



Ctifl



Les services rendus par les cultures fruitières

Chapitre 4.1 ***La biodiversité présente en vergers***

Extrait du rapport rédigé par Marie-Charlotte Bopp

Septembre 2019

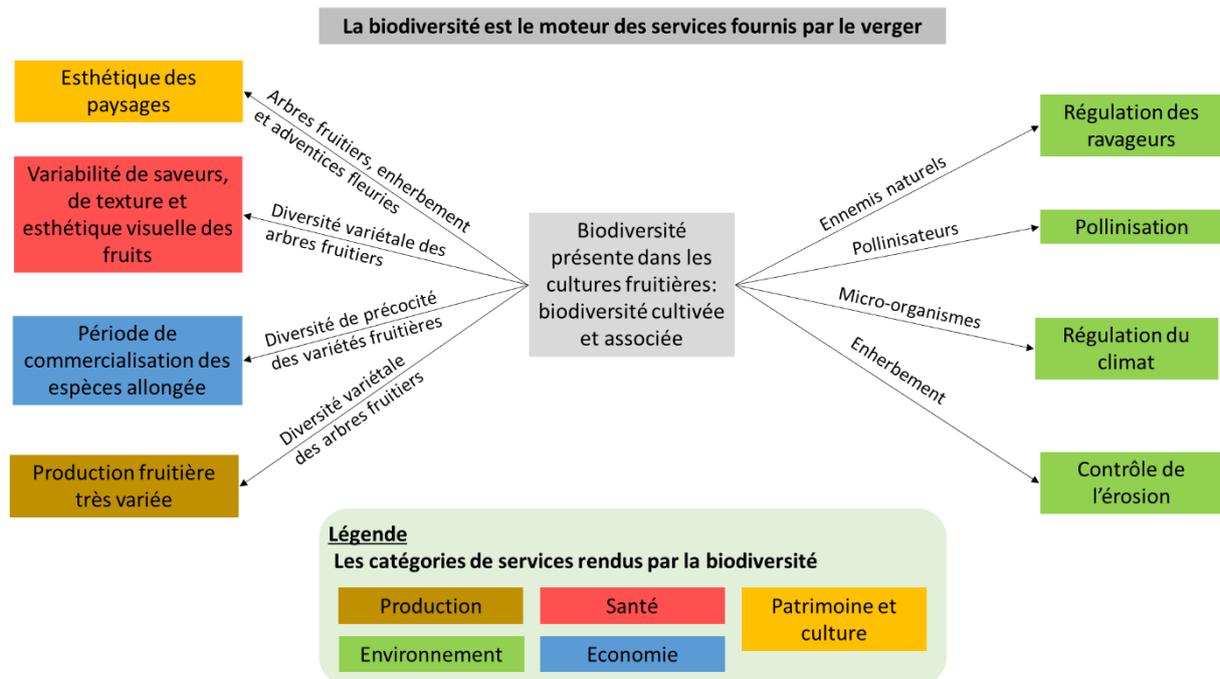
Coordination :

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

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

1.1 La biodiversité présente en verger : le moteur des services écosystémiques de régulation

Nous présenterons dans un premier temps les atouts liés à la diversité cultivée, puis les différentes catégories de biodiversité associée aux vergers. Nous verrons enfin quelles sont les pratiques susceptibles de favoriser ou défavoriser cette diversité.



Des exemples de services rendus par la biodiversité, pour chaque service, la couleur de l'encadré correspond à une catégorie de service.

1.1.1 La biodiversité mise en place par les producteurs de fruits dans les vergers : diversité des espèces et des variétés fruitières cultivées en France

La biodiversité mise en place par les producteurs dans les vergers est à deux niveaux : diversité des espèces fruitières et diversité des variétés au sein des espèces.

La biodiversité « domestique » des cultures fruitières peut s'appréhender grâce à des indicateurs simples (Preud'Homme et al., 2009) : la détermination du nombre d'espèces fruitières et de variétés, au sein des exploitations ou existant sur le territoire français.

1.1.1.1 La diversité des espèces fruitières en France

La France, de par sa situation géographique et son climat, permet la production d'une grande diversité de fruits. Cet aspect est traité dans le paragraphe de la partie Production.

1.1.1.2 La très grande diversité de variétés de cultures fruitières : dénombrement des ressources génétiques cultivées et disponibles

En agriculture, les variétés sont définies comme des populations de plantes appartenant à la même espèce qui ont été sélectionnées pour répondre aux besoins de l'Homme (GEVES, 2019).

Au-delà de la biodiversité que représentent les variétés fruitières, elles sont également un atout économique pour les filières et les exploitations fruitières (Plénet et al., 2018). La diversité variétale permet tout d'abord de diversifier l'offre de fruits répondant aux attentes des consommateurs

(diversité de goûts, de couleurs...) et également aux attentes des acteurs de la filière fruits (résistance aux bio-agresseurs, meilleure conservation...) (Plénet et al., 2018). Cette diversité permet également une variabilité de périodes de récolte, offrant une plus longue période de disponibilité de fruits sur le marché.

Ainsi, nous avons fait le choix d'aborder les variétés fruitières dans la partie « Biodiversité agricole » mais nous aurions pu également les considérer dans la partie « production » (diversité de production), dans la partie « économie » (offre variée aux consommateurs) ou dans la partie patrimoine et culture pour les variétés françaises (variétés anciennes en conservatoire).

1.1.1.2.1 Des centaines de variétés de fruits cultivées en France

Il est difficile d'estimer le nombre de variétés qui sont effectivement cultivées en France. Certaines études recensent les principales variétés mais elles ne permettent pas d'appréhender la réelle diversité des variétés cultivées. En 2012, à la demande de la FNPF et d'autres organismes professionnels, une enquête nommée « Inventaire Verger » a été menée par le Service de la Statistique et de la Prospective (SSP) pour recenser les surfaces de variétés cultivées en France. L'un des objectifs de cette enquête était d'avoir un suivi de l'évolution des surfaces et de la réalité sanitaire des vergers dans le cadre de la lutte contre certaines maladies comme la sharka.

- **Une cinquantaine de variétés cultivées en verger de cerisiers**

Plus d'une vingtaine de variétés de cerisiers est recensée par l'inventaire « vergers » mené par Agreste en 2012 (Annexe 6). Ce chiffre serait sous-estimé par rapport à la cinquantaine de variétés cultivées en France (Communication personnelle, A. Boubennec (CTIFL)). 4 variétés occupent la moitié des surfaces de cerisiers (Burlat, Summit, Napoléon, Belge). Burlat, variété traditionnelle, est la première variété cultivée occupant près de 22% des superficies (Annexe 6).

- **Plus de 200 variétés cultivées en verger d'abricotier**

Plus d'une trentaine de variétés d'abricotiers est recensée dans l'inventaire « Verger » établi par Agreste en 2012. Cette diversité variétale serait sous-estimée car les adhérents de l'Association d'Organisation de Producteurs des Pêches et des Abricots de France cultiveraient 211 variétés d'abricots (Communication personnelle). Quatre variétés représentent près de la moitié de la surface d'abricotiers : Bergeron, Orangé de Provence, ORANGERED® Barth et BERGAROUGE® Avirine cov (Annexe 7). En Abricot, l'offre variétale enregistre une forte progression (Figure 27).

Le grand nombre de variétés cultivées en abricotiers permet d'offrir un calendrier large de commercialisation ainsi qu'une diversité de produits (différentes couleurs, calibres et rapport qualité-prix) (Lichou and Jay, 2012). Les variétés Soledane TOM COT® Toyaco sont par exemple des variétés à maturité précoce (début juin) tandis que les variétés Farbaly (Carmingo®), Farfia (Carmingo®) ou Bergécot sont des variétés plus tardives.

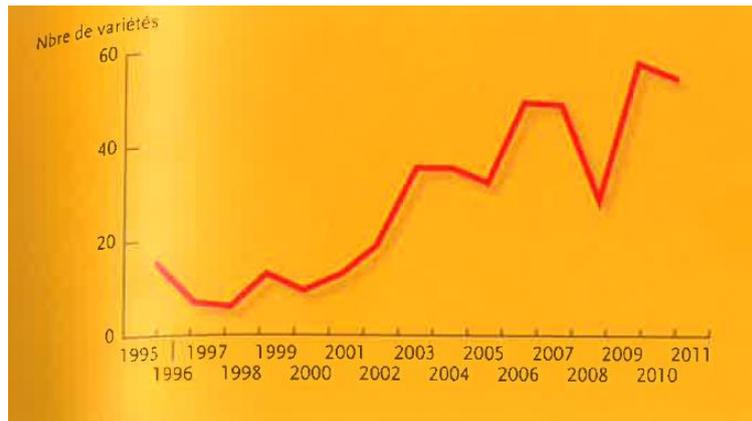


Figure 1 Augmentation du nombre de variétés d'abricots soumis à l'évaluation en verger. Source : Lichou&Jay (2012)

- **Plus de 600 variétés cultivées en verger de nectariniers et de pêchers**

La filière nectarine et pêche se démarque par une diversité variétale très élevée : plus d'une quarantaine de variétés de nectarines et plus d'une cinquantaine de variétés de pêches sont recensées dans l'inventaire verger d'Agreste en 2012 (Annexe 8 & Annexe 9). A nouveau, cet inventaire sous-estimerait le nombre total de variétés cultivées en France. Selon le dernier inventaire de l'Association d'Organisation de Producteurs des Pêches et des Abricots de France, les adhérents de cette AOP cultiveraient 211 variétés d'abricots et 614 variétés de pêches et de nectarines. L'Association d'Organisation de Producteurs des Pêches et des Abricots de France représente 60% de la production d'abricots et entre 70 et 80% de la production de pêches et de nectarines et les résultats sont donc assez représentatifs de la production française.

- **Une quarantaine de variétés cultivées en verger de prunier de table**

Plus de 25 variétés sont recensées dans l'inventaire d'Agreste effectué en 2012. Selon l'AOP Prunes, une quarantaine de variétés serait cultivée en France.

- **Une centaine de variétés cultivées de pommes de table**

La pomme est caractérisée par une importante innovation variétale (Plénet et al., 2018). Plus de 65 groupes variétaux sont recensés par l'ANPP dans le Tableau 1, représentant une centaine de variétés cultivées en France. Le Tableau 1 présente les surfaces 2018 des variétés produites par les adhérents de l'ANPP ainsi que les surfaces des grandes variétés 2013 recensées par le Service Statistique de la Prospective du Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.

Les variétés de Golden, de Gala et de Cripps Pink représentent la moitié des surfaces cultivées en pomme des adhérents de l'ANPP.

Plusieurs variétés tolérantes à la tavelure sont disponibles (Juliet®, Story Innoled®, Opal®) et représentent 3,6% des surfaces.

Tableau 1 Surface des variétés de pommes en 2013 selon le Service Statistique de la Prospective (SSP) et en 2018 selon l'ANPP

	Source ANPP			Source SSP	
		2018	Part de la surface totale (% de surface adhérente à l'ANPP)	2013	Part de la surface totale (% de surface française en pomme)
TOTAL		23 875	100%	37848	100%
GOLDEN		6 064	25,4 %	11315	34,4%
	Reinders	1 399			
	Smoothee	995			
	Clone 972	794			
	Leratess	185			
	Parsi da Rosa	373			
	Rosagold Quemoni	61			
	Gradiyel	24			
GALA		5 082	21,3 %	6154	18,7%
	Brookfield Beigent	1 261			
	Galaxy	744			
	Galaval	818			
	Mondial Gala	375			
	Jugala	303			
	Simmons Buckeye	272			
	Galastar	224			
	Royal Gala	155			
CRIPPS PINK		2 289	9,6 %		
	Rosy Glow	1 686			
GRANNY		1 855	7,8 %	3063	9,3%
	Granny Smith	945			
	Challenger	781			
FUJI		982	4,1 %	1429	4,4%
	Zhen Aztec	352			
	Fubrax Kiku	157			
	Raku Raku	64			
	September Wonder	52			
	Hesei	66			
TOLERANTE TAVELURE		848	3,6 %	1033	3,1%
	Juliet®	198			
	Story Innoered®	106			
	Opal	88			
	Evelina® Roho	68			
	RegalYou®	64			
	Antarès®	63			
	Daliclass	47			
	Ladina	38			
	Swing®	24			
BELCHARD		847	3,5 %		

ROUGES AMERICAINES	780	3,3 %	1132	3,4%
Jeromine	271			
Red Chief	183			
Erovan	87			
Scarlet Spur	82			
Starkrimson Spur	40			
Oregon Spur	28			
CANADA GRIS	673	2,8 %		
BRAEBURN	661	2,8 %	1580	4,8%
Maririred	290			
Hillwell/Hidala	76			
Redfield	82			
JAZZ® SCIFRESH	576	2,4 %		
ELSTAR	355	1,5 %	895	2,7%
BICOLORES DIVERSES	342	1,4 %	1211	3,7%
Pinova	92			
Envy®	62			
Akane	34			
Delbard Jubilé	26			
JONAGOLD	342	1,4 %	919	2,8%
Jonagored	116			
Daliryan	73			
HONEY CRUNCH®	317	1,3 %		
JOYA®	248	1 %		
ARIANE®	244	1 %		
DALINETTE	152	0,6 %		
BOSKOOP	151	0,6 %	469	1,4%
TENTATION®	148	0,6 %	206	0,6%
GOLDRUSH	106	0,4 %		
REINETTES (toutes)	380	1,6%	3442	10,5%
REINE DES REINETTES	276	1,2 %		
AUTRES REINETTES	104	0,4 %		
Clochard	27			
Sainte Germaine	25			
D'Armorique	33			
POLLINISATEURS	87	0,4 %		
Golden GEM	22			
Evereste Perpetu	26			
Baugène	15			
RUBINETTE	84	0,4 %		
IDARED	68	0,3 %		
AUTRES	229	1 %		

- **Plus d'une centaine de variétés cultivées en pomme à cidre**

L'IFPC estime qu'il existe 25 variétés de pommiers à cidre basse-tige représentant environ 90% de la surface. Au total, une centaine de variétés de pommiers basse-tige sont cultivées en France (Communication personnelle, Y. Gilles (IFPC)). Les systèmes plus extensifs à haute-tige et les vergers conservatoires représentent un potentiel de ressources génétiques encore plus importants : jusqu'à un millier de variétés serait cultivé (Communication personnelle, Y. Gilles (IFPC)).

- **Une dizaine de variétés cultivées en verger de poires**

Le Tableau 2 présente les surfaces de variétés de poires des adhérents de l'ANPP en 2018. Plus de 13 variétés de poires sont dénombrées dans le recensement de l'ANPP. Les variétés de poires d'été (William's et Guyot) sont très représentées (environ 50% de la surface totale des adhérents de l'ANPP) (Tableau 2). La variété de poire d'automne-hiver Conférence représente 1/5 des surfaces adhérentes. Ainsi, les principales variétés permettent la production de poire sur une large gamme de temps.

Tableau 2 Surface des variétés de poires en 2018 selon l'ANPP. Source : ANPP, 2018

Variété	Surface ANPP 2018 (ha)	Part de la surface totale (% de surface adhérente à l'ANPP)
TOTAL	1 825	100
WILLIAM'S	597	32,7
GUYOT	281	15,4
AUTRES POIRES D'ETE	2	0,1
CONFERENCE	357	19,6
COMICE	210	11,5
ANGELYS	75	4,1
PASSE CRASSANE	47	2,6
SWEET SENSATION	32	1,7
Q TEE	10	0,5
BEURRE HARDY	3	0,1
AUTRES POIRES D'AUTOMNE	169	9,3
Louise Bonne d'Avranches	64	
Packam's	19	
Alexandrine	15	
Harrow Sweet	16	
SS TOTAL POIRES ETE	880	48,2
SS TOTAL POIRES AUTOMNE HIVER	903	49,5
Autres POIRES	42	2,3

- **Au total, plus d'une centaine de variétés cultivées dans les parcelles de verger en France**

Le Tableau 3 résume le nombre de variétés effectivement cultivées pour les principales espèces fruitières.

Tableau 3 Résumé du nombre de variétés effectivement cultivées de quelques espèces fruitières

Espèce fruitière	Nombre de variétés représentant au moins 1% de la surface du verger national
Abricotier	19
Cerisier	18
Pêcher et nectarinier	56
Prunier	16
Pommier de table	16 groupes variétaux
Pommier à cidre	Pas d'estimation ¹
Poirier	10

1.1.1.2.2 Catalogue variétal des espèces fruitières : 1500 variétés disponibles et commercialisables en France

Le GEVES (Groupe d'Etude et de contrôle des Variétés Et des Semences) conduit des études pour évaluer les variétés afin de les inscrire au catalogue officiel. Ce catalogue officiel des espèces et des variétés établit la liste des variétés dont les semences ou plants peuvent être commercialisés en France. Le Tableau 4 dénombre les variétés inscrites dans ce catalogue. Il rapporte un total de **1482 variétés d'espèces fruitières inscrites**. Les pêchers, nectariniers et les pommiers représentent plus de la moitié des variétés fruitières (29% pour les pêchers et nectariniers et 27% pour les pommiers). Les variétés d'abricotiers représentent également une part importante du nombre de variétés totales inscrites (11%). Dans ce catalogue et contrairement à d'autres catégories de cultures, aucune espèce fruitière n'est menacée « d'érosion génétique ».

Les cultures fruitières se distinguent par l'utilisation très fréquente de porte-greffes, ce qui augmente la diversité génétique de ces cultures. Le catalogue du GEVES répertorie également les porte-greffes et les espèces fruitières dont ils sont issus. Le Tableau 5 dénombre **88 porte-greffes commercialisables en France**.

Tableau 4 Nombre de variétés d'espèces fruitières inscrites au Catalogue Officiel des Espèces et Variétés de plantes cultivées et commercialisables en France. Source : GEVES, 2019

Espèce fruitière	Nombre de variétés inscrites
Pêcher et nectarinier	426
Pommier (de table et à cidre)	402 (286 p. de table et 116 p. à cidre)
Abricotier	162
Poirier (asiatique et européen)	87
Cerisier (acide et doux)	81
Prunier (européen et japonais)	79
Châtaignier	45
Fraisier	44
Noyer	31
Framboisier	22
Noisetier	20

¹ Cependant, 25 variétés recouvrent 90% de la surface de vergers de pommiers à cidre

Olivier	20
Amandier	14
Cassis	13
Groseillier	11
Oranger	7
Cognassier à fruits	5
Mandariner	4
Clémentinier	2
Pomelo	2
Tangelo	2
Tangor	2
Citronnier	1
Total	1482

Tableau 5 Nombre de porte-greffes de cultures fruitières inscrits au catalogue officiel des espèces et variétés de plantes cultivées en France. Source : GEVES, 2019

Espèces dont sont issues les porte-greffes	Nombre porte-greffes inscrits
Prunier	41
Pommier	22
Cerisier	15
Cognassier	6
Poirier	6
Pêcher	5
Noyer	3
Amandier x Pêchers	2
Oranger x Citron	2
Citron	2
Prunier x Pêchers	2
Abricotier	1
Rangpur	1
Total	88

Le catalogue du GEVES sous-estime la réelle diversité génétique des espèces fruitières. En effet, de nombreuses variétés, pour lesquelles la procédure d'inscription au catalogue n'a pas été mise en œuvre, ne sont pas représentées dans cette liste officielle (Communication personnelle, Y. Gilles (IFPC) & P. Varlet (ANPP)).

1.1.1.2.3 Les vergers conservatoires et les Centres de Ressources Génétiques, des patrimoines précieux de biodiversité conservant des milliers d'accessions

En France, la conservation des ressources génétiques se structure autour de réseaux de conservation (partenariat public-privé de mise à disposition de matériel, programme de recherche européen, association de particuliers passionnés...) (Direction générale de l'Alimentation, 2015). Les principaux conservatoires institutionnels sont l'INRA (dans les Centres de Ressources Biologiques), le GEVES, les universités (Agrocampus Ouest), le CIRAD (Centre de coopération International en Recherche

Agronomique pour le Développement) et l'IRD (Institut de recherche pour le développement). De nombreuses associations contribuent également à la conservation des ressources génétiques (conservatoires régionaux ou financés par les collectivités territoriales, Fruits Oubliés) ainsi que des agriculteurs et des particuliers. Le conservatoire génétique des agrumes à San Giuliano en Corse est l'un des conservatoires gérés par l'INRA qui stocke le plus grand nombre d'accessions² (1200 accessions). Le SIREGAL (Plant Genetic Resources Information System) est une plateforme de distribution d'accessions gérées par les Centres de Ressources Biologiques de l'INRA. Ces accessions sont distribuées en petite quantité dans des buts de recherche, de développement et de préservations biologiques (GnplS, 2017). Le Tableau 6 présente le nombre d'accessions générées par la plateforme SIREGAL. Cette grande diversité d'accessions disponibles pour des fins de recherche représente un autre aspect de la diversité génétique des cultures fruitières.

Tableau 6 Nombre d'accessions disponibles pour la recherche conservée par les Centres de Ressources Biologiques de l'INRA. Source : SIREGAL

Espèces fruitières	Nombre d'accessions disponibles
Cerises	183
Prunes	70
Abricots	156
Pommes de table	669
Pommes à cidre	216
Poire	393
Pêche/nectarine	74

Ainsi, le patrimoine génétique des espèces fruitières est immense. Si 4 variétés de cerisiers sont connues du public, plus d'une trentaine de variétés sont cultivées en France. 82 variétés de cerisiers sont disponibles à la commercialisation (Tableau 4) et 183 sont préservées dans les Centres de Ressources Biologiques de l'INRA (Tableau 6).

Les ressources génétiques des variétés fruitières sont également conservées par des associations comme les Croqueurs de Pommes, les Fruits retrouvés, Atout Fruits etc.

² Une accession est un échantillon de semences distinct, identifiable de façon unique représentant un cultivar, une lignée ou une population, qui est maintenu en stockage pour la conservation et l'utilisation (<http://www.fao.org/wiews/glossary/fr/>). La différence entre une accession et une variété est le fait que les variétés sont inscrites au catalogue officiel. Au contraire, une accession n'est pas inscrite au catalogue et n'est pas commercialisée. Elle est une réserve génétique.

1.1.1.3 Intérêt de la richesse variétale des espèces fruitières en France

1.1.1.3.1 Offre d'une large gamme de variétés sur des périodes de récoltes étendues : l'exemple des pêches et des nectarines

La diversité variétale des fruits permet d'allonger les périodes de récoltes et par conséquent de disponibilité sur le marché. La Figure 28 illustre bien la large gamme de variétés disponibles en pêche et nectarine et la période étendue de récolte, permise par la succession resserrée de chaque variété dans le temps (GRAB and INRA, 2016). Ainsi, l'offre en variété de pêcheurs et de nectariniers permet d'étaler les périodes de récolte de début juin à mi-septembre (GRAB and INRA, 2016) : des variétés précoces comme la variété de nectarine jaune « Nectaprima » ou la variété de pêche jaune « Crisptolam » à des variétés tardives comme la variété de nectarine blanche « Nectarelse » et la variété de pêche blanche « Sweetember » (Figure 28).

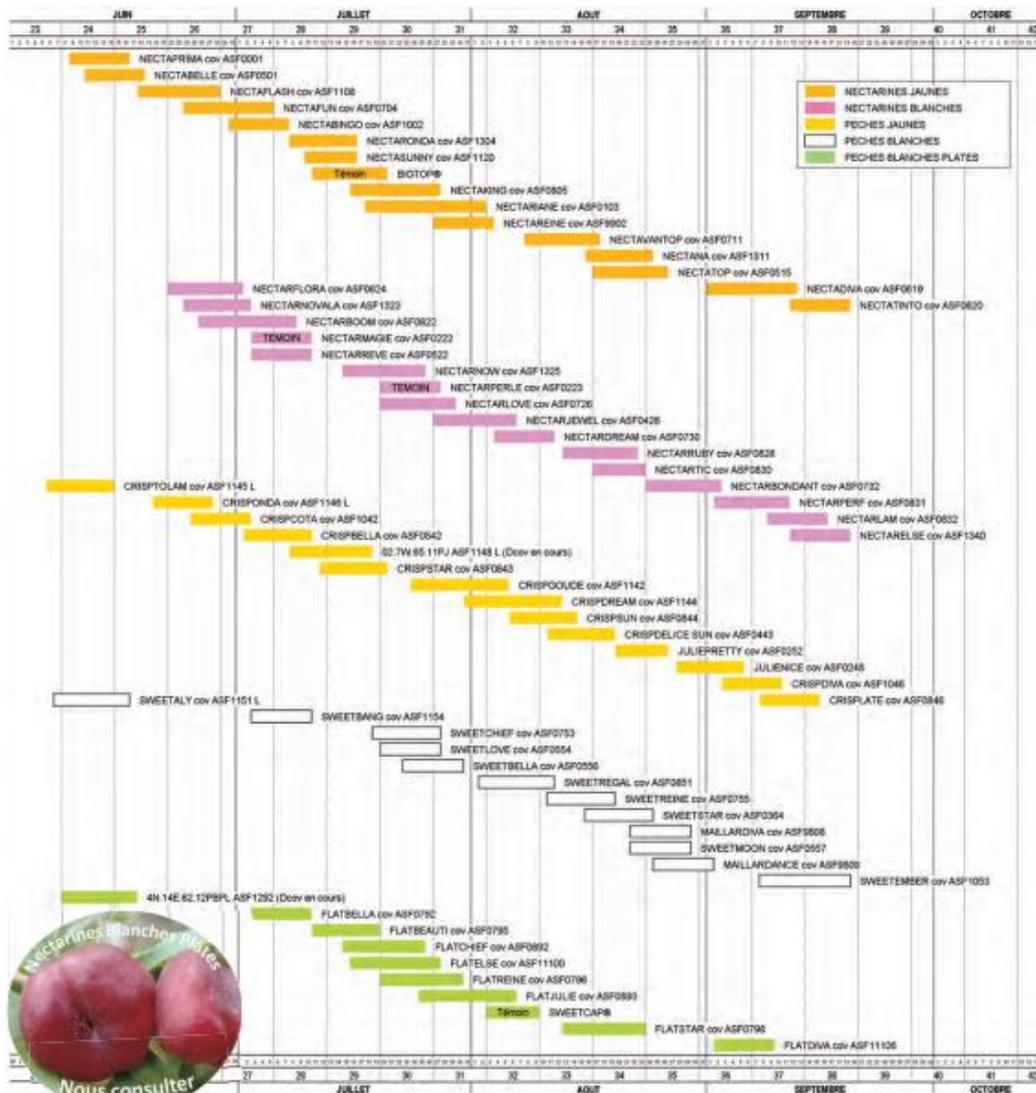


Figure 28 Date de récolte de différentes variétés de pêches et de nectarine. Source : GRAB&INRA (2016)

1.1.1.3.2 Offre de fruits variée en goût, en couleur et en calibre

La diversité variétale permet de varier l'offre en goût, en couleur, en forme et en taille. La Figure 29 illustre la variabilité visuelle de 4 variétés de prunes en couleur, en forme et en taille (photos issues de la Photothèque du CTIFL). La variété Plumcot (photo en haut à gauche) est un hybride issu d'un

croisement entre un abricot et une prune japonaise. Sa chair est souvent parfumée et très sucrée. La variété TC sun (photo en haut à droite) fait partie de la gamme des prunes américano-japonaise. Sa coloration jaune-orangé et sa résistance à la conservation sont ses principaux atouts. La variété « Sunkiss » (photo en bas à gauche) est également une prune américano-japonaise, qui est particulièrement juteuse. La variété « Orange Siom » est une variété de questche plutôt destinée à être dégustée en confiture, dans des tartes, compotes etc.



Figure 3 Différentes variétés de prunes ayant des couleurs, formes et tailles différentes. Chaque photo est prise à la même échelle. En haut à gauche, variété « Plum Cot » ; en haut à droite, variété « TC sun » ; en bas à gauche, variété « Sunkiss » ; en bas à droite, variété « Prune Orange Siom » Source : Photothèque CTIFL

1.1.1.3.3 La diversité variétale : un levier d’action pour diminuer les dommages liés aux bio agresseurs en diminuant l’utilisation de pesticides (l’exemple de l’abricot)

La diversité génétique des espèces fruitières est un réservoir précieux afin de sélectionner des espèces résistantes à certains bioagresseurs. La sélection variétale des abricots a permis d’obtenir des espèces tolérantes à la tavelure, c’est-à-dire que le rendement n’est pas impacté par cette maladie (GRAB and INRA, 2016). L’INRA et le GRAB conduisent des essais variétaux pour évaluer cette tolérance pour les variétés classiques présentes sur le marché en absence de traitements fongicides. Les résultats de ces essais pour la tavelure sont présentés dans la Tableau 28. De très fortes différences de sensibilité à la tavelure ont été quantifiées (de 0% de fruits tavelés à 72%). La variété « Early Blush® » s’est révélée être une variété tolérante avec une absence de dégât. Au contraire, la variété « Hargrand » présentait le plus de dégâts (72% de fruits tavelés).

Ainsi, en l’absence de fongicide, certaines variétés d’abricots peuvent présenter de très faibles dégâts de tavelure. Ainsi, **la diversité variétale est un levier d’action contre les bioagresseurs et pourrait permettre de diminuer la dépendance des vergers aux intrants, comme les pesticides.**

Tableau 1 Pourcentage moyen de fruits tavelés aux récoltes 2009 et 2010 pour 12 variétés classiques d'abricotier. Source : GRAB & INRA (2016)

	Pourcentage moyen de fruits tavelés (a)
Early Blush® (2928) Rutbhart	0 % A
Malice® (2241) Avikot	3,4 % AB
Orangered® (2892) Bhart	9,6 % ABC
Bergeron (660)	13,1 % BC
Bergarouge® (2914) Avirine	16,9 % CD
Tardif de Tain (2490)	24,6 % DE
TomCot® (2669) Toyaco	25,4 % DE
Vertige (3845)	28,9 % EF
Goldrich (2184)	36,2 % EF
Polonais (1352)	39,6 % FG
Frisson (2821)	48,6 % G
Hargrand (1814)	71,4 % H

(a) Les valeurs suivies de lettres différentes sont statistiquement différentes au seuil de 5 % (test Newman-Keuls) – Moyennes ajustées suite à une analyse de variance pour un dispositif à 4 blocs.

1.1.1.4 Les variétés fruitières de demain : quels futurs critères de sélection ?

La richesse génétique des espèces fruitières est particulièrement précieuse car elle permet de façonner les nouvelles variétés de demain en fonction des caractères souhaités à l'avenir : amélioration de la qualité des fruits, résistance aux bioagresseurs, adaptation au changement climatique, etc.

Une étude récente a été menée par FranceAgriMer, l'INRA et le CTIFL en mars 2018 pour anticiper les caractéristiques des variétés fruitières de demain (FranceAgriMer, 2018). Les quatre scénarios qui ont été retenus étaient les suivants :

- **Scénario 1 : innovations variétales pour des vergers adaptés au changement climatique**

Dans ce scénario, une forte variabilité des productions fruitières induite par le réchauffement climatique relocalise les bassins de production. La politique agricole européenne devient plus interventionniste et les conditions de concurrence sont homogénéisées sur les standards européens en matière d'usage de pesticides et de coût de travail. Dans ce contexte, le scénario prévoit que la France s'appuie dans un premier temps sur la diversité de variétés, de territoires de production et d'influence climatique pour trouver des solutions rapides d'adaptation aux nouvelles conditions climatiques. A plus long terme, de nouveaux fonds génétiques seraient recherchés au-delà des frontières nationales. **Dans ce scénario, la filière s'organise autour de l'innovation variétale, qui devient l'axe prioritaire de recherche.**

- **Scénario 2 : une dynamique variétale encadrée pour un consommateur exigeant**

Dans un contexte de production variable sous influence climatique et des politiques publiques limitées, **ce sont les consommateurs qui encadrent la dynamique variétale.** Ils exigent des garanties d'absence de résidus de produits phytosanitaires sur les fruits, à des prix bas. Un développement des vergers en

agriculture biologique est attendu, associé à une forte stimulation de la recherche en produits de biocontrôle. **L'axe prioritaire de recherche étant la réduction d'usage de produits phytopharmaceutiques, l'innovation variétale porte ses efforts sur la création de variétés originales (goût, couleur) sans négliger la recherche de variétés multi-résistances.** Les variétés « oubliées » sont retenues dans les vergers extensifs.

- **Scénario 3 : création variétale fruitière au ralenti pour un marché de bas prix**

Dans ce scénario, le changement climatique a globalement peu d'effet (pas de relocalisation de la production fruitière, ni de nécessité de créer des variétés adaptées aux nouvelles conditions climatiques). Les politiques agricoles orientent les prix des fruits à la baisse et renoncent aux exigences normatives élevées. Les consommateurs ne sont plus inquiets sur la présence de résidus de produits phytopharmaceutiques ou sur la qualité sanitaire des fruits. **Le prix le plus bas devient le critère prioritaire des consommateurs. Dans ce contexte, l'innovation variétale est ralentie.**

- **Scénario 4 : les transformateurs pilotes de l'innovation variétale**

Dans ce scénario, le changement climatique a globalement peu d'effet et ne perturbe pas les calendriers de production et les niveaux de rendements. À la suite de crises sanitaires, à une montée des peurs alimentaires et à une mise en cause des produits phytosanitaires sur la santé humaine, les consommateurs exigent des garanties d'absences de résidus et de qualité sanitaire des fruits. De nombreux labels « zéro résidu » se développent. **L'innovation variétale se focalise sur la sensibilité aux bio-agresseurs et le zéro résidu mais également sur certaines qualités spécifiquement demandées par la transformation (aptitude à la mécanisation).** Dans ce contexte, **les variétés proposées par les sélectionneurs vis-à-vis des producteurs le sont pour leur facilité de culture, leurs faibles besoins en intrants et la possibilité de les contractualiser avec des transformateurs de plus en plus impliqués dans la sélection.**

Les critères de sélection des espèces fruitières changent en fonction des 4 scénarios présentés ici (adaptation au changement climatique, recherche de qualité gustative et visuelle, multi-résistance aux bioagresseurs, facilité de mécanisation...). **Pour chacun de ces scénarios à l'exception du scénario 3, l'innovation variétale est un levier majeur de l'adaptation des vergers aux attentes de demain.**

1.1.2 La biodiversité associée présente en verger : faune et flore associées aux arbres fruitiers

1.1.2.1 Les services écosystémiques rendus par les vergers dépendent fortement de la biodiversité

La biodiversité présente en verger est **le moteur de la fourniture de services écosystémiques** (Therond et al., 2017). De nombreux travaux ont en effet montré **un effet positif de la diversité sur la fourniture de services écosystémiques** (Cardinale et al., 2012; Harrison et al., 2014; Ricketts et al., 2016). Le Tableau 8 présente le sens des relations entre indicateurs de biodiversité et certains services écosystémiques (Harrison et al., 2014). Par exemple, le contrôle biologique et la pollinisation seraient corrélés positivement avec l'abondance et la richesse spécifique dans plus de 10% des publications analysées.

Tableau 8 Résumé des relations positives ou négatives entre des indicateurs de biodiversité et certain services écosystémiques. Seules les relations détectées dans 10% des 530 publications prospectées sont indiquées. Source : extrait du tableau de la review de Harrison et al. (2014) et Therond et al. (2017)

Service écosystémique	Abondance d'espèces	Richesse spécifique	Diversité spécifique ³
Contrôle biologique	+	+	
Pollinisation	+/-	+	
Régulation du climat		+	+
Contrôle de l'érosion	+		

Deux mécanismes ont été identifiés pour comprendre la relation entre la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes :

- 1) **La complémentarité entre espèces** : des espèces différentes sont susceptibles d'utiliser des ressources et des habitats différents, ce qui permet une meilleure exploitation des ressources disponibles (Cardinale et al., 2012; Tilman, 1997)
- 2) **L'effet sélection** : dans un écosystème avec une biodiversité importante, la probabilité de sélectionner un individu productif est élevée. Si cet individu appartient à une espèce qui détermine la productivité de l'écosystème, une corrélation positive est attendue entre la biodiversité et la productivité de cet écosystème (Tilman, 1997)

De plus, la biodiversité est susceptible de promouvoir la résilience des écosystèmes et donc des services écosystémiques fournis (Therond et al., 2017).

La biodiversité peut également être contraignante pour les vergers : les ravageurs des cultures sont l'exemple principal des contraintes liées à la biodiversité (Therond et al., 2017). Les vergers peuvent constituer des réservoirs de bioagresseurs. Nous pourrions citer le cas de *Xylella fastidiosa*, bactérie ravageuse d'un large spectre d'arbres fruitiers ayant des impacts économiques (arrachages de vergers d'oliviers) et sociaux (disparition des vergers d'oliviers centenaires traditionnellement cultivés dans les paysages de la région des Pouilles en Italie). Les insectes vecteurs véhiculant cette bactérie peuvent vivre sur des plantes hôtes à proximité voire au sein des vergers et ainsi diffuser la bactérie plus rapidement. Le cercope des prés (*Philaenus spumarius*), l'un des vecteurs identifiés de cette bactérie est par exemple capable de s'alimenter sur près d'un millier d'espèces végétales (Rasplus, 2015).

1.1.2.2 Les atouts des vergers en matière d'habitats pour les organismes vivants

Si les systèmes de culture peuvent altérer la biodiversité, notamment par l'impact des pratiques culturales, ils peuvent également contribuer à la biodiversité et promouvoir certaines espèces de plantes ou d'animaux (Le Roux et al., 2008). Parmi les cultures agricoles, **les vergers se distinguent particulièrement par leur fourniture d'habitats en faveur de la biodiversité** (Figure 30) (Simon et al., 2010).

- **Des habitats sur le long terme**

Le premier atout des vergers est relié à leur pérennité (de quelques années à plusieurs décennies en fonction des espèces cultivées). La présence sur une longue période d'une plante hôte peut favoriser

³ Les indicateurs de diversité spécifique comme les indicateurs de Simpson ou Shannon sont des indicateurs prenant en compte l'abondance d'espèces et la richesse (nombre d'espèces différentes présentes)

la présence d'insectes herbivores (y compris les ravageurs) ce qui bénéficie à plus large échelle au réseau trophique (Simon et al., 2010). Il a été démontré que la diversité des insectes mesurée dans des vergers de pommiers était plus élevée que dans les cultures annuelles (Kozar, 1992). Certaines études démontrent également que le contrôle biologique des ravageurs par les auxiliaires est plus élevé en cultures pérennes (Hall and Ehler, 1979; Risch et al., 1983). De plus, la litière du sol est susceptible de se développer au profit des détritivores, ce qui favorise indirectement la présence d'ennemis naturels des ravageurs des vergers (Longcore, 2003).

- **La structure multi-strate des vergers : une diversité d'habitats potentiels**

L'alternance haie-rang fruitier-inter-rang enherbé définit un premier niveau de stratification, horizontal (Figure 30). Les vergers possèdent également une structure diversifiée à la verticale, avec des strates basses (couvert herbacé de l'inter-rang), moyennes (arbres fruitiers) et hautes (haies en bordure de parcelles) (Figure 30). Cette diversité de structures procure une diversité d'habitats et de ressources pour la biodiversité : refuges pour passer l'hiver, aires de reproduction, nourriture comme le nectar et le pollen (Simon et al., 2010). La production de nectar contribue notamment à attirer les insectes pollinisateurs. Le pommier, l'amandier, le cerisier et le prunier sont des exemples d'espèces produisant une importante quantité de nectar.

- **La strate arborée**

L'architecture des arbres est complexe, et cette complexité favorise la diversité des insectes et l'abondance des ennemis naturels (Simon et al., 2010). A une échelle plus fine, les feuilles des arbres fruitiers peuvent offrir des habitats favorables (comme les domaties, petites poches liées à l'excroissance de nervures à l'intersection avec la tige) et des refuges (comme les trichomes, petits poils sur la surface inférieure des feuilles) (Figure 30). Les acariens par exemple utilisent fréquemment les domaties pour nidifier et les trichomes leur permettent de piéger plus facilement leurs proies (Kreiter et al., 2002). Ce lien entre complexité structurale et diversité/abondance des ennemis n'induit cependant pas forcément une meilleure régulation des bioagresseurs. Certaines études montrent que la prédation ou le parasitisme ne sont pas plus importants sur des feuilles à structure complexe, car cette complexité peut augmenter le temps à localiser les proies ou les hôtes (Skirvin, 2004).

- **La strate herbacée**

L'enherbement est généralement composé de poacées et d'adventices et parfois de légumineuses s'il est semé. La présence d'un enherbement favorise la diversité des insectes au sein du verger (Simon et al., 2010), et la diversité de l'enherbement augmenterait encore cette diversité, selon des études en verger de poirier (Rieux et al., 1999). D'autres études montrent cependant que le couvert peut également favoriser la présence de ravageurs (McClure, 1982; Meagher and Meyer, 1990).

- **La diversité des plantes en bordure de parcelles**

Les fruits étant des produits assez fragiles et à haute valeur économique, des haies coupe-vent sont fréquemment installées dans les régions ventées comme le Sud-Est de la France. Cependant, dans ces régions, ce sont souvent des haies monospécifiques, composées majoritairement de cyprès. La diversité d'espèces qui composent les haies contribuent à augmenter la diversité d'habitats au sein de la parcelle mais également à l'échelle du paysage (Benton et al., 2003). Cependant, cette hétérogénéité de structure à l'échelle du paysage peut également être un désavantage pour des méthodes de confusion sexuelle. En effet, ces méthodes ont une meilleure efficacité sur de larges surfaces continues, favorables à la diffusion des phéromones.

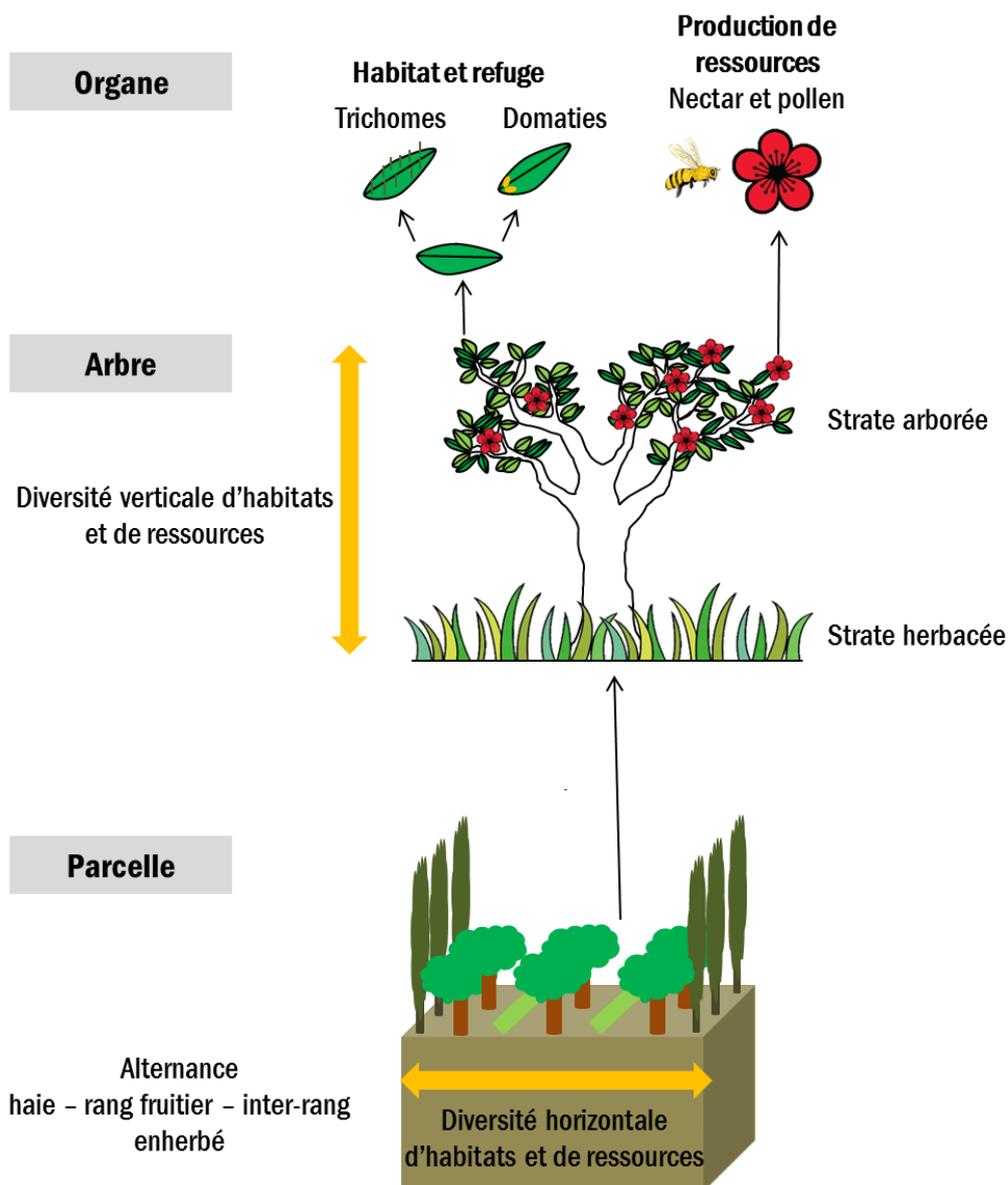


Figure 4 La diversité d'habitats et de ressources d'une parcelle de verger à différentes échelles

1.1.2.3 Evaluation de la biodiversité en verger

1.1.2.3.1 Les indicateurs de la biodiversité en verger

A la demande du ministère de l'Agriculture, un groupe de travail du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (MNHN) a étudié la disponibilité des indicateurs en milieu agricole (Preud'Homme et al., 2009). Un indicateur est le résumé d'une information complexe (ici, la biodiversité). Il doit être scientifiquement robuste, compréhensible et utilisable aisément par un large panel d'acteurs. Preud'Homme et al. (2009) remarquent que la plupart des indicateurs mesurés par la recherche actuelle portent sur la biodiversité domestique et sur le paysage. Peu d'indicateurs rapportent l'état de la biodiversité « sauvage », à l'exception de l'indicateur couramment utilisé « Oiseaux communs ».

- L'indicateur simple de la richesse spécifique

La richesse spécifique est le nombre d'espèces présentes dans un milieu donné. Il s'agit de l'indicateur le plus simple et le plus utilisé (Preud'Homme et al., 2009; Therond et al., 2017). Cet indicateur

présente pourtant des désavantages. Tout d'abord, il est peu sensible, c'est-à-dire qu'il faut des changements importants pour qu'il varie (Therond et al., 2017). Le faible nombre d'espèces connues dans certains groupes (micro-organismes) biaise les estimations : la richesse est sous-évaluée. De plus, cet indicateur ne permet pas d'anticiper la disparition ou l'apparition d'espèces liées à une pratique culturelle particulière. Il est peu informatif sur les dynamiques de la biodiversité.

- L'indicateur simple de l'abondance

L'abondance au contraire est plus sensible aux modifications de l'environnement et permet de caractériser les changements de biodiversité plus finement (Therond et al., 2017). Cet indicateur a notamment permis de mettre en évidence le déclin d'oiseaux inféodés aux systèmes agricoles.

- Les indicateurs composites de diversité

Les indicateurs composites utilisent des paramètres ayant au moins deux unités différentes. Ils prennent d'ailleurs souvent en compte l'abondance et la richesse spécifique. Les indicateurs composites sont ainsi plus exhaustifs que les indicateurs simples. L'étude menée par le MNHN reprend les indicateurs composites les plus classiques (Figure 31).

Le plus connu est sans doute l'*indice de Shannon-Weaver* :

$$H' = - \sum p_i \log_2 p_i$$

Avec p_i la proportion des individus de l'espèce i par rapport à tous les individus de toutes les espèces. ($= n_i / \sum n_i$). L'indice vaudra 0 s'il y a une seule espèce et sera maximum pour S espèces différentes, toutes dans la même proportion $1/S$.

L'*indice de Simpson* calcule la probabilité que deux individus choisis au hasard appartiennent à la même espèce.

$$D = \sum p_i^2$$

Avec p_i la proportion des individus de l'espèce i par rapport à tous les individus de toutes les espèces. ($= n_i / \sum n_i$). Cet indice est négativement corrélé avec la diversité (diversité maximale pour $D = 0$ et minimale pour $D = 1$). C'est pourquoi on peut aussi utiliser l'indice de diversité de Simpson : $E = 1 - D$.

L'*indice de Hill* reprend et combine les deux indices précédents.

$$Hill = (1/D)^{1/H'}$$

Avec $1/D$: l'inverse de l'indice de Simpson et $e^{H'}$: l'exponentiel de l'indice de Shannon-Weaver. Plus l'indice se rapproche de 1, plus la diversité est faible. Pour faciliter l'interprétation, il est possible de calculer l'inverse de l'indice (1-Hill).

L'*indice de Jaccard* permet de mesurer la différence de diversité entre deux sites :

$$C = j / (a + b - j)$$

Avec a la richesse sur le premier site, b la richesse sur le deuxième site et j le nombre d'espèces communes aux deux sites.

- L'*indice d'équitabilité* de Piélou prend seulement en compte les distributions d'abondance, c'est-à-dire les répartitions d'individus entre les espèces.

$$J' = H' / \log_2 S$$

Avec $\log_2 S$ qui correspond à la diversité maximale. Cet indice varie de 0 à 1, il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et il est minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement.

Figure 5 Principaux indicateurs de biodiversité composites. Source : Preud'Homme et al. (2009)

1.1.2.3.2 Peu de données disponibles sur la biodiversité dans les vergers

Il existe peu de données à l'échelle nationale sur la biodiversité présente au sein des vergers. A notre connaissance, seuls l'Observatoire National de la Biodiversité (ONB) et l'Observatoire Agricole de la Biodiversité (OAB) possèdent des données sur un vaste réseau de parcelles de vergers à l'échelle nationale.

L'Observatoire National de la Biodiversité (ONB) est piloté depuis 2017 par l'agence française pour la biodiversité (AFB) avec l'appui du Service de la donnée et des études statistiques (SDES) du Ministère de la transition écologique et solidaire ainsi qu'une unité mixte de recherche (UMS PatriNat, AFB-CNRS-MNHN). L'observatoire récolte des données provenant de multiples travaux de recherche publics, qui sont validés par un comité scientifique d'experts indépendants. L'ONB ne concentre pas seulement ses travaux sur les indicateurs de biodiversité des milieux agricoles mais sur l'ensemble des milieux naturels existant en France (aquatiques, forestiers, milieux humides, montagnards, urbains etc.). En verger, deux indicateurs seulement sont instruits : la biodiversité des lombrics et celle des bactéries du sol (Tableau 9). Ces données proviennent de larges échantillonnages et sont assez robustes.

L'Observatoire Agricole de la Biodiversité (OAB) propose des protocoles simplifiés d'observation de la biodiversité aux acteurs agricoles (agriculteur, AOP...). Cette démarche est volontaire de la part des observateurs qui collectent eux-mêmes les données à partir des protocoles OAB et les transmettent à l'observatoire. L'objectif est de renseigner une base de données permettant de suivre l'évolution des indicateurs de biodiversité sur le long terme. Quatre espèces ou groupes d'espèces indicatrices sont suivies par l'OAB (Tableau 9) : les lombrics, les papillons, les abeilles et les invertébrés (mollusques, insectes). Le réseau OAB compte environ 80 parcelles de vergers suivies sur le territoire français, représentatives des grands bassins de production (Annexe 13). Les vergers de pommiers, d'oliviers et de pêcheurs représentent près des $\frac{3}{4}$ des parcelles volontaires. 63% des parcelles sont en agriculture biologique, ce qui est supérieur à la proportion nationale (Annexe 13). Les pratiques culturales ayant un fort impact sur la biodiversité, cette surreprésentation des parcelles en bio peut biaiser les données OAB. Un autre biais est que la démarche est volontaire, donc probablement effectuée par des producteurs plus engagés en faveur de la biodiversité ou du moins plus sensibilisés. Par ailleurs, les dénombrements peuvent diverger entre observateurs, entraînant une importante variabilité entre jeux de données.

Ainsi, les données de l'OAB sont effectuées sur un réseau important de parcelles, représentatives des bassins de production fruitiers français mais les modalités de collecte et les pratiques culturales des observateurs peuvent entraîner un important biais. Les données OAB instruites dans ce rapport sont donc informatives du niveau de biodiversité globale en verger, relativement aux autres cultures mais peuvent manquer de fiabilité. Les données issues de l'ONB semblent plus robustes.

D'autres études ponctuelles ont été effectuées sur d'autres espèces et instruites dans ce rapport mais ces données sont fortement reliées au bassin de production voire à la parcelle. Elles sont donc peu représentatives à l'échelle nationale.

Tableau 9 Données de la biodiversité en verger instruites dans ce rapport (espèces indicatrices, indicateurs de biodiversité associés et source des données).

Espèces indicatrices	Indicateurs de biodiversité	Espèces fruitières	Source de données
Lombric	Abondance et diversité	Vergers, vignes	ONB et OAB
Papillons	Abondance et diversité	Vergers, vignes	OAB
Pollinisateurs sauvages	Abondance	Vergers, vignes	OAB
Invertébrés terrestres	Abondance et diversité	Vergers, vignes	OAB
Bactéries du sol	Abondance et diversité	Vergers, vignes	ONB
Oiseaux	Abondance et diversité	Pommiers et poiriers	Travaux de Bouvier

1.1.2.3.3 La biodiversité faunistique en verger

1.1.2.3.3.1 *Diversité et abondance des oiseaux : plus d'une trentaine d'espèces hébergées au printemps et une quarantaine d'espèces présentes dans les vergers en hiver dans le Sud-Est de la France*

Les oiseaux sont de bons indicateurs de l'état de santé écologique des écosystèmes (Preud'Homme et al., 2009). Ils sont sensibles à la structure du paysage (éléments présents et leurs agencements) ainsi qu'à la présence de leurs proies. Un paysage diversifié recueillera une plus importante diversité d'oiseaux (Preud'Homme et al., 2009). Certaines études ont montré que la présence de haies était corrélée à des abondances d'oiseaux plus importantes (García et al., 2018). Les oiseaux sont souvent utilisés comme indicateurs pour plusieurs raisons (Bouvier et al., 2011) : ils sont appréciés du grand public, sont largement étudiés et sont faciles à observer.

Jean-Charles Bouvier a étudié les populations d'oiseaux dans les vergers du sud-est de la France.

- Printemps

Nombre d'espèces total dans des parcelles de pommiers

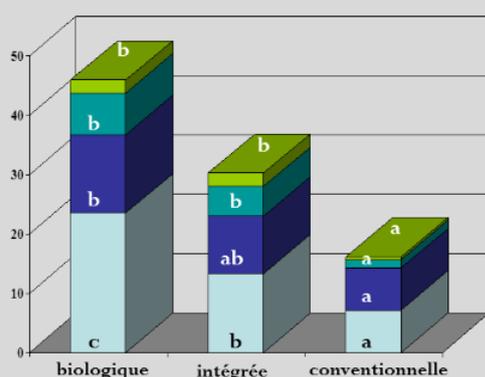
Bouvier et al. (2011) ont recensé les oiseaux présents au printemps (avril-mai) dans 15 vergers de pommes, conduits selon différentes techniques de protection (conventionnel, intégré et biologique), situés dans le Sud-Est de la France. Sur les 306 espèces d'oiseaux se reproduisant en France, 30 espèces ont été recensées sur l'ensemble de l'étude (Annexe 10), soit plus de 10% des espèces d'oiseaux français (Tableau 10).

Dans une autre étude sur l'impact des filets Alt'Carpo, Bouvier et al. (2019) ont recensé 31 espèces au printemps sur 46 parcelles de pommiers (Tableau 10), conduites selon différentes techniques de protection (conventionnel sans filets, biologique avec filets, biologiques sans filets) (Annexe 11). Parmi ces espèces, 5 sont inscrites sur la liste rouge des espèces menacées en France : le rollier d'Europe, le moineau friquet, le chardonneret élégant, le serin cini et le verdier d'Europe. Par ailleurs, Bouvier, en 2005 montre que le comportement de la mésange charbonnière et de la mésange bleue dans les vergers Bio s'apparente à leur comportement dans un biotope naturel.

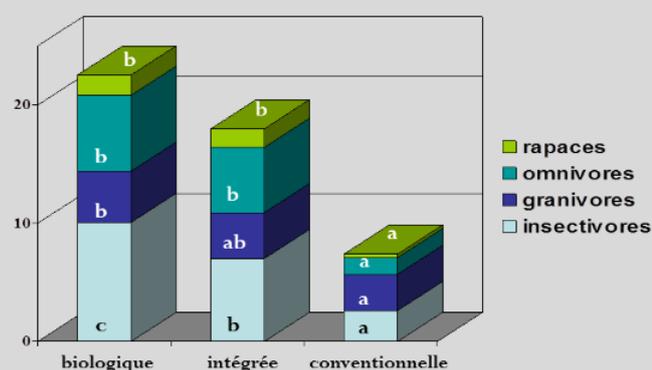
Impact de la pression phytosanitaire sur les oiseaux

Avifaune des vergers de pommiers du sud-est de la France : 30 espèces

Abondance moyenne / parcelle



Richesse spécifique moyenne / parcelle



Bouvier *et al.*, 2011.
Environ. Toxicol. & Chem.,
vol. 30.)



Tableau 10 Nombres d'espèces d'oiseaux présentes en France, comparés aux nombres d'espèces identifiées dans les études de Bouvier *et al.* (2011, 2016).

Nombre d'espèces d'oiseaux en France	545
Nombre d'espèces d'oiseaux se reproduisant en France	306
Nombre d'espèces d'oiseaux recensés dans les vergers au printemps, pendant 3 ans sur 15 vergers de pommiers (Bouvier <i>et al.</i> , 2011)	30 dont 14 insectivores, 7 granivores, 4 omnivores et 5 rapaces
Nombre d'espèces d'oiseaux recensés dans les vergers au printemps sur 46 vergers de pommiers (Bouvier <i>et al.</i> , 2011)	31 dont 17 insectivores, 6 granivores, 3 insectivores et granivores, 4 omnivores et 1 rapace
Nombre d'espèces d'oiseaux recensés dans les vergers en hiver, pendant 2 ans sur 15 vergers de pommiers (Bouvier <i>et al.</i> , 2016)	40 dont 13 espèces hivernantes et 27 nicheuses hivernantes

- Période hivernale

Les restes de récoltes dans les arbres ou sur le sol (fruits, graines) peuvent attirer des oiseaux pendant la période hivernale (Bouvier *et al.*, 2016). L'amélioration des techniques de récolte tend également à restreindre les restes de récolte dont les oiseaux peuvent se nourrir.

Nombre d'espèces total dans des parcelles de pommiers et de poiriers en période hivernale

En période hivernale, 40 espèces ont été recensées dans 15 vergers de pommiers et 15 vergers de poiriers commerciaux, conduits en agriculture conventionnelle, en agriculture biologique et en protection intégrée, situés dans le Sud-Est de la France (Annexe 12) (Bouvier et al., 2016). Cela représente 15% des populations d'oiseaux qui hivernent en France. 35 des espèces recensées sont des passereaux. Les espèces identifiées dans cette étude sont communes. 28 de ces espèces sont également présentes au printemps d'après l'étude de Bouvier et al., (2011).

Il est important de rappeler que ces recensements ont été effectués sur des parcelles présentes dans le Sud-Est et qu'ils ne représentent pas la diversité d'oiseaux présents en verger dans d'autres régions. La diversité des oiseaux en verger présentée dans ce rapport est probablement sous-estimée.

L'abondance des oiseaux dans les vergers est essentiellement expliquée par la quantité de restes de pommes au sol après récolte. La diversité des espèces d'oiseaux dépend également de cette quantité de nourriture disponible mais également du nombre d'arbres portant des baies de lierre dans les haies brise-vent. En effet, certaines espèces d'oiseaux préfèrent consommer les pommes au sol comme le pinson des arbres tandis que d'autres préfèrent les baies de lierre, comme les mésanges et les fauvettes. Ainsi, la diversification des ressources disponibles dans les vergers contribue au maintien de la diversité de populations d'oiseaux.

Période hivernale et estivale

Un suivi des populations d'oiseaux a été effectué dans les vergers de diverses espèces sur le centre d'expérimentation de Balandran au CTIFL (Bellegarde, Gard). 91 espèces d'oiseaux issues de 39 espèces différentes ont été détectées soient 59% de la diversité d'espèces nicheuses de France (Jay and Ricard, 2019). Dans cette liste, 12 espèces (13%) sont quasiment menacées, 10 (11%) sont vulnérables, 3 (3%) en danger et 1 (1%) en danger critique (grue cendrée, très rare en France). Les relevés d'oiseaux ont montré l'importance des infrastructures agroécologiques comme les haies ou les mares comme habitat et ressources. Ainsi, les plus fortes richesses d'espèces ont été enregistrées à proximité des haies de feuillus et de la mare : 26 à 30 espèces d'oiseaux ont été photographiées dans les haies près d'un verger d'abricotier (Jay and Ricard, 2019).

Ces données permettent de quantifier la biodiversité d'oiseaux présente en verger de pommiers et de poiriers dans le Sud-Est. Il pourrait être intéressant d'investiguer cette biodiversité dans d'autres bassins de production fruitière ainsi que sur d'autres espèces fruitières.

Les vergers du Sud-Est abritent en moyenne une trentaine d'espèces différentes d'oiseaux soit 10% des oiseaux se reproduisant en France au printemps (Bouvier et al., 2011). Les vergers, par leur caractère pérenne, offrent des sites d'hivernage aux oiseaux pendant l'hiver : 15% des espèces d'oiseaux se reproduisant en France sont présentes dans les vergers pendant cette période soit une quarantaine d'espèces (Bouvier et al., 2016). Les restes de récolte et les ressources fournies par certaines haies de bord de parcelle (e.g. baies de lierre) constituent un garde-manger précieux en hiver. Les infrastructures agroécologiques peuvent fournir un habitat complémentaire et abritent jusqu'à une trentaine d'espèces d'oiseaux (Jay and Ricard, 2019).

1.1.2.3.3.2 La diversité de mammifères présents en verger : près d'un quart de la diversité française présente en verger

Une étude menée sur le site d'expérimentation du CTIFL à Bellegarde (Gard) a quantifié la diversité de mammifères présents sur le site, majoritairement constitué de vergers. **Sur les 150 espèces de mammifères identifiées en France, 35 (23%) espèces appartenant à 18 familles ont été détectées sur**

le centre (Jay and Ricard, 2019). Les espèces de mammifères sont essentiellement représentées par les chauves-souris qui constituent près de la moitié du recensement (16 espèces sur les 35 présentes). Les autres mammifères identifiés sont principalement des rongeurs, lapins, écureuils, hérissons...

1.1.2.3.3.3 Diversité et abondance des invertébrés du sol

1.1.2.3.3.3.1 L'ensemble des invertébrés présents au niveau du sol des vergers (données OAB)

La Figure 32 présente les résultats d'un inventaire des invertébrés par type de culture réalisé par l'OAB entre 2012 et 2017 avec un protocole de suivi mensuel de 3 placettes de 30x50cm² par parcelle (2 en bordure et 1 à l'intérieur de la parcelle). Plus précisément, il relie la diversité (nombre moyen de groupes taxonomiques différents sur les 3 placettes présente dans chaque parcelle) et l'abondance des invertébrés (nombre moyen d'invertébrés dénombrés, toutes espèces confondues sur ces mêmes placettes). L'intersection des « croix » représente la moyenne des mesures et la distribution des données est illustrée par les quartiles.

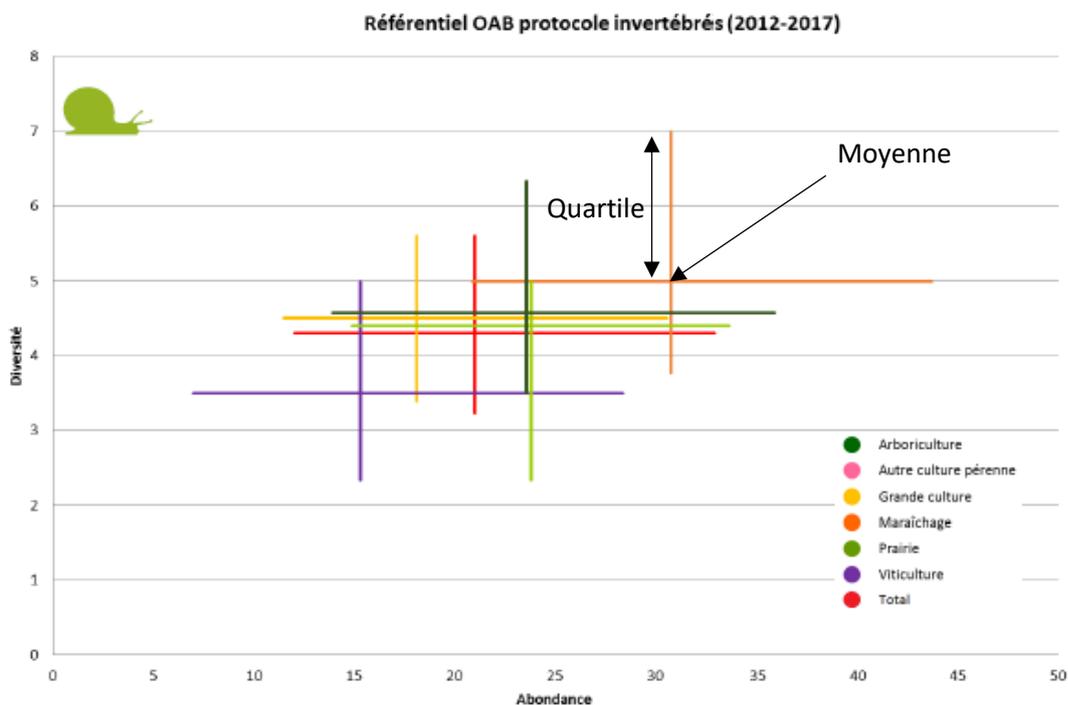


Figure 6 Abondance (nombre moyen d'invertébrés, toutes espèces confondues, observés sur les 3 placettes présentes en parcelle) et diversité (nombre moyen d'espèces ou de groupes différents, observés sur les 3 placettes présentes en parcelle) d'invertébrés dans différents types de culture. Source : OAB, 2017

En moyenne, 24 invertébrés sont dénombrés (toutes espèces confondues) en arboriculture ce qui est similaire à la moyenne nationale de 21 invertébrés (Figure 32). En moyenne, 4 à 5 espèces ou groupes taxonomiques sont identifiés en arboriculture, ce qui est égale à la moyenne nationale. Les vergers ont tendance à avoir une abondance d'invertébrés plus faibles qu'en maraîchage, similaires à celles des prairies et plus élevées qu'en viticulture. Cependant, seule la différence entre les abondances d'invertébrés en verger et celles en maraîchage est significative (Royal, 2018).

D'après les résultats de l'OAB de 2017, l'abondance et la diversité d'invertébrés en verger est similaire à la moyenne nationale et aux moyennes des autres cultures. Sur une plage temporelle plus importante (de 2012 à 2017), l'abondance et la diversité des invertébrés en verger est similaire à toutes les autres cultures (vigne, prairies, autres cultures permanentes) mais plus faible que les données en maraîchage (Royal, 2018).

1.1.2.3.3.2 Abondance et biodiversité des lombrics

- **Abondance des vers de terre en verger**
 - **Les protocoles mis en place par l'ONB et l'OAB**

Les vers de terre constituent le groupe le plus important de la faune du sol par leur biomasse. Ils contribuent à l'aération du sol et à l'incorporation de la matière organique. S'ils sont majoritairement sensibles aux caractéristiques du sol (texture, pH, quantité de matière organique), ce sont également de bons indicateurs de l'usage d'un sol et des pratiques agricoles qu'il subit (ONB, REF 2015).

Le Tableau 11 et la Figure 33 présentent la quantification de l'abondance des vers de terre en verger, recensées par l'ONB et la Figure 34 présente les résultats de l'OAB. Attention, il est important de rappeler que les protocoles mis en œuvre par ces deux observatoires sont différents.

Les données sur les lombrics de l'ONB sont extraites de la base de données EcoBioSoil, de l'UMR EcoBio de l'université de Rennes, qui réunit des données acquises dans le cadre de plusieurs travaux de recherche. Les données d'abondance de vers de terre de l'ONB proviennent de deux méthodes différentes : le protocole Test Bêche qui consiste à extraire 6 blocs de sol triés pour dénombrer les vers de terre - les 6 blocs ont des dimensions moyennes de bêche ($20 \times 20 \times 25 \text{ cm}^3$) ; et le protocole formol consiste à dénombrer les vers de terre sortant d'un m^2 de sol sur lequel une solution de formol a été versée.

Le protocole « vers de terre » de l'OAB consiste à verser deux fois une solution diluée de moutarde sur 1 m^2 (15 min d'intervalle de temps) et à dénombrer l'ensemble des vers de terre qui sortent de terre. Ce test est l'équivalent du test formol (en le remplaçant par la moutarde).

- **Les résultats issus de l'OAB et de l'ONB**

L'abondance des vers de terre en vignes et vergers est en moyenne de 163 vers/ m^2 selon des recensements effectués sur 126 sites de 2005 à 2015 par l'ONB (Tableau 11). Cette abondance est considérée comme moyenne selon les grilles de l'observatoire. L'abondance des vers de terre est significativement plus faible dans les vergers, vignes et forêts que dans les prairies, les grandes cultures et en agroforesterie (Tableau 11). Elle est également plus faible que la moyenne nationale (264 vers/ m^2).

Tableau 11 Abondance des vers de terre de 2005 à 2015 pour chaque type d'occupation de sol. Sd, écart-type ; Min, valeur minimale ; Max, valeur maximale. Source : ONB, 2015 d'après l'Université de Rennes 1, UMR 6553 EcoBlo (2015)

Occupation du sol	Nombre de sites analysés	Abondance lombricienne (en ind/m ²)	Intepétation de l'abondance par l'ONB	Sd	Min	Max	Erreur standard	Test stat significativité des différences (GLM)
Territoires artificialisés (jardins...)	122	280	Moyenne	305	0	1571	27,6	b
Territoires agricoles - Prairie	117	421	Elevée	271	32	1333	25,1	c
Territoires agricoles - Cultures	262	223	Moyenne	167	0	917	10,3	b
Territoires agricoles - Vignes et vergers	126	163	Moyenne	202	0	1092	18,0	a
Territoires agricoles - Agroforesterie	67	370	Elevée	321	8	1492	39,2	c
Forêts et milieux semi-naturels	37	149	Faible à moyenne	255	0	1109	41,9	a
Moyenne métropolitaine	731	264	Moyenne		0	1571		

L'analyse de la base de données OAB montre que la viticulture est le type de culture qui possède les abondances les plus faibles pour tous les indicateurs (Royal, 2018). Les indicateurs de biodiversité seraient plus élevés en arboriculture (Royal, 2018). D'après cette étude, cette différence de biodiversité serait reliée à un fort travail du sol en vigne par rapport à l'arboriculture, provoquant de fortes perturbations pour la faune du sol et la biodiversité des enherbements. Les statistiques issues d'un mélange des données de vigne et de vergers sont donc à considérer avec précaution.

La gestion de l'inter-rang des vergers aurait notamment un impact sur l'abondance des vers de terre (OAB, 2017). Il y a 3 à 4 fois moins de vers de terre dans un sol nu ou paillé en culture pérenne que dans un sol enherbé entièrement ou partiellement (Figure 33). On peut penser que les labours induisent une importante perturbation du milieu par les vers de terre. Cela montre l'importance de l'enherbement qui est à la fois une source d'amélioration de la structure des sols par l'aération due aux galeries de vers de terre ; par l'amélioration de l'humidité du sol ; et par l'apport de matières organiques.

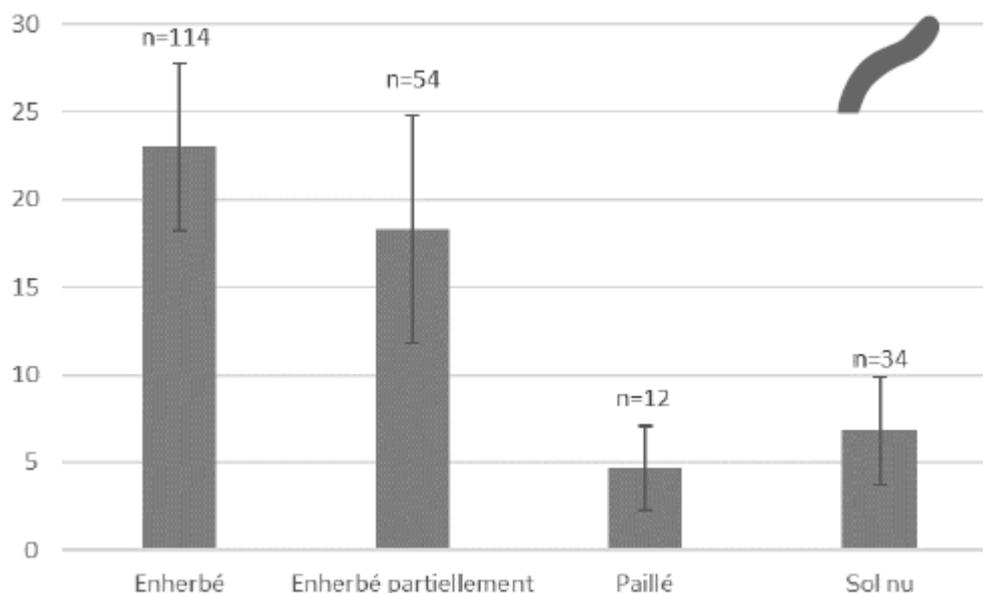


Figure 7 Nombre moyen de vers de terre par placette par passage selon la nature de l'inter-rang (cultures pérennes). Source : OAB (2017)

Le protocole « vers de terre » de l'OAB consiste à verser deux fois une solution diluée de moutarde.

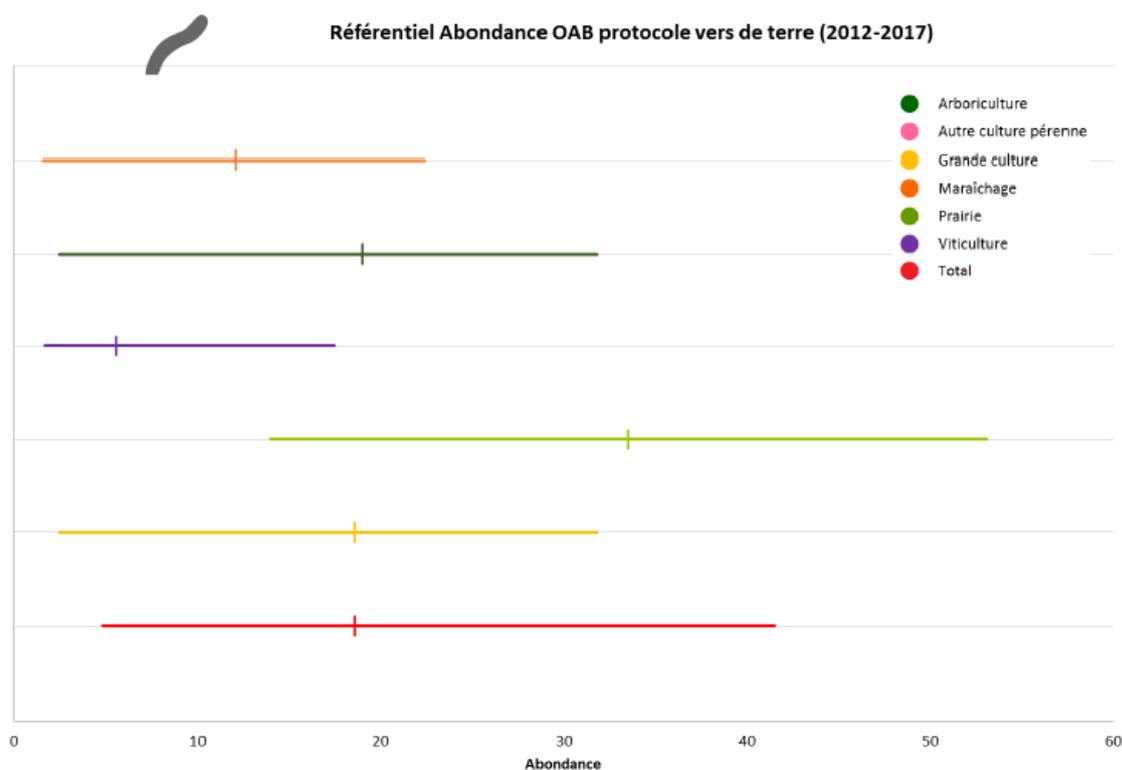


Figure 8 Abondance de vers de terre observés par placette (nb ind/m²). Le point central indique la valeur médiane et les traits horizontaux représentent les 2nd et 3^{ème} quartile. Source : OAB (2017)

Selon l'OAB, les abondances de vers de terre en arboriculture sont de l'ordre de 19 individus par m².

- Diversité des vers de terre en verger et en vigne

La diversité des vers de terre en verger est malheureusement regroupée avec la viticulture. Par conséquent, les données ci-après ne permettent pas d'estimer réellement la diversité de vers de terre en arboriculture. La richesse taxonomique des vers de terre ou le nombre de taxons recensés sur les 120 sites de vergers et de vignes entre 2005 à 2015 est de l'ordre de 6 taxons (Tableau 12). Elle est considérée comme moyenne selon la grille définie par l'ONB. La richesse taxonomique des vers de terre est significativement plus faible dans les vergers et vignes que dans les prairies, dans les grandes cultures et en agroforesterie (Tableau 12). La diversité de vers de terre est 2 fois plus faible que la moyenne nationale.

Tableau 12 Nombre de taxons⁴ moyen de vers de terre de 2005 à 2015 pour chaque type d'occupation de sol. Sd, écart-type ; Min, valeur minimale ; Max, valeur maximale. Source : ONB, 2015 d'après l'Université de Rennes 1, UMR 6553 EcoBio (2015).

Occupation du sol	Nombre de sites analysés	Richesse (nombre de taxons)	Intepétation de la richesse par l'ONB	Sd	Min	Max	Erreur standard	Test statistique de significativité des différences (GLM)
Territoires artificialisés (jardins...)	117	6	Elevée	3,02	0	15	1,4	c
Territoires agricoles - Prairie	89	9	Très élevée	1,94	5	13	1,4	d
Territoires agricoles - Cultures	219	5	Elevée	2,35	0	11	0,7	b
Territoires agricoles - Vignes et vergers	120	3	Moyenne	2,42	0	10	0,9	a
Territoires agricoles - Agroforesterie	67	8	Très élevée	2,6	2	13	1,6	d
Forêts et milieux semi-naturels	17	6	Elevée	3,5	1	11	2,7	a,b,c
Moyenne métropolitaine	629	6	Elevée	4	0	15	0,6	

Malheureusement, nous n'avons pas pu accéder aux données des vergers séparées de celles de la vigne⁵.

Selon l'ONB, l'abondance des vers de terre mesurée sur un large nombre de parcelles de 2005 à 2015 est moyenne en verger et en vigne. L'abondance en vers de terre dans les cultures pérennes est similaire à la moyenne nationale. La diversité de vers de terre en vigne et en verger est inférieure à la diversité moyenne nationale (moyenne sur toutes les occupations de sol existant en France) et à

⁴ Un taxon est une unité taxinomique (comme la famille, le genre ou l'espèce). L'interprétation de la richesse taxonomique d'une culture doit se faire relativement aux autres occupations de sol.

⁵ Pour obtenir ces données séparées, contacter Daniel Cluzeau (daniel.cluzeau@univ-rennes1.fr, +33 (0)2.99.61.81.80)

la diversité présente dans les autres cultures (prairies, grandes cultures, agroforesterie). Cependant, d'après les résultats de l'OAB en 2017, les vers de terre sont moins abondants en vigne qu'en verger et les statistiques issues du regroupement des données de ces deux cultures pérennes sont à considérer avec précaution.

1.1.2.3.3.3.3 Maintien des invertébrés volants

1.1.2.3.3.3.3.1 Abondance et diversité des papillons

Les papillons sont de bons indicateurs de l'état écologique des écosystèmes (Preud'Homme et al., 2009). Les chenilles sont fréquemment inféodées à une plante hôte spécifique et leur présence est associée à celle des haies et plus généralement aux milieux semi-naturels. Rappelons que les papillons permettent la pollinisation de certaines espèces fleuries, dans une moindre mesure cependant que les hyménoptères.

Le protocole consiste à identifier et à dénombrer les papillons communs au sein des parcelles agricoles en se déplaçant pendant 10 minutes. L'observation est répétée trois à cinq fois par an entre début mai et fin septembre en comptant les espèces observées à l'intérieur d'un cube virtuel de 5m par 5m qui se déplace avec l'observateur.

En moyenne, 6 papillons sont dénombrés de cette manière en arboriculture, ce qui est semblable à la moyenne nationale autour de 7 papillons et ne semble pas significativement différent des autres systèmes de culture (Figure 36). La diversité moyenne observée en agriculture est de 2,8 espèces de papillons, très proche des 2,5 de moyenne tout type de culture confondue.

La synthèse de l'OAB publiée en 2016 compare l'abondance des papillons en culture annuelle, pérenne et en prairies. Les cultures pérennes comprises dans cette étude sont majoritairement la viticulture et l'arboriculture fruitière.

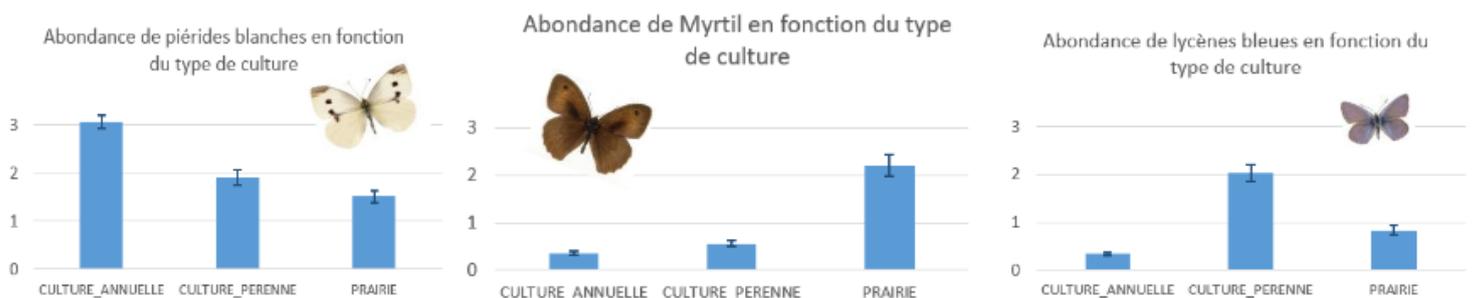


Figure 9 Abondance de différentes espèces de papillons en fonction des types de cultures (culture annuelle, culture pérenne, prairies). Résultats sur 195 parcelles françaises. Source : OAB 2016

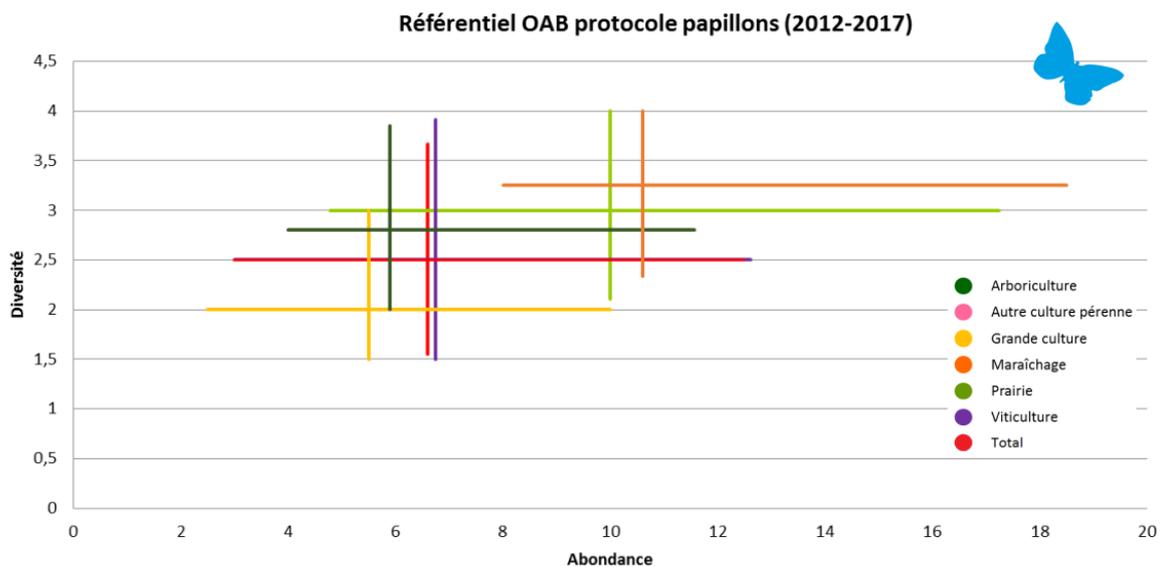
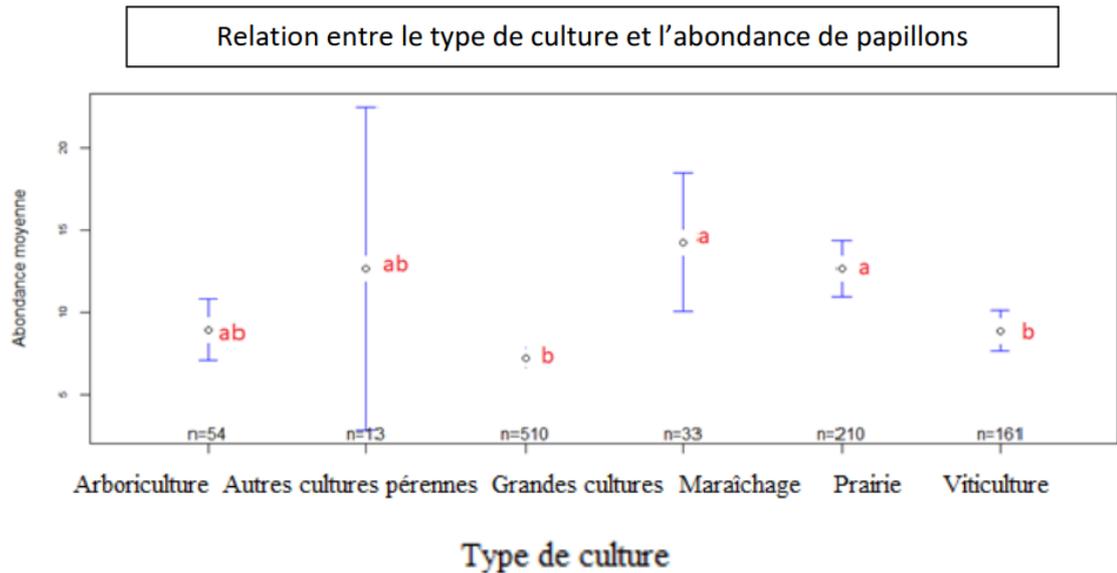


Figure 10 Abondance et diversité des papillons observés pendant une marche de 10 minutes dans une parcelle agricole pour différents systèmes de culture. Le point central indique la valeur médiane et les traits horizontaux représentent les 2nd et 3^{ème} quartiles. Source : OAB 2017

D'après les résultats participatifs de l'OAB en 2017 et d'une analyse des données OAB de 2012 à 2017 (Royal, 2018), l'abondance et la diversité de papillons en verger est similaire aux données des autres cultures (maraîchage, prairie, viticulture, grandes cultures et autres cultures pérennes).

1.1.2.3.3.3.2 Abondance et diversité des abeilles solitaires

Les abeilles solitaires sont des pollinisateurs complémentaires aux abeilles domestiques car elles demeurent actives lorsque les températures sont basses. Ce sont des pollinisateurs très intéressants pour les vergers en cours de floraison, lorsque les conditions climatiques sont froides ou dans le cas de variétés fruitières à floraison précoce.

Le dénombrement des abeilles solitaires consiste à poser 2 nichoirs à abeilles de 12 loges chacune, espacés de 5 mètres en bordure de parcelle agricole (mars à octobre). Le dénombrement s'effectue par observation directe de la colonisation des nichoirs. Chaque femelle bâtit son propre nid et les loges occupées dans les nichoirs sont dénombrées.

Il existe une très grande hétérogénéité du nombre de loges occupées dans les nichoirs (Figure 37). En moyenne, 4 loges sont occupées pour l'ensemble des systèmes de cultures. Cette moyenne varie très peu selon le système de culture étudié. De 0 à 15 loges ont été dénombrées en arboriculture.

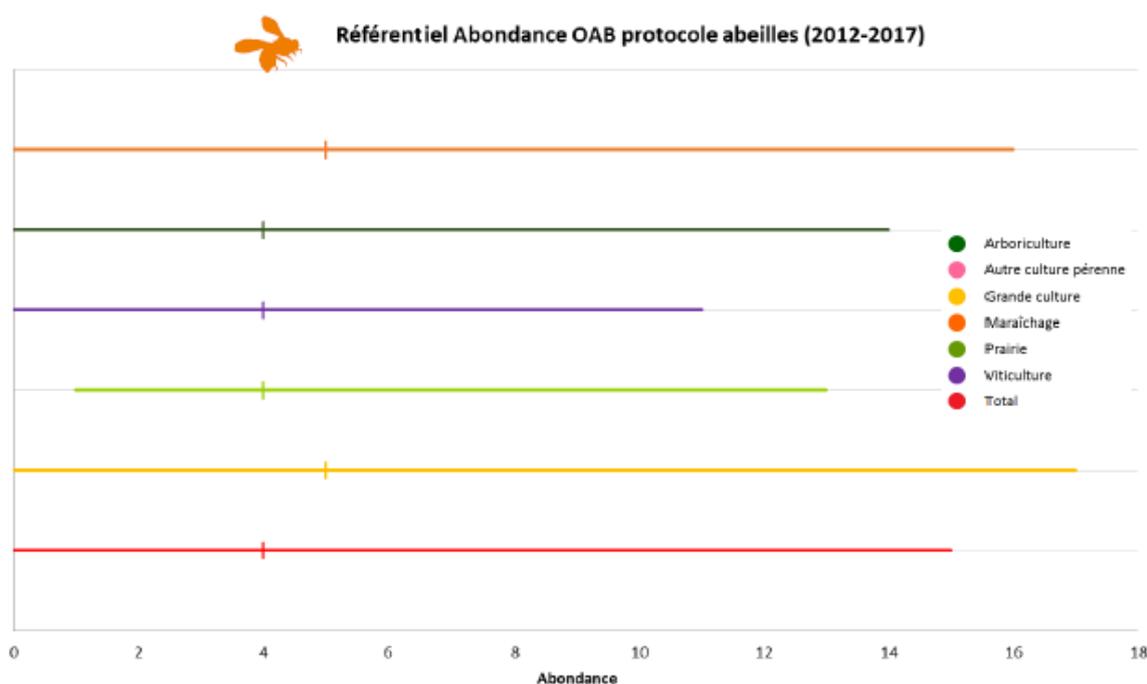


Figure 11 Nombre moyen de loges occupées dans deux nichoirs à abeille séparés de 5 mètres. Le point central indique la valeur médiane et les traits horizontaux représentent les 2nd et 3^{ème} quartile. Source : OAB, 2017

Selon les données du réseau participatif OAB 2017, l'abondance des abeilles solitaires en verger est similaire aux autres cultures (maraîchage, prairie, viticulture, grandes cultures et autres cultures pérennes).

1.1.2.3.4 Maintien des micro-organismes

- **Abondance microbienne dans les sols de vergers**

Des mesures d'ADN microbien ont été effectuées sur des échantillons de sols provenant de la campagne de prélèvements du Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS) du GIS Sol⁶. 2200 sites, situés dans l'ensemble de la France et sur différents types d'occupation de sols sont ainsi suivis.

⁶ <http://www.gissol.fr/programme/rmqs/rmqs.php>

Les concentrations ont été déterminées par l'équipe BIOCOCOM de l'UMR Agroécologie et la plateforme GenoSol⁷ de l'INRA de Dijon par séquençage de l'ADN microbien.

L'ADN microbien quantifié provient de la microflore du sol à savoir les bactéries et les champignons.

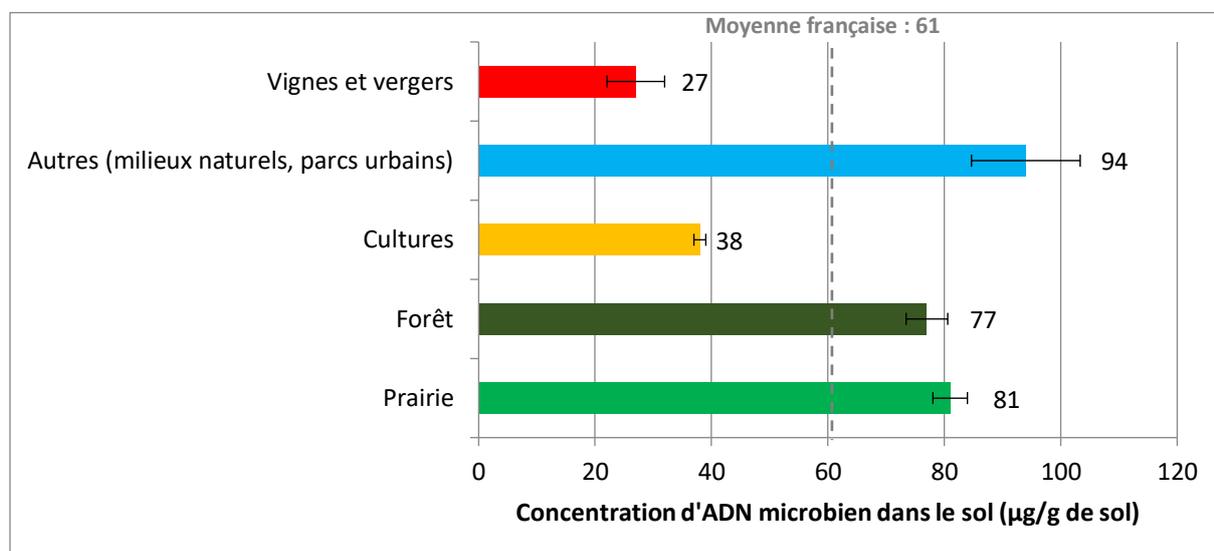


Figure 12 Concentration d'ADN microbien dans le sol en fonction du type d'occupation de sol sur la période de 2000 à 2009. Source : INRA Dijon, plateforme GenoSol 2012

La concentration d'ADN microbien dans le sol en France est en moyenne de 61 µg/g de sol (Figure 38). Elle est plus faible dans les sols de vignes et de vergers (27 µg/g de sol) et en grandes cultures (38 µg/g de sol). Les plus fortes concentrations sont dans les prairies (81 µg/g de sol) et autres milieux naturels (94 µg/g de sol).

Si l'usage des sols impacte la présence de micro-organismes, le type de sol (teneur en argile, pH, teneur en carbone) ont également un très fort impact.

- **Diversité microbienne dans les sols de vergers**

Actuellement, seules les données de la richesse bactérienne existent en France métropolitaine. Les niveaux de diversité des champignons sont en cours de détermination pour l'ensemble des sites RMQS.

La richesse ou diversité bactérienne a été évaluée dans les sols de France sur 1840 sites du RMQS. Cette richesse est estimée par le nombre de taxons identifiés dans les échantillons de sol. Il est à noter que le niveau de richesse n'indique pas la « qualité » de cette richesse (présence d'auxiliaire/présence de pathogènes). De plus, la diversité bactérienne n'est pas corrélée aux richesses des autres micro-organismes.

Le Tableau 13 présente le nombre de taxons bactériens pour différents types d'usage de sol. Le nombre de taxons bactériens moyen français s'élève à 1288 taxons (équivalent à des genres) par gramme de sol (Tableau 13). En moyenne, les populations bactériennes sont très élevées en verger : 2434 taxons/g de sol. Pour les autres occupations de sol, les différences de richesse bactérienne entre usages de sol ne sont pas significatives et leurs valeurs moyennes va de 1146 pour les forêts à 1368 taxons/g de sol pour les cultures annuelles (Tableau 13).

⁷ www2.dijon.inra.fr/plateforme_genosol/plateforme-genosol

La richesse des communautés bactériennes peut être corrélée au niveau de perturbation (e.g. pesticides, travaux du sol) (Karimi et al., 2019; Observatoire National de la Biodiversité, 2016). En effet, un milieu peu perturbé comme une forêt sera composé d'espèces bien adaptées. La richesse de ces milieux sera plus faible. Les milieux agricoles sont des milieux très perturbés, qui entraînent des richesses souvent plus élevées (Observatoire National de la Biodiversité, 2016).

Tableau 13 Nombre de taxons bactériens en fonction du type d'occupation de sols contenu dans 1 gramme de sol. Données collectées de 2005 à 2015. Source : INRA Dijon, plateforme GenoSol, UMR Agroécologie, GIS Sol 2016

Mode d'usage des sols	Nombre moyen de taxons bactériens (équivalent au niveau genre)	Nombre de site prélevés
Vergers	2434 +/- 329	9
Vignes	2211 +/- 228	38
Cultures	1368 +/- 681	745
Divers (milieux naturels, parcs urbains...)	1309 +/- 461	77
Prairies permanentes	1302 +/- 589	471
Forêts	1146 +/- 591	502
Moyenne métropolitaine	1288 +/- 555	1842

D'après les données de l'ONB de 2005 à 2015, l'abondance microbienne est plus faible en verger (concentration d'ADN microbien de 27 µg/g de sol) que la moyenne nationale (61 µg/g de sol). La diversité microbienne en verger est très supérieure aux autres occupations du sol (2434 taxons/g de sol en verger contre 1288 taxons/g de sol de moyenne nationale).

1.1.2.3.5 Diversité et abondance de la flore enherbée en verger

1.1.2.3.5.1 L'enherbement en verger : une pratique courante et favorable à la biodiversité

Le Tableau 14 présente les pratiques culturales d'enherbements pour certaines espèces d'arbres fruitiers (Agreste 2015). La plupart des vergers sont enherbés sur l'inter-rang (93% en moyenne) (Tableau 14). 60% des enherbements sur l'inter-rang sont spontanés (Tableau 14). L'enherbement sur le rang est cependant moins répandu (30% des surfaces en sont pourvues) du fait de la concurrence avec les arbres pour l'eau et l'azote.

Tableau 14 Part des superficies de vergers selon l'enherbement sur le rang et l'inter-rang et selon l'espèce fruitière cultivée en 2015.

Espèces fruitières		Abricot	Autres prunes	Cerise	Pêche	Pomme en agriculture biologique	Pomme en agriculture conventionnelle	Prune dente	Moyenne toute espèce confondue
Part des superficies selon l'enherbement Sur le rang (%)	aucun	83	75	72	82	35	79	69	71
	permanent semé	1	2	2	2	6	4	4	3
	permanent naturel	10	21	17	11	50	10	13	19
	temporaire naturel	6	2	10	5	9	6	14	7
Part des superficies selon l'enherbement sur l'inter-rang (%)	aucun	13	5	14	4	s	0	5	7
	permanent semé	29	28	22	21	22	50	41	30
	permanent naturel	55	65	53	74	72	47	53	60
	temporaire naturel	4	1	9	1	5	1	1	3
Part des superficies avec enherbement de tous les inter-rangs		86	99	100	100	100	100	98	93
Nombre moyen de tontes entre les rangs		3,8	3,4	3,2	4,2	3,1	3,5	4,0	4

1.1.2.3.5.2 Diversité de la flore en verger

En 2012, un programme de Biovigilance a été lancé dans le but d'étudier les Effets Non Intentionnels des pratiques culturales sur la biodiversité, appelé « ENI ». Ce programme comprend le suivi floristique de 500 parcelles agricoles en France. Quatre cultures sont particulièrement suivies dans ce programme : le maïs, le blé, la salade et la vigne. A l'heure actuelle, aucune espèce fruitière n'est prise en compte dans ce programme.

Un stage de master réalisé sur des vergers d'agrumes (Clémentiniers, pomelos, oranges, citrons, kumquats et cédrats) en Corse a dénombré 261 taxons au cours de 74 relevés (Charbonnier, 2016). Charbonnier a réalisé des inventaires phytosociologiques sur le rang et sur l'inter-rang. Cette méthode consiste à inventorier les espèces herbacées dans une aire allant de 25 à 100m². L'inventaire s'achève lorsqu'agrandir la surface d'inventaire n'augmente pas le nombre d'espèces identifiées de manière significative (Charbonnier, 2016).

7 taxons ont été identifiés dans plus de la moitié des relevés : *Poa annua*, *Conyza gp. bonariensis canadensis sumatrensis*, *Hordeum murinum subsp. leporinum*, *Oxalis corniculata*, *Veronica persica*, *Anagallis arvensis*, *Lolium multiflorum*. Parmi ces espèces, certaines peuvent abriter des auxiliaires de culture comme *Veronica persica* sur lesquels des syrphes ont été détectés ou *Lolium multiflorum* qui hébergent certains hyménoptères parasitoïdes et acariens prédateurs.

Dans ce cas, la richesse spécifique moyenne n'est pas significativement différente entre rang et inter-rang quand aucun herbicide n'est appliqué (26 taxons identifiés en moyenne). La composition des espèces herbacées est également similaire entre le rang et l'inter-rang (mêmes types biologiques) (Charbonnier, 2016).

A l'heure actuelle, il n'existe pas de base de données nationale regroupant des inventaires floristiques en verger. Pourtant la pratique d'enherbement est largement répandue en verger. Il est primordial que l'arboriculture intègre des réseaux d'inventaires nationaux afin que des références soient produites.

1.1.2.3.6 Résumé de l'évaluation de la biodiversité en verger : un manque de données sur la biodiversité en arboriculture malgré l'accroissement du nombre d'agriculteurs volontaires
Le Tableau 15 présente la significativité des différences entre abondances d'indicateurs OAB et ONB dans différentes cultures. Ce tableau est tiré des résultats de tests statistiques de Royal (2018), présentés en Annexe 14.

Tableau 15 Différence d'abondance des indicateurs OAB et ONB entre cultures pour les recensements OAB de 2012-17. Lorsque les indicateurs sont en italique, la significativité de la différence de moyenne n'a pas été testée par analyse statistique : il s'agit d'une tendance. D'après les résultats de Royal (2018) et données ONB

Les autres cultures	Abondance en arboriculture		
	L'indicateur OAB est significativement plus faible en arboriculture par rapport à la culture comparée -	L'indicateur OAB n'est significativement différent en arboriculture par rapport à la culture comparée =	L'indicateur OAB est significativement plus élevé en arboriculture par rapport à la culture comparée +
Grandes cultures		Abeilles solitaires Vers de terre Invertébrés terrestres ⁸ Papillons <i>Bactéries du sol</i>	
Maraîchage	Invertébrés terrestres	Abeilles solitaires Vers de terre Papillons	
Prairie	<i>Bactéries du sol</i>	Abeilles solitaires Vers de terre Invertébrés terrestres Papillons	
Viticulture		Abeilles solitaires Invertébrés terrestres Papillons <i>Bactéries du sol</i>	Vers de terre

⁸ Les invertébrés terrestres comprennent les limaces, les escargots et les arthropodes terrestres (ex : carabes, fourmis, cloporte, mille-pattes...)

Selon les données de l’Observatoire Agricole de la Biodiversité (OAB) et de l’Observatoire National de la Biodiversité (ONB), la biodiversité présente dans les vergers à l’échelle nationale est globalement similaire aux autres cultures (Tableau 15). Les abondances des abeilles solitaires et des papillons sont similaires aux autres cultures. Les invertébrés terrestres (escargots, limaces, carabes, fourmis, cloporte...) sont également similaires aux autres cultures à l’exception du maraîchage (les abondances en verger sont significativement plus faibles). L’abondance en bactérie du sol en verger n’est pas significativement différente des autres cultures à l’exception des prairies (l’abondance en bactéries du sol sont plus faibles en verger⁹). Les vergers se démarquent des vignes par une abondance significativement plus élevée de vers de terre.

Des données manquent sur la diversité de l’enherbement présent en verger et l’absence de l’arboriculture dans des réseaux de biovigilance comme l’ENI (Effets Non Intentionnels des pratiques culturales sur la biodiversité) est regrettable.

La contribution de l’arboriculture à la base de données OAB est en augmentation pour tous les protocoles de 2012 à 2017 (Royal, 2018). Le Tableau 37 présente la dynamique de la contribution des filières à la base de données OAB entre 2012 et 2017. L’arboriculture est la seule filière dans ce cas. Cela illustre une volonté des acteurs de l’arboriculture de participer à ces démarches et une sensibilisation croissante aux questions de biodiversité (en lien avec le développement croissant des démarches HVE et autres démarches plus respectueuses de l’environnement).

	Tous protocoles confondus	Protocole abeilles	Protocole papillons	Protocole invertébrés	Protocole vers de terre
Conventionnelle	↓	X	↓	↓	↓
Biologique	↑	↑	↑	↑	↑
Autre	X	X	↑	X	X
Arboriculture	↑	↑	↑	↑	↑
Autres cultures pérennes	↑	↓	X	X	X
Grandes cultures	↓	X	↓	↓	↓
Maraîchage	X	X	X	↑	X
Prairie	X	↓	X	X	X
Viticulture	X	X	↑	X	X

Tableau 2 Dynamique de la contribution des filières à la base de données OAB entre 2012 et 2017. Source : Royal (2018)

⁹ La différence n’a pas été testée significativement : il s’agit d’une tendance

1.1.3 Les pratiques culturales en verger et leurs impacts sur la biodiversité

Les pratiques culturales peuvent avoir de multiples impacts positifs et négatifs sur la biodiversité. Dans cette partie, nous abordons les impacts de ces pratiques en système verger de manière synthétique (pratiques mises en place en parcelle, gestion des habitats semi-naturels et autres infrastructures agroécologiques dans le paysage).

Le Tableau 17 synthétise les principaux effets des pratiques sur l'abondance et la diversité des grands groupes de biodiversité présents dans les vergers. **Cette étude bibliographique est loin d'être exhaustive** mais elle permet d'illustrer les tendances générales qui relient les pratiques agricoles et la biodiversité. La construction de ce tableau est en partie issue du tableau résumé de l'expertise collective INRA « Agriculture et Biodiversité » (Le Roux et al., 2008), complété de références plus récentes.

Avec des travaux centrés sur l'arboriculture, Samnegard et al. (2018) ont analysé pour 85 vergers de pommiers dans 3 pays les compromis entre services écosystémiques. Le service d'approvisionnement était en moyenne de 48 % inférieur en raison des moindres rendements en AB mais l'abondance des ennemis naturels était supérieure (pour une même production, richesse spécifique augmentée de 38 %), ce qui confirme des conclusions de travaux antérieurs indiquant que le mode de production biologique est associée à une plus forte richesse locale d'arthropodes (Rusch et al. 2014).

On peut souligner le fait que la plupart des travaux s'en tiennent à une quantification des organismes susceptibles de rendre le service (arthropodes prédateurs, pollinisateurs), sans quantification de leur action et de leurs bénéfices. Ainsi, l'évaluation des services rendus par la biodiversité de régulation biologique des ravageurs des cultures et de pollinisation se heurte à plusieurs limites (Sautereau et Bellon, 2016).

Des travaux récents ont visé à aller au-delà en estimant les potentiels de régulation biologique. Ainsi, Muneret et al. (2017) montrent, à partir de deux méta-analyses, que l'agriculture biologique favorise la régulation biologique à un niveau capable de compenser, voire de surpasser, les effets des pratiques conventionnelles sur les ravageurs, et agents pathogènes mais pas sur les adventices.

A noter que les milieux semi-naturels, déterminants pour de nombreux organismes assurant ces services, ne sont souvent pas pris en compte dans les nombreuses études qui se bornent à la parcelle. Les travaux de Samnegard et al. évoqués supra ont également montré qu'une plus grande part de proportion de vergers de pommiers dans le paysage environnant diminue la richesse spécifique des arthropodes bénéfiques.

Tableau 17 Exemples d'effets de pratiques sur la biodiversité présente en vergers d'après des études internationales. Ab, abondance ; Div, diversité ; ns, non significatif.

Echelle	Effet des pratiques agricoles		Communauté végétale	Vertébrés	Arthropodes de surface	Invertébrés du sol	Micro-organismes	Références
Parcelle	Pratiques de gestion du sol	Travail du sol	Ab - Div -		Ab - Div -	Ab - Div -	Ab - Div -	(Baptista et al., 2005; Sanchez-Moreno et al., 2015; Simoes et al., 2014; Sofo et al., 2014, 2010; Vignozzi et al., 2019)
		Présence d'un enherbement et de couverts végétaux			Ab + Div +	Ab + Div +	Ab + Div +	(Alfonso Gomez et al., 2018; Carpio et al., 2019; Kammerer et al., 2016; Rosa García and Miñarro, 2014; Samnegård et al., 2019; Saunders et al., 2016; Vignozzi et al., 2019; Wang et al., 2011)
	Pratiques de protection des vergers	Utilisation de pesticides	Ab - Div -	Ab - Div -	Ab -/ns Div -	Ab - Div -	Ab - Div -	(Brown, 2012, 1993; Jerez-Valle et al., 2014; Klein et al., 2012; Malagnoux et al., 2015; Neilsen et al., 2013; Samnegård et al., 2019; Sanchez-Moreno et al., 2015; Wang et al., 2011; Xiloyannis et al., 2018)
		Filets anti-insectes		ns				(Bouvier et al., 2019)
	Pratiques de fertilisation	Fertilisation organique par rapport à la fertilisation minérale				Ab +	Ab +	Ab +

	Infrastructures Agro-Ecologiques	Nichoirs artificiels		Ab +	Ab +			(Artz et al., 2013; Benayas et al., 2017; Jedlicka et al., 2011)
		Bandes fleuries			Ab + Div +			(Alistair John Campbell et al., 2017; Ganser et al., 2018; Klein et al., 2012; Samnegård et al., 2019)
		Haies		Ab + Div +	Ab + Div +			(Alistair J. Campbell et al., 2017; García et al., 2018; Kammerer et al., 2016; Klein et al., 2012; Miñarro and García, 2018; Santoiemma et al., 2018; Schäckermann et al., 2015; Silva et al., 2019; Sullivan et al., 2012)
Paysage		Hétérogénéité du paysage			Ab + Div +			(Földesi et al., 2016; Saunders et al., 2016)

1.1.4 Les effets non intentionnels des pesticides sur la biodiversité associée au verger

1.1.4.1 Les pratiques phytosanitaires en arboriculture

L'arboriculture est l'une des filières les plus consommatrices de produits phytosanitaires à l'hectare, avec de fortes disparités entre espèces et régions (Labeyrie et al., 2018). Les espèces fruitières ont des caractéristiques spécifiques, qui expliquent la forte dépendance de cette filière aux produits phytosanitaires.

- Caractère pérenne

Du fait du caractère pérenne des vergers, les ravageurs et maladies peuvent rester présents dans le verger tout le long de l'année (Le Roux et al., 2008; Simon et al., 2010). Ce caractère pérenne peut générer une augmentation de l'infestation et des niveaux d'infections d'une année sur l'autre. L'absence de rotation rend la gestion de l'inoculum de certains bioagresseurs difficile.

- Le fruit frais est un produit fini

La plupart des fruits ne sont pas transformés et sont consommés frais. Le niveau d'exigence « cosmétique » est très élevé. Ainsi, dès qu'un produit présente un défaut, dommage lié à un bioagresseur, il est écarté du circuit de commercialisation en frais et sa valorisation sera pour la plupart des espèces inférieures aux coûts de production.

- Le fruit est une production à forte valeur ajoutée

L'arboriculture se caractérise par un fort niveau de chiffres d'affaires à l'hectare (14 053€/ha), ce qui incite les producteurs à sécuriser les rendements commercialisables.

Deux principales sources permettent d'estimer l'utilisation de produits phytosanitaires. En 2012 et en 2015, Agreste a enquêté les pratiques culturales de 5 espèces fruitières y compris les pratiques de traitements. Le réseau des fermes du programme Dephy permet également d'évaluer les pratiques phytosanitaires actuelles. Ce réseau est un réseau de démonstration et de production de références au sein des exploitations agricoles. Il est difficile de connaître l'évolution des pratiques car elles sont dépendantes des conditions climatiques de l'année d'application. Par ailleurs, les fermes DEPHY sont des fermes pour lesquels les agriculteurs, volontaires, se sont engagés dans des démarches de réduction de leurs intrants. Ainsi, à ce jour et avec les données disponibles, il n'est pas possible d'évaluer l'évolution de l'utilisation des produits phytosanitaires à l'échelle globale (Communication personnelle, B. Labeyrie (CTIFL)).

Le Tableau 18 & Tableau 19 présentent le nombre de traitements et l'Indicateur de Fréquence de Traitements (IFT)¹⁰ moyens respectivement de 2012 et de 2015 pour les espèces fruitières enquêtées par Agreste. L'arboriculture se caractérise par une utilisation importante de fongicides et dans une moindre mesure d'insecticides. Le recours aux herbicides est limité à la zone sur le rang qui correspond à 30 à 50% de la surface de la parcelle et représente une part très faible de l'IFT.

¹⁰ IFT = Dose appliquée/Dose homologuée x surface traitée/surface de la parcelle. L'IFT total est la somme de l'ensemble des IFT des produits utilisés.

Tableau 18 Nombre de traitements moyens en 2012 et en 2015 des espèces fruitières enquêtées par Agreste. Source : enquêtes des pratiques culturales d'Agreste de 2012 et de 2015

Espèce fruitière	Pomme		Pêche		Prune		Abricot		Cerise	
	2012	2015	2012	2015	2012	2015	2012	2015	2012	2015
Fongicides & bactéricides	22,5	22,8	10,8	12,7	5,5	5,7	8,1	8,1	4,9	4,8
Insecticides & acaricides	9,0	9,0	6,7	7,8	3,8	4,2	2,6	2,7	2,6	3,4
Herbicides	1,8	2,2	1,6	1,8	1,5	1,7	1,1	1,7	0,8	1,1
Autres traitements	1,8	2,4	0,0	nd	0,0	nd	0,0	nd	0,1	nd
Nombre total de traitements	35,1	36,3	19,2	22,3	10,8	11,7	11,7	12,5	8,5	9,4

Tableau 19 Indicateur de Fréquence de Traitements (IFT) de 2012 et 2015 des espèces fruitières enquêtées par Agreste. Source : enquêtes des pratiques culturales d'Agreste de 2012 et de 2015

Espèce fruitière	Pomme		Pêche		Prune		Abricot		Cerise	
	2012	2015	2012	2015	2012	2015	2012	2015	2012	2015
IFT Fongicide & Bactéricide	22,9	21,8	10,5	12,0	6,0	5,9	7,9	8,2	4,7	4,7
IFT Insecticide & Acaricide	8,9	8,8	6,8	7,6	3,7	4,3	3,0	2,8	2,6	3,2
IFT Herbicide	0,6	0,7	1,0	0,7	0,3	0,3	0,5	0,7	0,3	0,4
IFT Autre	1,5	1,9	0,0	nd	0,0	nd	0,0	nd	0,1	nd
IFT Hors herbicide	33,3	32,4	17,3	19,6	9,7	10,2	10,9	11,1	7,4	8,0
IFT Biocontrôle	4,8	5,0	2,1	2,3	1,0	1,3	0,6	0,6	0,6	0,8
IFT Total	33,9	33,1	18,3	20,3	10,0	10,5	11,4	11,8	7,7	8,3

L'IFT total des fermes du réseau DEPHY en arboriculture a diminué de 25% (rapport entre les moyennes 2009, 2010 et 2011 et les moyennes 2015-2016-2017). Cependant, les fermes du réseau DEPHY étant volontaires, elles ne sont pas forcément représentatives de l'ensemble des exploitations en arboriculture.

1.1.4.2 Méthode utilisée pour analyser les conséquences de la présence de pesticides dans l'environnement

Les méthodes utilisées pour prouver les éventuels effets non intentionnels des pesticides sur l'environnement peuvent se classer en deux catégories :

- La méthode prospective (a priori) avant que les substances soient mises sur le marché : il s'agit de la procédure d'homologation des pesticides :

Le dossier d'homologation comprend un dossier environnemental qui comprend les études sur le comportement et le devenir du pesticide dans l'environnement et les études des effets du pesticide

sur les organismes non-cibles. Les substances actives sont approuvées par l'EFSA au niveau européen. Les produits formulés sont approuvés au niveau national par l'ANSES.

Plus précisément, les études menées sur le comportement et le devenir du pesticide dans l'environnement comportent :

- 1) Devenir et comportement de la molécule dans le sol
 - a. Voies de dégradation dans le sol
 - b. Vitesse de dégradation dans le sol
 - c. Adsorption/désorption dans le sol
 - d. Mobilité dans le sol
 - e. Estimation des concentrations prévisibles dans le sol
- 2) Devenir et comportement de la molécule dans l'eau
 - a. Voies de dégradation dans le milieu aquatique
 - b. Vitesse de dégradation dans les milieux aquatiques
 - c. Estimations des concentrations prévisibles dans l'eau
- 3) Effets du pesticide sur les organismes non-cibles
 - a. Toxicité envers les oiseaux
 - b. Toxicité envers les poissons
 - c. Toxicité envers les invertébrés aquatiques
 - d. Toxicité envers les algues aquatiques

Les effets des pesticides sur les organismes non-cibles sont étudiés au moyen d'essais d'écotoxicité. Ces essais sont effectués en conditions contrôlées, sur des organismes sélectionnés pour leur sensibilité aux substances chimiques. Les organismes sont exposés à différentes doses, pendant un court temps (essais aigus) ou pendant une période prolongée (essais chroniques). Les effets sur la survie, le développement et la reproduction de ces organismes cibles sont analysés.

- La méthode rétrospective (a posteriori), utilisée une fois que les substances actives sont commercialisées et utilisées. Il s'agit de l'ensemble des études scientifiques qui analyse la biodiversité présente en parcelle avant et après l'utilisation de pesticides.

La procédure d'homologation permet de caractériser les risques pour la santé humaine et pour l'environnement. Le Tableau 20 présente les risques pour l'environnement des substances actives autorisées et utilisées pour la culture du poirier. Il a été construit en cumulant les informations d'écotoxicologie provenant des sites SAGE pesticides¹¹, INRS¹² et EFSA¹³. L'ensemble des substances actives utilisées dans les vergers de poiriers sont toxiques pour les organismes aquatiques. 11 substances sur 19 sont toxiques pour la vie aquatique sur le long terme. 3 substances actives sont toxiques pour les abeilles et 2 sont modérément toxiques pour les oiseaux.

¹¹ SAGE pesticides est un outil d'information sur les risques pour la Santé et l'Environnement ainsi que sur les usages Agricoles pour une gestion rationnelle et sécuritaire des pesticides au Québec

¹² L'INRS est un organisme de référence dans les domaines de la santé au travail et de la prévention des risques professionnels

¹³ L'Autorité européenne de sécurité des aliments est une des principales agences de l'Union européenne. Elle est chargée de l'évaluation des risques dans le domaine des denrées alimentaires. Elle fournit des conseils scientifiques sur les risques existants ou émergents dans ce domaine.

Tableau 20 Substances actives utilisées dans les vergers de poiriers et toxicité pour l'environnement. Légende : fond rouge, effet extrêmement élevé ; fond orange, effet élevé ; fond jaune, effet modéré ; fond gris, faible effet. Source : SAGE pesticide <https://www.sagepesticides.qc.ca/> et INRS <http://www.inrs.fr/>

Substances actives	Type de pesticide	Organismes aquatiques	Oiseaux	Abeilles
abamectine	Insecticide	effets néfastes à long terme +++	+	++
captane	Fongicide	+++	+	
cuivre	Fongicide	effets néfastes à long terme +++		
deltaméthrine	Insecticide	effets néfastes à long terme +++		++
difénoconazole	Fongicide	++		
dithianon	Fongicide	+++		
fenazaquin	Acaricide	+++		
fénoxycarbe	Insecticide	effets néfastes à long terme +++		
krésoxim-méthyl	Fongicide	effets néfastes à long terme +++		
mancozèbe	Fongicide	+++		
phosmet	Insecticide	effets néfastes à long terme +++		++
pyridabène	Insecticide, acaricide	effets néfastes à long terme +++		++
tau fluvalinate	insecticide	effets néfastes à long terme +++		
tébuconazole	Fongicide	effets néfastes à long terme +		
tébufénozide	Insecticide, acaricide	++		
tébufenpyrad	acaricide	effets néfastes à long terme ++		
thiophanate méthyl	Fongicide	effets néfastes à long terme +		
thirame	Fongicide	+++		
zirame	Fongicide	+++		

Une revue d'une trentaine d'expérimentations, réalisée par l'unité Toxalim de l'INRA de Toulouse (2015), a montré que, pour 40% d'entre elles, les pesticides en cocktails ont un « effet additif », c'est-à-dire que l'impact du mélange sur la cellule correspond à la somme des effets des différentes molécules, 20% ont des effets synergiques (supérieurs à la somme des effets), et 15% des effets antagonistes (inférieurs à cette somme ; 26% des effets sont "inclassables" puisque pour un même mélange de composés des effets différentiels en fonctions de la cible, du tissu ou de l'organe sont observés. <http://www.inra.fr/Grand-public/Agriculture-durable/Tous-les-dossiers/Dependance-aux-pesticides/Pesticides-en-melange-l-effet-cocktail>

1.1.4.3 Evaluation rétrospective des effets non intentionnels des pesticides sur l'environnement

Les substances phytosanitaires sont appliquées généralement sous forme liquide, sur les plantes et sur le sol. Les pesticides ont plusieurs devenirs et impactent différents compartiments environnementaux.

Ils peuvent être absorbés par les plantes ou les organismes du sol. Les substances actives peuvent se volatiliser, ruisseler, être lessivées ou rester dans le sol. Les études estimeraient à seulement 0,3% la part de substance active appliquée qui entre en contact avec les organismes cibles (Pimentel, 1995).

Une expertise collective de l'INRA et l'IRSTEA¹⁴ « Pesticides, Agriculture, Environnement » menée en 2005 a permis une synthèse des données concernant l'ensemble des cultures et l'ensemble des pesticides utilisés dans ces cultures (Alix et al., 2005). Une autre synthèse a été réalisée en 2016 sur les externalités de l'AB dans laquelle sont passés en revue les effets des pesticides chimiques sur l'environnement (Sautereau, 2016).

L'impact des pesticides sur les espèces dépend largement de leur écologie. En effet, certaines populations sont plus sensibles que d'autres aux pesticides. Par exemple, une espèce mobile et à capacité de dispersion importante pourra recoloniser un milieu après qu'il ait été perturbé (ex : araignées) contrairement aux espèces ayant besoin de couloirs végétaux et non perturbés pour se disperser (ex : carabes, collembolés).

Les pesticides ont des impacts multiples, avec des effets directs létaux et non létaux (affectant les comportements, la reproduction...) et des effets indirects, notamment trophiques. L'exemple du déclin des abeilles domestiques illustre la complexité des facteurs et des interactions : des synergies délétères entre un insecticide (néonicotinoïde) et un bioagresseur (varroa, nosema) ont été montrées (Blanken et al., 2015). Le taux de mortalité des abeilles est passé de 5 à 30 % en une dizaine d'années. Il est difficile d'attribuer un poids au facteur « pesticides » pour lui affecter un pourcentage de la surmortalité des abeilles, en raison de paramètres imbriqués, tels que les stress alimentaires, pathologiques et chimiques. Par ailleurs, au-delà de la mortalité, il faut également tenir compte des non retours à la ruche (perturbations du repérage, et des vols, même à faibles doses) (Henry et al., 2012)

1.1.4.3.1 Effets non intentionnels des pesticides sur l'environnement spécifique aux vergers

1.1.4.3.1.1 Impact des pesticides sur les insectes

En verger, les effets des pesticides sur les insectes sont bien documentés pour certains groupes taxonomiques : **les araignées et les coléoptères du sol** (Simon et al., 2010). Cependant, il existe peu d'études sur la communauté arthropode totale. **L'utilisation des pesticides a un effet négatif sur les araignées chasseuses, arthropodes du sol et les insectes qui parasitent les mineuses. Cependant, la diversité totale d'arthropodes vivant dans la canopée des arbres est peu ou pas affectée par les insecticides si on la compare à des méthodes plus écologiques.** Ces résultats peuvent s'expliquer par la résilience de l'agrosystème des vergers, le fort taux d'immigration des arthropodes dans les petits vergers et la faiblesse des indicateurs de diversité utilisés. Si la diversité n'est pas forcément affectée, l'abondance des arthropodes est toujours affectée négativement par les pratiques intensives et le contrôle biologique naturel peut être altéré. Effets non intentionnels des pesticides sur l'environnement dans l'ensemble des cultures

1.1.4.3.1.2 Impact des pesticides sur les organismes du sol

Les organismes du sol sont exposés aux produits appliqués en traitement du sol et également aux produits appliqués en traitement foliaire (Alix et al., 2005). Le transfert des produits en dehors des

¹⁴ L'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture est un établissement public de recherche dans le domaine de l'eau, des écotechnologies et de l'aménagement du territoire.

parcelles traitées peut se faire via le sol et l'air et contribue à l'exposition des organismes du sol en dehors du champ. Le Tableau 21 présente les effets des pesticides sur les organismes du sol. Les études revues dans ce travail ne démontrent pas unanimement l'impact négatif des pesticides sur les bactéries. Les effets des pesticides sur chaque groupe d'organisme du sol sont variables du fait de différents paramètres confondants (apports d'engrais, couvert, labour...) et d'effets indirects suspectés comme l'augmentation de débris végétaux suite à l'usage d'herbicides qui peuvent impacter positivement les populations de certains groupes (ex : bactéries, les champignons ou les annélides).

Tableau 21 Effets des pesticides sur les organismes du sol. Ces données ne sont pas spécifiques à des études effectuées en verger. Source : (Alix et al., 2005)

Groupe d'organismes	Etat des données	Effets directs des pesticides	Paramètres confondants	Effets indirects
Bactérie	++	Négatif, neutre ou positif	Apport d'engrais	Débris végétaux suite à l'usage d'herbicides
Champignons	++	Négatif, neutre ou positif	Apport d'engrais	Débris végétaux suite à l'usage d'herbicides
Arthropodes	++	Négatif, neutre ou positif	Couvert végétal	
Annélides	++	Négatif ou neutre	Apport d'engrais Labour Bordures végétalisées Couvert végétal	Débris végétaux suite à l'usage d'herbicides
Mollusques	-	-	-	-
Nématodes	+	Négatif, neutre ou positif	Apport d'engrais	Effets sur les bactéries et les champignons
Tardigrades	+	Négatif ou neutre	-	
Faune du sol	-		-	

1.1.4.3.1.3 Impacts sur les invertébrés épigés

Les invertébrés épigés sont les invertébrés qui vivent sous la strate herbacée, en surface du sol. Les invertébrés épigés peuvent être en contact avec les produits phytosanitaires lors des traitements lorsque les résidus sont présents dans l'air ou via le substrat sur lequel subsistent des résidus de produits comme le sol ou les plantes (Alix et al., 2005; Bourguet and Guillemaud, 2016). Les invertébrés épigés peuvent également être en contact avec les résidus de pesticides, ces organismes étant de petites tailles et ayant des surfaces d'échanges importantes avec leur environnement. Ce groupe d'organismes peut être exposé à des produits au sein de la parcelle comme en dehors via les transferts de produits via l'air sur le sol et la végétation.

Le Tableau 22 présente les effets des pesticides sur les invertébrés épigés d'après la revue bibliographique d'Alix et al. (2005).

Outre les effets de la toxicité des produits, on distingue difficilement les effets indirects qui impactent les invertébrés épigés comme la perte d'habitats (désherbant, tonte) ou la suppression des ennemis naturels.

Tableau 22 Effets des pesticides sur les invertébrés épigés. Ces données ne sont pas spécifiques à des études effectuées en verger. Source : (Alix et al., 2005)

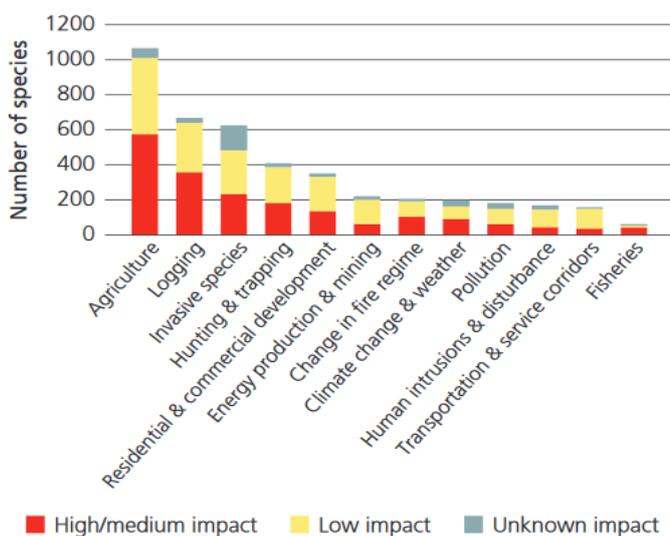
Groupe d'organismes	Etat des données	Effets directs des pesticides	Paramètres confondants	Effets indirects
Homoptères (aphidiens)	+	Positif	Croissance des cultures	
Diptères (mouches, moustiques)	+	Négatif, neutre, positif	Relations trophiques avec la culture	
Hétéroptères (punaises)	+	Négatif		
Hyménoptères non pollinisateurs (fourmis, guêpes, parasitoïdes)	+	Négatif, neutre	Relations trophiques avec la culture	Zones de bordures
Lépidoptères (papillons)	++	Négatif, positif	Relations trophiques avec la culture	Zones de bordures
Pollinisateurs (abeilles, syrphes)	++	Négatif, positif	Relations trophiques avec la culture	Zones de bordures

1.1.4.3.1.4 Impact des pesticides sur les vertébrés

Les vertébrés peuvent être en contact direct avec les pesticides, les inhaler ou les ingérer. La voie alimentaire est considérée comme la voie principale d'exposition (ceci est relié au fait que les animaux ont tendance à quitter la parcelle lors des traitements). De plus, les pesticides peuvent avoir des effets indirects comme la diminution de la disponibilité de nourriture au sein de la parcelle.

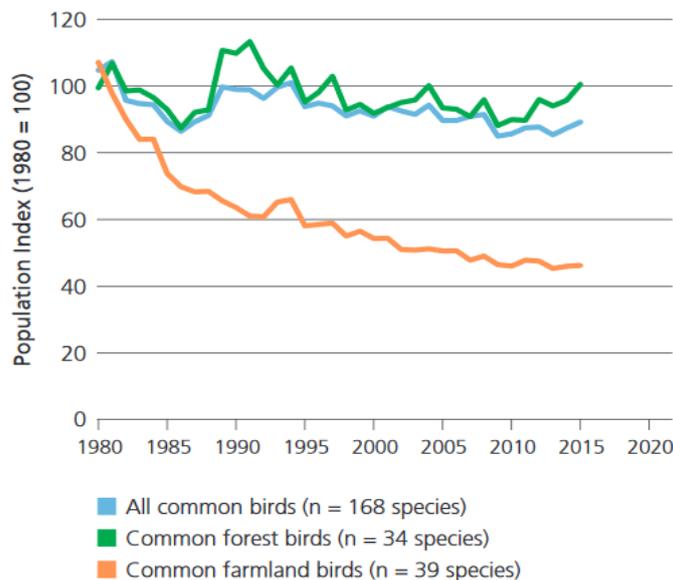
Il est bien connu que les populations d'oiseaux agricoles ont très fortement décliné ces dernières années (indice de 100 à 50 en une trentaine d'années).

Expansion and intensification of agriculture are the most important of many threats affecting threatened bird species



Source: Butchart et al., 2010.

European Union Wild Bird Index 1980 to 2016



Source: EBCC/RSPB/BirdLife International/Statistics Netherlands.

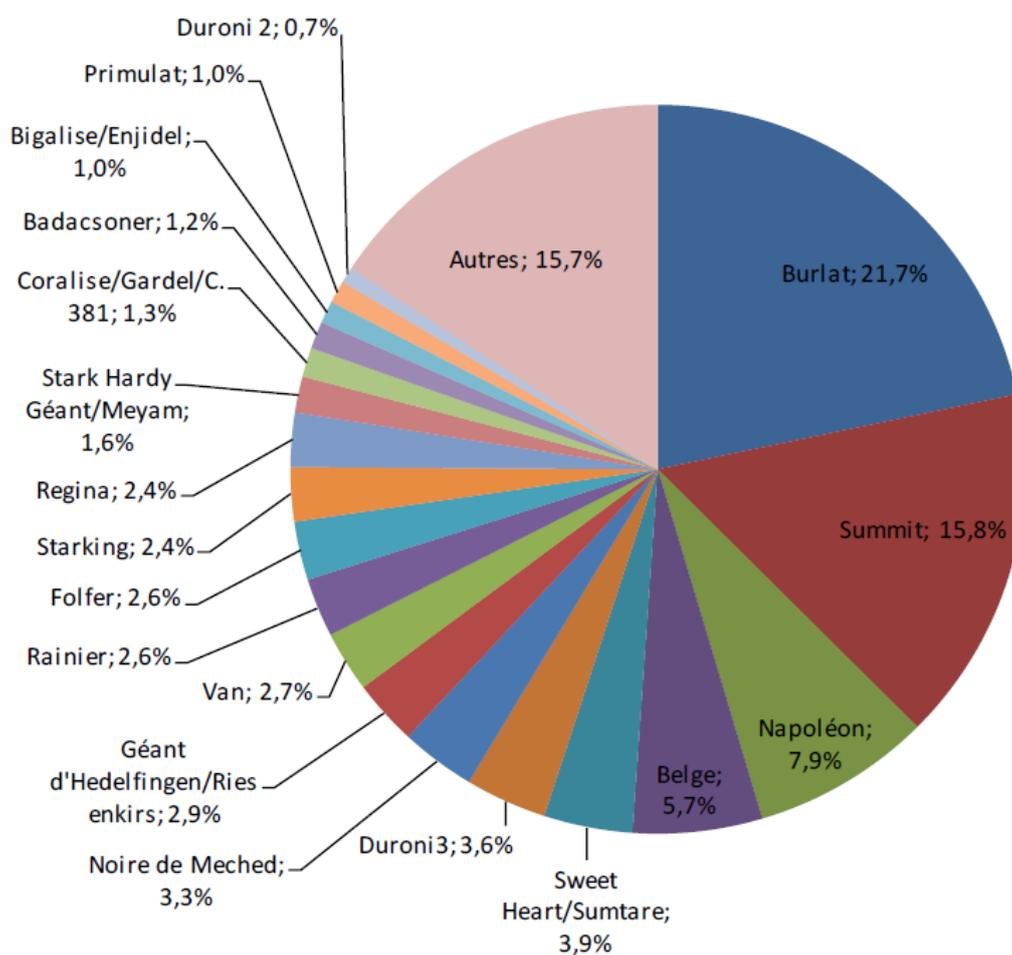
A nouveau, les études ne permettent pas de faire un lien de causalité des diminutions observées de populations d’oiseaux avec l’emploi des pesticides, dû à une grande diversité de paramètres confondants. Les oiseaux sont affectés par des effets indirects des pesticides qui seraient responsables de la diminution d’oiseaux agricoles dans plusieurs pays européens. L’utilisation combinée d’herbicides et d’insecticides diminuent la disponibilité de graines d’adventices (pour les oiseaux granivores) et d’arthropodes (pour les oiseaux insectivores). Et aussi par des effets directs : les oiseaux sont particulièrement sensibles aux pesticides à base d’inhibiteurs de cholinestérase (e.g. organophosphates et carbamates) car, contrairement aux mammifères, ils ont peu d’enzymes détoxifiantes.

Tableau 23 Effets des pesticides sur les vertébrés. Ces données ne sont pas spécifiques à des études effectuées en verger. Source : (Alix et al., 2005)

Groupe d’organismes	Etat des données	Effets directs des pesticides	Paramètres confondants	Effets indirects
Oiseaux	++	Négatif	Pratiques agricoles (labour, zones de bordures), éléments du paysage	Effets sur les ressources alimentaires (herbicides, insecticides)
Mammifères	++	Négatif		Effets sur les ressources alimentaires (herbicides, insecticides)
Reptiles	++	Négatif, neutre		Non renseignés

Annexes

Poids des principales variétés cultivées dans le verger national de cerisier

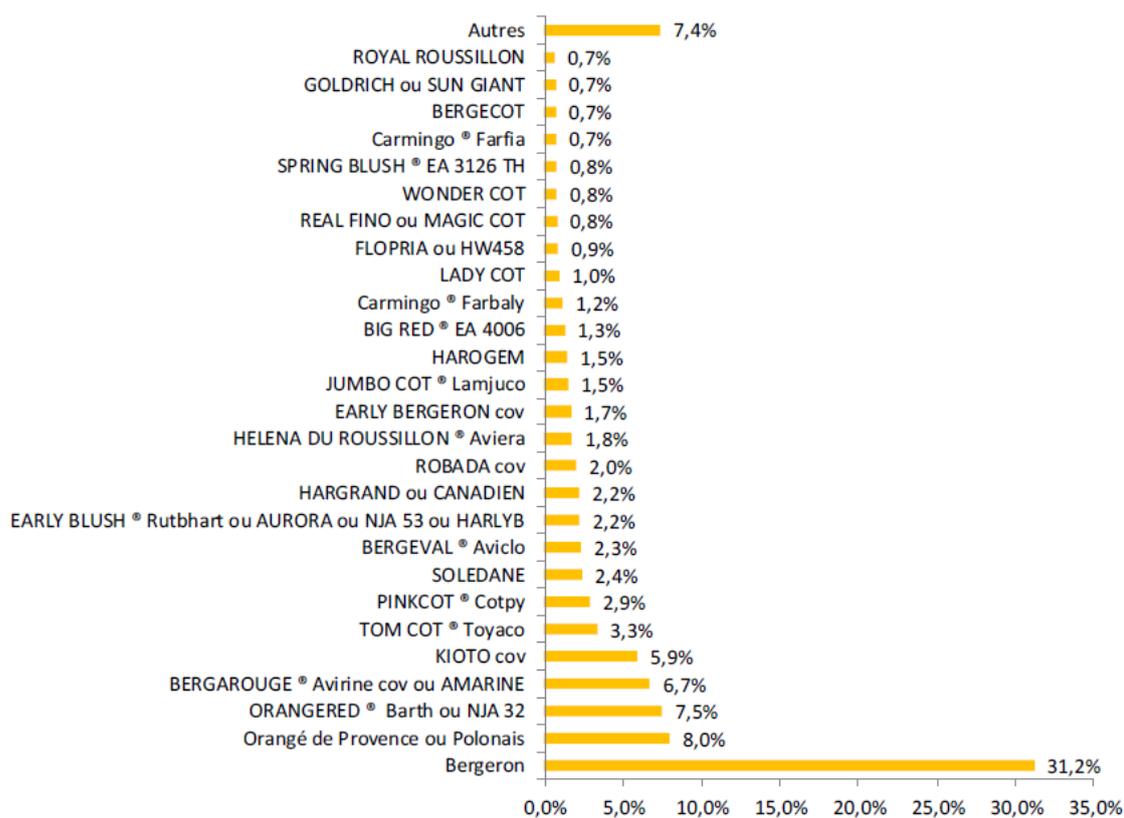


Source : Agreste - Enquête sur les pratiques phytosanitaires en arboriculture 2012

Annexe 6 Surface représentée par les principales variétés cultivées dans les vergers de cerisiers en 2012.

Source: Rapport interne du CTIFL - Pratiques culturales et Phytosanitaires 2012, Serrurier 2017

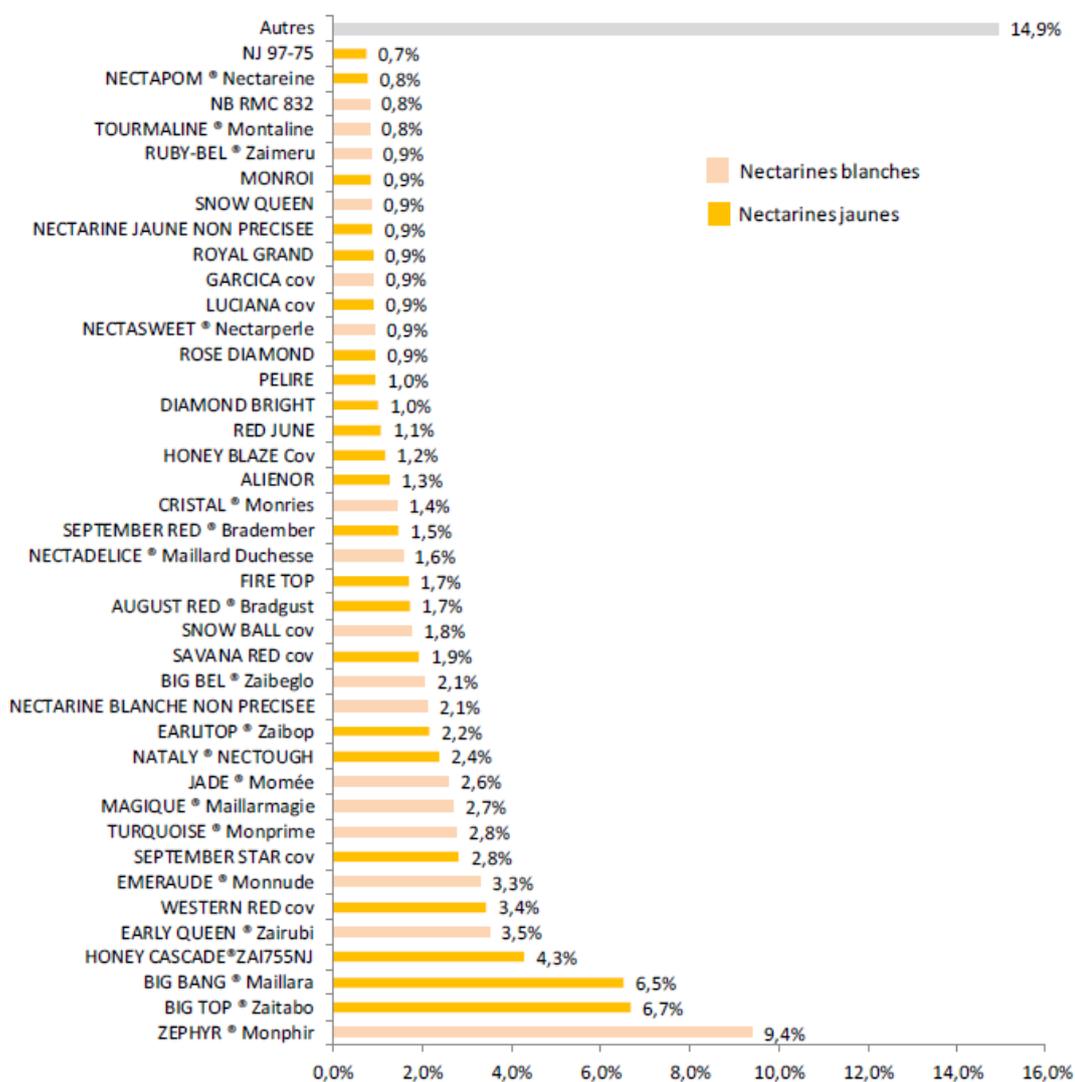
Parts des principales variétés cultivées dans le verger national d'abricotier (% de surfaces)



Source : Agreste - Enquête sur les pratiques phytosanitaires en arboriculture 2012

Annexe 7 Surface représentée par les principales variétés cultivées dans les vergers d'abricotiers en 2012.
 Source: Rapport interne du CTIFL - Pratiques culturales et Phytosanitaires 2012, Serrurier 2017

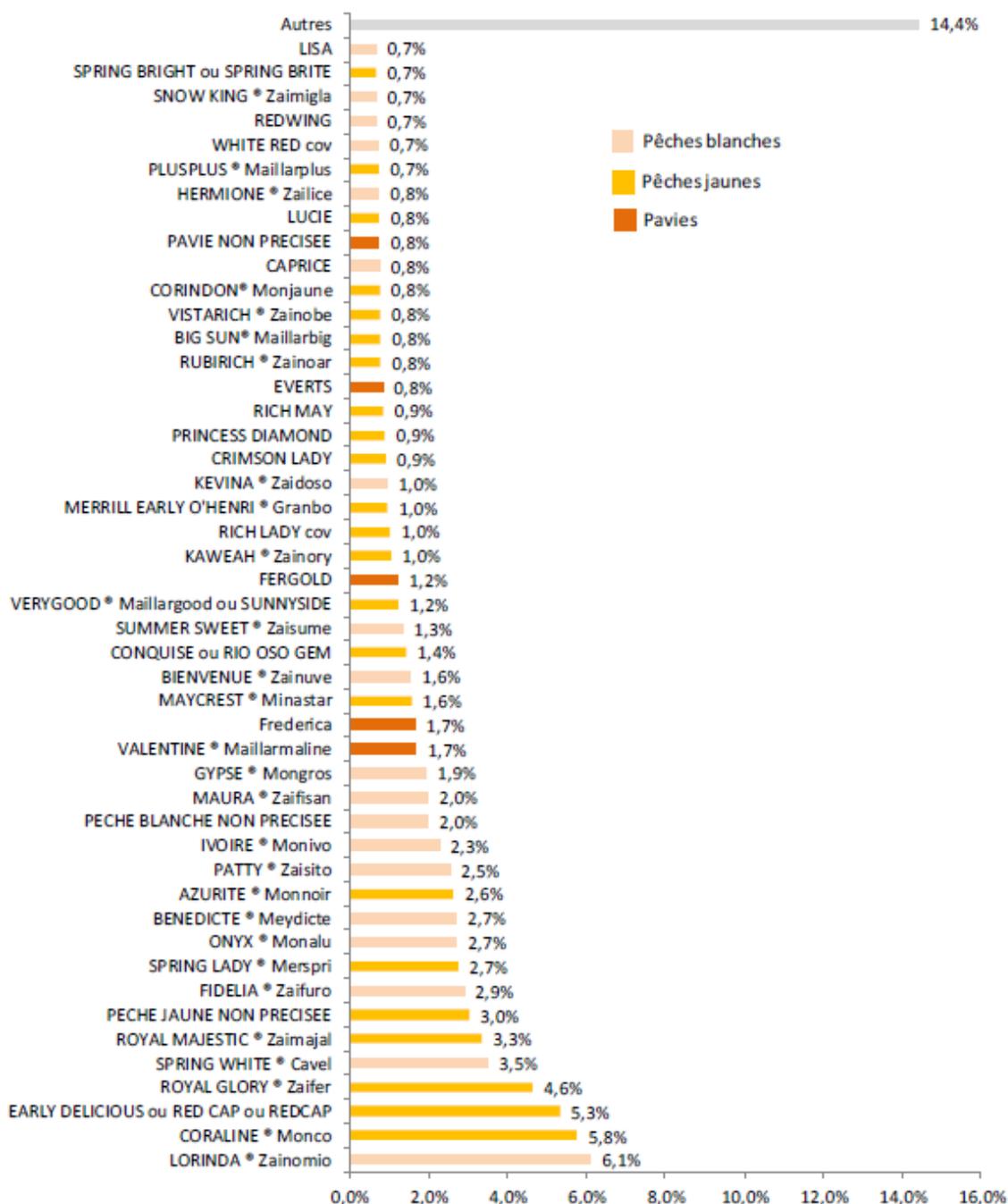
Parts des principales variétés cultivées dans le verger national de nectarinier (% de surfaces)



Source : Agreste - Enquête sur les pratiques phytosanitaires en arboriculture 2012

Annexe 8 Surface représentée par les principales variétés cultivées dans les vergers de nectariniers en 2012.
Source: Rapport interne du CTIFL - Pratiques culturales et Phytosanitaires 2012, Serrurier 2017

Parts des principales variétés cultivées dans le verger national de pêcher (% de surfaces)



Source : Agreste - Enquête sur les pratiques phytosanitaires en arboriculture 2012

Annexe 9 Surface représentée par les principales variétés cultivées dans les vergers de pêchers en 2012.
Source: Rapport interne du CTIFL - Pratiques culturales et Phytosanitaires 2012, Serrurier 2017

Annexe 10 Liste des espèces d'oiseaux recensées au printemps dans 15 parcelles de pommiers pendant trois ans et leurs occurrences selon 3 stratégies de protection (biologique, intégrée ou conventionnelle). Ce tableau provient de l'étude de Bouvier et al (2011).

Species	Diet guild ^a	Frequency of occurrence in all counts (%) ^b		
		Organic	Integrated pest management	Conventional
<i>Accipiter gentilis</i>	4	0.0	6.6	0.0
<i>Accipiter nisus</i>	4	40.0	20.0	0.0
<i>Aegithalos caudatus</i>	1	26.6	0.0	0.0
<i>Buteo buteo</i>	4	53.3	53.3	13.3
<i>Carduelis carduelis</i>	2	66.6	73.3	66.6
<i>Carduelis chloris</i>	2	93.3	100	73.3
<i>Certhia brachydactyla</i>	1	80.0	66.6	20.0
<i>Columba palumbus</i>	2	80.0	86.6	53.3
<i>Corvus corone</i>	3	86.6	80.0	20.0
<i>Corvus monedula</i>	3	40.0	6.6	0.0
<i>Emberiza cirrus</i>	1	60.0	66.6	33.3
<i>Erithacus rubecula</i>	1	100	100	93.3
<i>Falco subbuteo</i>	4	0.0	6.6	0.0
<i>Falco tinnunculus</i>	4	86.6	73.3	20.0
<i>Fringilla coelebs</i>	2	6.6	6.6	0.0
<i>Garrulus glandarius</i>	3	46.6	33.3	13.3
<i>Luscinia megarhynchos</i>	1	100	46.6	0.0
<i>Oriolus oriolus</i>	1	0.0	20.0	0.0
<i>Parus caeruleus</i>	1	73.3	6.6	6.6
<i>Parus major</i>	1	100	100	100
<i>Passer montanus</i>	1	40.0	20.0	6.6
<i>Pica pica</i>	3	80.0	66.6	53.3
<i>Picus viridis</i>	1	73.3	80.0	33.3
<i>Serinus serinus</i>	2	100	80.0	86.6
<i>Streptopelia decaocto</i>	2	33.3	13.3	6.6
<i>Streptopelia turtur</i>	2	46.6	6.6	0.0
<i>Sylvia atricapilla</i>	1	100	33.3	6.6
<i>Sylvia melanocephala</i>	1	60.0	53.3	20.0
<i>Troglodytes troglodytes</i>	1	53.3	20.0	0.0
<i>Turdus merula</i>	1	86.6	80.0	33.3

^a 1 = insectivorous; 2 = granivorous; 3 = omnivorous; 4 = bird of prey.

^b The frequency of occurrence of a species was calculated as the percentage of times that the species was observed in each type of orchard (100% = 15 times: 5 orchards x 3 years).

Annexe 11 Liste des espèces d'oiseaux recensées au printemps 2015 dans 46 parcelles de pommiers et leurs prévalences selon 3 stratégies de protection (biologique avec filets, biologiques sans filets ou conventionnelle sans filets). Source : PHYTOMA 2019

Tableau 1 : prévalence (en %) des espèces d'oiseaux recensées en période de reproduction dans des parcelles de pommiers

0 % X 1-20 % X 21-40 % X 41-60 % X 61-80 % X 81-100 %.

Espèces	Alimentation ⁽¹⁾	Parcelles de pommiers		
		Bio avec filets	Bio sans filet	Conv. sans filet
Bouscarle de Cetti	I	X	X	X
Bruant zizi	G, I	X	X	X
Chardonneret élégant	G	X	X	X
Choucas des tours	O	X	X	X
Corneille noire	O	X	X	X
Étourneau sansonnet	I	X	X	X
Faucon crécerelle	R	X	X	X
Fauvette à tête noire ⁽²⁾	I	X	X	X
Fauvette mélanocéphale ⁽²⁾	I	X	X	X
Geai des chênes	O	X	X	X
Grimpereau des jardins ⁽²⁾	I	X	X	X
Hypolais polyglotte ⁽²⁾	I	X	X	X
Loriot d'Europe ⁽²⁾	I	X	X	X
Merle noir	I	X	X	X
Mésange bleue ⁽²⁾	I	X	X	X
Mésange charbonnière ⁽²⁾	I	X	X	X
Moineau domestique	G, I	X	X	X
Pic épeiche ⁽²⁾	I	X	X	X
Pic vert	I	X	X	X
Pie bavarde	O	X	X	X
Pigeon ramier	G	X	X	X
Pinson des arbres	G, I	X	X	X
Rollier d'Europe	I	X	X	X
Rossignol philomèle	I	X	X	X
Rouge-gorge	I	X	X	X
Rouge-queue noir	I	X	X	X
Serin cini	G	X	X	X
Tourterelle des bois	G	X	X	X
Tourterelle turque	G	X	X	X
Troglodyte mignon	I	X	X	X
Verdier d'Europe	G	X	X	X

(1) I = insectivore ; G = granivore ; O = omnivore ; R = rapace.

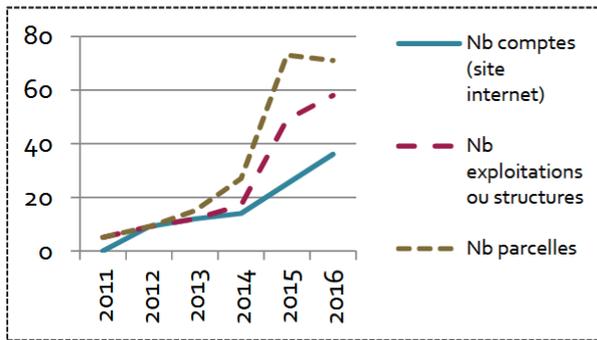
(2) Espèces se nourrissant dans le feuillage des buissons et/ou des arbres.

Annexe 12 Liste des espèces d'oiseaux recensées en hiver dans 15 parcelles de pommiers et de poiriers pendant deux ans et leurs prévalences selon 3 stratégies de protection (biologique, intégrée ou conventionnelle). Ce tableau provient de l'étude de Bouvier et al (2016).

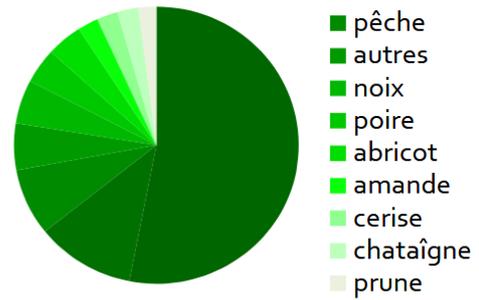
Tableau 1 : Prévalence (en %) des espèces d'oiseaux recensées en hiver dans des vergers de pommiers et de poiriers en agriculture biologique (AB), intégrée (Int) et conventionnelle (Conv). N = nicheur, H = hivernant

Espèce	Statut	Pommier			Poirier		
		AB	Int	Conv	AB	Int	Conv
Accenteur mouchet	H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Bergeronnette grise	H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Bouscarle de Cetti	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Bruant des roseaux	H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Bruant fou	H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Bruant zizi	N, H	1-20 %	21-40 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Buse variable	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Chardonneret élégant	N, H	1-20 %	21-40 %	1-20 %	21-40 %	1-20 %	1-20 %
Choucas des tours	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Cornette noire	N, H	1-20 %	21-40 %	21-40 %	1-20 %	21-40 %	21-40 %
Étourneau sansonnet	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Faisan de colchide	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Faucon crécerelle	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Fauvette à tête noire	N, H	41-60 %	41-60 %	41-60 %	41-60 %	41-60 %	41-60 %
Fauvette mélanocéphale	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Geai des chênes	N, H	1-20 %	21-40 %	1-20 %	1-20 %	21-40 %	1-20 %
Grimpereau des jardins	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Grive litorne	H	1-20 %	21-40 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Grive mauvis	H	21-40 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Grive musicienne	H	21-40 %	41-60 %	21-40 %	1-20 %	21-40 %	21-40 %
Grosbec casse-noyaux	H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Linotte mélodieuse	H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Mésange à longue queue	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Mésange bleue	N, H	21-40 %	1-20 %	21-40 %	1-20 %	21-40 %	21-40 %
Mésange charbonnière	N, H	21-40 %	81-100 %	21-40 %	1-20 %	21-40 %	21-40 %
Moineau friquet	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Pic épeiche	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Pic vert	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	21-40 %	1-20 %
Pie bavarde	N, H	1-20 %	21-40 %	1-20 %	1-20 %	21-40 %	21-40 %
Pinson des arbres	N, H	81-100 %	81-100 %	41-60 %	41-60 %	41-60 %	81-100 %
Pinson du nord	H	1-20 %	21-40 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Pipit des prés	H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Pouillot véloce	H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Roitelet huppé	H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Rouge-gorge	N, H	41-60 %	41-60 %	21-40 %	21-40 %	21-40 %	21-40 %
Rougequeue noir	N, H	1-20 %	21-40 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Serin cini	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Tourterelle turque	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %
Troglodyte mignon	N, H	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	21-40 %	21-40 %
Verdier d'Europe	N, H	1-20 %	21-40 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %	1-20 %

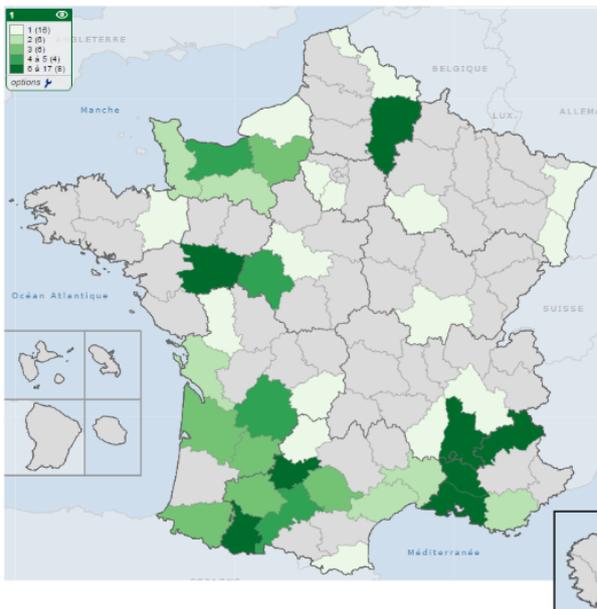
Dynamique du réseau



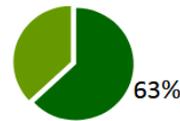
Proportion



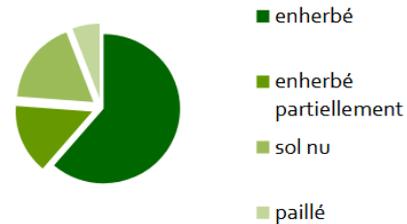
Carte des départements concernés (intensité de coloration en fonction du nb de parcelles impliquées jusqu'à la saisie)



Pourcentage en AB



Gestion de l'interrang



Dont 25 parcelles de vergers maraîchers dans le cadre du projet agroforestier SMART.

13

Annexe 13 Le réseau de parcelles en arboriculture fruitière sur lesquels les observations sur la biodiversité de l'OAB ont été effectuées. Source : OAB 2016

	abeilles solitaires	vers de terre	invertébrés	papillons
Arboriculture	x	ab	bc	ab
Autres cultures pérennes	x	abc	bc	ab
Grandes cultures	x	a	b	b
Maraîchage	x	bc	a	a
Prairie	x	a	bc	a
Viticulture	x	c	c	b

Annexe 14 La significativité des différences d'abondance des indicateurs OAB entre grands types de culture des recensements de 2012 à 2017. Les lettres alphabétiques représentent la significativité des différences statistiques. Les croix indiquent qu'aucune différence significative n'a été démontrée. Source : Royal (2018)

Bibliographie

- Abujabhah, Ibrahim S., Sally A. Bound, Richard Doyle, and John P. Bowman. 2016. "Effects of Biochar and Compost Amendments on Soil Physico-Chemical Properties and the Total Community within a Temperate Agricultural Soil." *Applied Soil Ecology* 98 (February): 243–53. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.021>.
- Alfonso Gomez, Jose, Mercedes Campos, Gema Guzman, Franco Castillo-Llanque, Tom Vanwalleghem, Angel Lora, and Juan V. Giraldez. 2018. "Soil Erosion Control, Plant Diversity, and Arthropod Communities under Heterogeneous Cover Crops in an Olive Orchard." *Environmental Science and Pollution Research* 25 (2): 977–89. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8339-9>.
- Baptista, P., A. Martins, T. Lino-Neto, and R. M. Tavares. 2005. "Effect of Soil Tillage on Diversity and Abundance of Macrofungi Associated with Chestnut Tree in the Northeast of Portugal." In *Proceedings of the Third International Chestnut Congress*, edited by C. G. Abreu, E. Rosa, and A. A. Monteiro, 685–90. Leuven 1: International Society Horticultural Science.
- Benayas, José M. Rey, Jorge Meltzer, Daniel de las Heras-Bravo, and Luis Cayuela. 2017. "Potential of Pest Regulation by Insectivorous Birds in Mediterranean Woody Crops." *PLOS ONE* 12 (9): e0180702. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180702>.
- Benton, Tim G., Juliet A. Vickery, and Jeremy D. Wilson. 2003. "Farmland Biodiversity: Is Habitat Heterogeneity the Key?" *Trends in Ecology & Evolution* 18 (4): 182–88. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9).
- Blanken LJ, van Langevelde F, van Dooremalen C. 2015 Interaction between *Varroa destructor* and imidacloprid reduces flight capacity of honeybees. *Proc. R. Soc. B* 282: 20151738.
- Bourguet, Denis, and Thomas Guillemaud. 2016. "The Hidden and External Costs of Pesticide Use." In *Sustainable Agriculture Reviews*, 18:399 p. *Sustainable Agriculture Reviews*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_2.
- Brown, M. W., and T. Tworokski. 2004. "Pest Management Benefits of Compost Mulch in Apple Orchards." *Agriculture Ecosystems & Environment* 103 (3): 465–72. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.11.06>.
- 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>.
- Campbell, Alistair John, Andrew Wilby, Peter Sutton, and Felix Wäckers. 2017. "Getting More Power from Your Flowers: Multi-Functional Flower Strips Enhance Pollinators and Pest Control Agents in Apple Orchards." *Insects* 8 (3). <https://doi.org/10.3390/insects8030101>.
- Canali, S., A. Trinchera, F. Intrigliolo, L. Pompili, L. Nisini, S. Mocali, and B. Torrisci. 2004. "Effect of Long Term Addition of Composts and Poultry Manure on Soil Quality of Citrus Orchards in Southern Italy." *Biology and Fertility of Soils* 40 (3): 206–10. <https://doi.org/10.1007/s00374-004-0759-x>.
- Cardinale B., 2012b. "Biodiversity Loss and Its Impact on Humanity." *Nature* 486 (7401): 59–67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>.

- Cardinale, Bradley J., J. Emmett Duffy, Andrew Gonzalez, David U. Hooper, Charles Perrings, Patrick Venail, Anita Narwani, et al. 2012a. "Biodiversity Loss and Its Impact on Humanity." *Nature* 486 (7401): 59–67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>.
- Carpio, Antonio J., Jesús Castro, and Francisco S. Tortosa. 2019. "Arthropod Biodiversity in Olive Groves under Two Soil Management Systems: Presence versus Absence of Herbaceous Cover Crop." *Agricultural and Forest Entomology* 21 (1): 58–68. <https://doi.org/10.1111/afe.12303>.
- Charbonnier, Léa. 2016. "La Flore et Les Végétations Adventices Des Milieux Agricoles En Corse : Vergers d'agrumes et Bordures de Cultures." Conservatoire Botanique National de Corse.
- Cortesero, A. M., J. O. Stapel, and W. J. Lewis. 2000. "Understanding and Manipulating Plant Attributes to Enhance Biological Control." *Biological Control* 17 (1): 35–49. <https://doi.org/10.1006/bcon.1999.0777>.
- 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>.
- Fountain, Michelle T., and Adrian L. Harris. 2015. "Non-Target Consequences of Insecticides Used in Apple and Pear Orchards on *Forficula auricularia* L. (Dermaptera: Forficulidae)." *Biological Control* 91 (December): 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2015.07.007>.
- FranceAgrimer, Prospective Fruits Du Futur-Mars18.Pdf. n.d.
- Garcia D., 2018b. "Birds as Suppliers of Pest Control in Cider Apple Orchards: Avian Biodiversity Drivers and Insectivory Effect." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 254 (February): 233–43. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.034>.
- García, Daniel, Marcos Miñarro, and Rodrigo Martínez-Sastre. 2018a. "Birds as Suppliers of Pest Control in Cider Apple Orchards: Avian Biodiversity Drivers and Insectivory Effect." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 254 (February): 233–43. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.034>.
- GIS Fruits, Rapport de Synthèse MEDIEVAL-VF_GIS Fruits.Pdf. 2016
- Granatstein, David, and Enrique Sánchez. 2009. "Research Knowledge and Needs for Orchard Floor Management in Organic Tree Fruit Systems." *International Journal of Fruit Science* 9 (3): 257–81. <https://doi.org/10.1080/15538360903245212>.
- Hall, R. W., and L. E. Ehler. 1979. "Rate of Establishment of Natural Enemies in Classical Biological Control." *Bulletin of the Entomological Society of America* 25 (4): 280–83. <https://doi.org/10.1093/besa/25.4.280>.
- Harrison, P.A., P.M. Berry, G. Simpson, J.R. Haslett, M. Blicharska, M. Bucur, R. Dunford, et al. 2014. "Linkages between Biodiversity Attributes and Ecosystem Services: A Systematic Review." *Ecosystem Services* 9: 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.05.006>.
- Henry M., Beguin M., Requier F., Rollin O., Odoux J.-F., Aupinel P., Aptel J., Tchamitchian S., Decourtye A., 2012, A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science* 336, 348–350
- Inra, 234062-032d5-Resource-Expertise-Agriculture-et-Biodiversite-Chapitre-1.Pdf. n.d. Accessed April 8, 2019. <http://inra.dam.front.pad.wedia-group.com/ressources/afile/234062-032d5-resource-expertise-agriculture-et-biodiversite-chapitre-1.html>.

Inra, <http://www.inra.fr/Grand-public/Agriculture-durable/Tous-les-dossiers/Dependance-aux-pesticides/Pesticides-en-melange-l-effet-cocktail>

Jamar, L., H. Magein, M. Lateur, M. Aubinet, and M. Culot. 2010. "Effect of Organic Farming Practices on Five Orchard Soil Bio-Indicators." In *Organic Fruit Conference*, edited by R. K. Prange and S. D. Bishop, 873:129–36. Leuven 1: Int Soc Horticultural Science.

Jerez-Valle, Carlos, Pedro A. Garcia, Mercedes Campos, and Felipe Pascual. 2014. "A Simple Bioindication Method to Discriminate Olive Orchard Management Types Using the Soil Arthropod Fauna." *Applied Soil Ecology* 76 (April): 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.12.007>.

Kammerer, Melanie A., David J. Biddinger, Edwin G. Rajotte, and David A. Mortensen. 2016. "Local Plant Diversity Across Multiple Habitats Supports a Diverse Wild Bee Community in Pennsylvania Apple Orchards." *Environmental Entomology* 45 (1): 32–38. <https://doi.org/10.1093/ee/nvv147>.

Karimi, Battle, Samuel Dequiedt, Sébastien Terrat, Claudy Jolivet, Dominique Arrouays, Patrick Wincker, Corinne Cruaud, Antonio Bispo, Nicolas Chemidlin Prévost-Bouré, and Lionel Ranjard. 2019. "Biogeography of Soil Bacterial Networks along a Gradient of Cropping Intensity." *Scientific Reports* 9 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40422-y>.

Katayama, Naoki, Idriss Bouam, Chieko Koshida, and Yuki G. Baba. 2019. "Biodiversity and Yield under Different Land-Use Types in Orchard/Vineyard Landscapes: A Meta-Analysis." *Biological Conservation* 229: 125–33. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.11.020>.

Kay, Sonja, Josep Crous-Duran, Silvestre García de Jalón, Anil Graves, João H. N. Palma, José V. Roces-Díaz, Erich Szerencsits, Robert Weibel, and Felix Herzog. 2018. "Landscape-Scale Modelling of Agroforestry Ecosystems Services in Swiss Orchards: A Methodological Approach." *Landscape Ecology* 33 (9): 1633–44. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0691-3>.

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>.

Kozar, F. 1992. "Organization of Arthropod Communities in Agroecosystems." *Acta Phytopathol Entomol Hung* 27: 365–73. <https://ci.nii.ac.jp/naid/20001315881/>.

Le Roux, Xavier, Robert Barbault, Jacques Baudry, Françoise Burel, Isabelle Doussan, Eric Garnier, Felix Herzog, et al. 2008. "Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies." Report. Prodirna. <http://oatao.univ-toulouse.fr/16331/>.

Levrel 2007, these, Document.Pdf. n.d. Accessed April 8, 2019. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00128430/document>.

Levrel, Harold. 2006. "Biodiversité et développement durable : quels indicateurs ?" Phdthesis, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS). <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00128430/document>.

Lichtenberg, Elinor M., Christina M. Kennedy, Claire Kremen, Péter Batáry, Frank Berendse, Riccardo Bommarco, Nilsa A. Bosque-Pérez, et al. 2017. "A Global Synthesis of the Effects of Diversified Farming Systems on Arthropod Diversity within Fields and across Agricultural Landscapes." *Global Change Biology* 23 (11): 4946–57. <https://doi.org/10.1111/gcb.13714>.

- Longcore, Travis. 2003. "Terrestrial Arthropods as Indicators of Ecological Restoration Success in Coastal Sage Scrub (California, U.S.A)." *Restoration Ecology* 11 (4): 397–409. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2003.rec0221.x>.
- Luck, Gary W., Kelly Hunt, and Andrew Carter. 2015. "The Species and Functional Diversity of Birds in Almond Orchards, Apple Orchards, Vineyards and Eucalypt Woodlots." *Emu - Austral Ornithology* 115 (2): 99–109. <https://doi.org/10.1071/MU14022>.
- Malagnoux, Laure, Gaele Marliac, Sylvaine Simon, Magali Rault, and Yvan Capowiez. 2015. "Management Strategies in Apple Orchards Influence Earwig Community." *Chemosphere* 124 (April): 156–62. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.024>.
- Markó, Viktor, Zoltán Elek, Anikó Kovács-Hostyánszki, Ádám Kőrösi, László Somay, Rita Földesi, Ákos Varga, Ágnes Iván, and András Báldi. 2017. "Landscapes, Orchards, Pesticides—Abundance of Beetles (Coleoptera) in Apple Orchards along Pesticide Toxicity and Landscape Complexity Gradients." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 247 (September): 246–54. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.038>.
- Menta, Cristina, Alan Leoni, Katia Tarasconi, and Paola Affanni. 2010. "Does Compost Use Affect Microarthropod Soil Communities?" *Fresenius Environmental Bulletin* 19 (10A): 2303–11.
- Minarro, Marcos, and Daniel Garcia. 2018. "Unravelling Pest Infestation and Biological Control in Low-Input Orchards: The Case of Apple Blossom Weevil." *Journal of Pest Science* 91 (3): 1047–61. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-0976-y>.
- Miñarro, Marcos, and Daniel García. 2018. "Unravelling Pest Infestation and Biological Control in Low-Input Orchards: The Case of Apple Blossom Weevil." *Journal of Pest Science* 91 (3): 1047–61. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-0976-y>.
- Miñarro, Marcos, and Eduardo Prida. 2013. "Hedgerows Surrounding Organic Apple Orchards in North-West Spain: Potential to Conserve Beneficial Insects." *Agricultural and Forest Entomology* 15 (4): 382–90. <https://doi.org/10.1111/afe.12025>.
- Mouron, Patrik, Ursula Aubert, Bart Heijne, Andreas Naef, Jörn Strassemeier, Gérard Gaillard, Gabriele Mack, et al. 2010. "A Multicriteria Decision Method Assessing the Overall Sustainability of New Crop Protection Strategies: The Case of Apple Growing in Europe." *Methods and Procedures for Building Sustainable Farming Systems*, 11.
- Muneret et al., 2017 Evidence that organic farming promotes pest control
- Nations Unies. 1992. "Convention Sur La Diversité Biologique." Rio: Nations Unies. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf>.
- Neilsen, G., D. Neilsen, D. O’Gorman, E. Hogue, D. Angers, N. Bissonnette, and T. Forge. 2013. "Soil Management in Organic Orchard Production Systems." In *International Organic Fruit Symposium*, edited by D. Granatstein, P. K. Andrews, S. D. Bishop, and W. Janisiewicz, 1001:295–302. Leuven 1: Int Soc Horticultural Science.
- OAB. 2017. "Bilan de l’année 2017. Lettre d’information spéciale n°29." *Observatoire Agricole de la Biodiversité*.
- Observatoire National de la Biodiversité. 2016. "Évolution de la biodiversité bactérienne des sols | Indicateurs ONB." ONB, Observatoire National de la Biodiversité. 2016. <http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/fr/indicateurs/evolution-de-la-biodiversite-bacterienne-des-sols>.

ONB. 2015. "Biodiversité Spécifique Des Vers de Terre | Indicateurs ONB." ONB, Observatoire National de La Biodiversité. 2015. <http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/fr/indicateurs/biodiversite-specifique-des-vers-de-terre>.

ONCFS. 2018. "Réseau SAGIR." Office National de La Chasse et de La Faune Sauvage. 2018. <http://www.oncfs.gouv.fr/Reseau-SAGIR-ru105>.

Pimentel, David. 1995. "Amounts of Pesticides Reaching Target Pests: Environmental Impacts and Ethics." *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 8 (1): 17–29. <https://doi.org/10.1007/BF02286399>.

Piron, D. n.d. "Pourquoi étudier les vers de terre ?" UMR EcoBio, Université de Rennes 1, EcovioSoil, Observatoire Participatif des Vers de Terre, 6.

Pisa, L. W., V. Amaral-Rogers, L. P. Belzunces, J. M. Bonmatin, C. A. Downs, D. Goulson, D. P. Kreuzweiser, et al. 2015. "Effects of Neonicotinoids and Fipronil on Non-Target Invertebrates." *Environmental Science and Pollution Research* 22 (1): 68–102. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3471-x>.

Porcel, Mario, Georg K. S. Andersson, Joakim Pålsson, and Marco Tasin. 2018. "Organic Management in Apple Orchards: Higher Impacts on Biological Control than on Pollination." Edited by Michael Pocock. *Journal of Applied Ecology* 55 (6): 2779–89. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13247>.

Preud'Homme, Roseline, Hélène Hampartzoumian, Roger Jumel, Romain Julliard, and Jean-Philippe Siblet. 2009. "Elaboration d'un Jeu d'indicateurs Permettant de Mieux Suivre La Biodiversité En Lien Avec l'évolution de l'agriculture," 83.

Rasplus, Jean-Yves. 2015. "Quels sont les vecteurs potentiels en Europe ?" INRA. August 20, 2015. <http://www.inra.fr%2FGrand-public%2FSante-des-plantes%2FTous-les-dossiers%2FXylella-fastidios-identifiee-en-Corse%2FInsectes-vecteurs%2F%28key%29%2F2>.

Ricketts, Taylor H., Keri B. Watson, Insu Koh, Alicia M. Ellis, Charles C. Nicholson, Stephen Posner, Leif L. Richardson, and Laura J. Sonter. 2016. "Disaggregating the Evidence Linking Biodiversity and Ecosystem Services." *Nature Communications* 7 (1): 13106. <https://doi.org/10.1038/ncomms13106>.

Rieux, R, S Simon, and H Defrance. 1999. "Role of Hedgerows and Ground Cover Management on Arthropod Populations in Pear Orchards." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 73 (2): 119–27. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00021-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00021-3).

Risch, Stephen J., David Andow, and Miguel A. Altieri. 1983. "Agroecosystem Diversity and Pest Control: Data, Tentative Conclusions, and New Research Directions." *Environmental Entomology* 12 (3): 625–29. <https://doi.org/10.1093/ee/12.3.625>.

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>.

Royal, Constance. 2018. "Suivi de la biodiversité ordinaire en milieu agricole - Valorisation des données de l'Observatoire Agricole de la Biodiversité." Edited by AgroSupDijon, Observatoire Agricole de la Biodiversité, and Muséum National d'Histoire Naturel, 113.

Rusch, A., Birkhofer, K., Bommarco, R., Smith, H. G., & Ekbom, B. (2014). Management intensity at field and landscape levels affects the structure of generalist predator communities. *Oecologia*, 175, 971–983. <https://doi.org/10.1007/s00442-014-2949-z>

- Sanchez-Moreno, Sara, Juan Castro, Elena Alonso-Prados, Jose Luis Alonso-Prados, Jose Maria Garcia-Baudin, Miguel Talavera, and Victor Hugo Duran-Zuazo. 2015. "Tillage and Herbicide Decrease Soil Biodiversity in Olive Orchards." *Agronomy for Sustainable Development* 35 (2): 691–700. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0266-x>.
- Saunders, Manu E. 2016. "Resource Connectivity for Beneficial Insects in Landscapes Dominated by Monoculture Tree Crop Plantations." *International Journal of Agricultural Sustainability* 14 (1): 82–99. <https://doi.org/10.1080/14735903.2015.1025496>.
- Saunders, Manu E., and Gary W. Luck. 2018. "Interaction Effects between Local Flower Richness and Distance to Natural Woodland on Pest and Beneficial Insects in Apple Orchards." *Agricultural and Forest Entomology* 20 (2): 279–87. <https://doi.org/10.1111/afe.12258>.
- Saunders, Manu E., Rebecca K. Peisley, Romina Rader, and Gary W. Luck. 2016. "Pollinators, Pests, and Predators: Recognizing Ecological Trade-Offs in Agroecosystems." *Ambio* 45 (1): 4–14. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0696-y>.
- Sautereau N, Benoit M (2016) Quantifier et chiffrer économiquement les externalités de l'agriculture biologique ? Etude commanditée par le Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt, 136p
- Schäckermann, Jessica, Gesine Pufal, Yael Mandelik, and Alexandra-Maria Klein. 2015. "Agro-Ecosystem Services and Dis-Services in Almond Orchards Are Differentially Influenced by the Surrounding Landscape." *Ecological Entomology* 40 (S1): 12–21. <https://doi.org/10.1111/een.12244>.
- Sheffield, Cory & Kevan, Peter & Pindar, Alana & Packer, Laurence. (2013). Bee (Hymenoptera: Apoidea) Diversity within Apple Orchards and Old Fields in the Annapolis Valley, Nova Scotia, Canada." n.d. ResearchGate. Accessed May 31, 2019. https://www.researchgate.net/publication/237841594_Bee_Hymenoptera_Apoidea_diversity_within_apple_orchards_and_old_fields_in_the_Annapolis_Valley_Nova_Scotia_Canada.
- Simoes, Maria P., Anabela F. Belo, Carla Pinto-Cruz, and Anacleto C. Pinheiro. 2014. "Natural Vegetation Management to Conserve Biodiversity and Soil Water in Olive Orchards." *Spanish Journal of Agricultural Research* 12 (3): 633–43. <https://doi.org/10.5424/sjar/2014123-5255>.
- Simon, Sylvaine, Jean-Charles Bouvier, Jean-François Debras, and Benoît Sauphanor. 2010. "Biodiversity and Pest Management in Orchard Systems. A Review." *Agronomy for Sustainable Development* 30 (1): 139–52. <https://doi.org/10.1051/agro/2009013>.
- Skirvin, David. J. 2004. "Virtual Plant Models of Predatory Mite Movement in Complex Plant Canopies." *Ecological Modelling* 171 (3): 301–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.07.007>.
- Sofo, A., A. Ciarfaglia, A. Scopa, I. Camele, M. Curci, C. Crecchio, C. Xiloyannis, and A. M. Palese. 2014. "Soil Microbial Diversity and Activity in a Mediterranean Olive Orchard Using Sustainable Agricultural Practices." *Soil Use and Management* 30 (1): 160–67. <https://doi.org/10.1111/sum.12097>.
- Sofo, Adriano, Giuseppe Celano, Patrizia Ricciuti, Maddalena Curci, Bartolomeo Dichio, Cristos Xiloyannis, and Carmine Crecchio. 2010. "Changes in Composition and Activity of Soil Microbial Communities in Peach and Kiwifruit Mediterranean Orchards under an Innovative Management System." *Australian Journal of Soil Research* 48 (3): 266–73. <https://doi.org/10.1071/SR09128>.

- Stanley, Dara A., Michael P. D. Garratt, Jennifer B. Wickens, Victoria J. Wickens, Simon G. Potts, and Nigel E. Raine. 2015. "Neonicotinoid Pesticide Exposure Impairs Crop Pollination Services Provided by Bumblebees." *Nature* 528 (7583): 548–50. <https://doi.org/10.1038/nature16167>.
- Sullivan, T. P., D. S. Sullivan, and H. M. A. Thistlewood. 2012. "Abundance and Diversity of Small Mammals in Response to Various Linear Habitats in Semi-Arid Agricultural Landscapes." *Journal of Arid Environments* 83 (August): 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.03.003>.
- Terrat, Sébastien, Walid Horrigue, Samuel Dequiedt, Nicolas P. A. Saby, Mélanie Lelièvre, Virginie Nowak, Julie Tripied, et al. 2017. "Mapping and Predictive Variations of Soil Bacterial Richness across France." Edited by Xiangzhen Li. *PLOS ONE* 12 (10): e0186766. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186766>.
- Tilman, D. 1997. "Biodiversity and Ecosystem Properties." *Science* 278 (5345): 1865c – 1869. <https://doi.org/10.1126/science.278.5345.1865c>.
- Tscharntke, Teja, Daniel S. Karp, Rebecca Chaplin-Kramer, Péter Batáry, Fabrice DeClerck, Claudio Gratton, Lauren Hunt, et al. 2016. "When Natural Habitat Fails to Enhance Biological Pest Control – Five Hypotheses." *Biological Conservation* 204 (December): 449–58. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.001>.
- Vaissière 2016 JardinsdeFrance 643_3.Pdf. n.d.
- Végétale. 2018. "Les cahiers pomme poire kiwi." *Végétale, l'écho de la planète Fruits&Légumes*, 2018.
- Vélu, Alice, Aude Alaphilippe, Frédérique Angevin, Anne Guérin, Pascale Guillermin, and Franziska Zavagli. 2015. "DEXiFruits." INRA. <http://www.ecophytopic.fr/tr/innovation-en-marche/ecophyto-recherche/dexifruits-d%C3%A9veloppement-d%E2%80%99un-outil-d%E2%80%99%C3%A9valuation-de-la>.
- Vignozzi, Nadia, Alessandro Elio Agnelli, Giorgio Brandi, Elena Gagnarli, Donatella Goggioli, Alessandra Lagomarsino, Sergio Pellegrini, et al. 2019. "Soil Ecosystem Functions in a High-Density Olive Orchard Managed by Different Soil Conservation Practices." *Applied Soil Ecology* 134 (February): 64–76. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.10.014>.
- Wang, P., J. J. Zhang, R. X. Xia, B. Shu, M. Y. Wang, Q. S. Wu, and T. Dong. 2011. "Arbuscular Mycorrhiza, Rhizospheric Microbe Populations and Soil Enzyme Activities in Citrus Orchards under Two Types of No-Tillage Soil Management." *Spanish Journal of Agricultural Research* 9 (4): 1307–18. <https://doi.org/10.5424/sjar/20110904-307-10>.
- Whitehouse, T. Seth, Ashfaq A. Sial, and Jason M. Schmidt. 2018. "Natural Enemy Abundance in Southeastern Blueberry Agroecosystems: Distance to Edge and Impact of Management Practices." *Environmental Entomology* 47 (1): 32–38. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx188>.
- Wratten, Stephen D., Mark Gillespie, Axel Decourtye, Eric Mader, and Nicolas Desneux. 2012. "Pollinator Habitat Enhancement: Benefits to Other Ecosystem Services." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 159 (September): 112–22. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.06.020>.
- Xiloyannis, C., A. M. Palese, A. Sofo, A. N. Mininni, and E. Lardo. 2018. "The Agro-Ecosystemic Benefits of Sustainable Management in an Italian Olive Grove." In *Viii International Olive Symposium*, edited by S. Perica, G. V. Selak, T. Klepo, L. Ferguson, and L. Sebastiani, 1199:303–7. Leuven 1: Int Soc Horticultural Science.

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 4.1, La biodiversité présente en vergers*, 2019, CTIFL-INRA.

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

Licence CC : BY NC ND