et implique notamment l'hypothèse suivante sur les nombreux autres facteurs qui influencent le rendement des cultures (par exemple, caractéristiques des sols, conditions météorologiques, pratiques agricoles dans les parcelles, etc.) : ces facteurs sont considérés comme ayant un rôle équivalent, en moyenne, pour les cultures dépendantes et non-dépendantes des pollinisateurs, dans une zone donnée. C'est une hypothèse acceptable sous réserve que l'analyse soit faite sur un nombre suffisant d'espèces cultivées dans chaque catégorie de dépendance aux pollinisateurs (voir Discussion).

Cela étant posé, l'indicateur de pollinisation réalisée correspond à la **pente de la régression linéaire entre les rendements standardisés des cultures et la dépendance des cultures aux pollinisateurs** dans un site (Figure 1 C). Dans le site 7, les rendements des cultures non-dépendantes des pollinisateurs sont autour de la moyenne (*i.e.*, 0) pour l'ensemble de la zone d'étude, ce qui indique que les conditions de culture sont relativement favorables. Cependant, les cultures dépendantes des pollinisateurs (dépendances de 0,65 et 0,95) ont des rendements inférieurs à la moyenne de la zone d'étude (rendements standardisés négatifs), malgré ces bonnes conditions de culture, ce qui suggère un déficit de pollinisation animale. Au contraire, dans le site 1, les rendements sont légèrement au-dessus de la moyenne de la zone d'étude pour toutes les cultures, quelle que soit leur dépendance aux pollinisateurs, ce qui suggère que la pollinisation animale est moins limitante dans ce site.

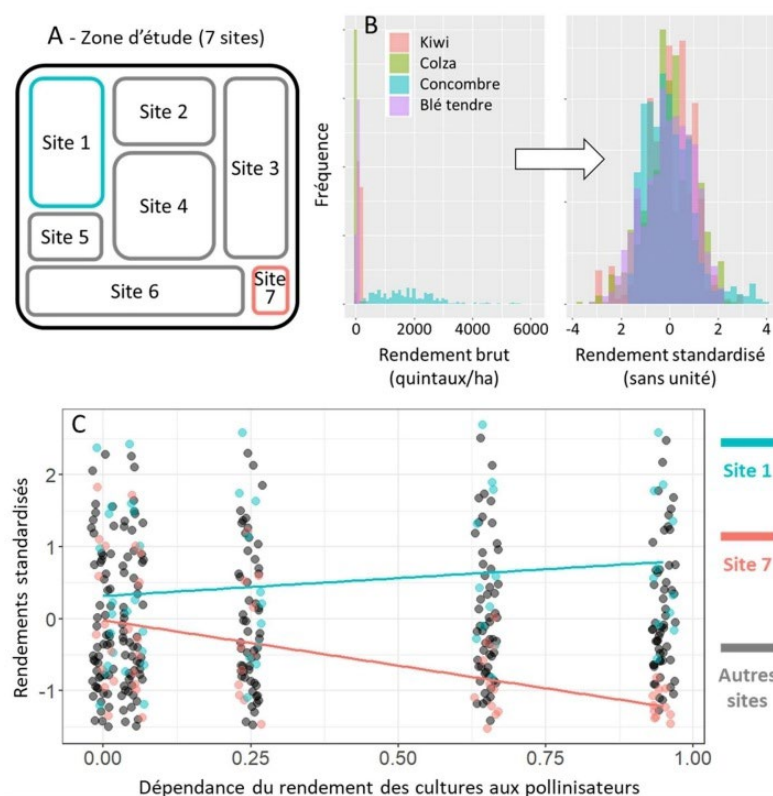


Figure 1 : Principes du calcul de l'indicateur de pollinisation réalisée à partir d'un exemple simplifié. Cet indicateur est calculé à l'échelle d'une zone géographique (A), découpée en sites. Cette zone peut être la France, et les sites sont par exemple les départements, ou une zone plus restreinte, comme la plateforme d'observation de Fénay, et les sites sont des parcelles ou des groupes de parcelles. Dans l'exemple théorique proposé ici, la zone est découpée en 7 sites (B). Les données de rendements de chaque culture sont standardisées à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude (C). Exemple de régression pour deux sites avec des limitations en pollen différentes. Le graphique montre la distribution des rendements standardisés (moyenne = 0 et variance