



Ctifl



Les services rendus par les cultures fruitières

Chapitre 4.2

Le service de pollinisation

Extrait du rapport rédigé par Marie-Charlotte Bopp

Septembre 2019

Coordination :

- Dominique Grasselly (CTIFL)
- Françoise Lescourret (INRA)
- Sylvie Colleu (INRA)

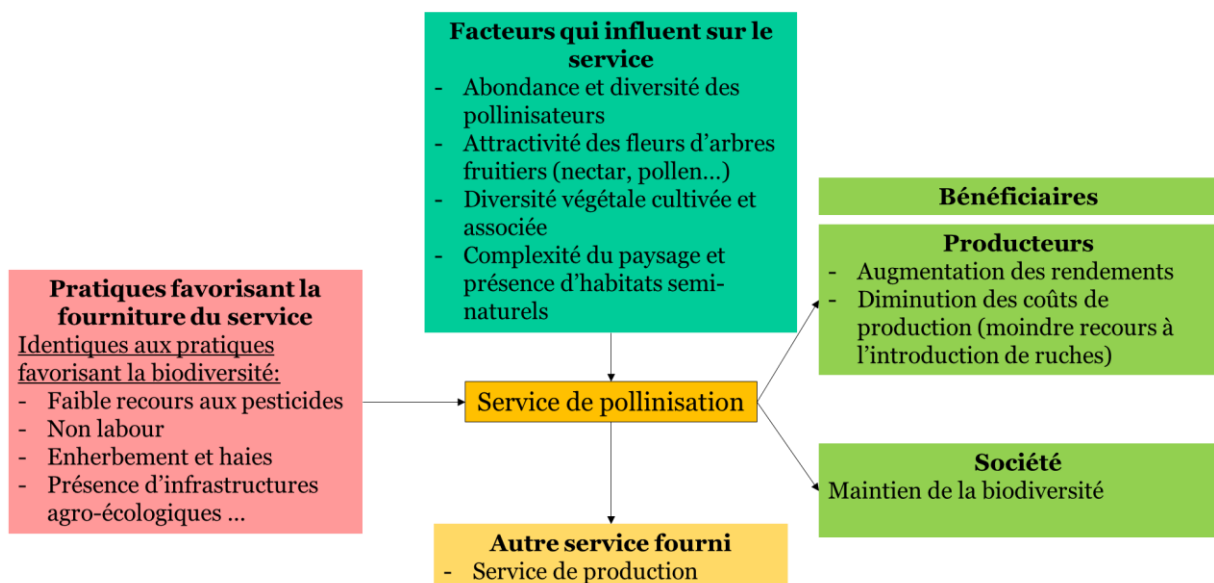
Action portée par le GIS Fruits, sur ressources CTIFL et INRA

1.1 Le service de pollinisation

1.1.1 Le service de pollinisation bénéficie directement aux producteurs par l'augmentation des rendements et plus indirectement à la société par le maintien d'une grande partie de la biodiversité

La pollinisation – ou transfert de grains de pollen depuis une fleur mâle (les étamines) vers une fleur femelle (le pistil) permet la fécondation et la production de fruits. Pour la majorité des arbres fruitiers, ce transfert dépend fortement des insectes pollinisateurs (Klein et al., 2007). **Les bénéficiaires directs de ce service sont les producteurs.** Le service de pollinisation leur procure l'avantage **d'augmenter leurs productions de fruit, de stabiliser les rendements dans le temps et leur permet d'éviter des coûts supplémentaires** (par exemple si la pollinisation devait être réalisée à la main ou en louant des colonies domestiques). Cependant, le **service de pollinisation procure des avantages à l'ensemble de la société en contribuant au maintien d'une grande partie de la biodiversité** (les plantes étant la base des chaînes trophiques) (Therond et al., 2017).

La valeur du service de pollinisation à l'échelle mondiale a été estimée à 153 milliard d'euros (Gallai et al., 2009). Le service de pollinisation est un déterminant du service de production pour la plupart des espèces fruitières. Notons tout de même qu'il peut dans certains cas nuire à la qualité de la production. C'est le cas par exemple de la pollinisation des mandarines qui induit la formation de pépins au sein du fruit, qui n'est pas désiré (Sykes, 2008). De plus, la surpollinisation peut entraîner des effets indésirables pour le producteur comme l'alternance de la production, la diminution des calibres ou la variation des taux de sucre.



Déterminants et conséquences du service de pollinisation

1.1.2 Mode de reproduction et de pollinisation des espèces fruitières : 10 espèces fruitières sont fortement dépendantes de la pollinisation par les insectes

Les espèces fruitières dépendent particulièrement de la pollinisation entomophile (par les insectes). Le Tableau 45 indique les modes de pollinisation et espèces pollinisatrices associées, les modes de reproduction et quantifie la dépendance à la pollinisation entomophile. Cette dépendance provient

des travaux de Klein et al. (2007) qui l'ont quantifiée pour un large panel d'espèces sur la base de travaux de littérature.

Tableau 45 Morphologie des fleurs, mode de pollinisation et de reproduction des espèces fruitières et pollinisateurs des fleurs. Pollinisation : **essentielle**, absence de pollinisateurs réduit de >90% la production ; **haute**, absence de pollinisateurs réduit de 40% à 90% la production ; **modeste**, absence de pollinisateurs réduit de 10 à 40% la production ; **faible**, absence de pollinisateurs réduit de moins de 10% ; **pas d'augmentation**, pas d'augmentation de la production observée en présence de pollinisateurs. Source : Klein et al. (2007), appendice 2

Espèces fruitières	Dépendance à la pollinisation	Type de fleur	Reproduction	Mode de pollinisation sans visiteurs	Pollinisateurs
Kiwi	Essentielle	Dioïque	Autofertile	Insectes et vent (pour le vent, peu de pollinisation et induit la formation de fruits de faible qualité)	Abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires
Amande	Haute	Hermaphrodite	Autoincompatible mais quelques variétés autofertiles	Autopollinisation passive ¹	Abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires, mouches
Abricot	Haute	Hermaphrodite	Vieilles variétés autofertiles et nouvelles autoincompatibles	Autopollinisation passive	Abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires
Cerise	Haute	Hermaphrodite	Majoritairement autoincompatible	Autopollinisation passive	Abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires
Nectarine	Haute d'après Klein et al. (2007) Faible d'après l'AOP Pêches abricots de France	Hermaphrodite	Autofertile	Autopollinisation passive	Abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires, mouches
Pêche	Haute d'après Klein et al. (2007) Faible d'après l'AOP Pêches abricots de France	Hermaphrodite	Autofertile	Autopollinisation passive	Abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires, mouches
Prune	Haute	Hermaphrodite	Autofertile et autoincompatible	Autopollinisation passive	Abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires, mouches
Pomme	Haute	Hermaphrodite	Majoritairement autoincompatible	Autopollinisation passive, parthénocarpie pour certaines variétés	Abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires, syrphes
Myrtilles	Haute	Hermaphrodite	Autofertile avec des degrés variant d'autoincompatibilité	Autopollinisation passive	Abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires
Framboise	Haute	Hermaphrodite	Autofertile	Autopollinisation passive	Abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires, syrphes
Châtaigne	Modeste	Monoïque	Autoincompatible	Vent	Abeilles domestiques, abeilles solitaires
Cassis	Modeste	Hermaphrodite	Différents degrés d'incompatibilité selon les variétés	Autopollinisation passive	Abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires

¹ L'autopollinisation passive n'est possible que pour les variétés autofertiles

Figue	Modeste	Gyno-dioïque ² , Monoïque	na	Niveau variable de parthénocarpie selon les variétés	Guêpe
Fraise	Modeste	Hermaphrodite	Autofertile	Autopollinisation passive, un peu de pollinisation par le vent	Abeilles domestiques, stingless bees, bourdons, abeilles solitaires, syrphes
Groseille	Modeste	Hermaphrodite	Différents degrés d'incompatibilité selon les variétés	Autopollinisation passive	Abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires
Poire	Modeste (indirecte)	Hermaphrodite	Majoritairement autoincompatible	Parthénocarpie	Bourdons, abeilles domestiques, abeilles solitaires
Pamplemousse	Faible	Hermaphrodite	Niveau variable d'autofertilité en fonction des variétés	Autopollinisation passive qui diffère selon les espèces	Abeilles domestiques, bourdons
Clémentine et mandarine	Faible	Hermaphrodite	Niveau variable d'autofertilité en fonction des variétés	Autopollinisation passive qui diffère selon les espèces	Abeilles domestiques, bourdons
Noisette	Faible	Monoïque	Autoincompatible	Vent	-
Noix	Faible	Monoïque	Autoincompatible	Vent	-
Orange	Faible	Hermaphrodite	Niveau variable d'autofertilité en fonction des variétés	Autopollinisation passive qui diffère selon les espèces	Abeilles domestiques, bourdons
Citron	Faible	Hermaphrodite	Niveau variable d'autofertilité en fonction des variétés	Autopollinisation qui diffère selon les espèces	Abeilles domestiques, bourdons
Raisin	Pas d'augmentati on	Hermaphrodite	Autofertile	Vent et autopollinisation passive	Abeilles domestiques, abeilles solitaires
Olives	Pas d'augmentati on	Andro-monoïque ³	Niveau variable d'autoincompatibilité entre variétés	Autopollinisation passive, vent	Visite occasionnelles d'abeilles

La majorité des espèces fruitières sont hermaphrodites, c'est-à-dire que leurs fleurs sont bisexuelles (Tableau 45). Certaines espèces comme la noisette et la noix sont monoïques : les fleurs sont unisexuées et se trouvent sur le même arbre. Au contraire, le kiwi est une espèce dioïque, c'est-à-dire que les fleurs mâles se trouvent sur des pieds différents de ceux des fleurs femelles. Notons qu'il existe des variétés de kiwi hermaphrodites.

Certaines espèces et variétés nécessitent du pollen « étranger » pour produire. Elles sont « autoincompatibles » et représentent une grande part des variétés fruitières (Demestihis et al., 2017). C'est le cas de certaines variétés d'amandes, de cerises, de pommes, de châtaignes, de noisettes et de noix (Tableau 45). Une même espèce peut posséder des variétés autoincompatibles et autofertiles comme la prune et l'abricot. De plus, le niveau d'incompatibilité peut varier d'une variété à une autre au sein d'une même espèce.

Klein et al. (2007) ont estimé pour une large gamme d'espèces fruitières la part de production qui était assurée grâce à une pollinisation animale (Tableau 45).

² Gyno-dioïque : Certains individus portent des fleurs mâles et femelles et d'autre uniquement des fleurs femelles

³ Andro-monoïque : Les fleurs bisexuelles et mâles sont sur le même individu

Cette revue a classé les espèces dont les données proviennent de plus de 200 pays selon 5 catégories de dépendance vis-à-vis de la pollinisation animale :

- Essentielle : absence de pollinisateurs réduit de >90% la production de fruits
- Haute : absence de pollinisateurs réduit de 40% à 90% la production de fruits
- Modeste : absence de pollinisateurs réduit de 10 à 40% la production de fruits
- Faible : absence de pollinisateurs réduit de moins de 10% de fruits
- Pas d'augmentation : pas d'augmentation de la production observée en présence de pollinisateurs.

Une seule espèce produite en France dépend quasiment exclusivement de la pollinisation animale pour produire des fruits : le kiwi (Tableau 45). En effet, cette espèce dioïque nécessite obligatoirement un transfert de pollen entomophile des pieds mâles vers les pieds femelles. Neuf espèces dépendent fortement de la pollinisation : le pommier, l'abricotier, le prunier, le cerisier, l'amandier, le myrtilier et le framboisier. Six espèces présentent une dépendance modeste à la pollinisation animale : le châtaignier, le cassissier, le fraisier, le figuier, le groseillier et le poirier. Les espèces qui dépendent peu de la pollinisation par les insectes sont les agrumes (clémentinier, mandarinier, citronnier, pamplemoussier, oranger) et des fruits à coques majoritairement pollinisés par le vent (noisetier et noyer). Deux espèces ne dépendent pas de la pollinisation animale : les vignes et les oliviers.

Les pollinisateurs des vergers appartiennent principalement à deux ordres : hyménoptères (e.g. guêpes qui pollinisent la figue, abeilles, bourdons) et les diptères (e.g. mouches, syrphes) (Tableau 45) (Demestihis et al., 2017). Les caractéristiques des abeilles en font des pollinisateurs particulièrement efficaces : présence de nombreux poils branchus sur le corps, régime alimentaire à base de pollen et de nectar, comportement de butinage fidélisé à une espèce de plante pendant un voyage et la longue viabilité des pollens sur leurs corps (Vaissière, 2016). Les pollinisateurs peuvent être des espèces sauvages ou des espèces commerciales, introduites par le producteur comme l'abeille domestique *Apis mellifera*. Quatre à cinq ruches peuvent être nécessaires pour polliniser un hectare d'arbres fruitiers (Demestihis et al. 2017, Communication personnelle, V. Mathieu (CTIFL)).

1.1.3 60% de la production fruitière française dépend de la pollinisation par les insectes

Le Tableau 46 présente la part de production fruitière qui dépend de la pollinisation par les insectes. Cette part a été calculée en multipliant le coefficient de dépendance de Klein et al. (2007) par la production fruitière moyennée sur les années 2015, 2016 et 2017. Au total, d'après ce calcul, **1 700 000 tonnes de fruits** seraient produits grâce à la pollinisation par les insectes soit près de **60% de la production fruitière française**.

Tableau 46 Part de la production fruitière française qui dépend de la pollinisation par les insectes en % et en tonnages. Les coefficients de dépendance proviennent de l'annexe 2 de Klein et al (2007)

Espèces	Moyenne de la production fruitière (2015-2017) (t)	Coefficient de dépendance (Klein et al., 2007) (%)	Part de production qui dépend de la pollinisation par les insectes (moyenne 2015-2017) (t)
Pomme	1 835 690	65	1 193 199
Prune	201 158	65	130 753
Abricot	143 993	65	93 595
Poire	133 395	25	33 349
Pêche	118 128	65	76 783

Nectarine	96 678	65	62 841
Kiwi	63 174	95	60 015
Fraise	58 005	25	14 501
Raisin	45 921	0	0
Cerise	38 782	65	25 208
Noix	38 516	5	1 926
Clémentine et mandarine	29 848	5	1 492
Olive	25 047	5	1 252
Noisette	11 199	5	560
Cassis et myrtilles	8 159	25	2 040
Chataigne et marron	7 291	25	1 823
Pamplemousse	5 748	5	287
Framboise	4 246	65	2 760
Figue	3 365	25	841
Groseille	1 614	25	403
Amande	986	65	641
Total	2 870 945		1 704 271
Part de la production totale dépendante de la pollinisation par les insectes	59,4%		

1.1.4 Les facteurs qui influent la pollinisation entomophile

1.1.4.1 L'abondance et de la diversité des pollinisateurs impactent positivement l'efficacité de la pollinisation

L'efficacité de la pollinisation dépend de la composition et de la structure des communautés de pollinisateurs. Elle dépend en premier lieu de **l'abondance des pollinisateurs**, reliée au nombre de visites reçues par les fleurs (Therond et al., 2017). Moins intuitivement, l'efficacité de ce service dépend également de **la diversité des pollinisateurs** présents en verger (Demestihis et al., 2017; Therond et al., 2017). Brittain et al. (2013) ont par exemple montré une augmentation du service de pollinisation lorsque des abeilles sauvages (*Osmia lignaria*) étaient présentes, complétant l'action des abeilles domestiques (*Apis mellifera*) dans des vergers d'amandiers en Californie. Une des explications est la complémentarité d'activités qui est associée à une communauté de pollinisateurs plus riche : les abeilles sauvages étant actives à de plus basses températures, elles peuvent polliniser les fleurs d'amandiers plus tôt dans la journée (Demestihis et al., 2017). De plus, comme évoqué plus loin, l'effet sélection peut également expliquer l'augmentation de l'efficacité d'une communauté riche en insectes pollinisateurs via une plus forte probabilité de sélection d'individus compétitifs. Ainsi, la diversité de pollinisateurs peut augmenter l'efficacité globale de pollinisation.

1.1.4.2 La dépendance des espèces fruitières aux insectes pollinisateurs de Klein et al. (2007) : un score permettant de quantifier la part de pollinisation entomophile qui impacte les rendements des espèces fruitières

L'efficacité de pollinisation est également fonction de la **dépendance des espèces fruitières aux insectes pollinisateurs**.

Cette dépendance est reliée à certaines caractéristiques de la plante et à son mode de pollinisation (Klein et al., 2007). Les espèces fruitières qui peuvent s'autoféconder de manière autonome comme la

majorité des agrumes dépendent moins des insectes pollinisateurs. Les espèces capables d'émettre et de recevoir des grains de pollen par le vent comme les noyers et les noisetiers sont également moins dépendantes des pollinisateurs. En revanche, les espèces dioïques comme le kiwi seront fortement dépendantes de pollinisateurs permettant la fécondation des fleurs femelles situées sur d'autres pieds que les fleurs mâles.

L'efficacité de la pollinisation dépend également de la **spécialisation des arbres fruitiers à certaines espèces de pollinisateurs**, comme la figue exclusivement pollinisée par une espèce de guêpe (*Blastophaga psenes*) qui lui est inféodée (Therond et al., 2017). Toutefois, la très grande majorité des arbres fruitiers est généraliste (Tableau 45).

1.1.5 Les méthodes d'évaluation et les indicateurs du service de pollinisation en verger

Le service de pollinisation est l'un des services écosystémiques les plus étudiés et de nombreux indicateurs sont utilisés dans la littérature (Therond et al., 2017). Pourtant, il n'existe pas d'indicateur direct qui permet d'évaluer le service de pollinisation (Demestihis et al., 2017; Therond et al., 2017). Les indicateurs disponibles sont en général des déterminants du service mais ne quantifient pas directement le transfert de pollen (service écosystémique). Ces indicateurs indirects sont en général la composition des communautés de pollinisateurs (abondance et diversité) et les variables environnementales (climat, paysage) (Therond et al., 2017).

Le Tableau 47 résume les principaux indicateurs utilisés par quelques exemples de publications scientifiques en arboriculture.

Liss et al. (2013) ont publié une synthèse sur les différentes métriques utilisées pour mesurer ce service dans une large gamme de travaux de recherche incluant l'ensemble des cultures agricoles.

1.1.5.1 Les indicateurs indirects du service de pollinisation reliés à la présence et d'activité des pollinisateurs

La richesse et l'abondance des pollinisateurs sont couramment utilisées bien que ce soient des métriques indirectes, ne quantifiant pas le transfert de pollen en-lui-même mais un potentiel de pollinisation (Tableau 47) (Liss et al., 2013). L'étude EFESE (Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques, Théron, 2017) a par exemple cartographié la richesse de pollinisateurs à l'échelle française, en utilisant les données d'une démarche participative qui suit les espèces pollinisatrices sur les plantes à fleurs (SPIPoll) (SPIPOLL, 2018). La richesse et l'abondance des pollinisateurs peuvent être estimées en effectuant des observations en marchant au sein des vergers et en bordure pendant une durée limitée et plusieurs fois dans la journée (Samnegård et al., 2019). Les pollinisateurs peuvent être collectés sur les fleurs afin d'identifier précisément les espèces présentes.

Les indicateurs reliés à **l'activité et aux mouvements des pollinisateurs** permettent d'approcher plus finement le service de pollinisation que les indicateurs de diversité et d'abondance bien que cet indicateur soit également indirect comme par exemple le taux de visite des fleurs par les pollinisateurs (Tableau 47).

1.1.5.2 Les indicateurs de succès de pollinisation

Le succès de pollinisation est vérifié par des indicateurs tels que le **taux de nouaison des fruits ou le nombre de PEPINS ou NOYAUX présent dans le fruit**, voire l'observation dans certain cas de la formation du tube pollinique au sein de la fleur (Tableau 47) (Brittain et al., 2013). Cet indicateur permet de bien vérifier que la fleur a été fécondée et que la pollinisation a bien eu lieu. Cependant, pour certaines espèces comme la fraise qui peuvent être fécondées par gravité, par le vent et par les insectes, cet indicateur ne permet pas de discerner l'effet de l'agent pollinisateur par rapport aux autres modes de dispersion du pollen.

L'indicateur de production de fruits est également utilisé comme un indicateur plus indirect du succès de pollinisation (Tableau 47). Cet indicateur se rapprocherait plus du bénéfice fourni par le service de pollinisation que le service de pollinisation en lui-même. L'étude EFESE a par exemple utilisé un indicateur fondé sur les rendements des cultures, issues du Service de la Statistique et de la Prospective du Ministère de l'Agriculture basé sur la méthode de Deguines et al. (2014). Cette méthode utilise les données de rendements des cultures, la dépendance des cultures aux pollinisateurs issues de la publication de (Klein et al., 2007) et un indice d'intensité des pratiques agricoles, dérivé de l'indicateur « High Nature Value ». Cependant, l'indicateur de production de fruits, tout comme l'indicateur du taux de nouaison confondent les effets d'autres caractéristiques de la situation de production, dont les pratiques agricoles (l'irrigation ou l'application de fertilisants) (Demestihis et al., 2017; Liss et al., 2013).

Tableau 47 Les divers indicateurs utilisés pour quantifier le service de pollinisation en verger

Principaux indicateurs utilisés pour évaluer le service de pollinisation	Exemples de publications utilisant ces indicateurs pour évaluer le service de pollinisation en verger
Diversité des pollinisateurs (e.g. richesse et aux indicateurs de diversité)	(Sheffield et al., 2013) (Russo et al., 2015) (Földesi et al., 2016) (Kammerer et al., 2016) (Eeraerts et al., 2017) (Saunders and Luck, 2018) (Ganser et al., 2018) (Samnegård et al., 2019)
Abondance des pollinisateurs (e.g. nombre de pollinisateurs qui visitent les fleurs)	(Artz et al., 2013) (Saunders et al., 2013) (Sheffield et al., 2013) (Cross et al., 2015) (Russo et al., 2015) (Kammerer et al., 2016) (Eeraerts et al., 2017) (Ganser et al., 2018) (Samnegård et al., 2019)
Activité des pollinisateurs (e.g. taux de visites de fleurs)	(Brittain et al., 2013) (Campbell et al., 2017) (Ganser et al., 2018) (Silva et al., 2019)
Succès de pollinisation (e.g. nouaison des fruits, nombre de graines présentes dans le fruit, efficacité de germination du pollen dans la fleur)	(Brittain et al., 2013) (Eeraerts et al., 2017) (Campbell et al., 2017) (Silva et al., 2019)
Production de fruits (quantité, qualité)	(Garratt et al., 2014) (Samnegård et al., 2019)

1.1.5.3 Les indicateurs de disponibilité des ressources pour les pollinisateurs

La valeur pollinisatrice (« pollination value ») est un **indicateur fondé sur la composition des communautés végétales et les traits (caractéristiques morphologiques) des espèces présentes dans ces communautés** (Ricou et al., 2014). Le caractère favorable ou non des traits pour la pollinisation permet de calculer une valeur pollinisatrice par espèce végétale puis pour l'ensemble de la

communauté végétale. Cet indicateur est adapté à une échelle fine mais il semble difficile de l'utiliser à plus large échelle (Therond et al., 2017). Cet indicateur, utilisé pour évaluer la valeur pollinisatrice de bordures de champs en grandes cultures, pourrait être utilisé pour estimer les valeurs pollinisatrices de l'enherbement semé ou spontané présent dans l'inter-rang des vergers.

Les ressources en nectar ont été cartographiées en Grande-Bretagne (Baude et al., 2016). Des mesures expérimentales de quantités de nectar produites par un large panel de fleurs ont été effectuées. Une cartographie précise des habitats naturels et de la composition floristique des habitats a permis de cartographier les ressources en nectar à l'échelle nationale (Figure 39).

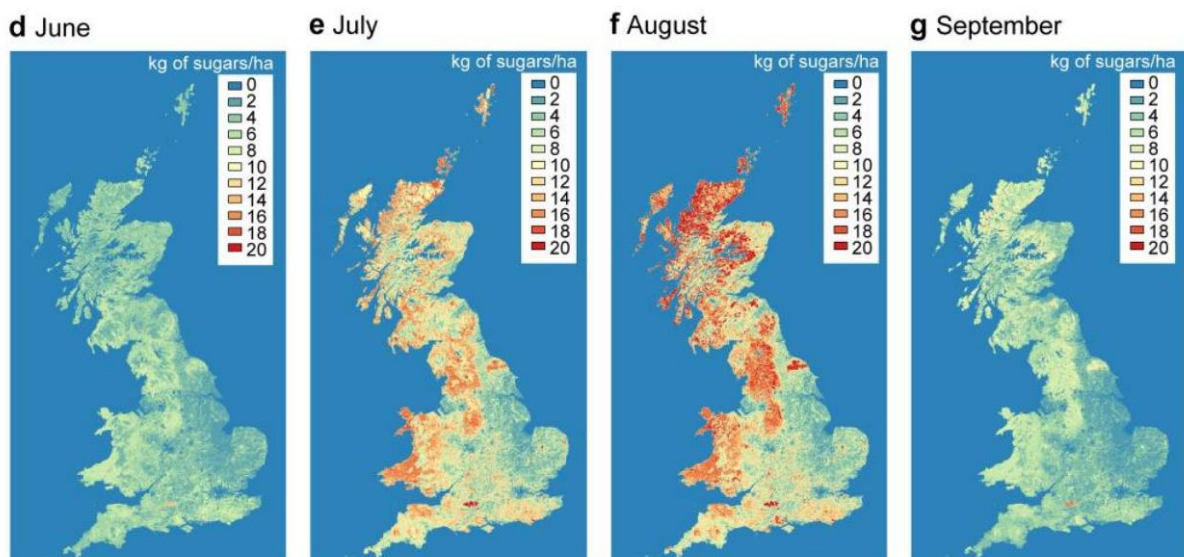


Figure 1 Cartographie anglaise de quantité de nectar produite par un large panel d'espèces spontanées. Source : Baude et al. (2016)

1.1.5.4 Le potentiel de pollinisation : un indicateur composite utilisé par EFSE pour cartographier le service de pollinisation potentiel sur le territoire français

Zulian, Maes, et Paracchini (2013) ont cartographié un indicateur du service de pollinisation nommé « index de potentiel relatif de pollinisation » à l'échelle de l'Europe. **Le potentiel relatif de pollinisation ou « Relative Pollination Potential » estime la capacité d'une culture à fournir le service de pollinisation des plantes cultivées par des insectes pollinisateurs à vol court.** Cette méthode est dérivée du modèle InVEST développé pour cartographier des services écosystémiques à des échelles plus locales. La Figure 40 résume les principales étapes que le modèle effectue pour calculer l'indicateur final. A partir des scores de disponibilité de ressource et d'habitat établis pour chaque occupation de sol, le modèle génère un index d'abondance relative d'abeilles sauvages pour chaque type d'occupation (Figure 40). Le modèle prédit ensuite cet index pour d'autres espèces de pollinisateurs à partir de leurs distances de vol, comparées à celle de l'abeille sauvage. Le potentiel relatif de pollinisation est calculé à partir de l'aptitude relative d'une occupation de sol à fournir un habitat et des ressources florales et l'activité moyenne des abeilles (relié aux conditions climatiques). Le potentiel relatif de pollinisation varie de 0 à 1.

Les disponibilités en ressources florales et l'aptitude à fournir des habitats ont été estimées à partir de la littérature et de dires d'experts pour un large spectre de cultures (Tableau 49). Les occupations de sol ont été notées de 0 à 1 et un score de 0,5 signifie que 50% de l'occupation de sol fournit des habitats et des ressources florales disponibles.

Les données d'abondance et la diversité des pollinisateurs sont issues du Suivi Photographique des Insectes Pollinisateurs (SPIPoll), un programme de sciences participatives. Le protocole est assez simple : pendant 20 minutes, l'observateur volontaire photographie tous les invertébrés visitant les fleurs qu'il a précédemment identifiées. Des outils d'identification en ligne lui permettent d'identifier les insectes pollinisateurs pris en photo (plus d'informations : <http://www.spipoll.org/>).

Flow chart outlining the setup of the pollination model which results in the calculation of the relative pollination potential.

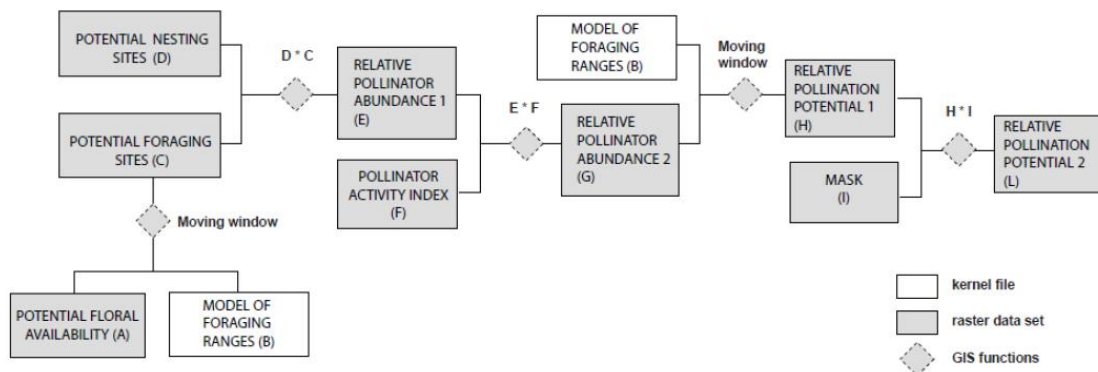


Figure 2 Schéma résumant les étapes du modèle de Zulian et al. (2013) qui permet de calculer le potentiel relatif de pollinisation. Source : Zulian et al. (2013)

Les principales limites de ce modèle sont qu'il n'a pas été calibré empiriquement (essentiellement des données provenant de la littérature ou de dires d'experts), ni validé avec des données de terrain. De plus, il ne prend pas directement en compte les pratiques des agriculteurs pouvant impacter sur le service de pollinisation.

1.1.5.5 Une approche idéale pour quantifier le service de pollinisation

Selon l'étude EFESÉ, une très bonne méthode consiste à comparer la production (nombre et qualité des graines et des fruits) de :

- 1) Fleurs pollinisées librement
- 2) Fleurs pour lesquelles les pollinisateurs sont exclus
- 3) Fleurs avec supplémentation de pollen

La supplémentation de pollen permet d'éviter les effets confondants de la réallocation de ressources entre fleurs (Therond et al., 2017). Samnegård et al. (2019) ont par exemple calculé le déficit de pollinisation en calculant la différence entre le taux de nouaison des fleurs avec supplémentation de pollen et le taux de nouaison des fleurs pollinisés librement (une valeur positive indique un déficit de pollinisation).

1.1.6 Evaluation du service de pollinisation en verger

1.1.6.1 Les ressources offertes par les grandes masses florales des vergers fruitiers : plusieurs dizaines de kilos de pollen et plusieurs centaines de kilos de nectar produits chaque année par hectare dans les vergers à pollinisation entomophile

Le Tableau 48 présente la masse florale, la productivité en nectar, sucre et pollen des vergers à pollinisation entomophile. Ces données proviennent du travail de cartographie réalisé en Angleterre par Baude et al. (2016) et du livre « Traité Rustica sur l'Apiculture » de Clément et al. (2008).

Tableau 48 Masse florale et quantité de ressources (nectar et pollen) produite par les espèces fruitières. Ad : absence de données. Source : (Baude et al., 2016; Clément, 2002)

Espèce fruitière	Masse florale (nb de fleurs/ha)	Productivité de nectar (kg/ha/an)	Concentration du nectar en sucre (%)	Productivité en sucre (kg/ha/an)	Productivité de pollen (kg/ha/an)	Attractivité totale pour les pollinisateurs
Abricotier	1 million	70	25 - 35%	18 - 25	0,6 – 1,7	Elevée
Amandier	Dizaines de millions	15 – 60	29 - 35%	5 - 21	11 - 20	Elevée
Cerisier	Dizaines de millions	42 - 105	20 - 60%	9 - 63	2 - 20	Elevée
Châtaignier	ad	14	ad	ad	ad	ad
Framboisier	ad	194	ad	ad	ad	ad
Kiwi	200 000	Absence de nectar	Absence de nectar	Absence de nectar	Production de pollen de faible qualité nutritive	Limitée
Pêcher	1 million	Sécrétion mais pas de quantité estimée	ad	ad	1,1 – 2,2	Elevée
Poirier	5 à 10 millions	75 – 190	< 25%	19 - 48	6 - 19	Faible (seulement le pollen)
Pommier	5 à 10 millions	450 – 1050	< 55 %	248 - 578	6 - 20	Elevée
Prunier	Plusieurs millions	168 – 6300	20 - 60%	34 - 3780	4 - 20	Moyenne (selon la concentration du nectar)

Les vergers représentent une masse florale considérable (Clément, 2002) : de 200 000 fleurs/ha pour le kiwi à plusieurs dizaines de millions pour le prunier, l'amandier et le cerisier (Tableau 48). Les quantités produites de nectar peuvent être impressionnantes lorsqu'elles sont ramenées à l'hectare et à l'année : de 14 kg/ha/an pour le châtaignier à 6,3 tonnes/ha/an pour le prunier (valeur maximale). Les concentrations du nectar en sucre diffèrent selon les espèces : des concentrations plutôt basses pour le poirier (25%) ce qui nuit à son attractivité des pollinisateurs jusqu'à des concentrations pouvant atteindre 60% pour le prunier ou le cerisier. La productivité en sucre peut donc être calculée : de 5 kg/ha/an pour l'amandier à 3780 kg/ha/an pour le prunier. Le pollen, qui représente une seconde ressource est estimée à 0,6 kg/ha/an de production à 20 kg/ha/an pour le prunier, le pommier, l'amandier et le cerisier. L'attractivité globale de chaque espèce est estimée dans le Tableau 48 selon

Clément (2002). L'abricotier, l'amandier, le cerisier et le pommier sont les espèces ayant la plus forte attractivité. Le poirier et l'arbre à kiwi sont moins attracteurs (nectar peu concentré pour le poirier et non produit pour le kiwi).

1.1.6.2 Les vergers se démarquent des autres cultures en termes de fourniture d'habitat et de ressources aux pollinisateurs

Cette production de ressources florales est un atout des vergers par rapport à la majorité des autres cultures. Le modèle de Zulian et al. (2013) permet de comparer les scores attribués à une large gamme d'espèces. Le score entre 0 à 1 de disponibilité en ressource florale des vergers est de 0,9 égalé par le colza et du tournesol, deux espèces ayant également une forte production de nectar et de pollen (Tableau 49) (Zulian et al., 2013). Les vergers ont également des scores d'aptitude à fournir des habitats quatre fois plus élevés que les céréales et oléagineux. Ceci est à relier à la structure multistrate des vergers offrant une grande diversité de refuge.

Tableau 49 Score des disponibilités en ressources florales et d'aptitude à fournir des habitats établi pour certaines espèces. Source : Tableaux en annexe de la publication de Zulian et al (2013)

Cultures	Espèces	Score de disponibilité en ressource florale score sur 1	Score d'aptitude à fournir des habitats aux insectes pollinisateurs score sur 1
Céréales	Blé	0,05	0,1
	Maïs	0	0,1
	Autres	0,05	0,1
Oléagineux	Colza, tournesol	0,9	0,1
	Soja	0,5	0,1
Légumes	Tomates	0,7	0,4
	Autres	0,75	0,4
Fruits	Pomme, poire, pêche, raisin de table agrumes et autres	0,9	0,4
	Olive de table	0,5	0,1
	Olive destinés à produire de l'huile	0,6	0,6

1.1.6.3 La cartographie française du service de pollinisation : les vergers situés dans des territoires à fort potentiel de pollinisation

La Figure 41 présente la cartographie du potentiel relatif de pollinisation issue du modèle de Zulian et al. (2013) comparée à l'occupation des sols français.

Un gradient de pollinisation croissant peut être observé sur la Figure 41 du nord au sud. Ce gradient s'explique par l'activité accrue des pollinisateurs dans les zones aux températures plus élevées (Zulian

et al., 2013). Le potentiel relatif de pollinisation est faible lorsque les cultures arables dominent comme dans la Beauce en France. Les grands bassins fruitiers sont situés dans les zones à fort potentiel de pollinisation : Occitanie méditerranéenne avec une forte implantation du vignoble, la vallée du Rhône, la vallée de la Basse-Durance, le vignoble bordelais et le Val de Loire.

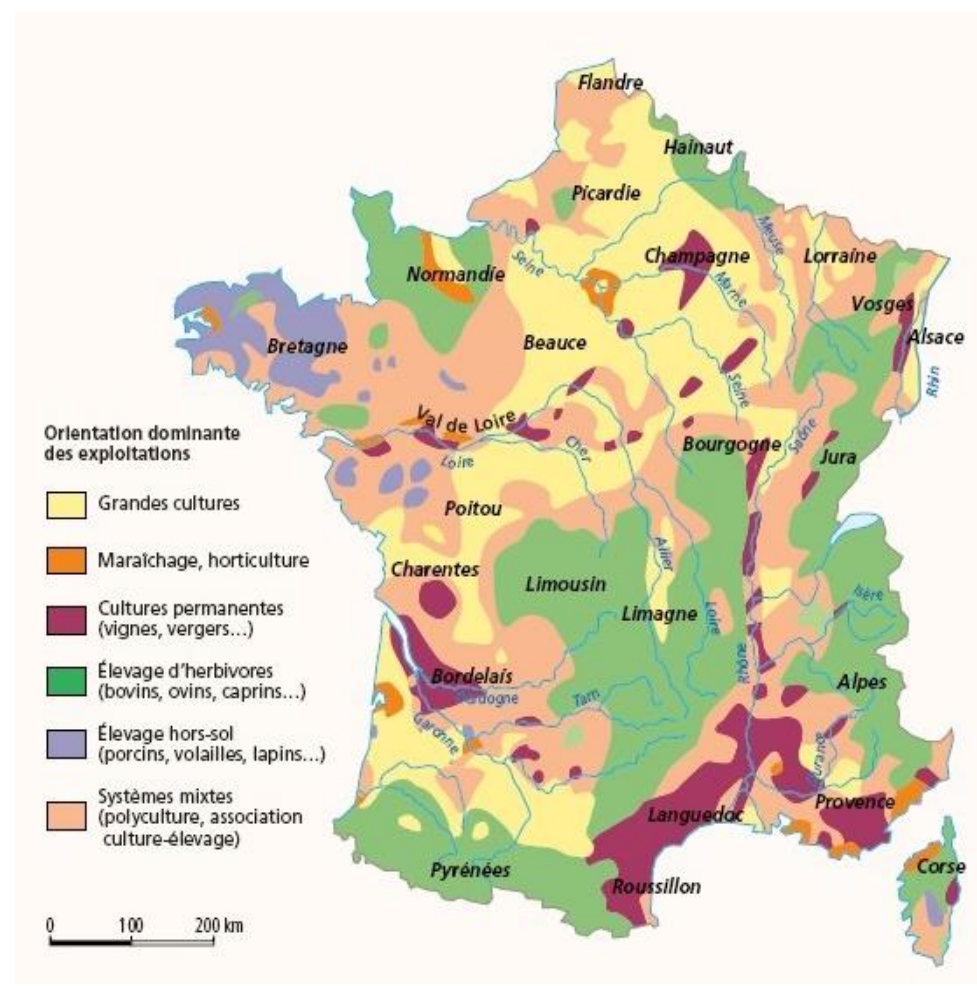
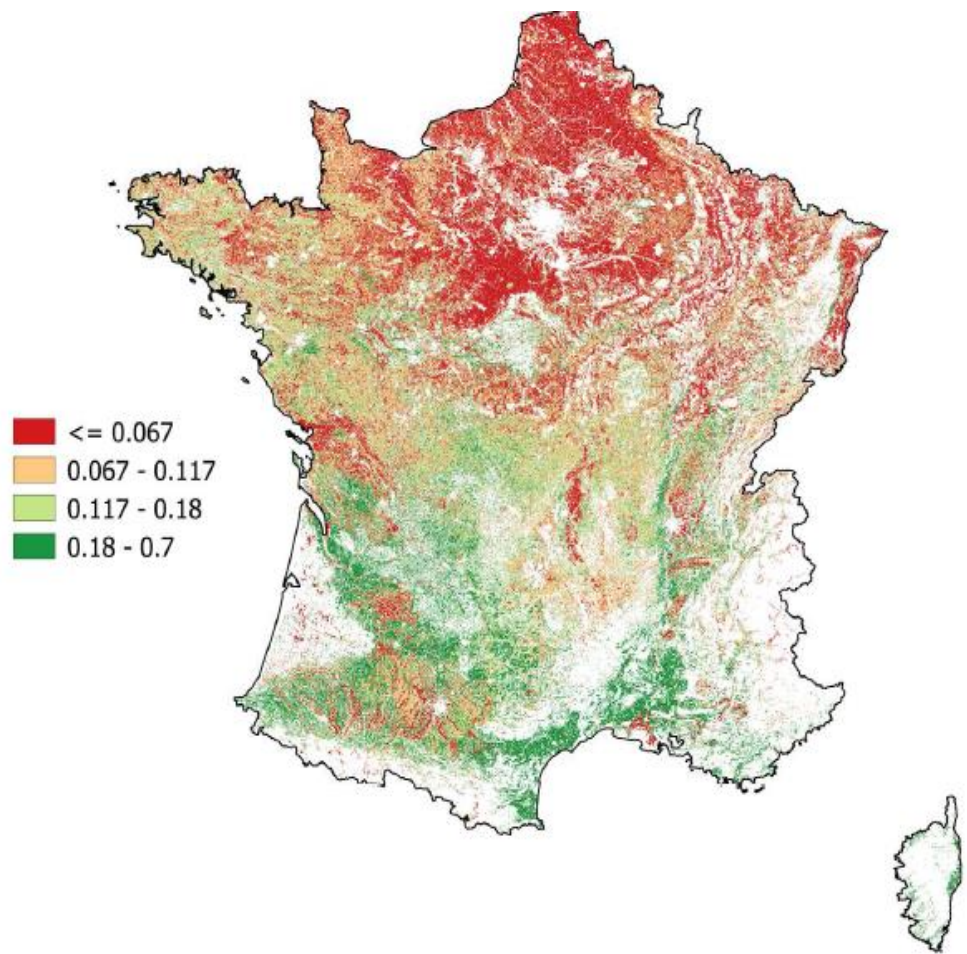


Figure 3 A gauche, potentiel relatif de pollinisation du territoire français calculé par Zulian et al. (2013) et à droite la répartition des grands types de cultures en France.

CARTE FRUITIERE

1.1.7 Les pratiques d'introduction de pollinisateurs dans les vergers

1.1.7.1 Les recommandations de chargement de ruches en verger : 5 ruches/ha en moyenne

L'introduction de ruches d'abeilles domestiques permet d'assurer au producteur un service de pollinisation optimal. Le nombre de colonies recommandées à l'hectare dépend des caractéristiques des espèces fruitières (auto-compatibles/auto-incompatibles), de leurs attractivité (production de nectar et de pollen) et de leur dépendance à la pollinisation. Ces recommandations sont présentées dans le Tableau 50, issu du Traité Rustica de l'Apiculture (Clément, 2002).

Le nombre de colonies recommandé à l'hectare varie de 1 à 5 (pour le pommier) à 8 à 12 pour le kiwi.

Tableau 50 Nombre de colonies recommandé par hectare pour les espèces fruitières dépendantes de la pollinisation entomophile. Source : (Clément, 2002)

Espèces fruitières	Types de variétés	Nombre de colonies recommandé par hectare
Abricotier	Autocompatibles	3 à 5
	Auto-incompatibles	8 à 10
Amandier	Autocompatibles	3 à 5
	Auto-incompatibles	8 à 10
Cerisier	Autocompatibles	2 à 4
	Auto-incompatibles	6 à 8
Kiwi	Dioïque	8 à 12
Pêcher	Autocompatibles	0,5 à 2,5
Poirier	Autocompatibles	4 à 6
Pommier	Autocompatibles	1 à 5
Prunier	Autocompatibles (e.g. Mirabelle de Nancy)	5 à 7
	Partiellement autocompatibles (e.g. Quetsche et Reine-Claude)	2,5 à 5

1.1.7.2 Les pratiques d'introduction de pollinisateurs en Rhône-Alpes : 65% des producteurs les mettent en place

Une enquête a été menée par la Chambre d'Agriculture de Rhône-Alpes en 2011 afin d'évaluer l'utilisation de ruches par les arboriculteurs des 3 principaux bassins de production de cette région (Rhône -Loire ; Drôme - Isère - Ardèche ; Savoie - Haute-Savoie) (Rault, 2011). Un échantillon de 20 producteurs a été interrogé pour chaque bassin de production.

En Rhône, Loire, Drôme, Isère et Ardèche, les producteurs ont jugé la densité de pollinisateurs sauvages comme étant « très faible » à « moyenne » (Rault, 2011). Dans ces régions, 65% à 70% des producteurs utilisent la pollinisation introduite. Au contraire, dans les régions Savoie et Haute-Savoie, la densité de pollinisateurs est estimée de « forte » à « très forte ». Dans ces régions, seules les productions de pommes et de poires sont pollinisées en apportant des ruches (20% des producteurs).

D'après l'enquête annuelle des Vergers Ecoresponsables auprès de leurs producteurs, 57% des exploitations en pommes et poires mettraient en œuvre une pratique de pollinisation introduite.

D'après l'enquête effectuée par la Chambre d'Agriculture Rhône-Alpes, l'utilisation de colonies d'abeilles est majoritaire (71% des arboriculteurs l'utilisent) par rapport à l'utilisation de bourdons (*Bombus terrestris*) (Figure 42).

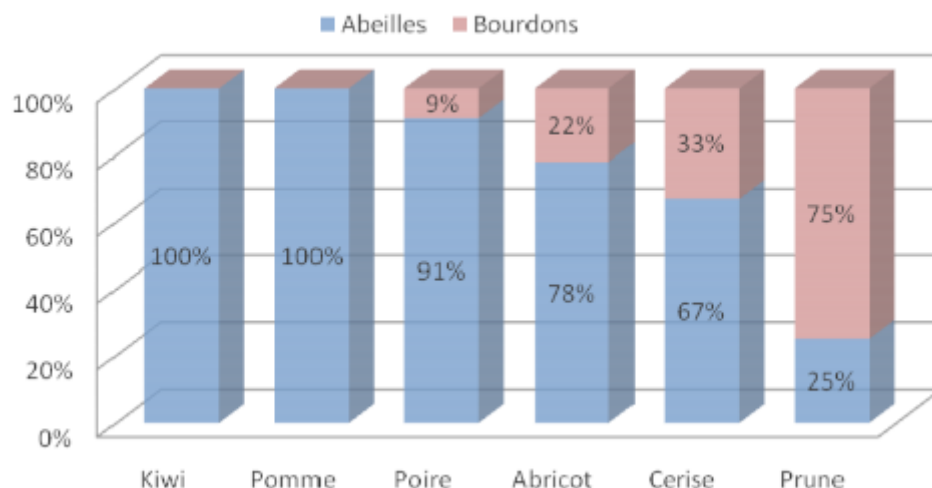


Figure 4 Proportion d'abeilles et de bourdons introduits en verger selon les espèces fruitières. Source : Rault (2011)

En moyenne, le chargement de colonies est systématiquement inférieur aux recommandations du Traité Rustica sur l'Apiculture (Figure 43 & Tableau 50). D'après l'enquête de la Chambre d'Agriculture Rhône-Alpes, les coûts de location de colonies seraient le principal facteur qui expliquerait ce faible chargement.

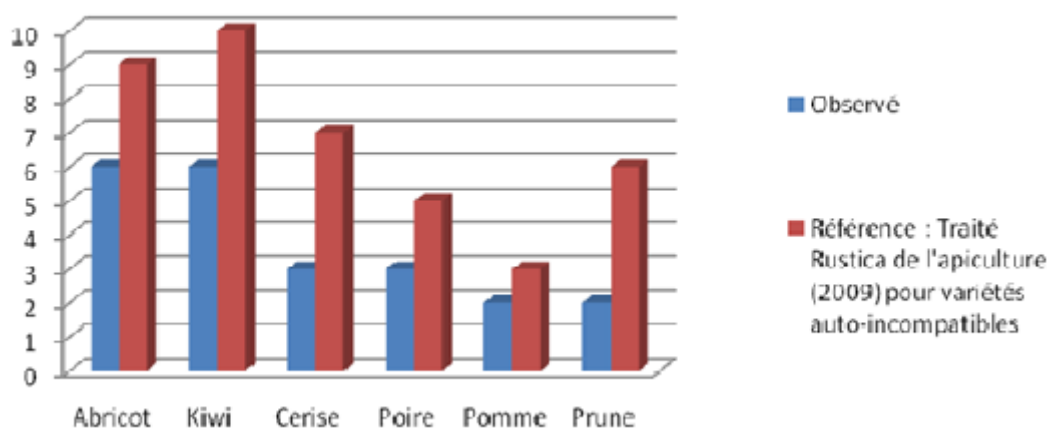


Figure 5 Comparaison des références et des pratiques réelles de chargement moyen en colonies d'abeilles par espèces fruitières (nb ruches/ha). Source : Rault (2011)

Bibliographie

- Artz, Derek R., Matthew J. Allan, Gordon I. Wardell, and Theresa L. Pitts-Singer. 2013. "Nesting Site Density and Distribution Affect *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae) Reproductive Success and Almond Yield in a Commercial Orchard." *Insect Conservation and Diversity* 6 (6): 715–24. <https://doi.org/10.1111/icad.12026>
- Badillo-Montano, Raul, Armando Aguirre, and Miguel A. Munguia-Rosas. 2019. "Pollinator-Mediated Interactions between Cultivated Papaya and Co-Flowering Plant Species." *Ecology and Evolution* 9 (1): 587–97. <https://doi.org/10.1002/ece3.4781>
- Baude, Mathilde, William E. Kunin, Nigel D. Boatman, Simon Conyers, Nancy Davies, Mark A. K. Gillespie, R. Daniel Morton, Simon M. Smart, and Jane Memmott. 2016. "Historical Nectar Assessment Reveals the Fall and Rise of Floral Resources in Britain." *Nature* 530 (7588): 85–88. <https://doi.org/10.1038/nature16532>
- Brittain, Claire, Neal Williams, Claire Kremen, and Alexandra-Maria Klein. 2013. "Synergistic Effects of Non-Apis Bees and Honey Bees for Pollination Services." *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 280 (1754): 20122767. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2767>
- Campbell, Alistair J., Andrew Wilby, Peter Sutton, and Felix L. Wäckers. 2017. "Do Sown Flower Strips Boost Wild Pollinator Abundance and Pollination Services in a Spring-Flowering Crop? A Case Study from UK Cider Apple Orchards." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 239 (February): 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.005>
- Clément, Henri. 2002. *Traité Rustica de l'Apiculture*. Rustica.
- Cross J. 2018. "Arthropod Ecosystem Services in Apple Orchards and Their Economic Benefits - CROSS - 2015 - Ecological Entomology - Wiley Online Library." n.d. Accessed November 15, 2018. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/een.12234>
- Cross, Jerry, Michelle Fountain, Viktor Markó, and Csaba Nagy. 2015. "Arthropod Ecosystem Services in Apple Orchards and Their Economic Benefits." *Ecological Entomology* 40 (S1): 82–96. <https://doi.org/10.1111/een.12234>
- Deguines, Nicolas, Clémentine Jono, Mathilde Baude, Mickaël Henry, Romain Julliard, and Colin Fontaine. 2014. "Large-Scale Trade-off between Agricultural Intensification and Crop Pollination Services." *Frontiers in Ecology and the Environment* 12 (4): 212–17. <https://doi.org/10.1890/130054>
- Eeraerts, Maxime, Ivan Meeus, Sanne Van Den Berge, and Guy Smagghe. 2017. "Landscapes with High Intensive Fruit Cultivation Reduce Wild Pollinator Services to Sweet Cherry." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 239: 342–48. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.031> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880917300415>
- Földesi, Rita, Anikó Kovács-Hostyánszki, Ádám Kőrösi, László Somay, Zoltán Elek, Viktor Markó, Miklós Sárospataki, et al. 2016. "Relationships between Wild Bees, Hoverflies and Pollination Success in Apple Orchards with Different Landscape Contexts: Importance of Wild Pollinators in Apple Orchards." *Agricultural and Forest Entomology* 18 (1): 68–75. <https://doi.org/10.1111/afe.12135>
- Gallai, Nicola, Jean-Michel Salles, Josef Settele, and Bernard E. Vaissière. 2009. "Economic Valuation of the Vulnerability of World Agriculture Confronted with Pollinator Decline." *Ecological Economics* 68 (3): 810–21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>
- Ganser, Dominik, Barbara Mayr, Matthias Albrecht, and Eva Knop. 2018. "Wildflower Strips Enhance Pollination in Adjacent Strawberry Crops at the Small Scale." *Ecology and Evolution* 8 (23): 11775–84. <https://doi.org/10.1002/ece3.4631>

- Garratt, M. P. D., T. D. Breeze, N. Jenner, C. Polce, J. C. Biesmeijer, and S. G. Potts. 2014. "Avoiding a Bad Apple: Insect Pollination Enhances Fruit Quality and Economic Value." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 184 (February): 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.032>
- Kammerer M., 2018. "Local Plant Diversity Across Multiple Habitats Supports a Diverse Wild Bee Community in Pennsylvania Apple Orchards | Environmental Entomology | Oxford Academic." n.d. Accessed November 15, 2018. <https://academic.oup.com/ee/article-abstract/45/1/32/2465554>
- Klein, Alexandra-Maria, Bernard E. Vaissière, James H. Cane, Ingolf Steffan-Dewenter, Saul A. Cunningham, Claire Kremen, and Teja Tscharntke. 2007. "Importance of Pollinators in Changing Landscapes for World Crops." *Proceedings. Biological Sciences* 274 (1608): 303–13. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Klein, Alexandra-Maria, Claire Brittain, Stephen D. Hendrix, Robbin Thorp, Neal Williams, and Claire Kremen. 2012. "Wild Pollination Services to California Almond Rely on Semi-Natural Habitat." *Journal of Applied Ecology* 49 (3): 723–32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02144.x>
- Lindgren J., 2018. "Local Conditions in Small Habitats and Surrounding Landscape Are Important for Pollination Services, Biological Pest Control and Seed Predation - ScienceDirect." n.d. Accessed November 15, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880917304255>
- Mody K., 2018, "Within-Orchard Variability of the Ecosystem Service 'Parasitism': Effects of Cultivars, Ants and Tree Location - ScienceDirect." n.d. Accessed November 15, 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1439179111000697>
- Ramírez, Fernando, and Thomas Lee Davenport. 2013a. "Apple Pollination: A Review." *Scientia Horticulturae* 162: 188–203. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.007>
- Rault, Cyrielle. 2011. "Analyse et description des besoins en pollinisation des exploitations arboricoles de Rhône-Alpes." *Chambre d'Agriculture Rhône-Alpes*.
- Ricard, Jean-Michel, Alain Garcin, Michel Jay, and Jean-François Mandrin. 2012. *Biodiversité et régulation des ravageurs en arboriculture fruitière*. Edited by Hortipratic. CTIFL. Hortipratic.
- Ricou, Charles, Chloé Schneller, Bernard Amiaud, Sylvain Plantureux, and Christian Bockstaller. 2014. "A Vegetation-Based Indicator to Assess the Pollination Value of Field Margin Flora." *Ecological Indicators* 45 (October): 320–31. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.03.022>
- Rosa García, Rocío, and Marcos Miñarro. 2014. "Role of Floral Resources in the Conservation of Pollinator Communities in Cider-Apple Orchards." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 183 (January): 118–26. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.017>
- Russo L., 2015. "The Challenge of Accurately Documenting Bee Species Richness in Agroecosystems: Bee Diversity in Eastern Apple Orchards - Russo - 2015 - Ecology and Evolution - Wiley Online Library." n.d. Accessed November 15, 2018. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.1582>
- Samnegård, Ulrika, Georgina Alins, Virginie Boreux, Jordi Bosch, Daniel García, Anne-Kathrin Happe, Alexandra-Maria Klein, et al. 2019a. "Management Trade-Offs on Ecosystem Services in Apple Orchards across Europe: Direct and Indirect Effects of Organic Production." *Journal of Applied Ecology* 56 (4): 802–11. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13292>
- Samnegård, Ulrika, Georgina Alins, Virginie Boreux, Jordi Bosch, Daniel García, Anne-Kathrin Happe, Alexandra-Maria Klein, et al. 2019b. "Management Trade-offs on Ecosystem Services in Apple Orchards across Europe: Direct and Indirect Effects of Organic Production." Edited by Jennifer Firn. *Journal of Applied Ecology* 56 (4): 802–11. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13292>
- Saunders M., 2018. "Resource Connectivity for Beneficial Insects in Landscapes Dominated by Monoculture Tree Crop Plantations: *International Journal of Agricultural Sustainability: Vol 14, No 1.*"

n.d. Accessed November 15, 2018.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14735903.2015.1025496>

Saunders Manu E., Gary W. Luck, and Margaret M. Mayfield. 2013. "Almond Orchards with Living Ground Cover Host More Wild Insect Pollinators." *Journal of Insect Conservation* 17 (5): 1011–25. <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9584-6>

Sheffield, Cory S., Peter G. Kevan, Alana Pindar, and Laurence Packer. 2013. "Bee (Hymenoptera: Apoidea) Diversity within Apple Orchards and Old Fields in the Annapolis Valley, Nova Scotia, Canada." *Canadian Entomologist* 145 (1): 94–114. <https://doi.org/10.4039/tce.2012.89>

Sheffield, Cory Silas. 2014. "Pollination, Seed Set and Fruit Quality in Apple: Studies with *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae) in the Annapolis Valley, Nova Scotia, Canada." *Journal of Pollination Ecology* 12. [https://doi.org/10.26786/1920-7603\(2014\)11](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2014)11)

Silva, S. R., N. M. Almeida, K. M. M. de Siqueira, J. T. Souza, and C. C. Castro. 2019. "Isolation from Natural Habitat Reduces Yield and Quality of Passion Fruit." *Plant Biology* 21 (1): 142–49. <https://doi.org/10.1111/plb.12910>

SPIPOLL, 2018. 2018. "Publications Scientifiques." SPIPOLL Suivi Photographique Des Insectes Pollinisateurs. 2018. <http://www.spipoll.org/publications-scientifiques>

Sykes, S. R. 2008. "The Effect on Citrus Fruit of Excluding Pollinating Insects at Flowering and Implications for Breeding New Seedless Cultivars." *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 83 (6): 713–18. <https://doi.org/10.1080/14620316.2008.11512449>

Therond O. (coord.), Tichit M. (coord.), Tibi A. (coord.), Accatino F., Biju-Duval L., Bockstaller C., Bohan D., Bonaudo T., Boval M., Cahuzac E., Casellas E., Chauvel B., Choler P., Constantin J., Cousin I., Daroussin J., David M., Delacote P., Derocles S., De Sousa L., Domingues Santos J.P., Dross C., Duru M., Eugène M., Fontaine C., Garcia B., Geijzendorffer I., Girardin A., Graux A-I., Jouven M., Langlois B., Le Bas C., Le Bissonnais Y., Lelièvre V., Lifran R., Maigné E., Martin G., Martin R., Martin-Laurent F., Martinet V., McLaughlin O., Meillet A., Mignolet C., Mouchet M., Nozières-Petit M-O., Ostermann O.P., Paracchini M.L., Pellerin S., Peyraud J-L., Petit-Michaut S., Picaud C., Plantureux S., Poméon T., Porcher E., Puech T., Puillet L., Rambonilaza T., Raynal H., Resmond R., Ripoche D., Ruget F., Rulleau B., Rusch A., Salles J-M., Sauvant D., Schott C., Tardieu L. (2017). Volet "écosystèmes agricoles" de l'Évaluation Française des Ecosystèmes et des Services Écosystémiques (EFESE). Rapport d'étude, Inra (France), 966 pages.

Zulian, Grazia, Joachim Maes, and Maria Paracchini. 2013. "Linking Land Cover Data and Crop Yields for Mapping and Assessment of Pollination Services in Europe." *Land* 2 (3): 472–92. <https://doi.org/10.3390/land20304>

Composition du groupe de travail :

Dominique Grasselly, coordinateur (CTIFL), Françoise Lescourret, coordinatrice (INRA), Marie-Charlotte Bopp, cheffe de projet (CTIFL-INRA), Denis Bergère (AFIDEM), Emmanuel Demange (Interfel), Anne Guérin (IFPC), Pascale Guillermin (AgroCampusOuest Angers), Christian Hutin (CTIFL), François Laurens (INRA), Stéphanie Prat (FNPF), Natacha Sautereau (ITAB), Matthieu Serrurier (CTIFL), Pierre Varlet (ANPP), Sylvie Colleu (INRA).

Pour citer ce document :

M-C. Bopp, D. Grasselly, F. Lescourret, D. Bergère, E. Demange, A. Guérin, P. Guillermin, C. Hutin, F. Laurens, S. Prat, N. Sautereau, M. Serrurier, P. Varlet, S. Colleu. *Les services rendus par les cultures fruitières, Chapitre 4.2, Le service de pollinisation*, 2019, CTIFL-INRA.

Synthèse et rapport disponibles sur : <https://www.gis-fruits.org/Groupes-thematiques/Approche-systeme/Rapport-Services-rendus-par-les-cultures-fruitieres>

DOI : <https://prodinra.inra.fr/record/483007>

Licence CC : BY NC ND