

Rapport Scientifique

Remarque liminaire : nous n'avons pas respecté les consignes sur la longueur de ce rapport scientifique (chose que nous n'apprécions pas nous mêmes quand nous sommes relecteurs de ce type de rapport). Nous avons quelque part cédé au défaut de vouloir tout montrer, non pas pour démontrer notre charge de travail, mais par volonté de donner des éléments aux personnes qui serait intéressées pour se lancer dans de telles études (sur des cultures différentes par exemple). En revanche, nous avons décidé de favoriser au maximum les graphes synthétiques (parfois au détriment des représentations de la variabilité) pour faciliter la lecture, et en particulier, celle de responsables de terrain.

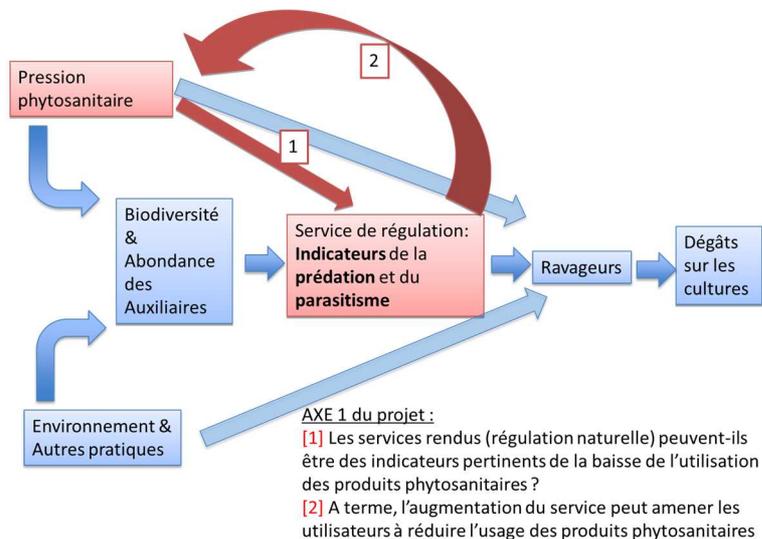
A. Introduction – problématique et enjeux

Le projet « IndRegArb » venait d'un constat assez clair. Il n'y avait aucun moyen ou outil disponible pour les techniciens ou arboriculteurs de suivre les effets positifs attendus d'une réduction de l'utilisation des pesticides (mesurée par l'IFT) dans les vergers, qu'ils soient commerciaux ou expérimentaux. Le contexte incitatif était fort (plan Ecophyto) mais il nous semblait que la profession y serait encore plus sensible si des résultats de recherche venaient appuyer ces incitations, par exemple, en démontrant l'existence du cercle vertueux, souvent vanté mais rarement démontré : « réduction de l'usage des pesticides -> augmentation de la faune auxiliaire -> contrôle agronomiquement satisfaisant des ravageurs -> réduction de l'usage des pesticides » qui est des fondements du plan Ecophyto. Mais au delà de résultats de recherche, souvent obtenus dans des conditions particulières (vergers expérimentaux), il semblait encore plus opportun que les utilisateurs (des responsables de sites DEPHY Expé ou DEPHY Ferme jusqu'à arboriculteurs les plus motivés) puissent disposer d'outils simples et rapides d'utilisation et « également peu coûteux.

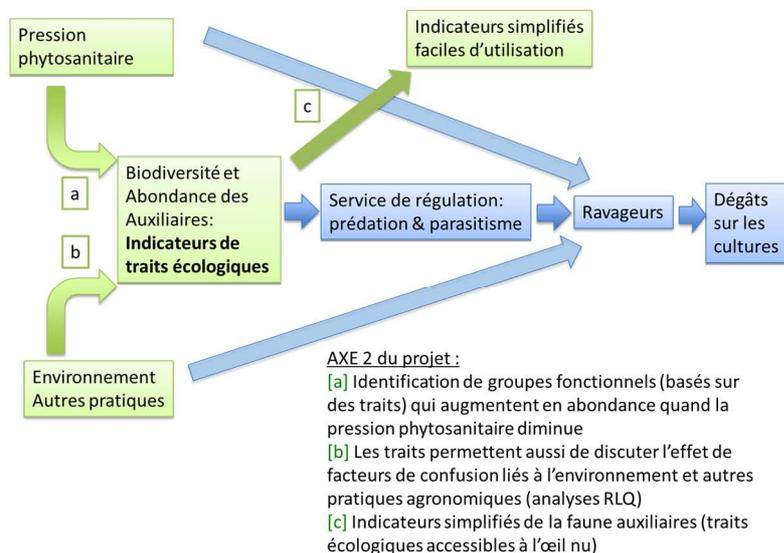
Un frein évident à la mise en place de tels indicateurs c'est avant tout la taxonomie. Il est en effet illusoire d'attendre des utilisateurs (i) des connaissances entomologiques suffisamment pointues et (ii) de disposer du temps nécessaire au piégeage des arthropodes et à leur détermination. De nombreux indicateurs se sont donc focalisés sur des « groupes fonctionnels » (par exemple les syrphes ou les coccinelles, souvent utilisés comme indicateurs en grandes cultures) ou plus généralement sur différents protocoles de RBA (Rapid Biodiversity Assessment ; Obrist et Duelli 2010) si on dépasse le cadre strictement agricole. Il nous semble que, le plus souvent, les indicateurs du type groupe fonctionnel poursuivent simultanément 2 buts intimement liés : (i) estimer une biodiversité utile et (ii) estimer un potentiel de régulation (si les organismes utiles sont des auxiliaires reconnus). Ce double but est également une de leur faiblesse : la présence de ces auxiliaires est certes liée aux pratiques phytosanitaires mais cette influence est tout à la fois directe (toxicité) et indirecte (élimination des proies). Au final, ces indicateurs mettent facilement en évidence une différence entre mode de protection conventionnelle et mode de production en Agriculture Biologique, notamment parce que les dégâts sont plus tolérés en AB et donc les proies (e.g. colonies les pucerons) plus abondantes. Ce sont donc des indicateurs difficiles à manipuler lorsque les niveaux d'infestation sont faibles (soit parce que l'utilisation de pesticides a été efficace soit parce que la régulation naturelle a opéré).

Pour ces raisons, nous avons opté pour d'autres choix, plus originaux mais également plus risqués (i.e aux réponses moins connues) :

-(1) la **mesure des services écosystémiques** liés à la régulation naturelle dans les vergers (axe 1 du projet) en utilisant des moyens simples (prédation et parasitisme d'œufs sentinelles, classe de taille des larves de ravageurs, estimation du nombre de pucerons momifiés) ;



-(2) **l'utilisation des traits fonctionnels des auxiliaires** (axe 2 du projet) pour déterminer comment les proportions de différents traits sont influencées par l'usage des produits phytosanitaires. En outre, ces traits devaient également servir à définir des indicateurs biologiques simplifiés facilement transférables aux praticiens.



Dans ce contexte, les objectifs du projet « IndRegArb » étaient donc les suivants :

. développer, à partir de résultats existants chez les partenaires et en s'appuyant sur le réseau DEPHY-EXPE, des indicateurs du contrôle biologique des insectes ravageurs et des indicateurs de la composition de la faune auxiliaire qui répondent à des modifications de pratiques phytosanitaires et qui soient suffisamment simples d'utilisation pour être utilisables non seulement dans le dispositif DEPHY-EXPE mais également dans le dispositif DEPHY-FERME. A terme, de par leur lien avec le contrôle biologique, l'objectif de ces

indicateurs est également d'aider au pilotage d'une réduction d'usage des pesticides en vergers.

. tester plus spécifiquement :

- si les services de prédation et parasitisme par les ennemis naturels mesurés in situ sont de bons indicateurs de l'évolution de la pression phytosanitaire ;
- si certains groupes fonctionnels d'auxiliaires varient en abondance quand la pression phytosanitaire diminue et si l'on peut établir des indicateurs biologiques simples basés sur l'observation rapide de traits écologiques de ces groupes fonctionnels ;
- si un même type d'indicateur peut être utilisé dans différentes régions géographiques et sur différentes cultures fruitières.

B. Approches scientifiques et techniques utilisées

B.1. Choix des parcelles / caractérisation des pratiques

Les parcelles choisies pour la première phase du projet (2013-2015) sont celles retenues au début du projet et correspondent à 5 sites DEPHY bien identifiés. Les pratiques (dont phytosanitaires) sont celles des itinéraires agronomiques définis pour chaque site. Dans la plupart de ces sites (i.e. tous sauf Gotheron), des objectifs de réduction de l'IFT ont été définis, en utilisant majoritairement 2 classes : (i) objectif -30/-50% et (ii) objectif -50/-70%. Ces vergers sont ensuite comparés à des vergers « Référence ».

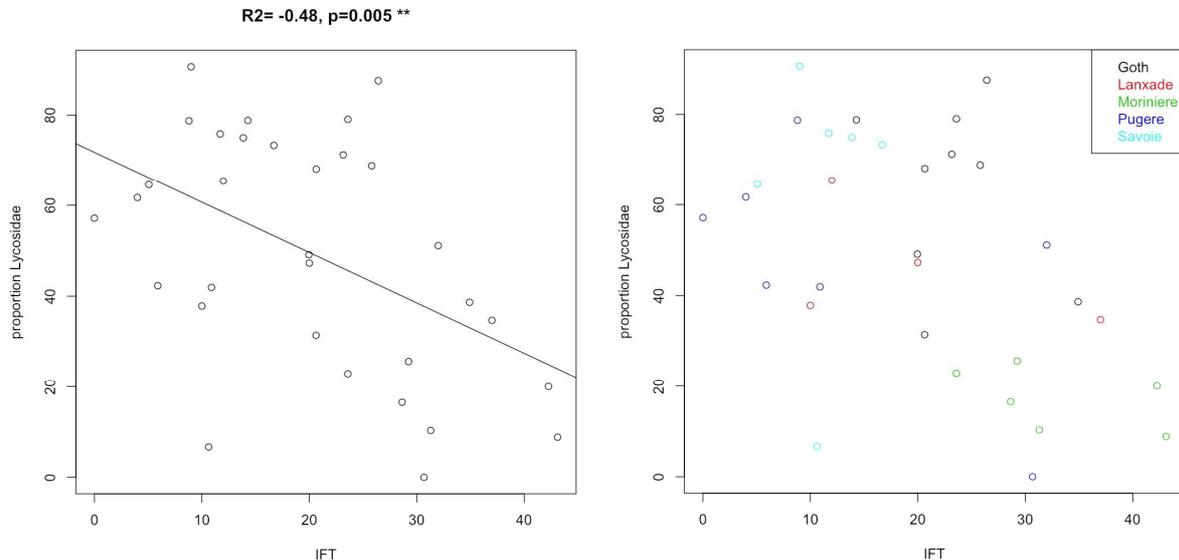


Figure 1: Exemple montrant que les IFT permettent difficilement des analyses inter-sites : la proportion de lycoses dans la communauté d'araignée épigée semble diminuer significativement ($p=0.005$) lorsque l'IFT augmente (panel de gauche) mais on réalise que cette relation tient tout autant à un effet IFT qu'à des différences entre sites (panel de droite).

Après d'âpres débats et de nombreuses réflexions, et surtout un constat que les IFT entre sites étaient difficilement comparables (Fig. 1), nous avons décidé en réunion plénière d'utiliser les classes de réduction visée d'IFT. Scientifiquement, cette décision est un peu

décevante (i.e moins facile à expliquer dans un article scientifique), mais finalement elle correspond à une situation de terrain, chaque site/bassin/région ayant décidé de leviers (possiblement différents) les plus pertinents pour réduire les IFT.

De 2013 à 2015, on comparera donc :

- vergers AB : cahier des charges de l'Agriculture Biologique
- vergers de classe 1 : vergers références, pratiques « moyennes » de la région d'origine
- vergers de classe 2 : utilisation des leviers régionaux pour atteindre -30 à -50% d'IFT
- vergers de classe 3 : utilisation des leviers régionaux pour atteindre -50 à -70% d'IFT

En 2016, pour tester l'indicateur le plus prometteur du projet, nous avons décidé de sélectionner un grand nombre de vergers, soit en choisissant d'autres sites DEPHY pour d'autres productions fruitières (pêches), soit en incluant un réseau de FERME Ecophyto (géra par le GR-CETA) soit enfin en utilisant des réseaux « informels » comme le réseau AltCarpo (qui avait servi de base lors d'un projet Pesticides financé par le MEDDAT) ou les parcelles de la non officielle Zone Atelier de Basse Durance (base de nombreux travaux de l'INRA d'Avignon). Le fait de sortir des réseaux DEPHY pour intégrer des vergers commerciaux, nous a obligé à délaissier les classes de réduction d'IFT pour utiliser des classes un peu moins précises (aucun arboriculteur n'affichant des objectifs de -50 à -70%).

En 2016, on comparera donc :

- vergers AB : cahier des charges de l'Agriculture Biologique
- vergers « PFI »: vergers références, pratiques « moyennes » de la région d'origine
- vergers « Bas Intrans »: utilisation des leviers régionaux pour diminuer significativement l'IFT (filets Altcarpo, cahier des charges « baby food », classes 2 et 3 des sites DEPHY)

On trouvera en annexe, le tableau A.1. des sites utilisés par le projet IndRegArb pour les 2 phases du projet

B.2. Piégeages, observations in situ, organismes sentinelles et mesure du service

B.2.1. Méthodes de piégeages des arthropodes en verger

Nous avons utilisé les méthodes classiques utilisées en arboriculture ou pour d'autres cultures pérennes : (i) les pots-piège ou pièges Barber pour estimer l'activité-abondance des arthropodes se déplaçant à la surface du sol ; (ii) les bandes pièges cartonnés pour échantillonner les arthropodes de la canopée (plutôt les nocturnes) et (iii) les frappages de branches pour estimer les arthropodes de la canopée (plutôt diurnes).

B.2.2. Mesure du service (prédation et parasitisme)

Pour estimer la prédation soit des pucerons soit des oeufs de carpocapse, nous avons utilisé les méthodes maintenant classiques, celles des proies sentinelles, c'est à dire soit des pucerons d'élevage collé sur un support (papier filtre) grâce à de fines lamelles de scotch double face, soit des œufs pondus au laboratoire sur du papier que l'on découpe ensuite

pour en tirer des bandelettes d'une dizaine d'œufs (le nombre d'exact est écrit sur chaque bandelette au début de l'expérience).

Pour estimer la parasitisme du puceron et des larves de carpocapse, des observations in situ sont réalisées : (i) on compte le nombre de colonies sur une trentaine d'arbre par verger puis on compte le nombre de momies de pucerons observés dans 5 colonies par arbre ; (ii) on compte le nombre de larves de carpocapse qui hivernent à l'automne dans les bandes pièges posées à la fin de l'été et on dénombre les larves de plus petites taille qui ont de forte probabilité d'être parasitées (Maalouly et al. 2015).

Pour estimer le parasitisme des œufs de carpocapse, on expose des œufs sentinelles et après une semaine dans le verger, on analyse par des techniques de biologie moléculaire,

B.3. Analyse de données et utilisation des traits

Vue la structure des données, chaque indicateur (caractéristique de communauté, abondance d'espèce ou service mesuré) a été analysé en utilisant des modèles mixtes (avec des lois de réponse normales et plus rarement poisson ou pseudo-poisson en fonction des distributions de valeurs observées). Ont été considérés comme effets aléatoires, les effets du site et éventuellement les effets de la saison ou de l'année, l'effet fixe a donc été la classe de réduction de l'IFT.

Les analyses basées sur les traits ont été classiquement menées en calculant pour chaque trait (taille, capacité de dispersion (type d'aile pour les carabes, possibilité d'aéronautie chez les araignées), type de diète (principalement granivore vs zoophage chez les carabes, type de piégeages pour les araignées), ...) des CWM (Community Weighted Mean), c'est à dire la proportion de la communauté en question portant un trait donné (un de ces attributs). Ce type d'analyse présuppose d'avoir, sauf exceptions (certains traits des araignées sont bien conservés au degré taxonomique de la famille (Pekar 1999), une liste des espèces. Il s'agit donc là d'outils pour les chercheurs (et cela explique le faible niveau de détail donné ici).

En revanche, et c'est l'idée sous-jacente au projet IndRegArb, on peut ensuite analyser les traits ayant donné les meilleurs résultats (i.e. des relations claires vis à vis d'une réduction de l'IFT) et tenter de voir lesquels (seuls ou en combinaison) pourraient être déclinés en trait macroscopique utilisable sur le terrain (des exemples concrets sont donnés à la fin de ce rapport).

Nota Bene: La nature des données récoltées est fortement structurée avec des effets site, verger, saison et année. Cette variabilité est prise en compte dans les modèles statistiques appliqués (cf supra) mais une représentation graphique exhaustive de ces effets serait fastidieuse et/ou nécessiterait de longues annexes. Nous avons donc fait le choix d'une présentation synthétique pour les figures (qui englobent parfois la variabilité entre sites et parfois celle entre saisons). En conséquence, la variabilité des données sur ces figures est très importante. Il nous a semblé néanmoins que les lecteurs d'un tel rapport (pas forcément uniquement des chercheurs chevronnés) trouveraient là un support visuel efficace pour appréhender nos résultats.

C. Résultats obtenus

1. Pratiques phytosanitaires sur les différents sites

Le but n'est pas de mettre en évidence des différences entre sites (présentes par construction) mais de valider les classes choisies (i.e. les objectifs de réduction d'IFT) par rapport aux calendriers appliqués. Pour ce qui est des évolutions inter-annuelles, elle sont stables pour les sites (aucune interaction « classe » * « année » n'est significative). Les IFT totaux et l'IFT fongicides ont été stables entre 2014 et 2015, en revanche on note une baisse significative de l'IFT insecticide en 2015 par rapport à 2014 ($p < 0.001$). Pour les 4 classes d'IFT étudiées, le facteur « classe » a un effet significatif.

Pour les IFT totaux et l'IFT fongicide (Fig. 2), on note que :

- (i) les modalités « AB » et la classe 3 sont indistinguables ;
- (ii) ces 2 modalités sont significativement différentes de la modalité 1.

Pour l'IFT insecticide, on observe que :

- les classes 1 et 3 sont significativement différentes (la classe 2 est intermédiaire et ne diffère pas de ces 2 classes) et les valeurs sont en moyenne plus fortes pour les vergers AB. Notons cependant que les insecticides utilisés en AB sont différents des insecticides de synthèse qui restent très majoritaires dans les 3 autres classes.

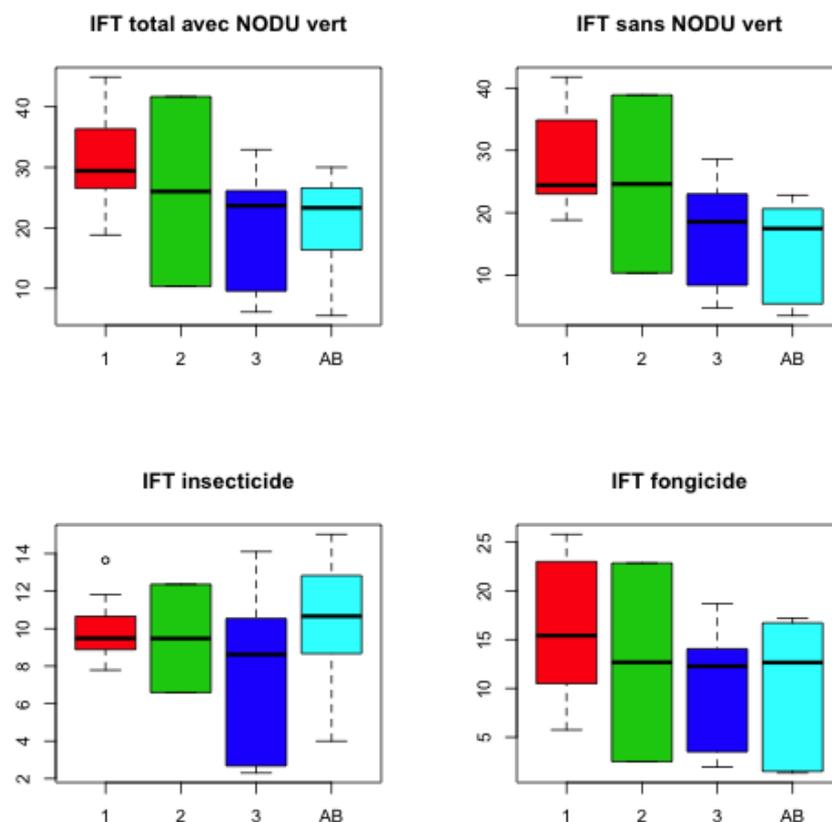


Figure 2. Distribution des IFT totaux (incluant ou non les NODU vert), des insecticides et des fongicides en fonction des classes d'objectif de réduction d'IFT définis sur les sites DEPHY Ecophyto. Les fortes variabilités sont dues au fait que les différents sites et années sont ici rassemblés pour une présentation synthétique.

2. Mesure des services écosystémiques

2.1. Parasitisme (œufs et larves de carpocapse, pucerons)

L'idée de la prédation des larves de carpocapse, qui reposait sur des travaux préliminaires intéressants (Maalouly et al. 2015), fut un échec patent. Les raisons en sont simples. En ce qui concerne le carpocapse des pommes, le nombre de larves parasitées échantillonnées en automne a été très faible (et nul pour certains sites comme Lanxade). Des effectifs si faibles (<1%) ne permettent pas de mettre en évidence des différences entre parcelles.

En ce qui concerne le parasitisme des œufs de carpocapse (et d'*Ephestia*), le même problème a été rencontré avec des fréquences trop faibles (et donc des réponses erratiques).

Pour le puceron cendré, le taux d'infestation des vergers était faible également (avec un tiers des vergers sans aucune colonie et en moyenne moins d'une colonie tous les 10 arbres lorsqu'on exclut les vergers en AB). En conséquence, le nombre de momies de pucerons parasités fut lui aussi également très faible. On notera un nombre significativement plus important de momies de pucerons dans les vergers en AB ($p = 0.52$; glm avec loi de pseudo-poisson) par rapport à tous les autres vergers.

2.2. Prédation

2.2.1. Prédation des œufs sentinelles de carpocapse

C'était un résultat déjà connu (Marliac et al. 2015), la prédation des œufs est significativement plus élevée en été qu'au printemps (39,3% contre 10,7% des œufs furent consommés ; $p < 0.001$). En revanche, l'effet de l'année est non significatif ($p = 0.09$). Enfin, nous n'avons observé aucun effet significatif de la classe d'IFT sur la prédation des œufs (Fig. 3; $p = 0.6$). Aucune interaction significative entre facteurs n'a été décelée.

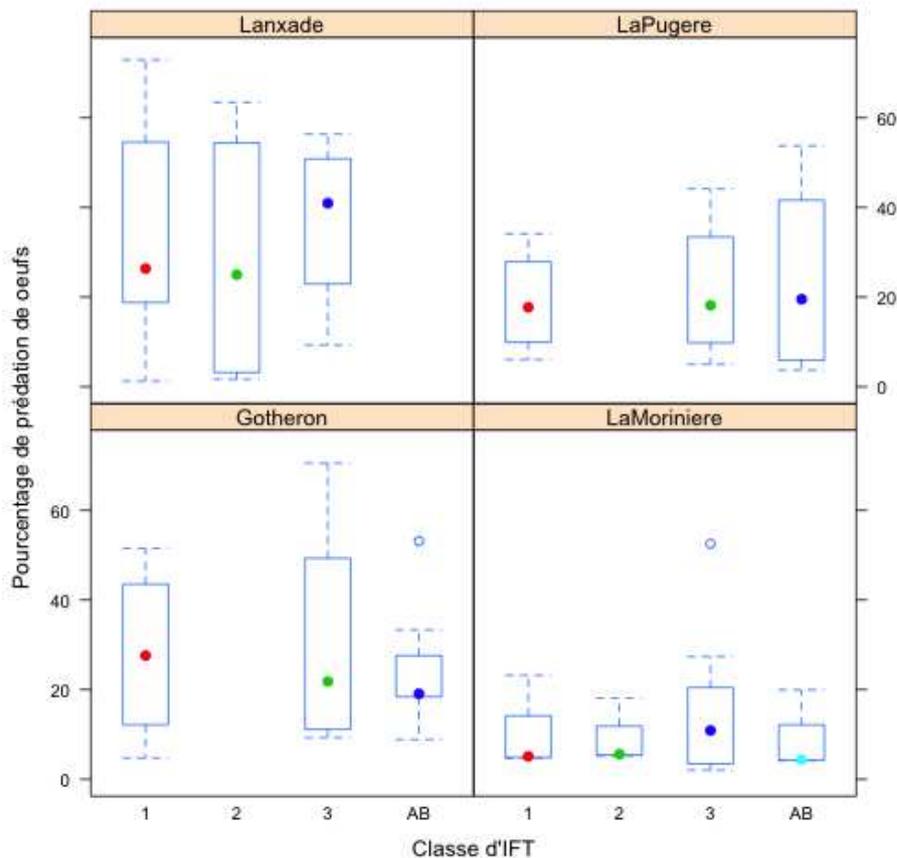


Figure 3 : Pourcentage de prédation sur les 4 principaux sites DEPHY étudiés en fonction des classes d'objectif de réduction d'IFT. Les fortes variabilités sont dues au fait que les différentes saisons et années sont ici rassemblées pour une présentation synthétique.

2.2.1. Prédation des pucerons sentinelle (année 2015)

Cette fois encore, nous n'avons observé aucun effet significatif de la classe d'IFT sur la prédation des œufs (données non présentées ; $p=0.7$).

3. Mesure de biodiversité et utilisation des traits écologiques

3.1. Carabes

Au total, 2448 individus répartis en 79 espèces ont été collectés durant l'étude. Les nombres d'espèces collectées diffèrent sensiblement entre les sites. Gotheron et La Morinière sont plus diversifiés que Lanxade et La Pugère (43, 40, 19 et 29 espèces respectivement). Peu d'espèces sont communes aux quatre sites (Fig. 4), avec au maximum 4 espèces partagées par Gotheron – La Pugère et par Lanxade – La Morinière. Une seule espèce est présente sur les quatre sites (*Anisodactylus binotatus*), et quatre sont présentes sur trois des quatre sites (*Notiophilus quadripunctatus*, *N. substriatus*, *Microlestes abeilli* et *Amara eurynota*). Il n'est donc pas possible de se reposer sur une ou des espèces indicatrices qui seraient présentes sur tout le territoire du fait de la forte dissimilarité des cortèges d'espèces.

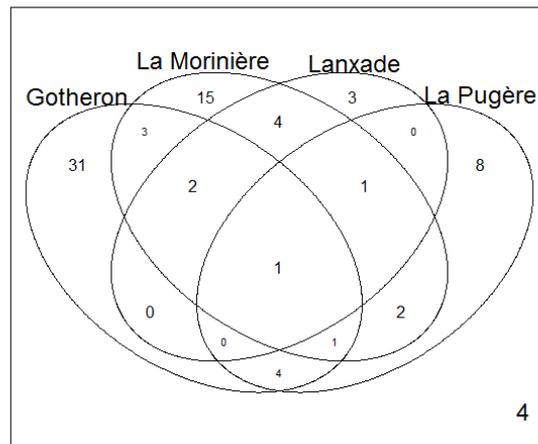


Figure 4 Diagramme de Venn des espèces partagées par les différents sites d'étude

L'ACP réalisée sur les indices des communautés de carabiques montre que la densité d'activité et les indices de diversité spécifique (richesse spécifique et indice de Shannon) sont relativement indépendants car orthogonaux sur le premier plan factoriel (Fig. 5). Le site de Gotheron tend à héberger une diversité spécifique plus importante et le site de La Pugère des densités d'activités plus fortes. De même, il semble que la campagne de prélèvement d'été 2014 soit caractérisée par des densités d'activités plus fortes. Les barycentres des classes de pression en pesticides se distribuent le long de l'axe 1 (lié à la diversité spécifique) et pas du tout à l'axe 2 (lié à la densité d'activité). Les parcelles en AB et les parcelles avec les plus faibles pressions (classe 3) sont au centre du plan factoriel et ne participent donc pas à la structuration du jeu de données. Les parcelles de classe 1 (les plus traitées) semblent corrélées positivement avec les niveaux de diversité spécifique les plus importants.

3.1.1 Effet des pesticides sur les populations et communautés de carabiques

Concernant les indices de communautés, les seules différences significatives sont que la classe 1 présente des valeurs de richesse spécifique et de densité d'activité (abondance) supérieures aux trois autres classes (2, 3 et AB) et que ces dernières ne diffèrent pas entre elles. L'indice de Shannon n'est pas affecté par les classes de pression phytosanitaire.

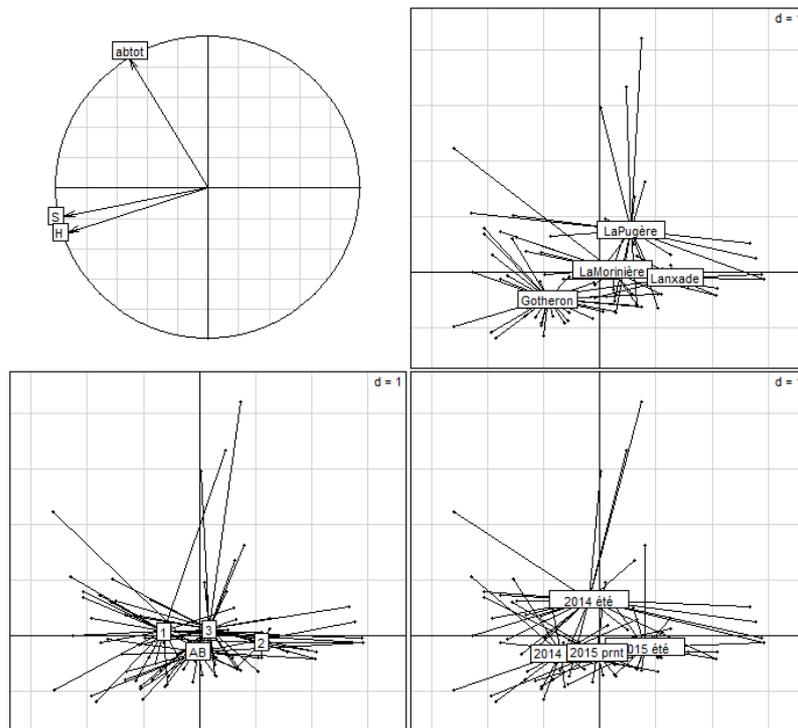


Figure 5. Premier plan factoriel de l'ACP réalisée sur les indices de communautés de carabiques. En haut à gauche : cercle des corrélations (abtot = densité d'activité, S = Nombre d'espèces ; H = indice de Shannon); en haut à droite : regroupement des observations par site ; en bas à gauche : regroupement des observations par classes de pression en pesticide (1 > 2 > 3, AB = Agriculture Biologique) ; en bas à droite : regroupement des observations par session d'échantillonnage.

Tableau 1: Coefficients des GLM entre les populations de carabiques et les différents IFTs calculés, (« ns » signifie que la relation n'est pas statistiquement significative au seuil de réjection $\alpha = 0.01$). Les deux lignes finales synthétisent le nombre de relations significatives avec des pentes respectivement positives et négatives.

	insecticides					total
	insecticides	"bio"	fongicides	herbicides	autre	
Densité d'activité	0,06	ns	0,03	0,19	0,1	0,02
Richesse spécifique	ns	ns	ns	0,16	ns	0,02
Indice de Shannon	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Amara aenea</i>	0,15	ns	0,07	0,43	0,2	0,06
<i>Bembidion quadrimaculatum</i>	ns	ns	0,13	ns	ns	0,06
<i>Calathus fuscipes</i>	0,32	ns	ns	0,8	ns	ns
<i>Cylindera germanica</i>	ns	-0,16	ns	ns	ns	ns
<i>Hapalus dimidiatus</i>	ns	ns	ns	ns	0,35	ns
<i>Metalina properas</i>	ns	-0,2	ns	0,46	0,24	0,03
<i>Ophonus subquadratus</i>	ns	ns	0,08	0,5	0,3	0,05
<i>Poecilus cupreus</i>	ns	-0,91	ns	-3,76	-0,4	ns
<i>Poecilus griseus</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Pseudophus rufipes</i>	0,12	0,05	0,04	0,27	0,11	0,04
<i>Pterostichus niger</i>	ns	ns	ns	ns	-0,7	-0,1
pente négative	0	3	0	1	2	1
pente positive	4	1	5	7	6	7

Des GLM avec l'effet 'site' en effet aléatoire ont été réalisés pour évaluer l'effet des différents IFT (totaux et par type de famille) sur les indices de communautés et sur les

populations des 34 espèces de carabiques rencontrés régulièrement sur les sites d'études. Le tableau 1 synthétise les informations obtenues. Une majorité de relations positives avec l'augmentation des IFT a été retrouvée et peu de relations avec des pentes négatives (7). Cela s'explique par le fait que ces espèces dominantes sont probablement adaptées (décalage de phénologie, mobilité) ou résistantes (processus biologiques) aux pesticides. À l'exception d'*O. subquadratus* (espèce plutôt méridionale), ces espèces dont les populations covarient positivement avec les IFT sont des espèces ubiquistes et très communes dans beaucoup d'agroécosystèmes (*A. aenea*, *B. quadrimaculatum*, *M. properans*, *P. rufipes*). Toutefois, les deux espèces qui présentent des pentes négatives sont aussi des espèces très communes (*P. cupreus*, *P. niger*). Ces deux espèces diffèrent dans leurs patrons de réponse aux IFT. Les populations de *P. cupreus* sont très négativement impactées par les herbicides. La densité d'activité et la richesse spécifique covarient positivement avec certains IFT alors que l'indice de Shannon n'est pas affecté. Du point de vue des IFT, les insecticides « bio » (i. autorisés en AB) sont ceux dont l'augmentation induit le plus d'effets négatifs sur les populations de carabiques. Il est également à noter que les pentes des relations avec l'IFT total sont relativement faibles (comprises entre -0,1 et 0,06) alors que des pentes plus fortes sont observées avec les IFT par groupe de pesticides, notamment avec les herbicides (par exemple, *P. cupreus* : -3,8 ; *A. aenea* : 0,43 ; *C. fuscipes* : 0,80) ou les insecticides « bio » (*C. germanica* : -0,2 ; *M. properans* : -0,2 ; *P. cupreus* : -0,9).

3.1.2. Effet des pesticides sur la diversité fonctionnelle des carabiques

Quatre traits fonctionnels des carabiques ont été extraits de la base de données BETSI. La morphologie alaire (aptère, brachyptère ou macroptère) renseigne des capacités de dispersion des espèces. L'hypothèse est que la proportion d'animaux macroptères (i.e. avec des ailes de grande taille) augmente avec la pression en pesticides car ils auraient l'avantage de pouvoir coloniser rapidement les parcelles traitées. La taille est un trait intégrateur, il faut davantage de ressources disponibles dans le milieu pour maintenir la présence de gros animaux. La répartition des groupes trophiques peut être altérée, avec une diminution des animaux zoophages, par suppression de la ressource due aux traitements pesticides. Enfin, les espèces caractéristiques des milieux agricoles (ici vue au travers des milieux ouverts vs milieux fermés) risquent d'être plus représentées dans les parcelles soumises aux pressions les plus fortes. La composition fonctionnelle des assemblages de carabiques a été appréhendée via le calcul de la moyenne pondérée de chaque trait (CWM, défini par (1)). L'effet des IFT et des classes de pressions en pesticides sur ces CWM a ensuite été analysés à l'aide de modèles linéaires avec effets mixtes (la variable site en effet aléatoire).

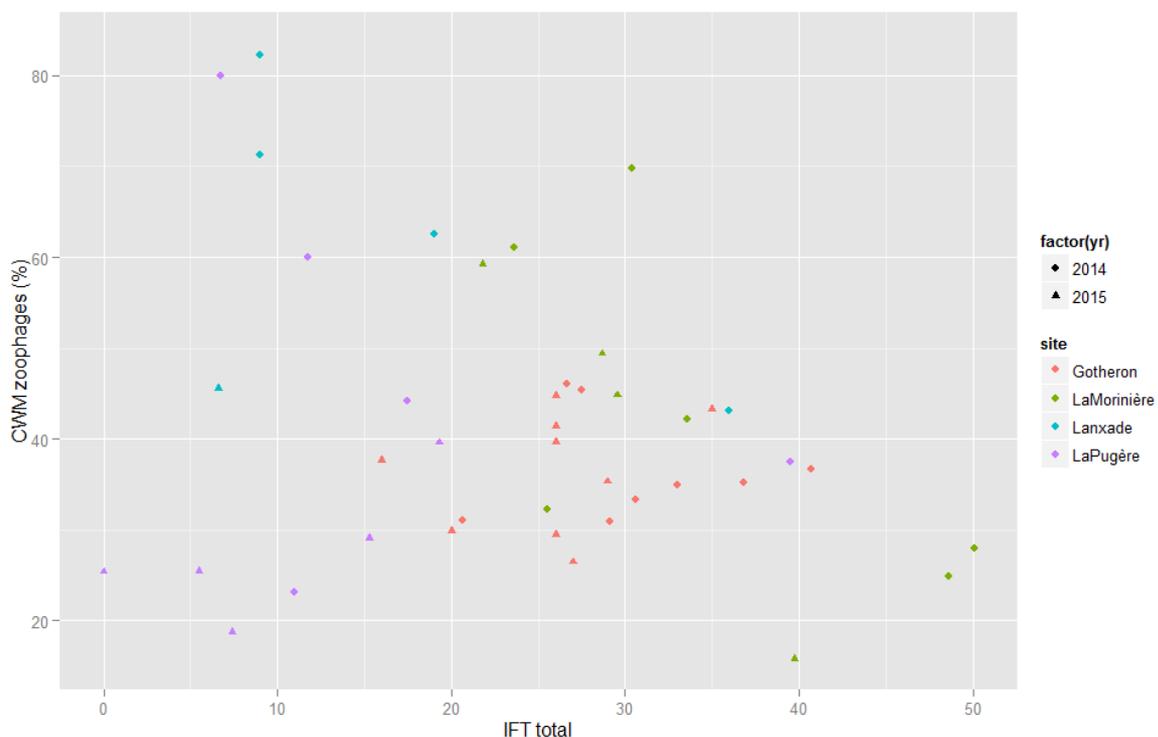
Les CWM 'macroptères' et 'longueur' ne sont pas affectés par les différents IFT. *A contrario*, les proportions de zoophages et d'espèces à préférence pour les milieux ouverts dans les communautés sont influencées respectivement de façon négative et positive (Tableau 2). Encore une fois, les herbicides induisent la pente la plus importante.

Tableau 2 : Valeurs des pentes des relations entre les CWM des 4 traits étudiés et les différents IFT calculés, « ns » signifie que la relation n'est pas statistiquement significative au seuil de réjection $\alpha = 0.01$.

	insecticides					tot.insecticides	
	insecticides	"bio"	fongicides	herbicides	autre	"bio"	total
macroptères (%)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
longueur (mm)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
zoophages (%)	ns	-0,025	-0,015	-0,075	ns	-0,008	-0,01
pref milieux ouverts (%)	ns	ns	0,009	ns	ns	0,006	0,005

La figure 6 illustre la relation entre le CWM 'zoophages' et l'IFT total de la parcelle. Le modèle est globalement linéaire et il y a une relation négative forte : la proportion de carabes zoophages diminue avec l'augmentation de l'IFT total. Toutefois, il apparaît aussi qu'un site (La Pugère) ne suit pas totalement cette tendance, ceci est en grande partie du aux données obtenues en 2015.

Figure 6 : représentation des CWM 'zoophages' en fonction de l'IFT total, les couleurs indiquent les sites, les symboles indiquent les années de prélèvement.



Ce trait fonctionnel lié au régime alimentaire des carabiques montre un potentiel de bio-indication de la diminution de la pression pesticide plus fort que les densités d'activité ou les indices de diversité spécifique. Cependant sa traduction pratique en des traits macroscopiquement observable n'est pas évidente car ce caractère « zoophage » est partagé par un grand nombre d'espèces aux traits variés.

Pour information, un autre trait des carabes nous a donné des résultats très intéressants et assez bien corrélé avec les réductions d'IFT, il s'agit de la taille (en proportion dans la communauté), avec dans les vergers les moins traités des proportions de carabes de petite taille significativement plus importantes). Cependant, malgré nos efforts, nous

n'avons pas pu traduire cela en un trait manipulable sur le terrain car observer (et dénombrer) ces carabes de petites tailles n'est pas évident. Ce résultat sera donc plutôt valorisé sous forme de publication scientifique.

3.3 Araignées du sol et de l'arbre

3.3.1. Araignées épigées (piégeage Barber)

Comme pour les carabes, les espèces d'araignées diffèrent entre sites (non représenté). 6321 araignées ont été capturées (sur un total de 661 pièges Barber) se répartissant en 19 familles et 105 espèces dont 42 n'ont été observées que sur un site. Même si on considère le niveau taxonomique de la famille, les analyses multivariées sont encore trop influencées par les différences entre sites (Fig. 7).

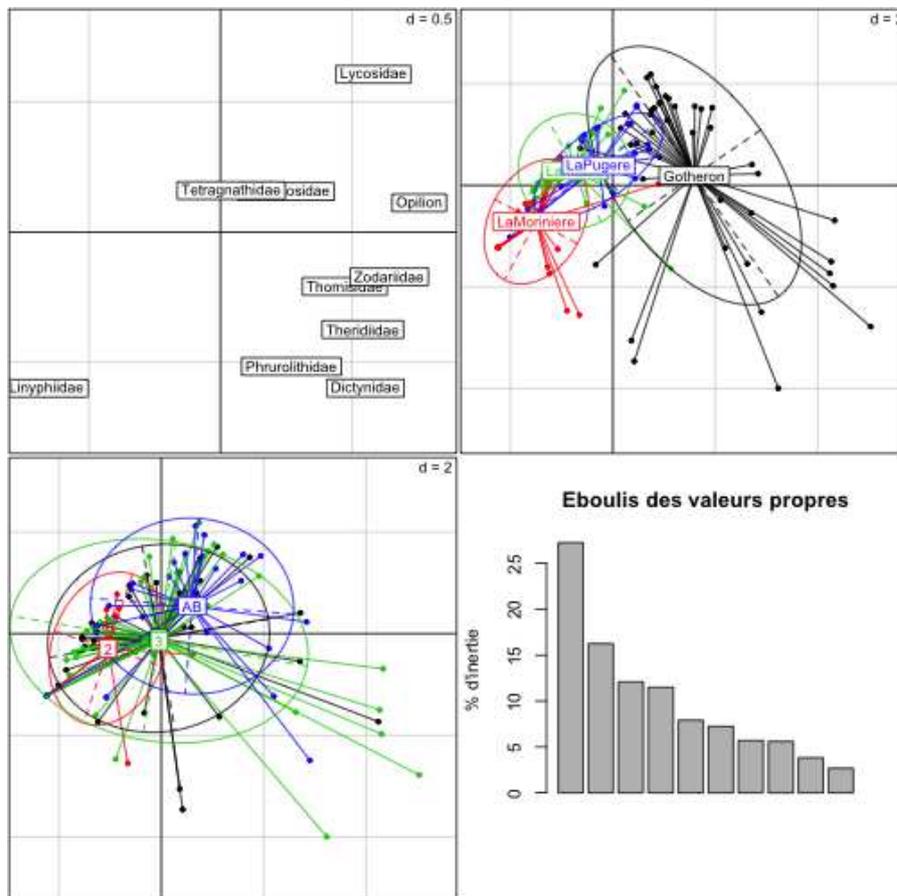


Figure 7. Résultats d'une ACP au niveau taxonomique de la famille (excluant les espèces rares et considérant les opilions comme des araignées). L'axe 1 (27% de la variabilité) est fortement influencé par les sites (panel 2). Cette projection ne permet pas de séparer les classes d'IFT (panel 3). On notera une opposition forte entre les 2 familles dominantes (Linyphiidae et Lycosidae) sur le panel 1.

Les caractéristiques de ces communautés (abondance, diversité, ...) montrent une évolution temporelle classique avec une abondance et une diversité maximales en été, essentiellement dans les vergers de la classe 3 ou ceux en AB (Fig. 8). Les modèles mixtes montrent des effets fortement significatifs pour la saison et la classe d'IFT ($p < 0.001$) et une interaction significative entre ces 2 facteurs ($p = 0.02$). Cette interaction se traduit par le fait qu'en été, les abondances et la richesse augmentent dans les vergers AB et ceux de la classe 3 alors que ce n'est pas le cas dans les vergers des classes 1 et 2. Concernant l'effet du

facteur classe d'IFT, les tests a posteriori indiquent que les vergers AB et ceux de la classe 3 sont significativement différents des 2 autres à la fois pour l'abondance et la diversité spécifique.

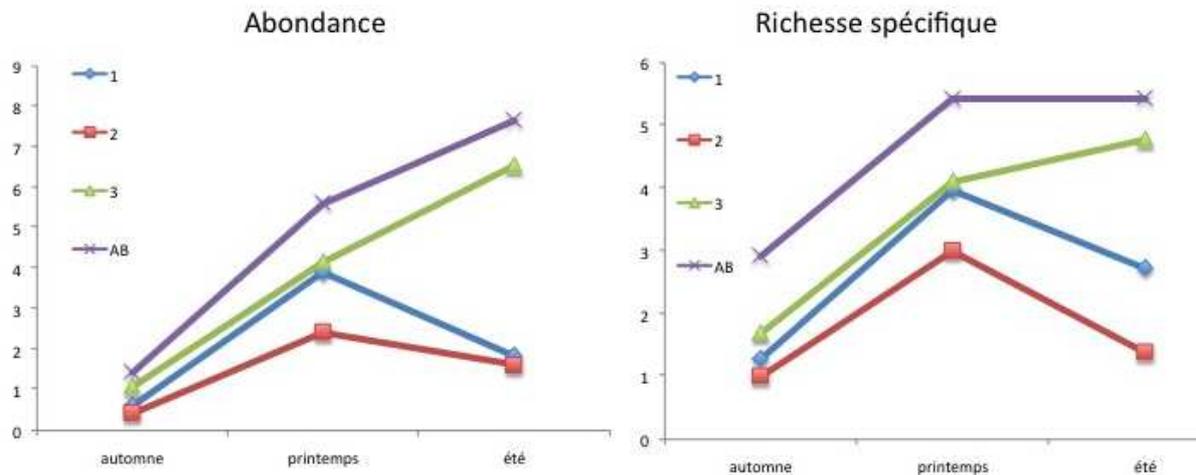


Figure 8 : Abondance et diversité des araignées issues des pièges Barber en fonction de la saison de prélèvements. Par souci de lisibilité, les erreurs standards ne sont pas représentées (elles sont importantes car les effets annuels et sites sont englobés). Nous avons choisi ce type de représentation pour insister sur la dynamique temporelle qui est différente pour les vergers en AB et ceux de la classe 3, comparés aux autres recevant plus de pesticides.

Si nous avons observé la présence de 19 familles au total, deux d'entre elles représentent une grande majorité des araignées prélevées : les Lycosidae (51%) et les Linyphiidae (34%). Ces 2 familles (qui s'opposaient sur l'ACP de la figure 7) ont des rôles et des comportements diamétralement opposés. Les premières sont de grande taille, chassent à courre et expriment des soins maternels alors que les secondes sont de petite taille, tissent des toiles et seraient caractéristiques des milieux perturbés (notamment grâce à leur capacité de recolonisation ; Hallet et al. 1996). De précédentes études avaient montré que les parcelles en AB comptaient proportionnellement un plus grand nombre de lycoses (Pfiffner et Luka 2003, Mazzia et al. 2015).

De fait, l'analyse des variations d'abondance des lycoses montre un effet de la classe d'IFT avec une hausse des effectifs de lycose lorsque la pression pesticide est réduite (Fig. 9). L'analyse statistique confirme cette tendance et montre que un effet significatif de la classe d'IFT et de la saison ($p < 0.001$) et une absence d'interaction entre facteurs. Les tests a posteriori indiquent encore une fois une séparation nette entre d'un côté vergers AB et ceux de la classe 3 et de l'autre les vergers des classes 1 et 2. Pour les autres familles d'effectif important, nous n'avons pas dégagé d'effet de la classe d'IFT sur l'abondance.

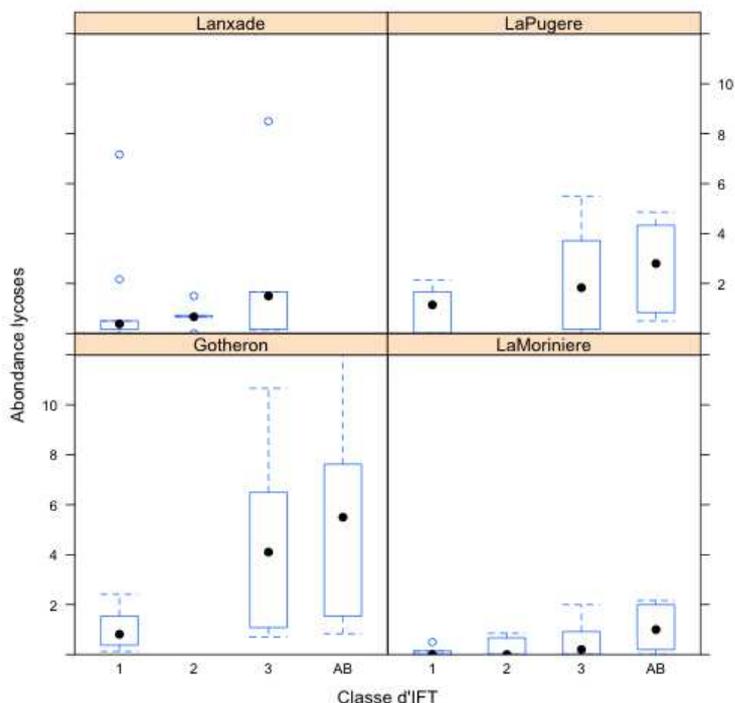
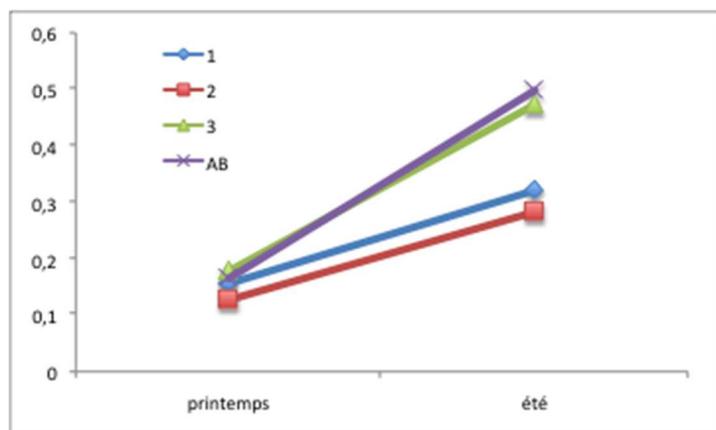


Figure 9 : Abondance moyenne des araignées de la famille des Lycosidae récoltées dans les pièges Barber pour chaque site en fonction de la classe d'IFT (les facteurs année et verger au sein de chaque classe sont fusionnés sur cette représentation).

3.3.2. Araignées de la canopée (piégeage dans abris cartonnés)

Une nouvelle fois, une analyse à l'espèce pose problème quand on assemble des sites du sud et du nord de la France. Les analyses par famille ont permis de dégager des tendances mais non significatives (vraisemblablement à cause d'effectifs trop faibles). Cependant, en sommant les abondances de toutes les araignées, nous mettons encore une fois en évidence



un effet significatif de la classe d'IFT ($p < 0.001$) séparant nettement les vergers les moins traités (classes 3 et AB) et ceux les plus traités (classes 1 et 2). En été, la densité passe en moyenne de 0,30 à 0,48 araignées par bande piège (Fig. 10). Parmi ces araignées les plus courantes sont *Cheiracanthium mildei* et *Heliophanus* sp.

Figure 10 : Abondances moyennes des araignées capturées dans les bandes pièges cartonnées (dans l'arbre) sur les 4 sites principaux en fonction de la saison et des classes d'IFT. Les années et les sites sont moyennés.

3.3.3. Forficules (piégeage dans abris cartonnés)

Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence pour les abondances de forficules entre les vergers caractérisés par des classes d'IFT différents ($p = 0.68$). De fait, des

différences significatives existent (avec des abondances significativement plus fortes dans les vergers AB ou de classe 3, de façon plus marquée en été, mais uniquement dans 2 sites (La Morinière et La Pugère), ce qui ne suffit pas à donner une tendance globalement significative. Il est donc probable que d'autres facteurs viennent perturber cette relation (effet de l'environnement proche) surtout pour des parcelles élémentaires de taille trop petite (Lanxade) en ce qui concerne ces animaux particulièrement mobiles.

4. Création et validation d'un test simplifié (le test « Lycose / Carabe»)

Notre projet avait une forte composante « amont » par rapport aux objectifs du plan Ecophyto. Néanmoins, l'objectif était aussi de produire des outils et/ou indicateurs qui soient transférable vers les utilisateurs (responsables de site Ecophyto voire les producteurs les plus sensibilisés).

Notre projet était bâti sur un double pari : (i) les mesures de services (parasitisme/prédation) ou (ii) l'utilisation des traits écologiques seraient utiles pour développer des indicateurs utilisables en routine sur le terrain pour suivre les effets des baisses d'IFT sans demander des connaissances entomologiques poussées et /ou des identifications fastidieuses (en analyse ou en formation). Dans le tableau XX, nous listons les qualités et défauts des indicateurs testés du point de vue d'un transfert vers les utilisateurs (4 premières lignes) et de son efficacité de réponse dans un contexte de réduction des IFT.

Sur la base d'une telle analyse réalisée après 2 années de prélèvements intensifs, nous avons conçu un test simplifié, dit test « Lycose/Carabe », qui a ensuite été testé dans 53 vergers du sud-Est de la France en 2016 (incluant des réseaux DEPHY). Ces vergers sont localisés entre Valence (au Nord), Lunel (à l'Ouest), Arles (au Sud) et Cavaillon (à l'Est). Ils englobent les sites Ecophyto de Gotheron et La Pugère auxquels viennent s'ajouter de nombreuses parcelles commerciales (certaines issues du réseau FERME Ecophyto Fruits à Pépins du GR-CETA) et quelques parcelles expérimentales INRA (Valence et Avignon) qui ne reçoivent aucun pesticide (en guise de témoin positif).

Une difficulté est que nous n'avons pas pu garder les catégories définies sur les sites des années précédentes car trop peu de vergers auraient alors été classés dans la classe 3 (réduction de 50 à 70% des IFT), ce qui est compréhensible pour des vergers majoritairement commerciaux. Nous avons donc défini 4 classes qui forment un nouveau gradient : (i) 4 vergers « zéro pesticide », (ii) 15 vergers en AB, (iii) 12 vergers « Bas-Intrant » et (iv) 22 vergers PFI. Les vergers « Bas Intrant » regroupent les vergers de la précédente classe 3, c'est à dire ceux les vergers DEPHY de Gotheron et La Pugère ayant des objectifs de réduction d'IFT, ainsi que des vergers commerciaux « Baby food » (avec contrôle de résidus et donc des baisses d'IFT) et des vergers non-AB sous filet Alt'carpo (permettant une réduction des insecticides). La définition de ces classes nous permet en outre d'éviter 2 écueils, le premier est que les calendriers de traitement de 2016 ne sont pas encore accessibles (nous aurions dû utiliser ceux de 2015) et l'IFT ne résume pas la toxicité réelle des produits.

Les traits retenus et utilisés pour différencier les lycoses de toutes les autres araignées que l'on peut capturer dans un piège Barber sont les suivants : (i) caractère diurne (peu de familles le sont), (ii) la taille (longueur) supérieure à 0.5 cm (cela exclut de nombreuses

araignées) et (iii) leur habitus, marron non uni (qui les distingue finalement des Gnaphosidae).

3.3 Barbers à sec diurnes : le test Lycoses

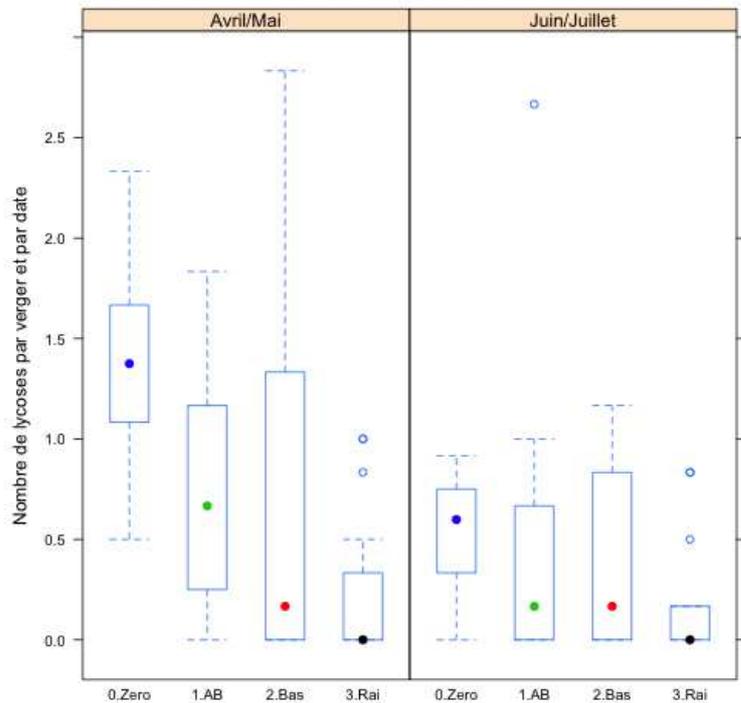


Figure 11. Nombre moyen de lycoses par verger en fonction des 4 classes d'IFT définies en 2016 et des périodes d'observation.

Pour analyser ces données, nous nous sommes servis de nos connaissances sur la phénologie des lycoses présentes en verger. Il ressort clairement que les abondances au début du printemps sont plus importantes qu'un peu plus tard en saison (notamment en lien avec des espèces dominantes différentes). Par ailleurs, à chaque relevé (avec au moins un relevé par mois), nous avons réalisé une notation de l'enherbement du verger (hauteur et densité du couvert) car ce facteur peut influencer soit directement (micro-habitat) soit indirectement (probabilité de mouvement) les lycoses (Lafage et al. 2014).

Les modèles mixtes (avec le facteur mois en effet aléatoire) indiquent un effet très significatif ($p < 0.001$) de la classe d'IFT sur l'abondance des lycoses dans les vergers (Fig. 11). Toutes les classes d'IFT diffèrent significativement entre elle sauf AB et Bas-Intrant. De manière surprenante, l'enherbement (hauteur ou densité) n'a aucun effet significatif sur le nombre de lycoses capturées ($p = 0.53$ et $p = 0.63$).

3.3 Barbers à sec nocturnes : le test Carabes

La même démarche a été entamée pour suivre les carabes de taille centimétrique. Les résultats ne sont pas concluants (seule la modalité zéro pesticide se distingue des 3 autres) mais il nous faut préciser qu'il s'agit là de résultats préliminaires obtenus sur un seul mois (juin 2016).

Comme ce protocole ne demande que très peu de travail supplémentaire par rapport au test diurne (un passage à prévoir en plus), nous pensons que son usage reste potentiellement intéressant en attendant une validation sur un jeu de données plus important.

D. Discussion et Conclusions

D.1. Difficultés relatives aux études inter-sites

Pour qu'une étude soit pertinente dans le cadre Ecophyto, il est préférable que ses résultats soient bâtis et testés à une échelle supérieure à celle d'un bassin de production. Notre étude avait donc pour base, l'étude de 5 sites DEPHY dans 5 régions différentes et couvrant 2 des principaux bassins de production de la pomme. Il en résulte que les comparaisons entre sites sur la base des espèces sont difficiles sinon impossibles. C'est avec cet écueil en tête que nous avons proposé des études basées sur les traits écologiques portés par les espèces.

L'autre difficulté est la comparaison des IFT. Certains sites (Lanxade, La Morinière, Savoie) sont caractérisés par une pression fongicide plus importante en lien avec le climat. Les sites du Sud-est ont des IFT insecticides plus élevés. Nous avons donc préféré travailler avec des classes de réduction d'IFT (-30/50% et -50/70%) que nous comparions avec des situations dites de référence.

Enfin de manière plus anecdotique, les vergers des réseaux DEPHY ne sont pas tous équivalents en terme de surface (celle-ci est adaptée aux questions posées par chaque réseau). Il est donc à noter que la taille des parcelles réduite du site de Lanxade a joué en notre défaveur pour des études portant parfois sur des organismes très mobiles (forficules, carabes de grande taille et araignées de la famille des lycoses).

D.2. Des indicateurs aux performances très différentes

Force est de constater que les indicateurs basés sur les services écologiques (parasitisme et prédation) ont été décevants. De fait, les premiers résultats obtenus par nos équipes (Monteiro et al. 2012, Maalouly et al. 2015) sur cette thématique qui laissaient augurer une réponse directement influencée par l'IFT ont été obtenus sur un seul site et n'avaient permis à l'époque uniquement de distinguer les vergers en AB des autres vergers commerciaux. De fait, le défaut de ces approches intégratives est de ne pouvoir déterminer le ou les responsables du service rendu (espèces ou groupes fonctionnels). Or, si l'on peut faire l'hypothèse que ces espèces ou groupes d'espèces répondent (en nombre ou en activité) à un gradient d'IFT ou au moins à des modes de conduite différents (AB vs PFI) à l'échelle d'un site, rien ne dit que ces espèces ou groupes soient les mêmes sur des sites distants parfois de plusieurs centaines de km. Par exemple, nous avons pu constater que une araignée très intéressante car consommatrice de lépidoptères (au stade œufs et larves ; Mansour et al. 1983), *Cheiracanthium mildei*, était absent du site le plus septentrional (La Morinière). Elle est sur ce site « remplacée » par *Anyphaena accentuata* qui a le même potentiel de prédation vis à vis des lépidoptères, mais qui n'a peut être pas la même sensibilité à l'IFT total (ni même aux fongicides et aux insecticides).

Paradoxalement, les indicateurs basés sur la caractérisation de communautés d'auxiliaires (généralistes ou non), ont donné de meilleurs résultats. Ce sont en priorité des critères d'abondance car les mesures de diversité sont généralement plus exigeantes en matière de connaissances entomologiques (ou sont plus difficiles à manipuler lorsque l'on parle de

groupes fonctionnels de niveau taxonomique pas toujours homogènes). Ainsi les communautés d'araignées qu'elles soient du sol ou de la canopée ont eu des réponses stables en fonction du gradient d'objectif de réduction de l'IFT confirmant par là, les qualités reconnues de ces communautés comme bioindicateurs vis à vis d'un large spectre de perturbations (Marc et al. 1999).

Nous proposons dans le tableau 3 une vue synoptique des principaux qualités/défauts des indicateurs testés en ce qui concerne leur possible transfert sur le terrain, c'est à dire pour des responsables de site DEPHY ou FERME Ecophyto par exemple. Ainsi les critères choisis sont d'abord relatifs à la facilité de mise en place/utilisation/analyse : (i) la disponibilité du matériel (biologique ou non) pour la phase de terrain, (ii) le matériel nécessaire pour la phase éventuelle de laboratoire, (iii) le temps de pose, de récolte voire de tri et (iv) les connaissances entomologiques nécessaires. Ensuite, le dernier critère est le type de réponse obtenu par rapport à des objectifs de réduction de l'IFT (dans nos conditions d'expérimentation).

Aucun des indicateurs choisis à l'origine n'est exempt de défauts (les notes globales sont relativement similaires). Cependant on notera une forte dichotomie entre indicateurs de services qui sont consommateurs de temps de préparation (critères 1 et 2) mais par définition peu exigeants en connaissances taxonomiques et les indicateurs d'abondance qui, au contraire, ne nécessite que peu de matériel et de temps de pose mais requièrent de bonnes connaissances entomologiques. Le tableau confirme en outre que les communautés d'araignées ont des patrons de réponse à la réduction de l'IFT qui sont les plus claires.

Sur la base de ces résultats, et sur celle de l'analyse des traits portés par certaines communautés (carabes et araignées), nous avons pu proposer un indicateur à notre connaissance complètement nouveau.

D.3. Un indicateur prometteur, le test « Lycose »

Nous avons d'abord pu démontrer que l'abondance totale des araignées du sol et de la canopée ainsi que la diversité spécifique des araignées du sol répondait de manière significative au gradient de réduction d'IFT.

Plus particulièrement, et vue leur grande abondance (près de 50% des araignées capturées au sol), l'abondance des araignées de la famille des lycoses répondait également à ce gradient, ce que de premiers résultats obtenus antérieurement à ce projet avait laissé augurer (Mazzia et al. 2015) et ce qui est compatible avec les études comparant AB et vergers dits conventionnels dans d'autres systèmes de culture comme les grandes cultures (Pfiffner et Luka 2003). De manière conjointe, les traits écologiques portés par ces lycoses (faible aéronautie*, présence de soins parentaux ...) répondent significativement au gradient d'IFT (ces résultats n'ont pas été spécifiquement présentés ici, par manque de place, mais on pourra se référer à l'étude de Mazzia et al. 2015).

L'étape suivante était de pouvoir utiliser des traits macroscopiques associés à cette famille pour permettre une estimation simple, peu cher et rapide. De manière inattendue, pour des spécialistes de la taxonomie, il se trouve que la simple combinaison de 3 traits

* le degré d'aéronautie représente la capacité des espèces d'araignées de se disperser sur d'assez grandes distances par « ballooning », c'est à dire grâce au vent et à un comportement spécifique.

macroscopiques peu compliqués permet de bien séparer cette famille des autres familles d'araignées. Ces traits sont :

- (i) le **caractère diurne** des lycoses (la plupart des araignées du sol, en nombre d'espèces, sont nocturnes) qui exige donc simplement une capture par Barber en plein jour ;
- (ii) la **taille supérieure à un demi-centimètre** qui élimine de nombreuses autres familles ;
- (iii) **l'habitus** (i.e l'aspect général) avec des araignées de couleur marron (mais non noire) et non uniforme (présence des bandes plus claires sur le céphalothorax, i.e ; la tête).

Il est assez difficile de tester l'efficacité de ces traits statistiquement mais, pour son test dans 53 vergers en 2016, nous avons recruté un étudiant de M1 et deux CDD (dont une personne non biologiste de formation). Aucune de ces personnes n'avait de connaissances entomologiques ni de passion naturaliste. Tous les 3, malgré une appréhension compréhensible, ont été capable d'utiliser ces 3 critères macroscopiques de manière efficace au bout de 24h et d'une petite démonstration de notre part (inférieure à la demi-heure). La première semaine, nous avons demandé à nos néophytes de capturer tous les spécimens pour confirmation, le taux d'erreur a été inférieure à 1%, c'est à dire bien plus faible que notre attente.

Pour de plus amples détails techniques sur la mise en œuvre du test « Lycose », se référer à la fiche fournie à la fin de ce rapport.

Les résultats très positifs obtenus avec ce test simplifié ne doivent pas masquer une petite déception légitime, les araignées de cette famille ont un rôle dans la régulation des auxiliaires en verger fruitier très faible (les espèces les plus grande de cette famille, les *Trochosa*, pouvant éventuellement manger des larves de carpocapse lorsque celles-ci cherchent à diapause au sol). On peut penser que leur rôle en tant qu'auxiliaire en grandes cultures est plus important (ces araignées sont capables de manger des pucerons) mais vraisemblablement non crucial.

Si ce test est très prometteur, il reste quelques aspects à vérifier avant son éventuelle dissémination à grande échelle :

- (i) sa généralité, en dehors de l'arboriculture, ne semble pas poser de problèmes (Piffner et Luka 2003) mais demande quand même quelques vérifications ;
- (ii) sa relation plus précise aux variations d'IFT (et non aux simples classes utilisées dans ce projet) demande des études complémentaires
- (iii) une optimisation technique est encore possible :
 - . nombre de pièges minimal par parcelle ?
 - . période optimale d'utilisation ? A priori, la période de fin de printemps (mai-juin) donne les meilleurs résultats en arboriculture en lien avec des densités plus fortes

. effets des co-facteurs liés à l'environnement proche (nous avons seulement pu démontrer que ni la hauteur ni la densité du couvert végétal ne perturbait l'indicateur).

. intérêt de combiner ce test diurne à un test nocturne pour dans le même temps estimer les populations de carabes de grande taille.

Enfin, la communication autour de ce test et donc la diffusion de ce test n'a pu être amorcée lors du temps imparti au projet. Pour l'instant de simples discussions informelles ont été débutées avec le MNHN (Yves Bertheaud, Isabelle Le Viol) à propos de sa possible utilisation dans le cadre des études du type ENI (Effets Non Intentionnels).

	Parasitisme	Oeufs sentinelles	Pucerons sentinelles	Bandes pièges (canopée)	Barber – carabes (sol)	Barber – araignée (sol)	Test LYCOSE (et carabe)
Disponibilité du matériel (terrain)	Œufs lépidoptère : faible (possibilité achat œufs d'Ephestia) Pucerons : dépend présence sur parcelles	Œufs lépidoptère : faible (possibilité achat œufs d'Ephestia)	Pucerons : dépend présence sur parcelles (possibilité achat)	Simple	Simple (pots de miel + vinaigre)	Simple (pots de miel + vinaigre)	Simple (pots de miel)
Matériel nécessaire (labo/lecture)	Néant	Loupe binoculaire	Loupe binoculaire	Boîtes fluonées ou talquées Ou lecture sur le terrain	Loupe binoculaire	Loupe binoculaire	Néant
Temps de pose et de récolte	Long (observations visuelles complexes)	Long (comptage œufs)	Moyen (préparation des bandelettes)	Moyen (20 bandes par verger)	Faible	Faible	Faible
Connaissances (entomologique) Nécessaires	Néant	Néant	Néant	Moyen (araignées vs forficule)	Forte	Forte	Faible (mini-formation)
Note de mise en oeuvre (1= facile et 3 = difficile)	2	2.375	2	1,5	2	2	1
Réponse indicateur (dans les limites de notre étude = arboriculture)	Faible	Faible	Faible	Moyen (araignées)	Moyen	Forte	Forte
Vitesse de réponse ?	Inconnue (à étudier)						

Tableau 3. Analyse synthétique des défauts et qualités des indicateurs testés dans un contexte de transfert vers les utilisateurs (le gradient va du vert pour les aspects faciles au rouge pour les aspects ardues). Il faut noter que la dernière colonne est verte par construction (c'est le fruit de l'analyse des colonnes précédentes).

REFERENCES

- Halley JM, Thomas CFG, Jepson PC (1996) A model for the spatial dynamics of linyphiid spiders in farmland. *J Appl Ecol* 33, 471–492.
- Lafage D, Pétilion J (2014) Impact of cutting dates on carabids and spiders in a wet meadow. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 185, 1-8.
- Lavorel S, Garnier E. (2002) Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* 16, 545-56.
- Maalouly M, Franck P, Bouvier JC, Toubon JF, Lavigne C (2013) Codling moth parasitism is affected by semi-natural habitats and agricultural practices at orchard and landscape levels. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 169, 33-42.
- Mansour F, Richman DB, Whitcomb WH (1983) Spider management in agroecosystems: habitat manipulation. *Environmental management* 7, 43-49.
- Marc P, Canard A, Ysnel F (1999) Spiders (Aranea) useful for pest limitation and bioindication. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74, 229-273.
- Marliac G, Mazzia C, Penvern S, Lescouret F, Capowiez Y (2015) Increased grass cover height in the alleys of apple orchards does not promote *Cydia pomonella* biocontrol. *Biocontrol* 60, 805-815.
- Mazzia C, Pasquet A, Caro G, Thénard J, Cornic JF, Hedde M, Capowiez Y (2015) The impact of management strategies in apple orchards on the structural and functional diversity of epigeal spiders. *Ecotoxicology* 24, 616-625.
- Monteiro L, Lavigne C, Ricci B, Franck P, Toubon JF, Sauphanor B (2012) Predation of codling moth is affected by pest management practices at the orchard and landscape levels. *Agriculture, Ecosystems and Environment* .
- Pekar S (1999) Foraging mode : a factor affecting the susceptibility of spiders (Aranidae) to insecticide application. *Pesticide Science* 55, 1077-1082.
- Obrist MK, Duelli P. (2010) Rapid biodiversity assessment of arthropods for monitoring average local species richness and related ecosystem services. [Biodiversity and Conservation](#) 19, 2201-2220.
- Pfiffner L, Luka H (2003) Effects of low-input farming systems on carabids and epigeal spiders—a paired farm approach. *Basic Appl Ecol* 4, 117–127.

ANNEXES

Sites	Statut Ecophyto et Localisation	Année	Facteur principal de variation de l'IFT	Pratiques alternatives étudiées = levier (Fruits)
BioREco (INRA) 9 vergers	DEPHY Expé Gotheron (Drôme)	2013-2015 2016	Insecticide (carpocapse) Variété résistante (RT)	- Bas intrants (modification des seuils d'intervention) - AB - Protection raisonnée (Pommes)
La Pugère (Station expérimentale) 7 vergers	DEPHY Expé Mallemort (Bouches du Rhône)	2013-2015 2016	Insecticide (carpocapse) Variété résistante (RT)	- Bas intrants (filets Altcarpo + bandes fleuries) - Protection raisonnée (Pommes – Poires)
Lanxade (CTIFL) 4 vergers	DEPHY Expé (Dordogne)	2013- 2015	Variété résistante (RT) et utilisation de filets	- Bas intrants (filets) - Protection raisonnée (Pommes)
Eco-Pêche (INRA) 3 vergers	DEPHY Expé (Vaucluse et Drôme)	2016	AB, PFI et « Bas- Intrant »	Utilisation de seuils agronomiques (Pêches)
La Morinière (CTIFL) 6 vergers	DEPHY Expé (Indre et Loire)	2013- 2015	Variété résistante (RT), utilisation de filets et méthodes de prophylaxie	- Bas intrants (modification des seuils d'intervention) - (Pommes)
Réseau Poire AB (ADABIO) 10 vergers	Réseau FERME Ecophyto (Savoie)	2013-2014	Fongicides	Non usage du soufre (Pommes-Poires)
GR-CETA 20 vergers	Réseau FERME Ecophyto (Sud-Est)	2016	« Baby-food »* Confusion sexuelle (contre le carpocapse)	Vergers « Baby food » (pommes – poires)
Zone Atelier 13 14 vergers	Réseau suivi par l'INRA	2016	Producteurs AB vs producteurs PFI	
Réseau Altcarpo 16 vergers	Réseau Ch. Agri. du Vaucluse (Vaucluse-B.d.R)	2016	Présence/absence de filets (parcelle bio et PFI)	Filets Alt'carpo (réduction des insecticides)
Cofruidoc 16 vergers	Parcelles Producteurs (Lunel)	2016	Producteurs « risk- prone » et « risk- adverse » (a dire d'expert)	Gradient d'usage des pesticides

*Vergers dont la production est destinée à l'alimentation des enfants (compotes) et qui subit des contrôles poussés pour les analyses de résidus (cette production est souvent associée à des IFT réduits)