

## Concevoir des systèmes de cultures innovants favorables aux abeilles<sup>1</sup>

Decourtye A.<sup>1,2</sup>, Gayrard M.<sup>3</sup>, Chabert A.<sup>3</sup>, Requier F.<sup>4,5</sup>, Rollin O.<sup>1,2,6</sup>, Odoux J.-F.<sup>4</sup>, Henry M.<sup>2,6</sup>, Allier F.<sup>2,7</sup>, Cerrutti N.<sup>8</sup>, Chaigne G.<sup>9</sup>, Petrequin P.<sup>10</sup>, Plantureux S.<sup>11</sup>, Gaujour E.<sup>11</sup>, Emonet E.<sup>12</sup>, Bockstaller C.<sup>11</sup>, Aupinel P.<sup>4</sup>, Michel N.<sup>11</sup>, Bretagnolle V.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ACTA, 228 route de l'aérodrome, Domaine Saint-Paul/Site Agroparc, 84914 Avignon cedex 9

<sup>2</sup> UMT PrADE, 228 route de l'aérodrome, Domaine Saint-Paul/Site Agroparc, 84914 Avignon cedex 9

<sup>3</sup> ACTA, ICB, 1 av. C. Bourgelat, 69280 Marcy l'Etoile

<sup>4</sup> INRA, Unité expérimentale d'entomologie, Le Magneraud, 17700 Surgères

<sup>5</sup> Centre d'Etudes Biologiques de Chizé-CNRS, Villiers en Bois, 79360 Beauvoir sur Niort

<sup>6</sup> UR406 Abeilles et environnement, 228 route de l'aérodrome, Domaine Saint-Paul/Site Agroparc, 84914 Avignon cedex 9

<sup>7</sup> ITSAP-Institut de l'abeille, 228 route de l'aérodrome, Domaine Saint-Paul/Site Agroparc, 84914 Avignon cedex 9

<sup>8</sup> CETIOM, centre de Grignon, av. L. Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon

<sup>9</sup> Chambre d'agriculture des Deux-Sèvres, les Ruralies, BP Vouillé, 79231 Prahecq

<sup>10</sup> Association de Développement Apicole de Poitou-Charentes, BP50002, 86550 Mignaloux Beauvoir

<sup>11</sup> INRA, UMR Nancy-Université, INRA agronomie et environnement, 2 av. de la forêt de Haye, 54500 Vandoeuvre-les-Nancy

<sup>12</sup> ARVALIS-Institut du végétal, station expérimentale, 91720 Boigneville

Correspondance : [axel.decourtye@acta.asso.fr](mailto:axel.decourtye@acta.asso.fr)

### Résumé

Nous avons recensé près de 200 espèces d'abeilles dans la zone atelier Plaine et Val de Sèvre en Poitou-Charentes. Les abeilles sauvages tirent leur alimentation des plantes sauvages présentes dans les prairies, les bordures de routes et de champs. Entre la floraison du colza et du tournesol, les abeilles mellifères se concentrent sur de rares surfaces en fleurs. Les ressources en pollen sont alors insuffisamment abondantes pour maintenir la taille des populations à leur pic et assurer la durabilité des activités apicoles. Dans la plaine céréalière, l'abeille mellifère et l'apiculture sont aujourd'hui tributaires des deux cultures oléagineuses, colza et tournesol, dont le nectar et le pollen peuvent être de surcroît contaminés par des pesticides. Les mesures agro-écologiques en faveur des abeilles consistent à réduire l'usage des pesticides pour assurer la qualité de ces ressources alimentaires, tout en régularisant l'apport en nectar et en pollen dans le temps. La culture de plantes, telles que la luzerne ou d'autres légumineuses, installées plus durablement dans les systèmes agricoles, présente le triple avantage de convenir à de nombreuses espèces d'abeilles, de nécessiter peu de fertilisants et de pesticides, et de permettre une commercialisation de fourrages ou de graines. Nos propositions consistent à diversifier la rotation des cultures des agriculteurs et à constituer un maillage fleuri dans le paysage dont la qualité de l'offre en nectar et pollen doit être protégée par des pratiques agricoles adaptées (réduction de l'usage de pesticides, fauches tardives). Les mesures proposées induisent une réduction de la marge économique chez l'agriculteur comparée à celle des itinéraires techniques actuels.

**Mots-clés :** abeille mellifère, abeilles sauvages, apiculture, systèmes de culture, pesticides, ressources, biodiversité, observatoire, évaluation multi-critère, DEXi, Ecobee, POLINOV

---

<sup>1</sup> Ce travail a précédemment été publié dans la revue *Phytoma* : Decourtye *et al*, 2013a, 2013b.

## **Abstract: Developing innovative bee-friendly cropping systems**

We identified nearly 200 species of bees in the workshop area of Val de Sèvre in Poitou-Charentes. Wild bees collect their diet from wild plants present in the prairies, the edges of roads and fields. Between flowering rapeseed and sunflowers, bees focus on rare flower surfaces. Pollen resources are not sufficiently abundant to maintain the size of populations at their peak and the sustainability of the apiculture activities. In the cereal plain, the honey bee and beekeeping depend today on two crops, rapeseed and sunflower, including nectar and pollen which can be furthermore contaminated with pesticides. Agro-ecological measures for bees are to reduce the use of pesticides to ensure the quality of these food resources, while regulating the intake of nectar and pollen in time. The cultivation of plants, such as alfalfa or other legumes, installed more permanently in agricultural systems, presents the triple advantage to be suitable for many species of bees, to require little fertilizer and pesticides, and to allow production of fodder or seeds. Our proposals are to diversify the rotation of crops by farmers and to form a flower network in the landscape in which the quality of nectar and pollen supply must be protected by suitable farming practices (pesticide use reduction, late mowing). The proposed measures induce a reduction in the economic margin for the farmer compared to current technical managements.

**Keywords:** honey bee, wild bees, beekeeping, cropping systems, pesticides, resources, biodiversity, Observatory, evaluation multi-criteria, DEXi, Ecobee, POLINOV

## **Introduction**

Alors que les services rendus par les abeilles envers la production végétale ne sont plus à démontrer, et que l'activité apicole bénéficie réciproquement de grandes surfaces en cultures mellifères, les filières agricoles et apicoles, ainsi que les acteurs engagés dans la conservation des abeilles sauvages, ont des objectifs qui peuvent amener à des antagonismes. D'un côté, les agriculteurs doivent garantir leurs niveaux de rendements et souhaitent pour cela disposer de stratégies de protection des plantes efficaces contre les ravageurs. De l'autre, les apiculteurs doivent continuer d'exploiter leur cheptel apiaire en dépit de son état de santé fragile. Nous avons donc besoin d'approches innovantes pour apporter des solutions capables de résoudre ces tensions, en prenant en compte les différentes exigences. Le contexte actuel est favorable au développement de nouvelles solutions, qui peuvent bénéficier aux différents acteurs d'un même territoire. En effet, les systèmes de cultures sont face à des évolutions radicales pour répondre aux objectifs environnementaux (Ecophyto) et la filière apicole est dorénavant mieux organisée pour pouvoir co-construire avec les organismes de recherche et les filières agricoles des systèmes de culture répondant aux problèmes touchant les colonies d'abeilles.

Les solutions couramment mises en œuvre pour protéger les abeilles dans les agrosystèmes sont liées soit à l'établissement d'un diagnostic du risque lié à l'usage de pesticides, soit à une gestion raisonnée des aménagements territoriaux (jachères, bandes enherbées ou haies fleuries). Mais une démarche à plus grande échelle, celle "du système de culture" est nécessaire car ces approches simples, et investies indépendamment l'une de l'autre, ont leurs limites en prenant peu en compte les interactions entre les différents facteurs agronomiques et environnementaux :

- la réduction durable de l'usage des insecticides ne peut s'affranchir de l'évolution de l'ensemble du système de culture et du système d'exploitation, pour concilier réduction des risques pour les abeilles, et maîtrise des ravageurs des cultures ;
- étant donné la diversité des situations locales en termes de contextes paysagers et d'enjeux, nous avons besoin d'identifier un panel de solutions, et de disposer d'outils d'aide à la décision suffisamment génériques pour s'adapter à ces gammes de situations ;
- la mobilité des abeilles dans le milieu rend nécessaire la prise en compte des surfaces en production et des surfaces hors production.

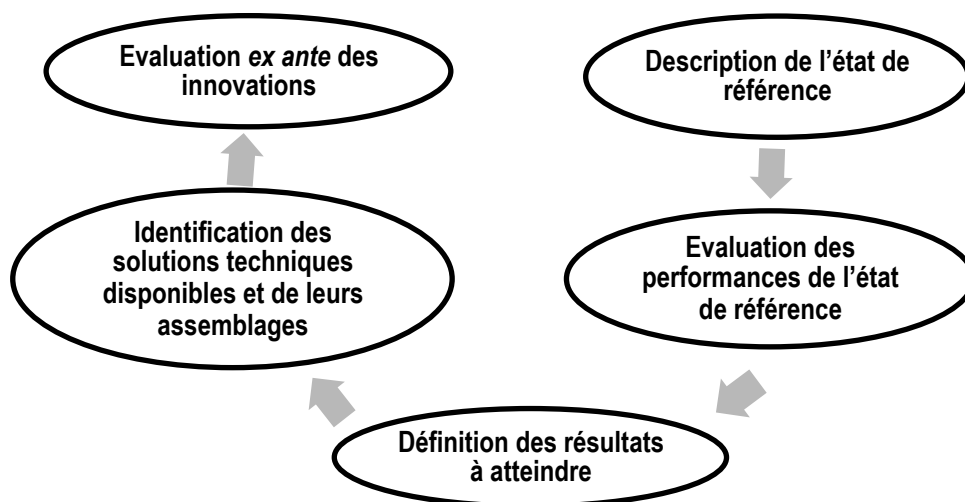
Les objectifs du projet POLINOV ont été les suivants :

- acquérir des données issues de la zone atelier de Plaine et Val de Sèvre pour analyser l'influence des systèmes de cultures actuels, et de l'organisation du paysage, sur les abeilles (observatoire Ecobee), en étudiant particulièrement la disponibilité des ressources trophiques dans le milieu;
- adapter les méthodes et les outils d'analyse multicritères à l'enjeu de préservation des abeilles pour évaluer les performances des systèmes de culture en faveur de la biodiversité des abeilles sauvages et l'état de santé du cheptel apicole, comme sur d'autres enjeux majeurs liés à la production agricole;
- concevoir et évaluer des systèmes de culture innovants répondant aux enjeux de la protection des abeilles et de la durabilité de l'apiculture, en évaluant l'incidence sur la durabilité des productions végétales.

## 1. Démarche

Nous avons dû adapter la démarche décrite par le Réseau Mixte Technologique "Systèmes de culture innovants" pour concevoir et évaluer les systèmes de cultures, afin de mieux prendre en compte la vaste aire de butinage des abeilles (supra-parcellaire) et leur cycle de vie annuel dépendant des périodes de floraison (Gayrard *et al*, sous presse ; Figure 1). Nous avons ainsi choisi de nous situer : 1) à l'échelle de la succession végétale en incluant les intercultures, et les itinéraires techniques associés, 2) à l'échelle de l'environnement proche de la parcelle correspondant à l'ensemble des éléments soumis à l'influence du système de culture tels que les espaces interchamps, les haies, les fossés ; 3) à l'échelle de l'exploitation qui associe plusieurs systèmes de culture dans différents îlots de productions.

Par « abeilles », nous entendons ici l'ensemble des hyménoptères Apiformes qui représenteraient 20 000 espèces dans le monde et 1000 espèces environ en France. Le système de culture est considéré comme l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur les parcelles traitées de manière identique.



**Figure 1.** Démarche de POLINOV pour concevoir des prototypes de systèmes d'exploitation agricole.

L'état de référence, à savoir les principaux systèmes d'exploitations agricoles sur la zone Atelier Plaine et Val de Sèvre, et l'organisation du paysage ont tout d'abord été décrits. Les performances des systèmes d'exploitation ont été évaluées par une analyse multicritères (DEXi-Abeilles) considérant la

durabilité sociale, économique et environnementale. Les ressources disponibles pour les abeilles dans la zone ont parallèlement été évaluées par l'observatoire Ecobee grâce à une analyse fine du comportement alimentaire. Préalablement aux prototypages réalisés à partir des systèmes de référence, nous avons défini des résultats à atteindre à l'issue de la conception des techniques et des systèmes innovants. Ensuite, un inventaire des solutions techniques a été réalisé avant de les assembler dans des prototypes de systèmes d'exploitation. Finalement, ces systèmes innovants ont été évalués *ex ante*, c'est-à-dire avant leur mise en œuvre sur le terrain, par l'analyse multicritères, ce qui nous a permis de sélectionner les prototypes les plus prometteurs face aux résultats à atteindre.

## 2. Description du territoire et de l'état de référence

La zone atelier Plaine et Val de Sèvre est une plaine céréalière au sud de Niort. Elle est coordonnée par le Centre d'Etudes Biologiques de Chizé (CNRS). La superficie de la zone atelier est de 450 km<sup>2</sup>, comprenant environ 650 exploitations agricoles, 19 000 parcelles agricoles, dont l'occupation des sols exhaustive a été inventoriée depuis 20 ans. Cette occupation du sol est couverte à plus de 30 % par des céréales à paille, 10 % par du tournesol, 8 % par du colza, 8 % par du maïs et 3 % par de la luzerne. Pour moitié de sa superficie, elle bénéficie du statut de Zone de Protection Spéciale, présente un site Natura 2000. En 2011, 9 500 hectares de contrats agro-environnementaux ont été signés avec 180 exploitants (MAE Biodiversité, Eau et Agriculture Biologique).

Avant d'intégrer de l'innovation, nous avons décrit les principaux systèmes d'exploitation agricole présents sur le territoire visé. La description des systèmes a été réalisée à l'aide du logiciel Systerre développé par Arvalis-Institut du Végétal. Ainsi, nous avons détaillé les systèmes d'exploitation au travers du renseignement d'informations telles que le parc matériel, la main-d'œuvre, les cultures, le parcellaire, les interventions sur chaque parcelle, les prix et éventuellement les mesures et observations, les règles de décisions, les analyses de sol, etc. Ces informations ont été fournies par des experts locaux du Cetiom, d'Arvalis-Institut du végétal et de l'Institut de l'élevage. Les traitements phytosanitaires (date, fréquence, produit utilisé) ont été précisés grâce aux résultats de l'enquête sur les pratiques d'une centaine d'agriculteurs de la zone atelier réalisée par l'ITSAP-Institut de l'abeille. Les systèmes de référence 2009-2010 ont été ensuite mis à jour pour la campagne 2010-2011 en intégrant les rendements et les prix de vente de ces deux campagnes.

Quatre exploitations types ont été choisies pour représenter l'agriculture de la zone : un système céréalière non irrigué, un système céréalière irrigué, un système en polyculture-élevage et enfin un système en agriculture biologique (Tableau 1). Les trois premiers systèmes de référence correspondent aux agrosystèmes caractéristiques de la zone. Un système de référence en agriculture biologique, présent plus marginalement, nous a semblé important à caractériser, notamment vis-à-vis des enjeux de protection des abeilles liés aux pesticides. Sa description a été fournie par l'Institut Technique de l'Agriculture Biologique.

## 3. Evaluation de l'état de référence

Ici, notre but fût double, à savoir 1) évaluer les performances des systèmes de culture sur les critères d'intérêt, à savoir la santé de l'environnement, des abeilles et la durabilité de l'apiculture et de l'agriculture, pour pouvoir par la suite juger de l'évolution de ces performances dans les prototypes de systèmes innovants, et 2) préciser où l'innovation doit porter ses fruits.

Deux outils d'évaluation ont été développés au cours du projet, l'un consistant à réaliser une analyse multicritères des systèmes de cultures (DEXi-Abeilles), l'autre étant un observatoire nous ayant permis d'étudier l'influence du paysage, et des ressources alimentaires disponibles, sur l'écologie des abeilles (Ecobee).

Systèmes	CÉRÉALIER SEC <i>en conventionnel</i>	CÉRÉALIER IRRIGUÉ <i>en conventionnel</i>	CÉRÉALIER AB <i>(Agriculture Biologique)</i>	POLYCLTURE ÉLEVAGE
SAU (ha)	120	110	105	115
Assolement				
UTH	1	1	1	1
Type de sol	Groies superficielles	Groies superficielles	Groies superficielles	Groies superficielles
Cheptel	0	0	0	60-70 vaches laitières
Ilots & Rotations	<p><b>Ilot 1 (30 ha) :</b> Colza-BTH-BTH</p> <p><b>Ilot 2 (80 ha) :</b> Colza-BTH-(moutarde)Tournesol-Blé tendre hiver</p> <p><b>Ilot 3 (7,8 ha) :</b> Maïs grain</p>	<p><b>Ilot 1 (40 ha) :</b> Tournesol-Blé dur-Pois-Blé tendre hiver</p> <p><b>Ilot 2 (50 ha) :</b> Colza- Blé tendre hiver - (moutarde)Tournesol- Blé tendre hiver</p> <p><b>Ilot 3 (18,1 ha) :</b> Maïs grain</p>	<p><b>Ilot 1 (58,4 ha) :</b> Féverole- Blé tendre hiver-Orge-(moutarde)Tournesol- Blé tendre hiver</p> <p><b>Ilot 2 (45 ha) :</b> Luzerne1-Luzerne2-Luzerne3- Blé tendre hiver -(moutarde)Maïs grain- Féverole -Triticale-(moutarde)Tournesol-Orge</p>	<p><b>Ilot 1 (15 ha) :</b> Colza- Blé tendre hiver-Blé tendre hiver</p> <p><b>Ilot 2 (12,94 ha) :</b> PP</p> <p><b>Ilot 3 (15 ha) :</b> (moutarde)Maïs ensilage</p> <p><b>Ilot 4 (35 ha) :</b> Luzerne1-Luzerne2-Luzerne3- Blé tendre hiver -Colza- Blé tendre hiver - (moutarde)Tournesol</p> <p><b>Ilot 5 (35 ha) :</b> (moutarde)Maïs ensilage-Ray grass1- Ray grass 2-(moutarde)Tournesol- Blé tendre hiver - (moutarde)Maïs ensilage-Blé tendre hiver</p>
Offre en miel	9 147 kg	6 501 kg	7 605 kg	8 420 kg
IFT <sub>mars-sept</sub> insecticides	0,79	0,61	0	0,48
Indice de toxicité Abeilles	146,7	118,9	0	69

Tableau 1 : Description succincte des systèmes d'exploitation pris comme référence.

#### 4. DEXi-Abeilles

DEXi-Abeilles est un outil permettant d'évaluer les systèmes de culture sur la base de leur intérêt économique (pour l'agriculteur et l'apiculteur), leur intérêt environnemental et leur acceptabilité sociale. Il a l'avantage de pouvoir considérer des critères multiples et parfois contradictoires grâce auxquels il est possible de choisir, classer ou trier des stratégies qui sont décrites dans les différents scénarios de systèmes de culture. DEXi-Abeilles permet une évaluation de ces systèmes grâce à 11 critères agrégés. L'évaluation est réalisée à l'échelle de la rotation entière, et prend en compte les pratiques agricoles intra-parcellaires, mais également la gestion des bordures de champ. Il intègre une évaluation de l'impact des systèmes de culture sur les abeilles sauvages et mellifères. DEXi-Abeilles a été développé par le laboratoire Agronomie et Environnement (UMR 1121 INRA-Université de Lorraine) sur la base d'un outil d'aide à la décision multicritères, DEXi.

L'élaboration de l'outil a consisté tout d'abord à décrire et décomposer l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture sous forme d'un arbre. La Figure 2 représente les principales « branches » de l'arbre DEXi-Abeilles. Chaque élément terminal de cet arbre a lui-même été décomposé, comme le montre la Figure 3 pour l'évaluation de la valeur des systèmes de cultures vis-à-vis des abeilles mellifères. A chaque élément de l'arbre a été associé un classement (ex : la valeur du système pour les abeilles mellifères est très favorable, favorable, moyenne, défavorable ou très défavorable). Pour agréger les éléments, des règles de décision ont été formalisées sous la forme « [si ... alors] » et des pondérations ont été attribuées à chaque élément. La structure de l'arbre, les règles de décisions et les pondérations de DEXi-Abeilles ont été établies à partir de la littérature scientifique et technique, de bases de données (ex : valeur pollinifère et nectarifère des cultures et plantes spontanées) et de la consultation d'experts apidologues, écologues et agronomes. Les éléments terminaux de l'arbre sont les variables d'entrée dont DEXi-Abeilles a besoin pour évaluer la durabilité des systèmes de culture. Au final, DEXi-Abeilles nécessite 89 variables, dont la plupart sont des informations d'enquête facilement accessibles sur le système de cultures (ex : proportion de cultures principales étant nectarifères) ou issus de Systerre et d'Indigo (moins de 10 % des indicateurs). Certaines branches de l'arbre sont issues de la procédure d'évaluation de l'outil MASC (ex : impact sur les ressources abiotiques).

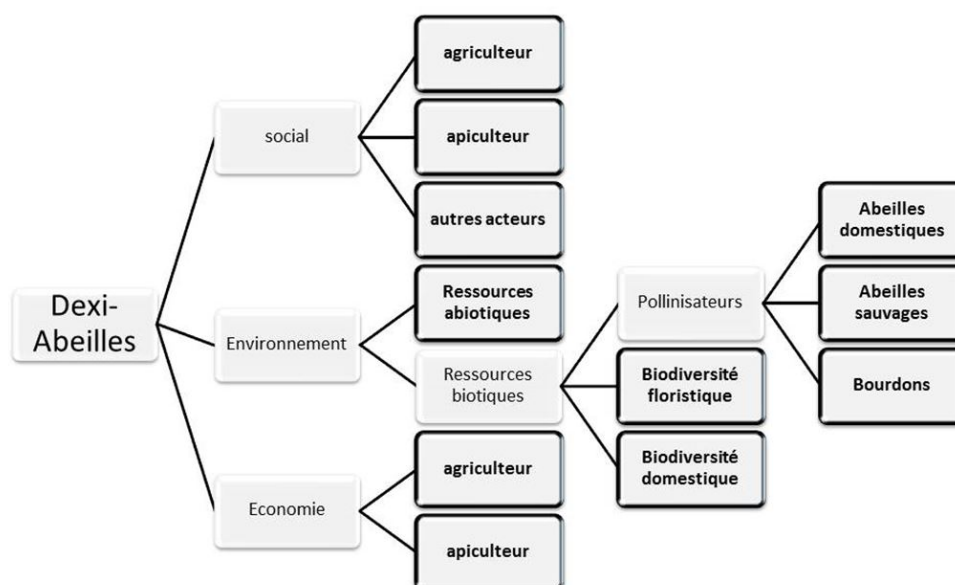


Figure 2 : Structure générale de DEXi-Abeilles.

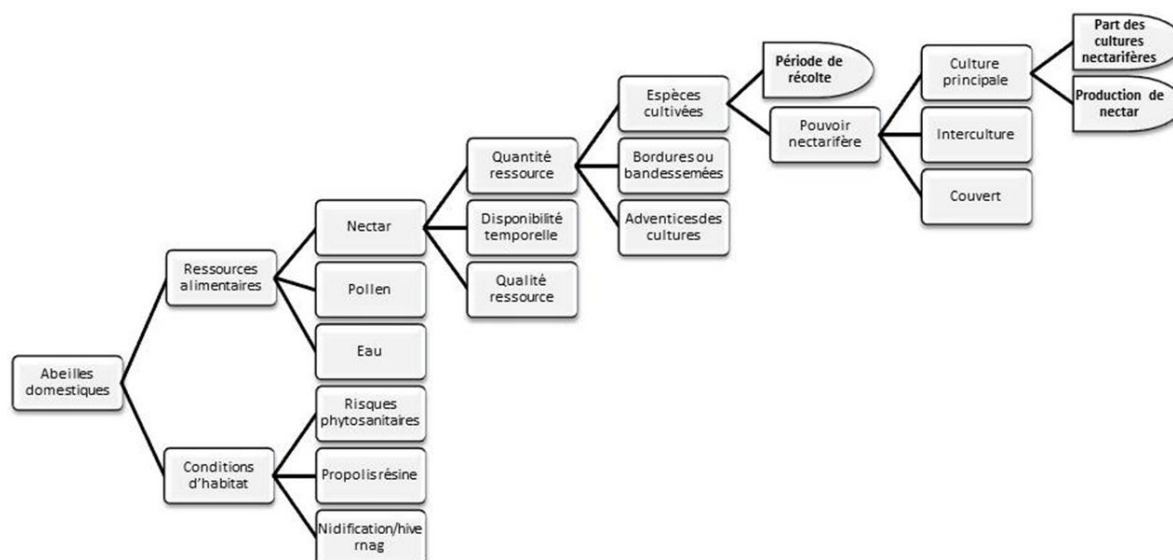
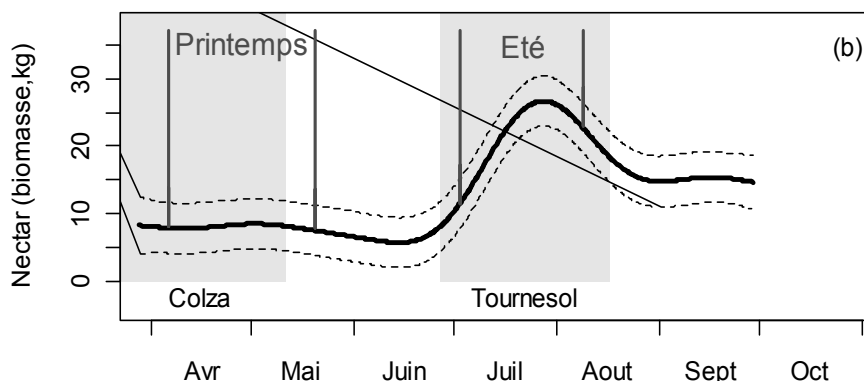


Figure 3 : Décomposition, pour exemple, de la branche « Ressources alimentaires » de l'abeille mellifère.

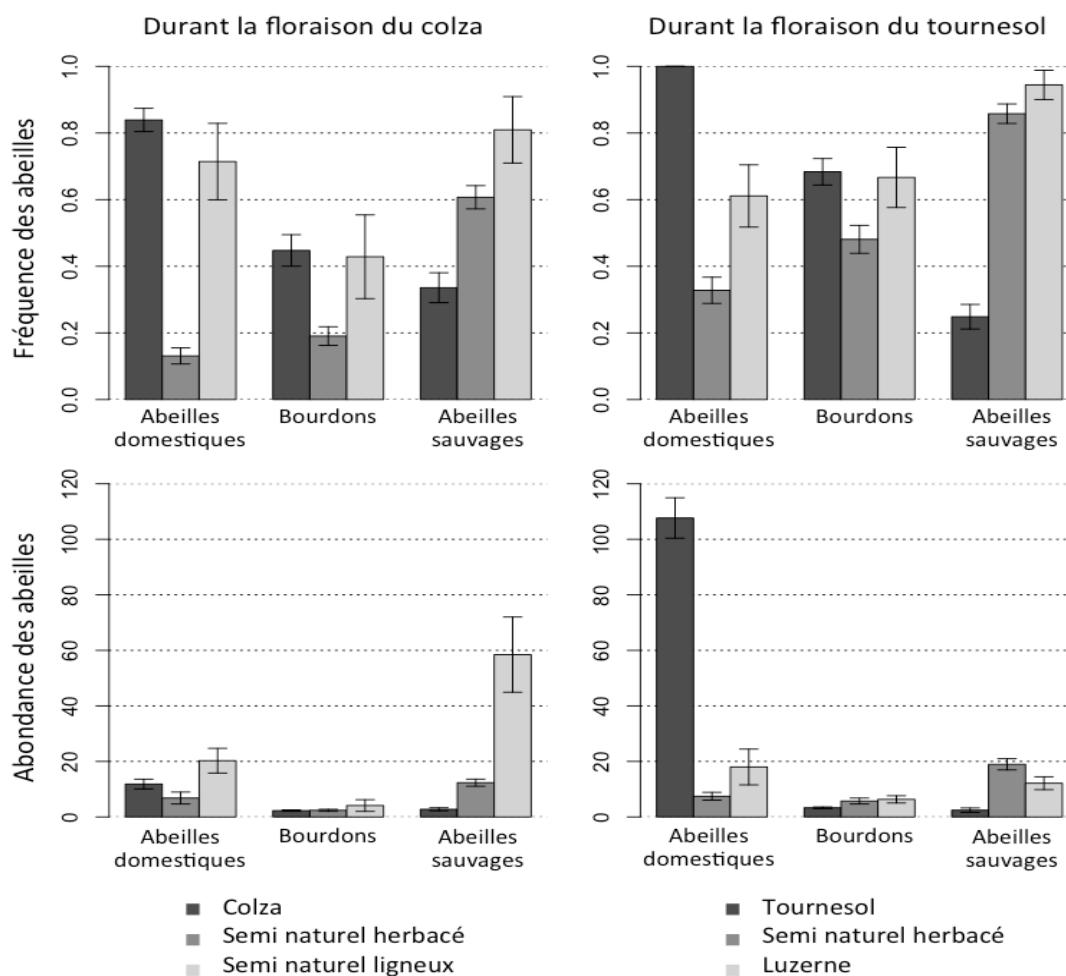
## 5. Observatoire Ecobee

Cet observatoire vise une meilleure connaissance de l'écologie des abeilles mellifères (Henry *et al*, 2012 ; Henry *et al*, sous presse ; Odux *et al*, sous presse) et sauvages en zone agricole céréalière (Rollin *et al*, 2013). La zone atelier a été divisée en 50 carrés de 10 km<sup>2</sup>. Chaque année, 10 carrés furent tirés aléatoirement, sans remise, pour faire l'objet d'une expérimentation. Dans ces carrés, un rucher de 5 ruches fût placé au centre, puis suivi d'avril à octobre. Nous avons mesuré 4 variables principales que sont 1) la taille de la population des adultes, 2) la surface occupée par les stades larvaires et nymphales, 3) la surface occupée par le couvain mâle (qui représente un indice de l'allocation à l'effort reproducteur), et enfin 4) le poids des réserves alimentaires. Chaque ruche a été équipée d'une trappe à pollen, mise en service pendant 24 h tous les 10 jours. Chaque échantillon a été pesé puis un prélèvement a fait l'objet d'analyse palynologique. Ces analyses palynologiques ont permis l'identification botanique des pollens jusqu'à l'espèce ou jusqu'au genre. Ces espèces ont ensuite été regroupées en 5 catégories : espèces ornementales, espèces forestières et des haies, espèces prairiales, espèces cultivées et adventices des cultures. Il nous a permis de confirmer l'hypothèse souvent avancée de la forte irrégularité aux cours du temps des ressources issues de la flore en zone céréalière (Requier, 2013). La quantité de pollens et de nectars récoltée varie en effet fortement au cours du temps. Les colonies connaissent un pic de récolte de pollens en juin et en août, alors que les pics de récolte de nectars s'observent durant la floraison des cultures oléagineuses, colza et tournesol. Contrairement aux attentes, le pollen issu des cultures ne représente qu'un tiers du butin annuel et est collecté essentiellement en fin d'été (tournesol et maïs). Ainsi, le régime alimentaire de l'abeille mellifère dans ce paysage agricole céréalière est beaucoup plus varié qu'attendu, et une part conséquente est lié aux plantes adventices des cultures et arbustives (lisières forestières et haies). Au printemps, 69 % du pollen récolté provient des massifs boisés et des haies. De mi-juin à mi-juillet, les quantités de pollen collectées sont réduites de plus de 50 %, alors que la taille des populations atteint son maximum (en moyenne 27 500 ouvrières adultes). Cette situation oblige bon nombre d'apiculteurs à apporter des compléments alimentaires à leurs colonies durant cette période. Si la part des récoltes de pollen sur les cultures oléagineuses a été plus faible qu'attendu, le rôle stratégique des miellées provenant du colza, et surtout du tournesol, a bel et bien été confirmé (Figure 4). Les résultats des inventaires faunistiques réalisés sur fleurs en témoignent également (Figure 5). Ces inventaires réalisés d'avril à août durant 3 années, de 2010 à 2012, ont consisté à capturer et identifier à l'espèce près de 30 000 abeilles butinant sur les fleurs, et ce sur plus de 800 couverts végétaux (Rollin, 2013). Ces abeilles ont été classées selon 3 groupes : abeilles mellifères, abeilles sauvages et bourdons.

Les abeilles sauvages ont préféré butiner les fleurs sauvages des prairies et des bordures plutôt que celles du colza ou du tournesol. Par exemple, la diversité en abeilles dans le colza a été 4 fois inférieure à celle mesurée sur une flore herbacée naturelle. Au contraire, les bourdons ont été plus présents sur les fleurs des cultures oléagineuses que sur les autres couverts fleuris, mais de façon moins marquée que l'abeille mellifère.



**Figure 4** : Réserves en miel mesurées dans les ruches en fonction du temps. Ce graphique établi à partir de 5 années de suivi des ruchers d'observation indique deux périodes où les réserves en miel sont significativement supérieures, l'une en début de saison lors de la floraison du colza concomitante à l'accroissement des populations, l'autre beaucoup plus importante lors de la floraison du tournesol.



**Figure 5** : Présence des pollinisateurs sur différents couverts végétaux en fleurs. Il y a de nettes différences dans l'utilisation des ressources fleuries entre les groupes d'abeilles durant la floraison du colza et du tournesol.



Les abeilles mellifères, et en moindre mesure les bourdons, préfèrent butiner les fleurs de colza et de tournesol aux fleurs sauvages des prairies et des bordures, alors que c'est l'inverse chez les abeilles sauvages.

Les connaissances issues de l'observatoire Ecobee nous amènent à imaginer le paysage idéal pour la conservation des abeilles et pour l'apiculture qui devrait présenter à la fois des cultures offrant une importante masse florale appréciée des abeilles mellifères et des apiculteurs (colza, tournesol, luzerne), mais également des surfaces où la flore est plus variée, préservée dans la durée, offrant ainsi des apports alimentaires plus réguliers dans le temps (haies, bois, bosquets, bandes enherbées, lisières, bords de champs et de routes). Si nous traduisons ces connaissances acquises en termes d'efficacité de mesures agro-écologiques favorisant une flore spontanée et diversifiée, on peut s'attendre à ce que ce type de couverts attire très peu d'abeilles mellifères et de bourdons durant la floraison du colza, du tournesol ou de la luzerne. Par contre, de tels aménagements devraient être très efficaces pour les abeilles sauvages, sauf durant la floraison de la luzerne qui est une plante aussi performante pour attirer les abeilles sauvages que les couverts herbacés spontanés. Ces connaissances acquises grâce à nos inventaires ont été intégrées pour concevoir les techniques innovantes.

La très forte dépendance des abeilles mellifères et de l'apiculture envers les cultures oléagineuses, ainsi que la récolte significative du pollen de maïs (plus de 30 % du poids en pollen récolté entre mi-juillet et mi-août), induit logiquement la prise en compte du risque d'intoxication lié aux pesticides employés par les cultivateurs. En effet, comme cela a été détaillé lors de la description des itinéraires techniques, le colza et le tournesol s'inscrivent dans des systèmes de cultures céréalières qui, pour la grande majorité d'entre eux, utilisent une protection chimique conventionnelle des plantes. Parmi les traitements couramment retrouvés sur le territoire de mars à septembre, les experts apidologues ont tout particulièrement jugé « à risque » les traitements suivants : Karaté K (à base de lambda-cyhalothrine) sur colza et tournesol, Décis Expert (à base de deltaméthrine) sur maïs, Gaucho TS31 (à base d'imidaclopride<sup>2</sup>) sur blé tendre, Cruiser TS (à base de thiaméthoxam) sur colza et maïs. Ce risque pouvait être lié à une application d'un insecticide à proximité ou durant la période de floraison de la culture, ou à l'emploi de semences traitées avec un insecticide systémique. Ces derniers peuvent entraîner une présence de résidus dans les ressources que les abeilles récoltent sur la plante traitée, mais certains experts ont également évoqué ce risque de contamination dans le cas de plantes mellifères cultivées postérieurement à la plante traitée avec le systémique (ex : colza d'hiver après blé tendre d'hiver traité par Gaucho). Ces différents niveaux de risque d'exposition des abeilles ont été pris en compte dans la conception des systèmes innovants.

## 6. Conception de systèmes d'exploitation agricole innovants

Forts de notre connaissance de l'état de référence (systèmes d'exploitation actuels, organisation du paysage) et de ses répercussions sur les populations d'abeilles (irrégularité des ressources et risques liés aux insecticides), nous avons défini les sept résultats à atteindre pour améliorer la santé des abeilles (Tableau 2). Ces objectifs assignés ont été regroupés en deux principaux : 1) augmenter la quantité, la qualité et la disponibilité des ressources alimentaires des abeilles mellifères et sauvages ; 2) diminuer les risques d'intoxication liés à l'application de pesticides de mars à septembre (principale période d'activité des abeilles). Les besoins alimentaires et en production de miel ont été simulés en estimant, de façon simplificatrice, qu'à chaque système d'exploitation était associé un rucher sédentaire de 50 ruches qui dans l'état de référence produisait deux miellées par an, celles de colza et de tournesol, chacune de 1000 kg. A partir de bases de données attribuant une quantité de miel

<sup>2</sup> L'imidaclopride et le thiaméthoxam employés dans les systèmes de références sont des insecticides suspendus dans l'Union Européenne durant 2 ans à partir de janvier 2014 sur les cultures mellifères et pollinifères.

potentiellement produite par unité de surface implantée par telle ou telle plante, nous avons simulé la production en miel du rucher virtuel pour une année.

Deux indices ont été utilisés pour estimer la réduction de la pression exercée par les pesticides, l'un évaluant l'usage des produits (Indice de Fréquence de Traitement ou IFT), l'autre évaluant plus spécifiquement l'impact sur les abeilles ( $Q_{SA}$  = dose appliquée de Substance Active (SA) par hectare / Dose Létale de la SA tuant 50 % des effectifs ou DL50 abeille).

L'atelier de conception a réuni des représentants des structures partenaires œuvrant pour le développement des productions végétales (Chambre d'Agriculture des Deux-Sèvres, ACTA, CETIOM, ARAVALIS - Institut du végétal), des productions apicoles (ITSAP-Institut de l'abeille, ADA Poitou-Charentes), ainsi que des représentants des équipes de la recherche (INRA). Cette constitution a permis d'établir un état des lieux des connaissances disponibles sur l'influence du paysage et des systèmes de cultures sur les abeilles et de rechercher les solutions techniques à mobiliser. La démarche a été la suivante : 1) constitution d'un groupe de travail rassemblant des agronomes et des spécialistes des abeilles ; 2) réalisation d'un inventaire des solutions techniques innovantes, 3) définition de combinaisons des solutions techniques constituant les systèmes d'exploitation innovants, 4) évaluation multicritères des techniques élémentaires puis des systèmes innovants, 5) analyse comparative des résultats pour sélectionner les meilleurs prototypes de systèmes d'exploitation innovants.

<b>I.</b>	<b>Santé des abeilles</b>
<b>1.1</b>	<b>Assurer l'autoconsommation des abeilles mellifères</b>
	1.1.1 Obtenir une continuité des apports en nectar et en pollen durant minimum 3 mois (fin mars à fin juillet, ou fin juin à fin septembre).
	1.1.2 Obtenir une continuité des apports en nectar et en pollen durant 6,5 mois (fin mars à fin septembre).
<b>1.2</b>	<b>Réduire les risques d'intoxication liés aux pesticides</b>
	1.2.1 Ne pas utiliser de pesticides avec une toxicité $Q_{SA}$ * supérieure à 50 en début de période d'activité des abeilles (avril à juin).
	1.2.2 Diminuer de 30 % l'Indice de Fréquence de Traitements (IFT) des insecticides en période d'activité des abeilles (mars à septembre).
<b>II.</b>	<b>Production de miel</b>
	2.1.1 Obtenir une troisième miellée de 1 000 kg de miel minimum entre celle du colza et celle du tournesol.
<b>III.</b>	<b>Biodiversité</b>
	<b>3.1 Diversité de l'assolement</b>
	3.1.1 Doubler, au minimum, la richesse spécifique des espèces semées qui fournissent du nectar et/ou du pollen.
	<b>3.2 Diversité de la flore</b>
	3.2.1 Augmenter la richesse spécifique des plantes sauvages ou semées apportant du nectar et/ou du pollen et qui ne reçoivent pas de pesticides, sur au minimum 5 % de la Surface Agricole Utile (SAU).

\* $Q_{SA}$  = dose appliquée de Substance Active (SA) par hectare / Dose Létale de la SA tuant 50 % des effectifs (DL50 abeille).

**Tableau 2 :** Les résultats attendus des systèmes d'exploitation innovants.

## 7. Techniques innovantes mobilisées

Dans le but d'améliorer les ressources alimentaires disponibles pour les abeilles dans les systèmes d'exploitation, nous avons envisagé la mise en place et la gestion de couverts végétaux produisant du nectar et du pollen sous quatre formes différentes : Surfaces Equivalentes Topographiques (SET), Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates (CIPAN), bandes fleuries, rotation culturale présentant des plantes mellifères et pollinifères. Pour les 4 % de SET par SAU, nous avons introduit la composition de haies à partir d'espèces ligneuses d'intérêt (érable champêtre, cornouiller sanguin, viorne lantane, alisier torminal, troène), accompagnées de jachères implantées à l'automne d'un mélange à base de trèfle hybride, sarrasin, minette, sainfoin, lotier corniculé et phacélie. Cette jachère peut être broyée au début de la floraison du tournesol afin d'apporter une seconde floraison en fin de saison. Les SET aménagées avec des espèces végétales produisant du nectar et du pollen se révèlent être une mesure insuffisamment efficace pour atteindre les objectifs en termes d'apport en ressources trophiques pour

les abeilles. D'après les évaluations multicritères réalisées, l'introduction de cultures mellifères et pollinifères dans les terres arables sont les mesures présentant les performances les plus élevées.

Pour réduire la pression liée à l'usage des pesticides s'exerçant sur les populations d'abeilles, nous avons mobilisé plusieurs stratégies qui vont d'un remplacement des produits les plus à risque par d'autres connus comme étant moins risqués, à la suppression des traitements à base d'insecticides sur une partie (avril-juin) ou sur l'ensemble de la période d'activité des abeilles (mars-septembre), en passant par la diminution de la fréquence de certains traitements. Quelques solutions techniques innovantes ont été testées pour réduire l'utilisation des pesticides, comme une réduction de la densité de semis du colza et de sa fertilisation, ou encore son association avec une plante gélive (lentille) pour limiter l'usage des herbicides. Sur le tournesol, nous avons considéré la possibilité d'effectuer un désherbage mécanique ou des applications d'herbicides localisées lors du semis.

Pour la suite du travail, nous avons sélectionné les techniques innovantes les plus efficaces, à savoir la mise en place de bandes fleuries, l'introduction de plantes produisant du nectar et du pollen dans la rotation, ainsi que le remplacement ou l'élimination des insecticides à risque durant la période printemps-été et la réduction de l'usage des insecticides en automne. Ensuite, ces techniques ont été assemblées dans des prototypes de systèmes d'exploitation (qui eux-mêmes sont des assemblages de plusieurs îlots ayant chacun un système de culture). De nombreux prototypes ont ainsi été testés, seuls les plus performants sont présentés dans la suite de l'article.

## 8. Description des systèmes d'exploitation agricole innovants

Comme pour les systèmes d'exploitation de référence, les systèmes innovants ont été décrits grâce à l'outil Systerre. Le premier prototype conçu est le système céréalier irrigué avec un changement de succession végétale sur les îlots 2 et 3, consistant à introduire de la luzerne et du chanvre (Tableau 3). La luzerne est prévue en porte-graines durant 2 ans, puis en production de fourrage durant 1 an. Cette culture apporte une rupture dans la rotation. Et nos inventaires faunistiques des abeilles ont montré que la luzerne est une plante appréciée par les abeilles mellifères, sauvages et par les bourdons. Le chanvre est une plante très pollinifère, tout en étant très économe en intrants. Le chanvre a également été utilisé pour casser la monoculture de maïs sur l'îlot positionné en fond de vallée. Entre la récolte du blé tendre et le semis du tournesol, nous avons intégré une CIPAN avec du trèfle hybride et de la phacélie (à la place de la moutarde). Une CIPAN à base de sarrasin a été prévue entre une culture de blé tendre et le chanvre. Semées sur 20 ha, ces plantes doivent assurer une floraison en septembre et octobre, et par conséquent améliorer les stocks alimentaires dans les ruches avant l'hiver. Les applications des pesticides jugés « à risque » ont été remplacées de la façon suivante : Karaté K remplacé par Mavrik Flo (à base de tau-fluvalinate) sur colza et tournesol ; Décis Expert remplacé par du Coragen (à base de chlorantraniliprole) sur maïs grain ; Gaucho TS31 remplacé par du Décis Expert (à base de deltaméthrine) appliqué en novembre (hors période de butinage) sur blé ; Cruiser TS remplacé par du Belem (à base de cyperméthrine) sur maïs. Un passage avec Karaté K (à base de lambda-cyhalothrine) a été retiré de l'itinéraire sur blé. La fréquence des autres traitements à base d'insecticides a été réduite sur le colza : Mageos (à base d'alphaméthrine) en septembre, Mavrik flo (tau-fluvalinate) fin mars. Nos évaluations des performances de ce système indiquent une production de miel presque doublée et une réduction de la pression liée aux pesticides se traduisant par un IFT réduit de 37 % et un indice de toxicité sur les abeilles réduit de plus de moitié.

Aux modifications appliquées sur la rotation précédemment citée, nous avons ajouté la création de bandes fleuries pour le second système céréalier irrigué innovant. Pour créer ces bandes fleuries, nous avons consacré une partie de l'îlot 2 (10 % de la surface) et de l'îlot 3 (6 % de la surface) à cette mesure en semant à l'automne un mélange associant trèfle hybride, sarrasin, minette, sainfoin, lotier corniculé et phacélie. Les performances de ce système au niveau de la production de miel est

supérieure au premier prototype innovant ; par contre, la pression liée aux pesticides est quasi équivalente à celle estimée pour le système de référence.

Les systèmes céréaliers non irrigués présentent les mêmes modifications que celles détaillées précédemment pour les systèmes irrigués : luzerne et chanvre dans la succession culturale, réduction des traitements insecticides, CIPAN mellifères et pollinifères, implantation de bandes fleuries.

A ces techniques, s'ajoute sur un îlot, de l'orge suivi d'un tournesol en dérobé recherchant ainsi un étalement de la floraison dans la saison. Dans le système en agriculture biologique, les CIPAN mellifères et pollinifères ainsi que les bandes fleuries augmentent les ressources disponibles pour les abeilles. On enregistre également, dans ces systèmes innovants, une nette diminution de l'IFT insecticides dans la période d'activité des abeilles, de mars à septembre, et de l'indice estimant la toxicité des insecticides sur l'abeille mellifère.

Systèmes	CÉRÉALIER IRRIGUÉ DE REFERENCE	CÉRÉALIER IRRIGUÉ INNOVANT Changement de rotation et réduction des pesticides	CÉRÉALIER IRRIGUÉ INNOVANT Changement de rotation et bandes fleuries
<b>Assolement</b>			
<b>Ilots et Rotations</b>	<p><b>Ilot 1 (40 ha) :</b> Tournesol - Blé dur – Pois - Blé tendre d'hiver</p> <p><b>Ilot 2 (50 ha) :</b> Colza - Blé tendre d'hiver (moutarde) – Tournesol - Blé tendre d'hiver BTH</p> <p><b>Ilot 3 (18,1 ha) :</b> Maïs grain</p>	<p><b>Ilot 1 (40 ha) :</b> Tournesol - Blé dur – Pois - Blé tendre d'hiver</p> <p><b>Ilot 2 (50 ha) :</b> Luzerne porte-graines (2 ans) – Colza - Blé tendre d'hiver (sarrasin) – Chanvre - Blé tendre d'hiver (trèfle hybride/phacélie) - Tournesol</p> <p><b>Ilot 3 (18,1 ha) :</b> Maïs – Maïs - Chanvre</p>	<p><b>Ilot 1 (40 ha) :</b> Tournesol - Blé dur – Pois - Blé tendre d'hiver</p> <p><b>Ilot 2 (45,1 ha) :</b> Luzerne porte-graines (2 ans) – Colza - Blé tendre d'hiver (sarrasin) – Chanvre - Blé tendre d'hiver (trèfle hybride/phacélie) - Tournesol</p> <p><b>Ilot 2bis (4,9 ha) :</b> Bandes fleuries</p> <p><b>Ilot 3 (15,1 ha) :</b> Maïs – Maïs - Chanvre</p> <p><b>Ilot 3bis (3 ha) :</b> Bandes fleuries</p>
<b>Offre en miel</b>	6 501 kg	12 166 kg	13 573 kg
<b>IFT<sub>mars-sept.</sub> insecticides</b>	0,61	0,38	0,59
<b>Indice de toxicité Q<sub>SA</sub></b>	118,9	43,5	100,9

**Tableau 3 :** Description succincte des prototypes de systèmes d'exploitation céréaliers avec irrigation.

## 9. Evaluation multicritère des systèmes innovants

L'utilisation de DEXi-Abeilles nous a permis de comparer les performances des systèmes innovants avec celles des systèmes de référence actuellement existants sur la zone (Figure 6). Comme attendu, les critères relatifs à la santé des populations de bourdons, d'abeilles sauvages et d'abeilles mellifères sont plus élevés dans les systèmes innovants que ceux du système de référence. Le système présentant une réduction de l'usage des insecticides, associée à une nouvelle rotation, améliore nettement le score attribué à la santé des populations d'abeilles mellifères. Par contre, la santé des abeilles sauvages et des bourdons est moins influencée par ces innovations car les sites semi-naturels pour nidifier avec une connectivité paysagère ne semblent pas suffisamment présents. Ainsi, parmi les

deux systèmes céréaliers irrigués et innovants présentés précédemment, celui intégrant un changement de rotation et les bandes fleuries a les meilleures performances globales. Mais la durabilité économique pour l'agriculteur des deux systèmes innovants est plus faible. Plus précisément, la mise en place des systèmes innovants provoquent une diminution de la marge nette avec aides, et donc un surcoût pouvant dépasser 30 € par hectare et par an. Pour améliorer l'acceptabilité économique de ces innovations, il peut être envisagé de les répartir sur un ensemble d'exploitations couvrant l'aire de butinage d'un rucher sédentaire.

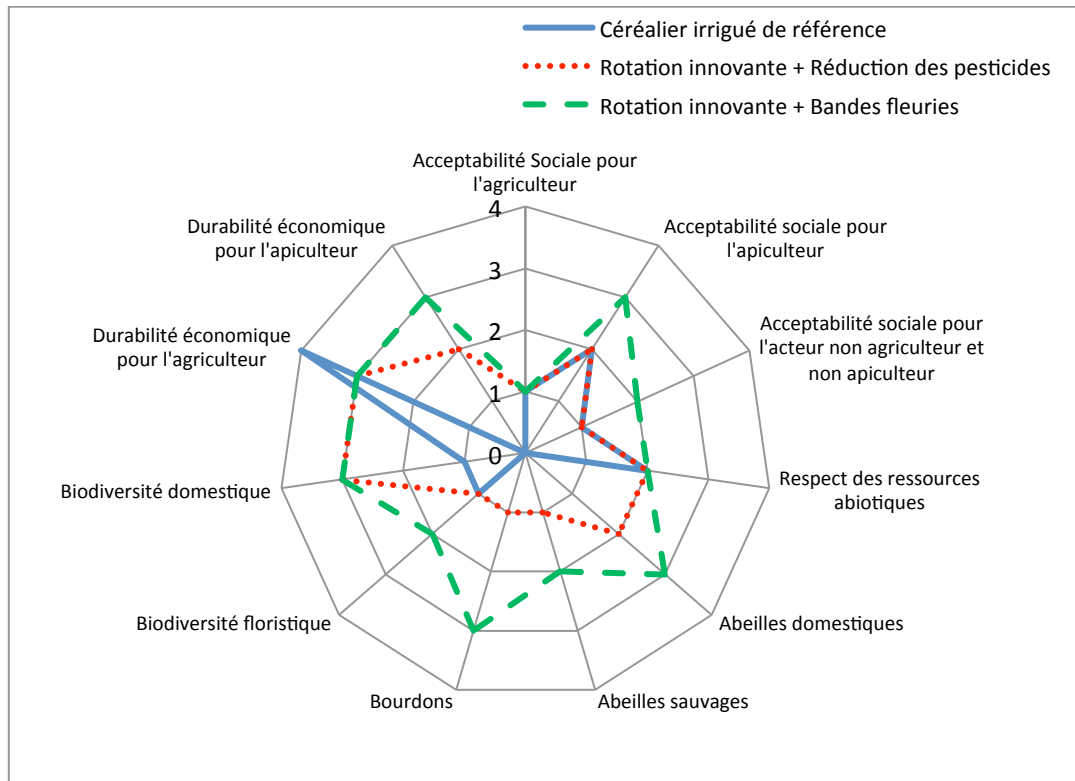


Figure 6 : Performances des systèmes d'exploitation évaluées par DEXi-Abeilles.

## Conclusion

Pour conclure, nos travaux sur l'écologie des différentes espèces d'abeilles prenant en compte les enjeux technico-économiques de l'apiculture et de l'agriculteur, nous dictent une gestion du territoire qui doit intégrer les dimensions spatiales et temporelles. En effet, les techniques innovantes ayant les meilleures performances ont pour but de limiter l'irrégularité des ressources alimentaires dans le temps, et par conséquent les répercussions sur les populations d'abeilles et les productions de l'apiculteur. Les systèmes de cultures innovants qui associent ces techniques favorisent alors, par leurs successions végétales riches en plantes produisant du nectar et du pollen, la santé des abeilles. Ces mêmes plantes présentent non seulement l'intérêt de diversifier la rotation et de régulariser les ressources pour les abeilles, mais également d'être peu dépendantes de traitements phytosanitaires. Nos simulations indiquent que la santé des abeilles est significativement améliorée lorsque la réduction des traitements insecticides concerne la totalité de la période d'activité des abeilles, et pas uniquement durant la floraison de telle ou telle culture.

L'utilisation des infrastructures agro-écologiques par les abeilles est modulée par la composition du paysage dans lequel ces infrastructures s'inscrivent. Nous montrons que la conservation de la flore sauvage est plus ou moins bénéfique aux abeilles sauvages selon sa proximité avec les systèmes de cultures et la nature des plantes cultivées. Les mesures pour favoriser les plantes messicoles (espèces sauvages inféodées aux cultures) auraient des répercussions positives sur la présence des abeilles,

sauvages ou mellifères, dans les parcelles, mais les techniques associées sont souvent jugées trop pénalisantes pour l'agriculteur (réduction des traitements herbicides et de la fertilisation, rotations diversifiées avec cultures d'hiver prédominantes, réduction de la densité de semis, travail superficiel du sol).

Qu'il s'agisse des populations d'abeilles mellifères ou sauvages, elles se retrouvent renforcées lorsque nous proposons de diversifier les paysages agricoles. À ce jour, les innovations les plus performantes pour les abeilles ont un coût économique et social pour l'agriculteur qu'il ne semble pas prêt à assumer dans le contexte de production actuel. La poursuite de la démarche passera par une mise à l'épreuve des innovations dans des exploitations agricoles (projet DEPHY-Abeilles).

Même si cette future étape nous permettra de réajuster certains critères économiques et sociaux liés aux innovations, il paraît évident aujourd'hui que l'optimisation du service de pollinisation sur un territoire implique un solide accompagnement d'un collectif d'acteurs agricoles (agriculteurs, apiculteurs), voire d'acteurs non agricoles (collectivités, chasseurs, naturalistes...).

Nos résultats soulignent la nécessité i) d'accompagner un collectif d'acteurs agissant sur le territoire (agriculteurs, collectivités...), engagés ensemble dans la mise en place des mesures de protection des abeilles, et du service de pollinisation, ii) d'associer l'enjeu de la protection des abeilles avec d'autres enjeux souvent convergents (qualité de l'eau, protection intégrée, conservation des messicoles), iii) et de compenser les charges et dépenses résultant de l'application des mesures par l'agriculteur.

### Remerciements

Pour décrire les systèmes de culture de référence, nous avons bénéficié de l'aide de Jean-Louis Moynier (ARVALIS-Institut du végétal), de Jean-Pierre Palleau (CETIOM) et de Roger Palazon (Institut de l'élevage). La description des systèmes et leur conception ont été en partie effectuées par Charlie Gazel (étudiant d'AgroParisTech). Mathieu Liaigre (CEBC) a géré les données d'occupation du sol de la zone atelier. L'enquête sur l'usage des pesticides a été réalisée par Juliette Poidatz (ITSAP-Institut de l'abeille). Le projet POLINOV a reçu une contribution financière du Ministère chargé de l'agriculture par l'intermédiaire du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural (CASDAR n°9535).

### Références bibliographiques

- Decourtye A., Gayrard M., Chabert A., Requier F., Rollin O., Odoux J-F., Henry M., Allier F., Cerrutti N., Chaigne G., Petrequin P., Plantureux S., Gaujour E., Emonet E., Bockstaller C., Aupinel P., Michel N., Bretagnolle V., 2013a. Projet Polinov, épisode 1 - Pour des systèmes de cultures favorables aux abeilles. *Phytoma* 666, 41-46.
- Decourtye A., Gayrard M., Chabert A., Requier F., Rollin O., Odoux J-F., Henry M., Allier F., Cerrutti N., Chaigne G., Petrequin P., Plantureux S., Gaujour E., Emonet E., Bockstaller C., Aupinel P., Michel N., Bretagnolle V., 2013b. Projet Polinov, épisode 2 – Vers des systèmes de cultures favorables aux abeilles. *Phytoma* 667, 11-14.
- Gayrard M., Chabert A., Emonet E., Plantureux S., Chaigne G., Arjauré G., Allier F., Bretagnolle V., Henry M., Decourtye A., sous presse. Conception et évaluation de systèmes de culture innovants conciliant les enjeux de protection des abeilles et de durabilité de l'agriculture. In: E. Maire (Ed.), *Abeilles & paysages*, QUAE Editions.
- Henry M., Beguin M., Requier F., Rollin O., Odoux J.-F., Aupinel P., Aptel J., Tchamitchian S., Decourtye A., 2012. Response to comment on "A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees". *Science* 337, 1453, DOI: 10.1126/science.1224930.
- Henry M., Odoux J.-F., Requier F., Rollin O., Tamic T., Toullet C., Le Mogne C., Peyra E., Decourtye A., Aupinel P., Bretagnolle V., sous presse. Abeilles domestiques dans une plaine céréalières intensive : la composition du paysage influence la dynamique des colonies. In: E. Maire (Ed.), *Abeilles & paysages*, QUAE Editions.

Odoux J.F., Aupinel P., Gateff S., Requier F., Henry M., Bretagnolle V. sous presse. ECOBEE: a tool for long-term bee colony monitoring at landscape scale in West European intensive agrosystems. *Journal of Apicultural Research*.

Requier F., 2013. Dynamique spatio-temporelle des ressources et écologie de l'abeille domestique en paysage agricole intensif. Thèse de doctorat.

Rollin O., 2013. Etude multi-échelles du patron de diversité des abeilles et utilisation des ressources fleuries dans un agrosystème intensif. Thèse de doctorat.