

introduction de jachères florales en zones de grandes cultures : comment mieux concilier agriculture, biodiversité et apiculture ?

**Axel Decourtye¹, Philippe Lecompte², Jacqueline Pierre³,
Marie-Pierre Chauzat⁴, Pascal Thiébeau⁵**

¹ ACTA, Maison des agriculteurs, 18 avenue des Monts-d'Or, 69890 La Tour-de-Salvagny

² Esprit de la ruche / Adaest, 30 rue Saint-Laurent, 51170 Ville-en-Tardenois

³ INRA, UMR1099, Biologie des organismes et des populations appliquée à la protection des plantes,
35650 Le Rheu

⁴ AFSSA, 105 route des Chappes, BP 111, 06902 Sophia-Antipolis cedex

⁵ INRA, unité d'Agronomie UR1158, 2 esplanade Roland-Garros, 51100 Reims

*axel.decourtye@acta.asso.fr ; EspritdelaRuche@aol.com ;
Jacqueline.Pierre@rennes.inra.fr ; mp.chauzat@afssa.fr ; thiebeau@reims.inra.fr*

Les abeilles au sens large¹ représentent plus de 20 000 espèces dans le monde. Or, un déclin des populations d'abeilles a été récemment observé en Europe (Biesmeijer *et al.*, 2006 ; Rasmont *et al.*, 2006). Il pose le problème du risque de disparition de ces insectes auxiliaires et de sa répercussion sur les activités humaines qui leur sont liées comme l'apiculture, la production de fruits, de légumes, de semences. La FAO (Nations-Unies) a lancé, en 1996, un cri d'alarme à l'attention de tous les gouvernements pour sauvegarder cette faune d'auxiliaires. Les causes possibles de ce déclin sont multiples (Kearns *et al.*, 1998 ; Ghazoul, 2005). Les plus citées concernent la destruction et la fragmentation de l'habitat des abeilles (Richards, 2001 ; Steffan-Dewenter *et al.*, 2006) et l'impact des produits phytopharmaceutiques (Kevan, 1975 ; Johansen *et al.*, 1983 ; Taséi, 1996 ; Haskell et McEwen, 1998).

Alors que des méthodologies d'évaluation des effets toxiques des pesticides sont développées pour réduire l'impact de ces produits (Decourtye *et al.*, 2005), la préservation de l'habitat des pollinisateurs, telle que celle des sites d'alimentation, reste un domaine peu abordé. Pourtant, l'appauvrissement et la banalisation de la flore ont des effets dramatiques sur les populations de pollinisateurs. Les

1. Parmi les Hyménoptères, la super-famille des Apoïdes regroupe l'abeille domestique (*Apis mellifera* L.), d'autres abeilles du genre *Apis*, les bourdons (genre *Bombus*) et diverses familles d'abeilles solitaires.

assolements et les rotations courtes tendent très fréquemment à la monoculture, réduisant alors, dans l'espace et dans le temps, les sources d'alimentation. Les surfaces interstitielles que sont les bords de routes, de chemins, les fossés enherbés..., présentent souvent une flore aux espèces banales à cycle court, nitrophiles, peu entomophiles et donc peu intéressantes pour les abeilles. Les zones agricoles de grandes cultures, pauvres en éléments paysagers fixes (vergers, bordures, fossés, bois, haies, bandes enherbées), sont alors peu propices au développement des colonies d'abeilles (voir en page 49 l'encadré « L'abeille et son mode de vie »).



Ainsi, il est urgent de restaurer et de maintenir les milieux accueillant les pollinisateurs dans les paysages d'agriculture intensive. Cela a été reconnu comme étant un enjeu majeur par l'International Pollinator Initiative (Dias *et al.*, 1999).

Face à cette problématique, des surfaces conséquentes et non valorisées des assolements agricoles peuvent représenter une opportunité pour l'apiculture : les jachères. Cette convergence d'intérêts entre agriculteurs et apiculteurs doit cependant tenir compte des contraintes réglementaires imposées aux agriculteurs, liées à la transposition de la législation européenne dans le droit français. Il est donc nécessaire de faire évoluer ces contraintes afin de permettre aux agriculteurs d'ensemencer les surfaces gelées avec des espèces présentant un intérêt pour les abeilles.

Un groupe de travail, composé de partenaires techniques et scientifiques, publics et privés, piloté par l'ACTA, a proposé des éléments techniques, réglementaires, financiers et organisationnels pour valoriser les jachères vis-à-vis de l'entomofaune pollinisatrice et, par conséquent, de l'apiculture.

Importance écologique et économique des insectes pollinisateurs, et de l'abeille en particulier

Environ 225 000 espèces de plantes à fleurs (Angiospermes) sont pollinisées par 200 000 espèces d'animaux (Buchmann et Nabhan, 1996 ; Kearns *et al.*, 1998). À l'échelle mondiale, un tiers des plantes dépendrait d'une pollinisation par un agent biotique (Holsinger, 1992). Un récent travail bibliographique estime que 35 % de la production mondiale de nourriture résulte de la production de cultures dépendant des pollinisateurs, 60 % provient de cultures qui ne dépendent pas des pollinisateurs (principalement les céréales comme le blé, le maïs et le riz) et 5 % provient de cultures pour lesquelles l'impact des pollinisateurs est encore inconnu (Klein *et al.*, 2006). Costanza *et al.* (1997) ont estimé que les avantages économiques de la pollinisation s'élevaient en 1994 à environ 117 milliards de dollars.

Même si parmi les pollinisateurs, on retrouve certaines espèces de chauve-souris et d'oiseaux, la grande majorité des espèces sont des insectes (Hyménoptères, Lépidoptères, Diptères ou Coléoptères). Les Apoïdes assurent la majorité des pollinisations à travers le monde, c'est-à-dire celle de 25 000 à 30 000 espèces végétales (Buchmann et Nabhan, 1996). En Europe, 28 familles de plantes sauvages (Corbet *et al.*, 1991) et 50 familles de plantes cultivées (Williams, 1996) comprennent des espèces dépendantes de la pollinisation par les Apoïdes. Cela correspondrait à plus de 80 % des espèces d'Angiospermes. Dans l'Union européenne, une très grande majorité des espèces cultivées serait dépendante de la pollinisation par les insectes (Williams, 1996). En raison de l'importance numérique des abeilles domestiques et de leur particularité concernant le butinage, ces insectes sont tout particulièrement impliqués dans les transferts de pollen de fleur en fleur conduisant à divers types de pollinisations.

En France, le cheptel apicole est constitué de 1,3 million de ruches ; 40 % sont détenues par les apiculteurs professionnels. Ceux-ci ne représentent que 3 % des 70 900 apiculteurs français (note de service DGAL/SDSPA/N2004-8067 du 02 mars 2004). Dans l'Union européenne à quinze, l'apiculture représentait près de 8,8 millions de ruches, dont 26 % en Espagne, et concernait 470 000 apiculteurs, dont 3,1 % ne vivent que de cette activité (Abeille de France, 2003). L'intérêt économique de l'abeille est lié principalement à la commercialisation du miel, mais aussi à celle d'autres produits : pelotes de pollen, cire, gelée royale², propolis³.

L'apiculture est en proie à des difficultés économiques persistantes (Lecompte, 1995) malgré les besoins importants des marchés français et européens. En effet, régulièrement, les productions françaises et européennes sont respectivement déficitaires de plus de 12 000 et 148 000 tonnes de miel par an depuis 1998 (fig.1). Le taux de couverture des besoins nationaux était de 66 % au début des années 2000, en régression par rapport à la décennie précédente ; tandis que le taux de couverture européen (UE à 15) se situe à un niveau constant de 46 % (Abeille de France, 2003).

La protection des populations d'insectes pollinisateurs est donc une nécessité, non seulement pour le maintien de la biodiversité animale et végétale, mais également pour préserver des activités économiques liées à l'agriculture et à l'apiculture. La mise en place de jachères visant à maintenir les populations de pollinisateurs et, principalement, d'abeilles domestiques s'inscrit donc dans une perspective d'agriculture durable.

2. La gelée royale est un produit de sécrétion du système glandulaire céphalique des ouvrières nourrices, qui constitue un aliment pour les larves et pour la reine.

3. La propolis est une substance résineuse que les abeilles extraient des bourgeons et de l'écorce de certains arbres pour en faire un matériau de construction. Par sa forte teneur en flavonoïdes, elle aurait également des propriétés antibiotiques et antifongiques.

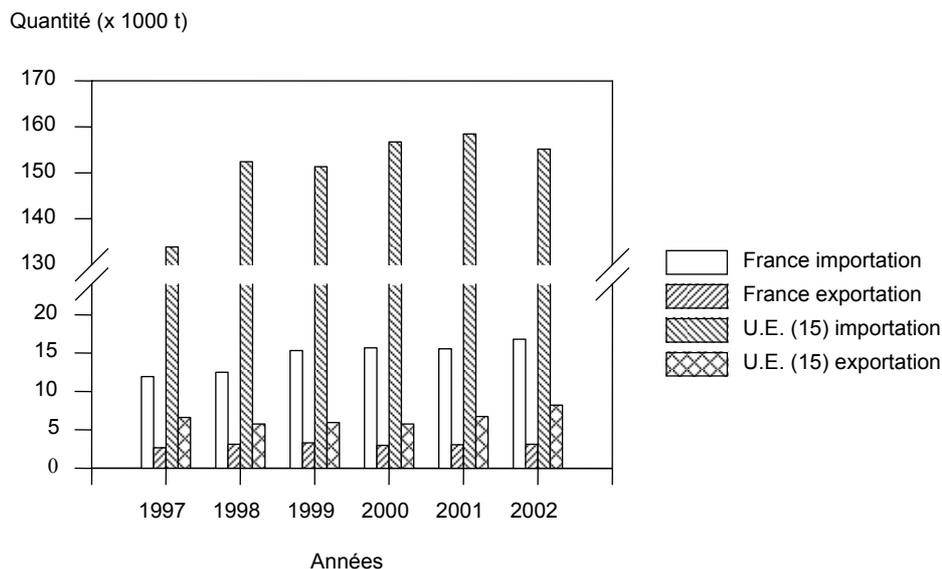


Figure 1. Importations et exportations de miels français et européens (Union européenne à 15).

L'introduction de jachères en Europe contribue-t-elle à favoriser la biodiversité en même temps que l'apiculture ?

Les abeilles occupent divers habitats comprenant leurs sites de nidification, de reproduction, d'alimentation et d'hivernage. Certaines espèces nidifient dans des tiges creuses, d'autres bâtissent leur nid avec de la résine ou de la terre collectée, mais le plus souvent elles construisent un nid souterrain dans un sol meuble et ensoleillé. Le maintien d'une espèce dans un milieu est fortement lié à la capacité de nidifier à proximité des sites d'alimentation et de rentrer en contact avec des individus reproducteurs. Pour cela, les éléments fixes du paysage (bordures, haies, fossés, talus...) jouent un rôle essentiel. Mais la gestion de ces derniers est souvent inadaptée, voire contraire, à l'expression de leur potentialité vis-à-vis des abeilles.

Dans les paysages de zones de grandes cultures, les réservoirs biologiques des pollinisateurs constitués de végétation naturelle ou semi-naturelle se retrouvent fragmentés et isolés. Cela affecte les processus de colonisation nécessaires au maintien des populations d'abeilles (Kearns *et al.*, 1998). L'introduction des jachères dans les assolements, bien pensées et gérées de façon adaptée, peut contribuer à réintroduire une diversité floristique bénéfique à ces populations.

Le contexte réglementaire des jachères

La jachère a été introduite dans les assolements agricoles depuis la réforme de la PAC mise en œuvre en 1992. Cette mesure vise à maîtriser la production des terres arables, principalement céréales, oléagineux et protéagineux (COP) afin de maîtriser les excédents. Lors du dernier recensement agricole (2000), la surface COP occupait près de 39 % de la surface agricole utile nationale, soit près

de 11,5 millions d'hectares (Agreste, 2002). Or, 54 % de cette superficie est regroupée au sein de six régions sur vingt-deux (fig. 2)... dites « régions de grandes cultures », auxquelles s'associe une certaine monotonie des paysages. Ces régions sont également les plus affectées par la mise en œuvre du gel des terres, car la surface agricole réservée à cette destination représente, selon les années, entre 5 et 15 % de la surface en COP.

L'année 2000 a vu entrer en application des nouveaux règlements communautaires regroupés sous l'appellation « Agenda 2000 » et comprenant, entre autres, la fixation pour 6 ans d'un taux de gel obligatoire à 10 % et la possibilité de réaliser un gel volontaire. Ainsi, près de 260 000 hectares ont fait l'objet d'un gel volontaire en 2000, sur les 1,5 million d'hectares de surfaces gelées au total (Agreste, 2002). Mais les terres soumises au gel peuvent être distinguées : i) en gel productif, appelé également « gel non alimentaire » ou « gel industriel » destiné à la production de biocarburants, ce type de gel nécessite un contrat préalable avec un transformateur ; ou ii) en gel non productif. Ce dernier concerne actuellement la très grande partie des terres gelées, avec plus d'un million d'hectares. Cependant, cette affectation pourrait changer prochainement avec le développement de cultures à destination des bioénergies (production de carbone renouvelable). En effet, l'objectif de la directive européenne 2003/30/CE est d'inclure 5,75 % de carburants végétaux dans les carburants fossiles en 2010. Plus ambitieuse, la France affiche 7 % en 2010, et 15 % en 2015, contre 1 % en 2005. Les surfaces en gel seront donc vraisemblablement, et assez logiquement, les premières sollicitées pour tenter de remplir ces engagements.

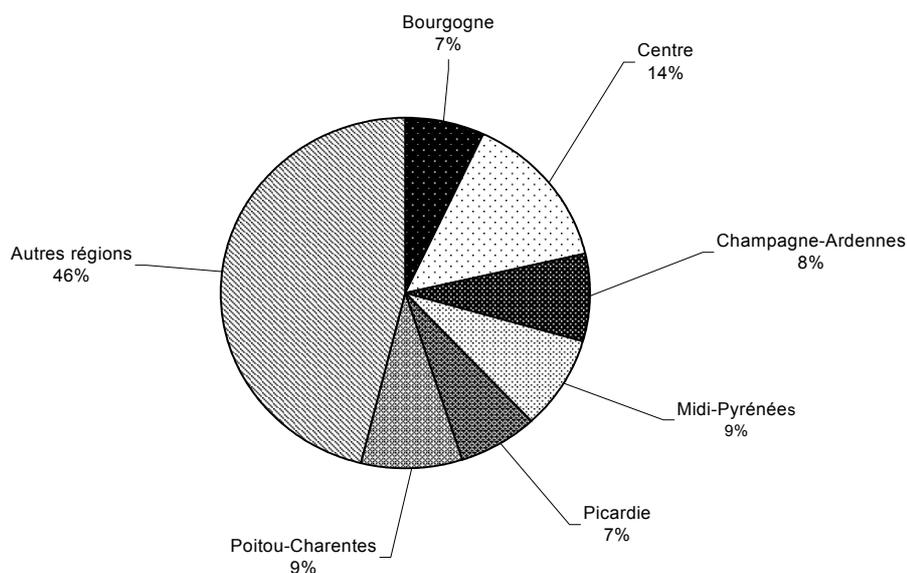


Figure 2. Répartition des surfaces en C.O.P. en 2000 (11,5 millions d'hectares) selon les régions françaises : 54 % de la superficie est regroupée dans 6 régions sur 22.

Depuis 1994, les jachères doivent comporter un couvert végétal. Bien qu'il soit recommandé d'en semer un, la surface peut être volontairement laissée en jachère spontanée pendant un an au plus, c'est-à-dire avec un mélange d'adventices et de repousses d'espèces cultivées. Dans le cas où la parcelle serait gelée plus d'un an, un semis doit être réalisé. Elle reçoit alors un couvert dont le choix des espèces préconisées est défini dans une liste émise par le ministère de l'Agriculture, agréée ou complétée au niveau départemental par arrêté préfectoral. Cette liste comprend 39 espèces (27 sans précautions d'emploi et 12 avec). Le mélange de ces espèces est autorisé. Les semis doivent être réalisés avant le 1^{er} mai. Depuis 1997, tout mélange doit répondre à un cahier des charges spécifique,

tel que celui de la jachère « Environnement et faune sauvage » ou celui des bandes enherbées. Il existe un cadre national, mais le détail des modalités d'application est départemental.

Les obligations d'entretien et de surface unitaire minimale des parcelles « gelées »

Les parcelles gelées doivent avoir une surface minimale de 10 ares et une largeur minimale de 10 m. Elles doivent faire l'objet d'un entretien assurant le maintien des bonnes conditions agronomiques et environnementales. La parcelle doit être préservée des infestations d'adventices jugées préjudiciables et ne doit pas nuire aux parcelles voisines. Le couvert végétal doit être entretenu par fauche, broyage ou autre, de manière à éviter toute montée en graine. L'emploi des herbicides, dont une liste des spécialités commerciales autorisée « emploi sur jachère » est définie, doit aboutir à la limitation de la croissance du couvert et non à sa destruction. Des contrôles sont effectués au champ pour vérifier la nature et l'entretien des jachères.

La jachère « Environnement et faune sauvage » (JEFS)

Cette jachère, mise en œuvre depuis 1993, a pour but :

- d'éviter des pratiques dommageables pour la faune (régulation chimique, risques du broyage mécanique pendant la période de reproduction du gibier) ;
- d'accroître la diversité animale, floristique et paysagère ;
- de diminuer les conflits d'usage entre agriculteurs, chasseurs et naturalistes.

Les contrats, conclus département par département, sont toujours annuels. Généralement, seule une partie des parcelles gelées peut bénéficier de cette option. Un contrat prévoit un dédommagement financier, correspondant aux surcoûts d'entretien. Chaque contrat doit être cosigné par :

- le Préfet, qui valide les itinéraires techniques et le niveau d'indemnisation ;
- la Chambre d'agriculture et, le cas échéant, d'autres organismes impliqués matériellement dans cette convention ;
- une association œuvrant pour la protection de la nature ou pour le maintien de la faune sauvage (la plupart du temps, la Fédération départementale des chasseurs).

Selon les années, les JEFS représentent de 2 à 4 % des terres gelées, soit 17 800 à 29 800 ha.

La mesure « bandes enherbées » et l'introduction de l'éco-conditionnalité (2005)

Le principe de l'éco-conditionnalité consiste à subordonner le paiement d'aides ou de crédits agricoles au respect de normes environnementales (Ambroise, 2004). Le principe a été introduit dans le droit communautaire lors de la réforme de la PAC de 1999. Dans ce cadre, les agriculteurs doivent mettre en œuvre les bonnes conditions agricoles et environnementales (BCAE) et respecter la mesure « bandes enherbées ».

Les bandes enherbées doivent représenter, par exploitation agricole, une surface totale minimale égale à 3 % de la surface aidée, qui comprend : COP, lin, chanvre et gel. Elles doivent obligatoirement être localisées le long des cours d'eau, puis, si l'obligation des 3 % n'est pas remplie, sur des surfaces pertinentes : zones de rupture de pente, périmètres de protection des captages d'eau, le long d'éléments fixes du paysage (haies, mares, murets, fossés, etc.). Leur largeur doit être comprise entre 5 et 10 m. Ces surfaces peuvent être déclarées comme des terres gelées, des prairies temporaires ou des prairies permanentes dans les déclarations de surfaces. Elles doivent alors répondre aux dimensions, aux couverts environnementaux autorisés et aux règles d'entretien définies pour ces utilisations (entretien du gel, entretien des prairies). Les couverts environnementaux autorisés sont définis au niveau départemental ce qui implique d'importantes divergences selon les départements.

Parmi les objectifs environnementaux des surfaces hors cours d'eau, nous notons celui de « favoriser les auxiliaires de culture et la biodiversité ». Cet objectif en faveur de la diversité animale s'accompagne d'une volonté de diversifier les couverts. Cependant, la quasi-absence des légumineuses comme espèces autorisées et l'entretien de ces surfaces restent problématiques. Il faut lutter contre l'idée fautive selon laquelle les légumineuses implantées dans les bandes enherbées seraient une source de pollution azotée : en présence de graminées, l'azote minéralisé par le sol est absorbé par celles-ci, voire les légumineuses elles-mêmes si l'activité symbiotique ne suffit pas à leur croissance (Lavoine et Pérès, 1993 ; Corre-Hellou *et al.*, 2006).

Les quelques cas évoqués de risque possible de pollution nitrique en association graminée/légumineuse proviennent de situations d'associations pâturées, riches en légumineuses, par retours d'urines riches en azote (Pflimlin *et al.*, 2003) ; ce qui n'est absolument pas la situation des régions de grandes cultures. Une adaptation de la réglementation doit donc pouvoir autoriser les agriculteurs à implanter des légumineuses au bord des cours d'eau et à retarder ou à échelonner les opérations d'entretien.



Ruches et apiculteurs. Dessin de Claire Brenot.

L'intérêt agro-environnemental des jachères

Influence des jachères sur les populations d'insectes

La structure de la zone non cultivée (selon ses dimensions, son couvert, son relief, etc.) influence la distribution des insectes (Lewis, 1969). Ces zones constituent un habitat en période hivernale pour de nombreux insectes auxiliaires qui peuvent ainsi repeupler les cultures adjacentes lors des périodes favorables (Wratten, 1988 ; Thomas *et al.*, 1994). De nombreuses espèces de coléoptères et d'araignées y sont présentes (Thomas et Marshall, 1999), ainsi que des prédateurs entomophages (Sotherton, 1984 ; Wratten, 1988). Ainsi, des bandes enherbées ont été développées comme réservoirs d'insectes entomophages (Thomas *et al.*, 1991).

En Suède, des études ont comparé l'abondance des arthropodes auxiliaires en fonction des couverts végétaux. Elles montrent que les plantes sauvages accueillent une quantité et une diversité d'insectes très élevés (Lagerhög *et al.*, 1992 ; Lagerhög et Wallin, 1993).

Influence des jachères sur les ressources alimentaires des abeilles

Dans une étude réalisée sur les jachères spontanées en Midi-Pyrénées entre 1994 et 1997, Rodriguez et Mamarot (1994) et Rodriguez (1995) constatent la présence d'une grande diversité d'espèces et de familles botaniques, qui semblent adaptées à l'approvisionnement régulier en pollen des colonies d'abeilles. Dans la même étude, les auteurs ont testé la conduite de couverts implantés à base de trèfle incarnat, trèfle d'Alexandrie, vesce velue, phacélie, moutarde. Ces couverts d'automne ou de printemps simplifient la conduite des jachères et peuvent assurer une alimentation en pollen et en nectar pour les pollinisateurs en début de printemps. Quelques travaux démontrent que certaines surfaces périphériques des cultures (bords de champs, notamment) peuvent abriter des plantes favorables aux insectes pollinisateurs (Fussell et Corbet, 1992 ; Lagerhög *et al.*, 1992 ; Bruneau, 1993 ; Lagerhög et Wallin, 1993 ; Van Nitsen, 1993a et b ; Lecompte, 1995 ; Corbet, 1995 ; Izambard, 2003). Lagerhög *et al.* (1992) ont mis en évidence que l'implantation de jachères avec des espèces florales a des effets positifs sur la diversité des pollinisateurs : abeilles, bourdons, papillons, syrphes et autres diptères. Mais cela implique de choisir judicieusement les espèces végétales à planter (Van Nitsen, 1993b ; Carreck et Williams, 1997 ; Cheesman, 1998 ; Szalai, 2001).

D'anciens travaux ont étudié la préférence des abeilles pour certaines plantes en situation de choix. La phacélie, la bourrache officinale et le mélilot blanc sont parmi les plantes préférées des abeilles (Teittinen, 1980). Petkov (1958) a observé qu'elles préfèrent la phacélie à la bourrache et au sainfoin. Dans une étude comparative, Balzekas (1978) a noté que les abeilles visitent plus souvent le mélilot que la phacélie. Cependant, la production de nectar par 100 fleurs de la phacélie serait sept fois supérieure à celle du mélilot. Il ressort des études suédoises que les légumineuses, en général, sont fortement visitées par les espèces se nourrissant de nectar et de pollen (Lagerhög *et al.*, 1992 ; Lagerhög et Wallin, 1993). Beaucoup d'espèces de bourdons visitent préférentiellement les espèces pérennes appartenant à la famille des Fabaceae, Lamiaceae et Asteraceae (Fussell et Corbet, 1992 ; Goulson et Darvill, 2004). Il a été montré que des couverts composés de plantes sauvages et pérennes induisaient une abondance et une diversité en pollinisateurs accrues par rapport à des mélanges de graminées, des cultures conventionnelles ou des couverts spontanés (Meek *et al.*, 2002 ; Carvell *et al.*, 2004 ; Pywell *et al.*, 2005).

Les abeilles possèdent une langue de différente longueur selon l'espèce considérée, ce qui conditionne en partie leur préférence en terme de fleurs butinées (Pyke, 1982). Des mélanges de graminées et de fleurs sauvages ont été comparés à un mélange annuel. Les espèces de bourdons à longue langue (*Bombus pascuorum* et *B. hortorum*) ont préféré les mélanges pérennes dans lesquels *Trifolium*

pratense L. a été dominant, alors que les bourdons à langue courte (*B. terrestris/lucorum* et *B. pratorum*) et l'abeille domestique ont préféré la bourrache du mélange annuel (Carvell *et al.*, 2004).

En Grande-Bretagne, la mise en place de bandes semées à partir de mélanges de plantes sauvages à fleur a été encouragée dans un souci de conservation de la faune pollinisatrice (Game Conservancy, 1994). Les légumineuses (*Fabaceae*) sont alors recommandées dans le cadre du « Environmental Stewardship Scheme », référencé sous le vocable « pollen and nectar flower mixture ».

Par ailleurs, au cours de ses travaux, Szalai (2001) a constaté que les mélanges d'espèces annuelles à base de moutarde, de sarrasin, et ceux d'espèces bisannuelles et pérennes à base de sainfoin, de mélilot et de coronille, assurent simultanément un bon recouvrement du sol et une longue période de floraison.

Les mesures de conservation des abeilles au sens large doivent donc reposer sur une gamme de plantes annuelles et pérennes variées dont le nectar et le pollen leurs sont accessibles tout au long de leur période d'activité.

Influence des jachères sur la valeur agronomique des sols

D'un point de vue agronomique et environnemental, les jachères florales présentent également des intérêts, dont les principaux sont :

- *La protection des sols contre l'érosion.* Les plantes, par leur système racinaire et leur feuillage, réduisent l'effet « splash » des gouttes de pluies à la surface du sol, ce qui limite la dispersion des particules de terres. L'érosion est également limitée par l'action des chevelus racinaires des graminées notamment, qui agrègent les particules de sols et les soustraient au risque de ruissellement ;

- *La protection des ressources en eaux.* Un sol, quel qu'il soit, contient de la matière organique qui se minéralise et libère de l'azote minéral. En l'absence de couvert végétal, cet azote serait entraîné par les pluies, en profondeur, hors d'atteinte par les racines d'une culture principale l'année suivante. La présence d'un couvert va permettre d'absorber une partie de cet azote, pour le restituer en surface au moment de la destruction du couvert (Meisinger *et al.*, 1991 ; Justes *et al.*, 2002). Ce couvert évitera également que des eaux de surface chargées de résidus de pesticides et d'éléments fertilisants ne ruissellent vers des fossés de drainage et/ou des cours d'eau ;

- *La structuration du sol.* Comme précisé ci-dessus, l'action des racines de graminées va favoriser l'agrégation des particules de sols, pour produire une structure dite « grumeleuse », favorable à la circulation de l'eau et de l'air pour la culture suivante (Thiébeau *et al.*, 2002). Or, plusieurs espèces présentant un intérêt pour les jachères florales ne disposent pas d'un système racinaire fasciculé mais d'un système racinaire « pivotant », constitué d'une racine principale qui contient des réserves et qui forme un pivot. Ces racines ont, sur le sol, une action de fissuration importante, y compris en profondeur ; ce qui peut être utile pour fragmenter une structure compactée. Dans les systèmes de grandes cultures, les plantes qui disposent de ce système racinaire sont généralement utilisées comme tête de rotation (betterave sucrière, colza, luzerne pour la déshydratation).

L'intérêt des jachères pour la structuration du sol, l'aération et le drainage ont également été mis en évidence dans le cadre de JEFS ou de « bandes enherbées », grâce au développement d'un hôte : le ver de terre (Bernard *et al.*, 1998). Sa présence en grande quantité est aussi synonyme de diversité animale, puisqu'il est une ressource alimentaire pour de nombreuses espèces : carabes, batraciens, grive, bécasse, vanneau, sanglier, blaireau, renard...

La dose de semis minimale conseillée pour les espèces favorables aux pollinisateurs (tabl. I) doit permettre d'obtenir un peuplement suffisamment dense au champ pour fermer rapidement l'accès à la lumière aux adventices et/ou limiter significativement leur développement.

La liste des plantes favorables aux pollinisateurs présentée par le tableau I n'est pas exhaustive. D'autres espèces comme la gesse, les luzernes annuelles, la serradelle (plante protégée dans certains départements français), le trèfle souterrain font partie des plantes intéressantes pour les pollinisateurs.

Tableau I. Espèces autorisées en « jachères florales » et présentant des intérêts pour les insectes pollinisateurs.

Nom commun	Famille (1)	Pérennité (2)	Dose de semis (kg/ha)	Coût de la semence (euros/ha)	Printemps		Été - Automne		Potential mellifère (kg/ha)	Intérêt agricole en tant que couvert
					Période de semis	Période de floraison	Période de semis	Période de floraison		
Lotier corniculé	L	P (2*)	10-20	50-90	Mars/Mai	Juin/Août	Août/Sept.	Avril/Juin	25-50	Développement lent, à associer
Lupin blanc (hiver)	L	A	100-180	110-190	Fév./Mars	Mai/Juill.	Fév./Mars	Mai/Juill.		Cultivé surtout pour ses graines
Luzerne	L	P (3*)	20-25	80-100	Mars/Avril	Juin/Sept.	Juill./Août	Juin/Juill.	200-500	Très bon précédent céréales, très bon piège à nitrate
Luzerne lupuline (Minette)	L	P (2*)	5-8	30-50	Mars/Avril	Juin/Août	Août/Sept.	Mai/Juill.	50-100	Bon précédent céréales, à associer
Méfilot blanc	L	B	20-25	80-110			Août/Sept.	Mai/Sept.	100-200	Très bon précédent céréales, à éviter en zone culture luzerne
Moutarde blanche	C	A	12-15	15-20	Mars/Avril	Mai/Juill.			50-100	Installation rapide, cycle court, très bon piège à nitrate
Navette (hiver)	C	A	5-8	15-20	Mars/Avril	Juin/Août			100-200	Bonne installation
Phacélie	H	A	8-10	30-50	Avril/Mai	Juin/Sept.			200-500	Montée à graine à contrôler (broyage)
Radis fourrager	C	A	20-25	55-70	Mars/Avril	Mai/Juill.				Installation rapide, bon piège à nitrate
Sainfoin	L	P (2)	30-50	90-140	Mars/Avril	Juin/Sept.			100-200	Bon précédent céréales, peu cultivé
Sarrasin	P	A	50-60	110-130	Mai/Juill.	Juin/Sept.			50-100	Céréale « blé noir », peu cultivée
Trèfle d'Alexandrie	L	A	15-20	40-60	Avril	Juin/Juill.				Bon précédent céréales, installation rapide
Trèfle blanc	L	P (3*)	5-8	20-35	Mars/Avril	Juin/Sept.	Août/Sept.	Mai/Sept.	50-100	Bon précédent céréales, à associer
Trèfle hybride	L	P (2*)	12-15	40-53	Mars/Avril	Juin/Sept.	Août/Sept.	Mai/Août	200-500	Bon précédent céréales, à associer
Trèfle incarnat	L	A	15-20	30-50	Avril	Juin/Juill.	Août/Sept.	Mai/Juin	50-100	Bon précédent céréales, installation rapide
Trèfle de Perse	L	A	15-20	35-56	Avril	Juin/Juill.				Bon précédent céréales
Trèfle violet	L	P (2*)	15-25	30-62	Mars/Avril	Juill./Sept.	Août/Sept.	Mai/Juill.	200-500	Bon précédent céréales, installation rapide
Vesce commune	L	A	40-50	30-50	Mars/Avril	Juin/Juill.	Août/Sept.	Mai/Juin	50-100	Très bon précédent céréales, étouffant
Vesce de Cerdagne	L	A	30-40	60-70	Mars/Avril	Juin/Juill.				Très bon précédent céréales, étouffant
Vesce velue	L	A	30-40	70-90	Mars/Avril	Juin/Juill.				Très bon précédent céréales, étouffant

Source : P. Gratadou (Ets Jouffray-Drillaud, Poitiers) ; R. Allerit (GEVES, Lusignan).

(1) Famille : C, Crucifères ; H, Hydrophyllacées ; L, Légumineuses ; P, Polygonacées.

(2) Pérennité : A, Annuelle ; B, Bisannuelle ; P, Pérenne ; (X*), X ans et plus.

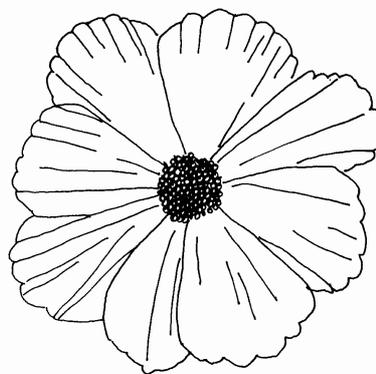
Mais l'accès à leurs semences est difficile sur le marché français. Il faut également préciser que certaines espèces autorisées par les arrêtés préfectoraux sont plus appropriées à des conditions du sud de la France (trèfle d'Alexandrie, trèfle de Perse, trèfle souterrain...) qu'à celles du nord, ce qui laisse une possibilité d'adapter les mélanges selon les régions où l'on se trouve.

Parmi les espèces mentionnées, une majorité appartient à la famille botanique des Légumineuses. Celles-ci ont la particularité de pouvoir utiliser l'azote atmosphérique à travers la fixation symbiotique de l'azote de l'air dans la biomasse, ce qui constitue un effet positif sur la fertilité du sol. En effet, jusqu'à l'émergence de l'industrie de synthèse des engrais azotés, la fixation symbiotique constituait la seule possibilité d'accroissement du taux d'azote dans les sols : l'azote contenu dans les déjections d'un animal résulte uniquement d'un recyclage de l'azote ingéré préalablement sous forme d'aliment à un autre moment de sa vie (Picard, 1982 ; Thiébeau *et al.*, 2003). L'introduction des légumineuses dans les jachères des zones de « grandes cultures » peut donc contribuer à limiter le recours aux engrais de synthèse puisqu'à l'issue de leur culture, l'azote contenu dans leur biomasse sera rétrocédé progressivement à la culture suivante (Jacquard *et al.*, 1969 ; Muller *et al.*, 1993 ; Justes *et al.*, 2001). Par ailleurs, Lavoinne et Pérès (1993) ont montré, en culture associée à une graminée, que celle-ci parvenait à absorber une partie de l'azote issue de la fixation symbiotique de la légumineuse. Le semis d'associations graminée/légumineuse peut donc être envisagé sur les « bandes enherbées » ; ce qui offre davantage d'espace aux pollinisateurs, surtout en zones de grandes cultures.

Les jachères ont donc un rôle important dans le maintien de la fertilité des sols et de la biodiversité végétale et animale.

Jachères florales et paysages

Reposant sur un grand nombre de plantes à fleurs, les jachères florales « entomofaune pollinisatrice » représentent une surface attrayante au regard. Cet aménagement de l'espace peut participer à la qualité de vie des populations. Basées sur une volonté d'embellir le paysage, de très nombreuses opérations de jachères fleuries se sont récemment multipliées. Ces surfaces sont alors semées de plantes horticoles, souvent allochtones, privilégiant ainsi les fleurs aux couleurs vives : cosmos (ci-contre), zinnia, souci, Eschscholtzia, gypsophile... De nombreuses questions restent posées liées à ce type de couvert, en termes de bénéfices pour la biodiversité. Ces opérations ont toutefois le mérite de mobiliser des agriculteurs en faveur des abeilles en valorisant les terres gelées, en leur attribuant une fonctionnalité auparavant insoupçonnée, initiée par une vocation « paysagère ».



Les jachères ont donc un rôle très important à jouer dans les paysages agricoles, pour contribuer au maintien de la diversité végétale et animale. Les textes de réglementation française d'application de la PAC doivent être assouplis afin de promouvoir la biodiversité des insectes pollinisateurs, ce qui, parallèlement, serait favorable à l'apiculture.

Quelques exemples de jachères florales conduites en France

Les premières jachères florales mises en place en France sont, à notre connaissance, celles implantées en 1997 dans le département de l'Oise, sur l'initiative de la chambre régionale d'agriculture de Picardie. Ces opérations basées sur l'ensemencement d'espèces horticoles ont ensuite été largement

développées par la Fédération départementale des chasseurs du Loir-et-Cher. L'implantation de ce type de jachère a comme principal objectif d'améliorer la qualité des paysages. Une dizaine de mélanges d'espèces végétales ont été expérimentés sur des surfaces unitaires de 1 à 2 ha. Ils sont à base de centaurée, lin rouge, cosmos, souci, Eschscholtzia, pois de senteur, lupin, gypsophile... Dernièrement, de nombreux départements ont multiplié ce type de jachères en privilégiant leur installation le long des voies de communication (routes nationales, lignes ferroviaires). Les jachères peuvent même être utilisées comme des sites culturels pour la création d'œuvres de Land Art (Izambard, 2003).

Dès 2004, il a été initié sur le territoire du Parc naturel régional de la Montagne de Reims la mise en place de jachères affectées à un objectif spécifique de protection de l'entomofaune pollinisatrice (Lecompte, 2004).

Avec un même objectif, c'est-à-dire rétablir l'équilibre alimentaire des pollinisateurs dans des zones de grandes cultures, plusieurs campagnes ont été mises en œuvre par des structures apicoles dans le cadre réglementaire de la PAC (dans l'Ain, en Charente-Maritime, dans la Marne, les Pyrénées-Atlantiques, l'Yonne). Souvent, ces structures reçoivent le concours du Conseil régional pour financer l'achat des semences. Des sociétés de phytopharmacie s'y investissent aussi dans le cadre du réseau Biodiversité pour les Abeilles et dans celui des exploitations Agéris (Fougeroux et Giffard, 2006). Ainsi, des jachères apicoles ont été implantées en 2006 sur 44 sites, dans 26 départements, couvrant près de 400 hectares (<http://www.jacheres-apicoles.fr/index.php>).

Les espèces sont semées afin de permettre une disponibilité des ressources en nectar et en pollen tout au long de la période d'activité des pollinisateurs, soit d'avril à septembre. La phénologie du couvert et son entretien veillent à optimiser l'apport alimentaire aux abeilles pour couvrir une possible période pauvre en ressources dans les régions de grandes cultures. L'agriculteur a le choix des espèces semées parmi une liste de plusieurs espèces autorisées dans les jachères « Environnement et faune sauvage » : phacélie, trèfle blanc, trèfle hybride, trèfle de Perse, trèfle violet, moutarde, sainfoin, lotier corniculé, mélilot. La luzerne et le sarrasin sont aussi très intéressants mais ils nécessitent l'obtention d'une dérogation qui peut être délivrée par la direction départementale de l'Agriculture. Les mélanges de 4 à 6 espèces sont privilégiés. Des espèces à cycle court, très couvrantes (phacélie, sarrasin, moutarde) peuvent être associées avec d'autres à cycle plus lent (sainfoin, mélilot, lotier, luzerne, minette). Aujourd'hui, ce type de mélanges prêts à l'emploi est disponible sur le marché.

Par ailleurs, il est possible d'associer l'apport en ressources trophiques aux abeilles à la conservation de plantes patrimoniales menacées, comme les messicoles. Etant donné l'interdépendance entre la flore sauvage et les pollinisateurs, toute mesure de conservation envers l'une des parties agira de façon concomitante sur son partenaire.

Faire évoluer la réglementation et les pratiques

Deux grands types d'actions complémentaires sont à considérer pour développer les jachères florales : l'axe réglementaire et l'axe incitatif. L'une ou l'autre de ces deux orientations ne suffisent pas et doivent être obligatoirement menées en parallèle. Dans ce paragraphe, nous envisagerons l'axe réglementaire de la problématique. Outre la nécessité d'assouplir les contraintes administratives (espèces autorisées), certains modes de conduite préexistants et possédant une valeur environnementale pourraient être développés (JEFS à couvert floral, MAE).

L'implantation de couverts floraux peut s'appuyer sur plusieurs mesures.



La mesure « bandes enherbées »

Étant donné l'importance des territoires concernés, cette mesure représente une réelle opportunité pour le maintien des populations d'insectes pollinisateurs. Il faut néanmoins regretter la suprématie des couverts de graminées, sans intérêt pour les pollinisateurs. Désirant œuvrer pour la protection de la qualité de l'eau, l'implantation de graminées se justifie (Thiébeau *et al.*, 2002). Cependant, en l'absence d'exigences réglementaires, le choix des agriculteurs se tourne vers des semences bon marché, comme le ray-grass d'Italie. Outre l'absence d'intérêt mellifère et pollinique, le ray-grass peut présenter d'autres inconvénients en terme de pérennité, de remontaison et d'invasion des parcelles. Les broyages fréquents permettent aux agriculteurs de se prémunir contre la grenaison de ces graminées, qui peut se traduire par un regain de ray-grass adventice dans les cultures suivantes. Mais cette pratique présente des risques reconnus pour les oiseaux qui nidifient au sol. En conséquence, il serait préférable de privilégier, le long des cours d'eau, une association graminée(s)/légumineuse(s) pollinifère(s) et mellifère(s). Pour la légumineuse mellifère, le trèfle blanc est un bon candidat puisque sa pérennité est excellente (5-6 ans). Il ne pose pas de problèmes de salissement des cultures et il s'associe parfaitement bien avec les graminées dont la destruction précoce n'est pas indispensable, telle la fétuque élevée. Le broyage régulier d'un tel couvert ne se justifie plus par un risque adventice et une telle pratique réduirait significativement la floraison du trèfle dont on attend un bénéfice pour les pollinisateurs.

Pour ces différentes raisons, les DDAF de plusieurs départements, tels que la Marne et la Charente-Maritime, ont initié ou finalisé la réintégration des légumineuses dans les couverts environnementaux autorisés des bandes enherbées en bordure de cours d'eau : par exemple, gesse commune, lotier corniculé, mélilot, minette, sainfoin, trèfle d'Alexandrie, trèfle de Perse, trèfle incarnat, trèfle blanc, trèfle violet, trèfle hybride, vesce commune, vesce velue, vesce de Cerdagne.

Pour les bandes enherbées non situées le long des cours d'eau, l'utilisation d'une association de plantes pollinifères et mellifères assurant une longue période de floraison doit être encouragée. C'est pourquoi l'objectif de « favoriser les auxiliaires des cultures et la biodiversité » doit être présent dans les recommandations des couverts environnementaux (arrêté du 12 janvier 2005 pris en application des articles R 615-10 et R 615-12 du Code rural et relatif aux règles de couvert environnemental et d'assolement ; Journal officiel de la République française du 19 janvier 2005).

La jachère « Environnement et faune sauvage » (JEFS)

La JEFS présente un cadre réglementaire existant, à forte valeur environnementale, sur lequel des initiatives locales peuvent s'appuyer pour mettre en œuvre des jachères à valeur apicole. Les nombreux exemples de JEFS adaptées aux contraintes apicoles illustrent la nécessité d'initier et d'entretenir la motivation des acteurs locaux. Parallèlement, à l'échelle nationale, il faudrait que les effets bénéfiques de ces jachères pour les pollinisateurs soient intégrés dans les textes réglementaires concernant la JEFS. Par ailleurs, la possibilité de cosigner un contrat entre un agriculteur et une association engagée dans une activité de préservation des insectes pollinisateurs devrait être stipulée dans les textes. L'intérêt de telles jachères sur le maintien de l'entomofaune pollinisatrice, en privilégiant les espèces végétales mellifères et pollinifères, devrait être intégré dans les directives ; de même que la possibilité d'implanter un couvert pluriannuel. Dans ce sens, l'établissement d'une circulaire ministérielle encadrant la mise en place de « superficies gelées environnement, paysage et entomofaune pollinisatrice » (SGEPEP) constituerait une prise en compte de la protection des insectes pollinisateurs à l'échelle nationale, et pourquoi pas européenne à terme. Cependant, se pose le problème de la compensation financière versée à l'agriculteur volontaire pour assurer la mise en place et l'entretien des surfaces.

Les « mesures agro-environnementales » (MAE)

Le Programme de développement rural hexagonal (PDRH) est le document de programmation pour la mise en oeuvre du règlement du Conseil européen n°1698/2005 du 25 septembre 2005 sur le développement rural. Ce règlement définit la politique de développement rural, deuxième pilier de la PAC, pour la période 2007-2013. Il instaure un fonds unique, le Fonds européen agricole pour le développement rural. Il comporte un axe Amélioration de l'environnement et de l'espace rural dans lequel s'inscrivent les Mesures agro-environnementales (MAE). Un cahier des charges précise les objectifs poursuivis, le champ d'application, les moyens à mettre en oeuvre, la contribution financière susceptible d'être versée en contrepartie des engagements souscrits, les modalités de contrôle et la nature des sanctions. La rémunération versée à l'agriculteur doit être justifiée en terme de surcoût ou de manque à gagner.

Espaces et régions d'intérêt autres que les régions de grandes cultures

L'intérêt de la diversité floristique pour le développement apicole n'est pas limité aux zones de grandes cultures. En région montagneuse, la simplification des pratiques agricoles induit un appauvrissement des plantes pionnières et mellifères, ce qui menace l'appellation « miel toutes fleurs ». Par ailleurs, des affaiblissements de colonies sont observés, voire des arrêts de la ponte de la reine au printemps.

La Suisse a réagi face à la menace qui pèse sur la diversité de la flore, et par conséquent de l'entomofaune, en préconisant notamment des fauches tardives et en instaurant des subventions pour favoriser la mise en place de jachères florales.

Outre les jachères PAC, les haies, les bords de rivières, de chemins, de fossés, et les bordures des axes routiers et ferroviaires peuvent être des surfaces sur lesquelles l'implantation d'espèces mellifères peut être envisagée. De telles surfaces de faibles largeurs représentent des milliers d'hectares non valorisés. Le difficile travail de ces surfaces, dû à leur faible taille, est un frein à leur ensemencement mais le développement d'une flore sauvage, pionnière et vivace peut être encouragé.

L'entretien des jachères

Outre la question cruciale du choix du couvert végétal, il est important de limiter la destruction chimique et mécanique de ce couvert (Omnès, 2003). La destruction chimique du couvert avant sa floraison est préjudiciable pour les pollinisateurs (Freemark et Boutin, 1995). Par ailleurs, l'utilisation de pesticides pour protéger les cultures peut, par des phénomènes de dérive, entraîner un impact sur la faune des surfaces non cultivées adjacentes (Longley et Sotherton, 1997).

Comme nous pouvons le constater sur le tableau II, la destruction mécanique d'une espèce mellifère en pleine floraison entraîne une importante mortalité chez les butineuses (Fluri et Frick, 2001). Inversement, les travaux de Fussel et Corbet (1992) et de Corbet *et al.* (1991) montrent qu'une restriction de fauche est bénéfique pour le maintien des pollinisateurs.

Prenant en compte de tels résultats, des plans de conservation des pollinisateurs, mis en oeuvre en Angleterre ou en Suède, présentent des restrictions concernant la fauche des couverts (Freemark et Boutin, 1995). De même, des fauches tardives de fin d'été ou d'automne sont mises en place dans des actions à vocation conservatrice (entretien des prairies vosgiennes dans le cadre Natura 2000).

En conséquence, un assouplissement et une adaptation de la réglementation française sont nécessaires afin que les agriculteurs puissent retarder les opérations d'entretien des surfaces gelées et des bandes enherbées sans pénalités financières. Cet assouplissement des règles d'entretien des bandes enherbées pourrait être envisagé lorsque les espèces végétales choisies assurent une couverture dense et/ou un

intérêt reconnu pour l'entomofaune pollinisatrice. En effet, dans le système des jachères classiques, il est constaté que la peur de la sanction entraîne souvent une destruction systématique du couvert défavorable à la faune. Dans un souci de conservation des pollinisateurs, il est important que les interventions soient limitées et décalées pendant la période principale d'activité de ces insectes (début mai à mi-septembre) de manière à favoriser une floraison étalée, notamment en août-septembre.

Tableau II. Incidence du broyage mécanique des couverts sur les abeilles butineuses (Fluri et Frick, 2001).

Espèces broyées pendant la floraison	Phacélie (essai 1996)	Trèfle blanc (essai 1998)	Trèfle blanc (essai 1999)
Nombre d'abeilles par hectare présentes dans le couvert avant broyage mécanique	260 000	17 000	39 000
Nombre d'abeilles mortes ou blessées par hectare dans le couvert après broyage mécanique	90 000	9 000	24 000
Taux de destruction (%)	35	53	62

Pour conclure sur l'aspect réglementaire, les jachères florales doivent pouvoir s'inscrire dans un cadre légal (bandes enherbées dérogatoires, directive ministérielle, mesures agro-environnementales). Il faut alors formuler des propositions pour améliorer leur rôle environnemental et paysager. Les objectifs de la mise en place d'une jachère fleurie « entomofaune pollinisatrice » doivent être : le maintien de la biodiversité animale, notamment celle des insectes auxiliaires, l'amélioration de la qualité et de la diversité des paysages. Les éléments de diagnostic, pour juger de l'éligibilité de l'action, doivent être : l'adaptation du couvert et de son entretien à la protection des insectes pollinisateurs. Il est préférable de ne pas restreindre les espèces végétales autorisées à une liste prédéfinie afin de permettre une adaptation locale.

Outre l'aspect réglementaire, et pour inciter les agriculteurs concernés par le gel des terres, un travail collectif favorisant les contacts régionaux et reposant sur des outils pédagogiques simples doit être réalisé. La réussite d'un tel projet implique de percevoir les jachères florales comme un atout supplémentaire au développement agricole, de sensibiliser les agriculteurs aux intérêts agronomiques et économiques de celles-ci.

Conclusion

Le rôle des jachères dans le maintien de la biodiversité végétale et animale est connu et reconnu (Sébillotte *et al.*, 1993 ; Bernard *et al.*, 1998 ; Marshall et Moonen, 2002). En ce sens, l'introduction des jachères dans les assolements européens est une contribution en faveur de la biodiversité, notamment en zones de cultures céréalières intensives. Néanmoins, les règles de conduites des jachères ne sont pas adaptées aux contraintes liées à la préservation des abeilles. C'est pourquoi l'introduction d'une possibilité de semer des jachères avec des espèces dont la floraison présente un intérêt pour les abeilles, en tant que sites de butinage, serait une contribution de la Communauté européenne et de la France au soutien de ce secteur d'activité. Les superficies agricoles gelées disponibles pour de telles mesures seront probablement réduites prochainement (réduction du taux de gel obligatoire, développement de cultures à des fins énergétiques), mais d'autres surfaces pourront être concernées par ces mesures qui découlent de l'éco-conditionnalité ou des MAE. Les modalités de gestion recommandées pour les jachères pourront alors servir de socle à celles des autres éléments paysagers.

Une attention toute particulière doit être portée au fait de ne pas circonscrire les bénéfices des jachères florales à l'abeille domestique. Il s'agit en effet d'un mode de conduite des jachères qui favorise la biodiversité de l'entomofaune pollinisatrice dans son ensemble, mais aussi celle d'autres espèces animales. Il serait dommageable pour l'avenir de telles mesures qu'elles se déclinent en autant de types de gestion qu'il y a de communautés animales. Les convergences doivent être encouragées.

Les intérêts agronomiques, cynégétiques et écologiques reconnus des jachères pourraient être conciliés à la protection des pollinisateurs et à la transformation du paysage agricole. La valeur économique de l'activité pollinisatrice dépasse de loin les coûts qui découlent de la conservation des populations d'abeilles.

Agriculteurs et apiculteurs ont des intérêts communs. La mise en œuvre des jachères florales doit permettre de les concilier ■

L'abeille et son mode de vie

L'abeille domestique est un insecte social, dont les colonies peuvent atteindre 50 000 individus. Elles se composent d'une femelle féconde (la reine), de femelles stériles (les ouvrières), de mâles (ou faux-bourçons) et du couvain (larves et nymphes). Les ouvrières, au cours de leur vie, effectuent successivement diverses tâches telles que l'entretien et la construction des rayons, le nourrissage des larves, l'alimentation et les soins à la reine et à leurs congénères, la ventilation, la réception et le stockage de la nourriture collectée et la défense de l'entrée du nid. À partir de l'âge de 21 jours environ et jusqu'à leur mort, 10 à 15 jours plus tard, l'essentiel de leur activité se déroule hors de la ruche : elles sont alors butineuses. À ce stade, elles assurent, par leurs visites aux fleurs, l'approvisionnement de la colonie en nectar et en pollen. De cet approvisionnement et des stocks alimentaires ainsi réalisés dépend la survie de la colonie aussi bien dans sa phase active que dans sa phase de repos hivernal. Dans ce dernier cas, les abeilles sont dites « d'hiver » : leur physiologie et leur activité sont différentes, de même que leur durée de vie qui peut atteindre 6 mois.

Les relations qui s'établissent entre insectes et plantes mellifères ou pollinifères constituent un système mutualiste complexe dont dépend directement ou indirectement le succès reproducteur de chacun des deux partenaires. Plusieurs travaux ont mis en évidence des phénomènes de co-évolution, particulièrement entre Apoïdes et plantes entomophiles (Cruden *et al.*, 1983 ; Baker et Baker, 1975).

Les besoins en nourriture de la colonie

Ils sont très importants : l'activité de butinage en haute saison doit permettre l'alimentation de plus de 30 000 ouvrières et de 9 000 larves. Une larve d'ouvrière consomme environ 140 mg de miel lors de son développement (Winston, 1987). Les ouvrières butineuses assurent l'approvisionnement de la colonie en différentes ressources alimentaires. Une butineuse en vol consomme 0,5 mg de miel par kilomètre et parcourrait jusqu'à 800 km au cours de sa vie (Gould et Gould, 1988). L'hiver, les abeilles ont une activité réduite mais elles doivent maintenir la température dans des limites viables, ce qui nécessite une importante dépense énergétique. Ainsi, une colonie de taille moyenne a besoin de stocker 25 kg de miel pour la consommation hivernale. Au total, les besoins annuels d'une colonie sont estimés entre 60 et 80 kg de miel et de l'ordre de 15 à 40 kg de pollen selon les auteurs (Louveaux, 1954 ; Winston, 1987 ; Crailsheim *et al.*, 1992).

Le nectar

Le nectar est généralement produit dans la fleur par des nectaires, mais certaines plantes possèdent aussi des nectaires extra-floraux. Des études effectuées sur plus de 900 espèces végétales ont relevé que les nectars floraux et extra-floraux contenaient principalement 3 sucres, le glucose, le fructose et le saccharose, dans des proportions caractéristiques de l'espèce végétale (Baker et Baker, 1982). Par ailleurs, de faibles quantités de protéines, de lipides et d'acides aminés ont été identifiés dans les nectars (Baker et Baker, 1982). Le nectar contient aussi des substances aromatiques attractives. Il faut souligner que certains nectars peuvent contenir des substances toxiques pour les insectes tels que des alcaloïdes, des phénols, des hydroquinones, mais les cas restent peu fréquents.

Si la composition en sucres est relativement stable, en revanche, les volumes sécrétés et les concentrations sont beaucoup plus variables. En général, chez les plantes entomophiles de nos régions, les volumes les plus

fréquents sont de l'ordre de 0,5 à 7 $\mu\text{L}/\text{fleur}$, le plus souvent 2 μL (Cruden *et al.*, 1983) et les concentrations varient de 5 % à 50 % selon les espèces (Baker et Baker, 1982 ; Cruden *et al.*, 1983). Pour chaque espèce, la production de nectar est extrêmement variable au cours de la journée (Maurizio, 1975) et, d'autre part, des différences importantes existent entre lignées ou variétés, comme cela a été montré chez le colza (Pierre *et al.*, 1999).

En outre, la production (volume et concentration) dépend de l'âge, de la maturité de la plante, de la position de la fleur sur la plante. Elle dépend également de facteurs environnementaux tels que la nature du sol, la conduite culturale, ou les conditions climatiques (ensoleillement, vent, température, humidité relative). De manière générale, on constate un lien négatif entre la concentration et le volume : ainsi, un nectar produit en conditions humides sera plus dilué.

Les abeilles sont donc placées dans une situation où la ressource peut à la fois être diverse (plusieurs espèces végétales) et hautement variable, de ressources nectarifères totalement absentes à une situation de miellée (Crane, 1975). Les abeilles sont donc contraintes d'adapter rapidement leur activité de butinage en fonction de la disponibilité en nectar dans leur environnement.

Le pollen

Le pollen, produit et émis au niveau des anthères, peut, selon la morphologie florale, être plus ou moins accessible pour l'insecte et, par conséquent, plus ou moins exploitable. Le pollen frais est principalement constitué de protéines et d'acides aminés (protides), mais aussi d'amidon (glucides), de lipides et parmi eux de stérols. Chaque pollen peut être caractérisé par sa valeur calorimétrique globale (en kJ), sa teneur en protéines par rapport au poids sec (%), sa teneur en azote, sa composition en acides aminés, sa composition en sucres et en lipides mais également en vitamines ou en éléments minéraux. Chacune de ces mesures fait appel à des techniques spécifiques et, par conséquent, à des auteurs différents de sorte qu'il est difficile de disposer de données biochimiques complètes sur le pollen d'une espèce (Stanley et Linskens, 1974).

Par exemple, pour le pollen de pissenlit, on connaît à la fois sa teneur en protéines (de 9,2 à 19,2 % selon les auteurs), les principaux lipides qui le composent (linoléique et palmitique) et sa composition en éléments minéraux. On sait aussi qu'il est déficitaire en arginine et manque d'acides aminés essentiels tels que le tryptophane et la phényl-alanine. Mais, en général, de telles données synthétiques sont rares et ne permettent pas un classement multicritères des différents pollens.

Comme pour le nectar, il existe un déterminisme génétique de la composition du pollen, de la quantité produite et de ses rythmes d'émission, mais les facteurs environnementaux interviennent aussi de manière importante. Par exemple, en conditions humides, le pollen devient collant et est plus difficile à récolter.

En résumé, qu'il s'agisse de pollen ou de nectar, il est long et difficile d'en évaluer la production en quantité et en qualité de manière fiable. Il faut non seulement tenir compte des effets environnementaux, mais aussi considérer que les effets génétiques peuvent s'exprimer non pas simplement au niveau de l'espèce mais également au niveau de la variété. Ce dernier point est tout particulièrement important dans un objectif de choix des meilleures espèces florales à fournir à l'abeille.

Le butinage

Chez l'abeille, le butinage du nectar et celui du pollen sont le plus souvent deux activités séparées. Au cours d'un vol de butinage effectué par un individu, une seule des deux ressources est collectée ; néanmoins le butinage mixte peut également être pratiqué. Certaines plantes produisent peu ou pas de nectar, mais offrent du pollen en abondance ou inversement. On sait, par ailleurs, que la tendance à butiner préférentiellement du pollen est déterminée génétiquement (Page *et al.*, 1995). Malgré cela, pour des raisons évidentes d'adaptabilité au milieu environnant et aux besoins de la colonie, les abeilles savent moduler rapidement leur affectation relative aux deux ressources par des mécanismes de communication et d'apprentissage.

L'abeille est attirée en premier lieu par l'odeur de la plante qui est émise à la fois au niveau du nectar mais aussi, à plus courte distance, au niveau du pollen grâce à des composés aromatiques présents sur la paroi externe de celui-ci.

Des travaux expérimentaux ont montré que les abeilles préféraient le nectar contenant du saccharose (Waller, 1972) et qu'elles étaient en mesure d'apprécier des différences de concentration de l'ordre de 5 % (Jamieson et Austin, 1956). Elles préfèrent les nectars concentrés, de 15 à 50 % selon les auteurs (Jamieson et Austin, 1956 ; Waller, 1972 ; Sigurdson, 1981 a et b ; Waddington et Kirchner, 1992), mais elles évitent les nectars trop visqueux qui impliquent un temps de récolte trop long.

Les pollens dont le taux protéinique est le plus élevé ne sont pas nécessairement les plus collectés ou les plus appétents. L'appétence serait plutôt fortement influencée par la présence ou l'absence de composés phagostimulants ou répulsifs (Pernal et Currie, 2000). De plus, les pollens sont plus ou moins digestibles. D'autre part, certains pollens sont peu collectés parce qu'ils sont difficiles à agglutiner en pelotes : c'est le cas du pollen de coton dont la paroi est échinée (Vaissière et Vinson, 1994). Par contre, le manque de pollen peut inciter les butineuses à récolter des pollens dépourvus de toute valeur nutritive (Maurizio, 1954 ; Louveaux, 1959 ; Wille *et al.*, 1985).

L'accessibilité à la ressource (fleur étroite, profonde ou fermée) intervient également dans le choix de la fleur par l'insecte. Ainsi, les abeilles domestiques dont la longueur de la langue est moyenne (6 mm) butinent peu les papilionacées à grosses fleurs fermées, pas plus que ne le font les bourdons à langue courte (10 à 11 mm). Par contre, ces fleurs sont volontiers pollinisées par les abeilles solitaires de grande taille ou les espèces de bourdons à langue longue (16,6 mm).

Fidélité florale, spatiale et aires de butinage

L'insecte pollinisateur répond donc à un ensemble de stimuli et de récompenses qui caractérisent la fleur. Chez l'abeille, le butinage est, entre autres, optimisé par le fait qu'elle reste très fidèle à un type floral tant qu'il est disponible (Pierre et Renard, 1999) et à une zone spatiale. Chez l'abeille domestique, l'aire individuelle de butinage est restreinte à une centaine de m², ce qui rend peu probable les pollinisations croisées sur de grandes distances entre parcelles isolées. Cependant, en conditions expérimentales (sous cage) des échanges de pollen entre butineuses de différents sites peuvent avoir lieu à l'intérieur de la ruche (Vaissière *et al.*, 1994).

En effet, il ne faut pas confondre aire de butinage individuel et aire de butinage de la colonie. Au sein d'une colonie, différents groupes de butineuses se répartissent respectivement sur différents sites. Dans un environnement où les ressources en nectar sont abondantes, le butinage est réalisé dans un rayon moyen de 2 km autour de la ruche, et 90 % des danseuses butinent dans un rayon inférieur à 5 km de la ruche (Beekman et Ratnieks, 2000 ; Steffan-Dewenter et Kuhn, 2003), soit une aire d'exploration de près de 80 km². En cas de besoin, l'aire de butinage de la colonie peut être considérablement étendue. Selon les observations de Beekman et Ratnieks (2000), 50 % des butineuses allaient à plus de 6 km, et 10 % à plus de 9 km. En analysant le pollen rapporté par les butineuses en milieu désertique, O'Neal et Waller (1984) ont estimé la distance maximale parcourue à 12 km. Ainsi, dans les paysages simplifiés où les ressources trophiques sont clairsemées, telles que des zones désertiques ou des zones agricoles pauvres en zones semi-naturelles, les distances de butinage sont augmentées. Les pourvoyeuses de pollen parcourent en moyenne une distance de 1543 ± 71 m dans les paysages complexes, contre 1743 ± 95 m dans les paysages simplifiés (Steffan-Dewenter et Kuhn, 2003). Cette distance augmente également au moment où les floraisons se raréfient.

Impact de l'alimentation sur la vie de la colonie

Ces distances parcourues par la butineuse donnent une idée de l'importance de la ressource énergétique ne serait-ce que pour couvrir les coûts des vols de butinage ou de repérage. Le nectar, en particulier, constitue un apport glucidique et donc énergétique immédiatement disponible pour répondre à ces besoins. Cependant, des travaux ont montré que si les ouvrières d'intérieur visitent fréquemment les stocks de miel, les butineuses ne le font pas : elles sont nourries par trophallaxie par les nourrices (Crailsheim *et al.*, 1996). La réserve de nectar, progressivement transformée en miel par les ouvrières, permet donc l'activité globale de la ruche, dont l'activité de butinage elle-même. Ce sont aussi les réserves en miel qui permettent aux adultes de la colonie de survivre durant l'hiver, lorsque, dans nos régions, l'activité est très réduite et le butinage inexistant.

Pour ce qui est du pollen, plutôt que de considérer sa composition biochimique ou sa teneur protéinique, on peut prendre en compte sa valeur nutritive via des essais biologiques.

- En ce qui concerne son impact sur les glandes hypopharyngiennes, rappelons que le pollen constitue un apport protéique destiné essentiellement à l'alimentation des larves et des jeunes abeilles. Mais il est très rarement consommé tel quel. Il est d'abord amalgamé sous forme de pelotes avec du nectar additif (Clark et Lintas, 1992). Il est ensuite transformé et prédigéré grâce à des sécrétions des glandes nourricières (hypopharyngiennes et mandibulaires) pour constituer le « pain d'abeille ». Ainsi, l'apport protéique provenant du pollen représente moins de 5 % de la quantité totale des protéines nécessaires au développement d'une larve (Babendreier *et al.*, 2004). L'apport protéique le plus important provient de la sécrétion des glandes hypopharyngiennes des ouvrières nourrices, dont le développement dépend lui-même de leur alimentation en pollen, en particulier de la quantité totale de protéines ingérées. Une situation de carence en pollen influence donc de façon importante la tâche des nourrices et les soins au couvain, ce qui produit des larves sous-alimentées et mal operculées (Blaschon *et al.*, 1999). Les nourrices peuvent aussi réagir à cette carence en réduisant le nombre de larves à nourrir (Schmickl et Crailsheim, 2001). Les jeunes larves sont alors éliminées au profit des larves plus âgées qui ne nécessitent plus d'alimentation pollinique. On peut aussi assister à de l'oophagie. En cas de carence prolongée, une autre stratégie consiste à réduire les soins chez toutes les larves (Blaschon et Crailsheim, 2001). En outre, l'alimentation au cours du stade larvaire détermine la taille de l'adulte à venir (Roulston et Cane, 2000). Enfin, la quantité de protéines ingérées au stade adulte a une incidence sur la longévité.

- Pour ce qui concerne l'impact du pollen sur le développement ovarien, les expérimentations sont conduites sur des ouvrières maintenues en isolement, sans reine, de manière à évaluer leurs capacités à transformer les protéines de pollen en vitalogénine, une lipoprotéine indispensable pour le développement ovarien et la ponte de la reine. Il a été montré que les pollens de pommier ou de mélilot étaient favorables au développement ovarien contrairement à ceux de pin ou de tournesol (Pernal et Currie, 2000).

Par ailleurs, on sait que la valeur d'un régime comportant plusieurs pollens de valeurs nutritives différentes n'est pas assimilable à la moyenne des valeurs des pollens qui le constituent. On peut également supposer que la

faible valeur nutritive d'un pollen comme celui du pissenlit peut être compensée par le mélange avec d'autres pollens ayant une bonne valeur pour la reproduction (Genissel *et al.*, 2002). Il est donc important de ne pas mettre les abeilles dans une situation où elles ne disposent pas d'une diversité florale suffisante, comme c'est le cas dans les zones de grandes cultures.

- Enfin, il a été montré récemment qu'une concentration élevée du pollen en lipides (avec dominance en acides linoléique, myristique et dodécanoïque) protégerait le couvain des bactéries *Paenibacillus larvae larvae* et de *Melissococcus pluton*, agents pathogènes responsables de la loque américaine et de la loque européenne (Manning, 2001). Il a également été démontré qu'une alimentation en pollen insuffisante – tant en abondance qu'en diversité – pouvait induire, outre la carence en protéine, une diminution de la synthèse des enzymes de détoxification, et par conséquent, une plus grande sensibilité des abeilles aux produits phytopharmaceutiques (Wahl et Ulm, 1983).

Même si de nombreux travaux de recherche restent à conduire pour mieux définir ce qui constitue la valeur nutritive d'un pollen, d'un mélange pollinique ou de nectars, il ressort que ces ressources sont deux éléments complémentaires et indissociables pour assurer la nutrition de l'abeille à tous les stades de sa vie. Nous avons vu qu'une carence qualitative et quantitative en pollen et en nectar peut conduire à une diminution démographique de la colonie : une faible ressource en pollen induisant une faible production de larve puis d'adultes, donc moins de butineuses de pollen et de nectar. Le rôle de ces deux nutriments est empiriquement si évident que les apiculteurs ont le souci d'apporter des compléments en sirop ou en pollen en cas de déficit. Cependant, il faut souligner que les propriétés du pollen apporté dépendent de la durée et du mode de stockage dont il a été l'objet. De même, l'apport d'un sirop sucré ne peut offrir la même qualité nutritive qu'un nectar. Par conséquent, assurer aux abeilles un approvisionnement en pollen et en nectar, dans leur environnement naturel et au moment opportun, reste la meilleure garantie de leur survie.

Remerciements

Cet article est issu de travaux ayant fait l'objet d'un financement par l'enveloppe Recherche ACTA (crédits du budget civil Recherche et Développement du ministère chargé de l'agriculture) dans le cadre d'un réseau thématique. Les auteurs tiennent à remercier ici très chaleureusement l'ensemble des partenaires du réseau et tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail : R. Allérit (GEVES), R. Ambroise (MAAPAR, DGFAR), P. Aupinel (INRA Le Magneraud), Y. Ballanger (CETIOM), J.L. Bernard (Syngenta), J. Bertrand (Bergerie Nationale), M. Bocquet (Apimédia), T. Bonin (Clause Tézier), S. Cluzeau (ACTA/CNDA), M. Delos (DRAF-SRPV), Madame Gouy (Nova-flore), P. Granval (ONCFS), Ph. Gratadou (Jouffray-Drillaud), C. Guion (GDSA 17), F. Helme (ADARA), M. Izambard (Habillons notre terre), P. Lacroix (ADAM), P. Mayot (ONCFS), A. Mouchart (ACTA), G. Pindon (FDC 41), D. Reitzer (MAAPAR, DGFAR), A. Rodriguez (ACTA), A. Serpeille (FNAMS), M. Subirana (ADARA), M. Tisseur (ACTA), R. Wartelle (chambre régionale d'Agriculture de Picardie).

Les auteurs remercient également P. Guy (INRA GAPF, Lusignan, chargé de mission à la ME&S), A. Fraval (alors rédacteur en chef du *Courrier*, INRA ME&S), J.N. Taséi (INRA Zoologie, Lusignan), Y. Guy (DRIAF, Cachan), L. Vilain (FNE, Saint-Pierre-de-Chérennes) et B. de Pontevès (GNIS, Paris) pour leurs relectures qui ont contribué à améliorer cet article.

Références bibliographiques

- ABEILLE DE FRANCE, 2003. Dossier : Apiculture, situation mondiale et européenne 1997-2002. *Abeille de France*, 893, 288-293.
- AGRESTE, 2002. *L'agriculture et l'agroalimentaire dans les régions*. Agreste (Graph Agri régions), Paris, 333 p.
- AMBROISE R., 2004. La politique française de la jachère agricole. *Bulletin du syndicat des producteurs de miel de France*, 6, 32-33.
- BADENDREIER D., KALBERER N., ROMEIS J., FLURI P., BIGLER F., 2004. Pollen consumption in honey bee larvae: a step forward in the risk assessment of transgenic plants. *Apidologie*, 35, 293-300.
- BAKER H.G., BAKER I., 1975. Studies of nectar-constitution and pollinator-plant coevolution. In : L.E. Gilbert & P.H. Raven: *Coevolution of animals and plants*. University of Texas Press, Austin, 100-140.
- BAKER H.G., BAKER I., 1982. Floral nectar constituents in relation to pollinator type. In : C.E. Jones & R.J. Little: *Handbooks of experimental pollination biology*. Van Nostrand-Reinhold, New-York, 131-191.
- BALZEKAS J.A., 1978. Honeybees, white melilot and phacelia. *Lietuvos Zemdirbystes Mokslinio Tyrimo Instituto Darbai*, 22, 99-102.
- BEEKMAN M., RATNIEKS F.L.W., 2000. Long-range foraging by the honey-bee (*Apis mellifera* L.). *Functional Ecology*, 14(4), 490-496.
- BERNARD J.L., GRANVAL P., PASQUET G., 1998. Les bords de champs cultivés pour une approche cohérente des attentes cynégétiques, agronomiques et environnementales. *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 34, 21-32.
- BIESMEIJER J.C., ROBERTS P.M., REEMER M., OHLEMULLER R., EDWARDS M., PEETERS T., SCHAFFERS A.P., POTTS S.G., KLEUKERS R., THOMAS C.D., SETTELE J., KUNIN W.E., 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, 313, 351-354.
- BLASCHON B., GUTTENBERGER H., HRASSNIG N., CRAILSHEIM K., 1999. Impact of bad weather on the development of the brood nest and pollen stores in a honeybee colony (*Hymenoptera: Apidae*). *Entomologia Generalis*, 24, 49-60.
- BLASCHON B., CRAILSHEIM K., 2001. The impact of bad weather phases upon the brood care behaviour of nurse bees (*Apis mellifera* L.). *Apidologie*, 32, 496-498.
- BUCHMANN S.L., NABHAN G.P., 1996. *The forgotten pollinators*. Island Press, Washington (DC), 292 p.
- BRUNEAU E., 1993. Agri-environnement et apiculture. *Les Carnets du CARI*, n°38, 3ème trimestre.
- CARRECK N.L., WILLIAMS I.H., 1997. Observations on two commercial flower mixtures as food sources for beneficial insects in the UK. *Journal of Agricultural Science*, 128(4), 397-403.
- CARVELL C., MEEK W.R., PYWELL R.F., NOWAKOWSKY M., 2004. The response of foraging bumblebees to successional change in newly created arable field margins. *Biological Conservation*, 118(3), 327-339.
- CHEESMAN O.D., 1998. The impact of some field boundary management practices on the development of *Dipsacus fullonum* L. flowering stems, and implications for conservation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 68(1), 41-49.
- CLARK C.J., LINTAS C., 1992. Chemical composition of pollen from kiwifruit vines. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 20, 337-344.
- CORBET S.A., WILLIAMS I.H., OSBORNE J.L., 1991. Bees and the pollination of crops and wild flowers in the European community. *Bee world*, 71(2), 47-59.
- CORBET S.A., 1995. Insects, plants and succession: advantages of long-term set-aside. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 53(3), 201-217.
- CORRE-HELLOU G., FUSTEC J., CROZAT Y., 2006. Interspecific competition for soil N and its interaction with N₂ fixation, leaf expansion and crop growth in pea-barley intercrops. *Plant and Soil*, 282(1-2), 195-208.
- COSTANZA R., D'ARGE R., DE GROOT R., FARBER S., GRASSO M., HANNON B., LIMBURG K., NAEEM S., O'NEILL R.V., PARUELO J., RASKIN R.G., SUTTON P., VAN DEN BELT M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260.
- CRAILSHEIM K., HRASSNIG N., STABENTHEINER A., 1996. Diurnal behavioural differences in forage and nurse honey bees (*Apis mellifera carnica*). *Apidologie*, 27, 235-244.
- CRAILSHEIM K., SCHNEIDER L.H.W., HRASSNIG N., BÜHLMANN G., BROSCHE U., GMEINBAUER R., SCHÖFFMANN B., 1992. Pollen consumption and utilization in worker honeybees. *Journal of Insect Physiology*, 38(6), 409-419.

- CRANE E., 1975. The flower honey comes from. In : E. Crane (ed.): *Honey, a comprehensive survey*. Heinemann, London, 7-76.
- CRUDEN R.W., HERMANN H.M., PETERSON S., 1983. Patterns of nectar production and plant-pollinator coevolution. In : B. Bentley, Elias T.: *The biology of nectaries*. Columbia University Press, New-York, 80-125.
- DECOURTYE A., TISSEUR M., TASEI J.N., PHAM-DELÈGUE M.H., 2005. Toxicité et risques liés à l'emploi de pesticides chez les pollinisateurs : cas de l'abeille domestique. In : C. Regnault-Roger (éd.) : *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement au XXI^e siècle*. Tec & Doc Lavoisier, Paris, 283-299.
- DIAS B.S.F., RAW A., IMPERATRIZ-FONSECA V.L., 1999. *International Pollinators Initiative: The São Paulo Declaration on Pollinators, Report on the Recommendations of the Workshop on the Conservation and Sustainable Use of Pollinators in Agriculture with Emphasis on Bees*. Brazilian Ministry of the Environment (MMA), Brasília, 66 p.
- FLURI P., FRICK R., 2001. *Losses of bees during mowing of flowering fields*. Report of Swiss Bee Research Center, 11 p.
- FOUGEROUX A., GIFFARD H., 2006. Ressources alimentaires de l'abeille en zone de grandes cultures – L'expérience des ruchers Agéris. *Phytoma*, 592, 45-47.
- FREEMARK K., BOUTIN C., 1995. Impacts of agricultural herbicide use on terrestrial wildlife in temperate landscapes: A review with special reference to North America. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 52(2-3), 67-91.
- FUSSEL M., CORBET S.A., 1992. Flower usage by bumblebees: a basis for forage plan management. *Journal of Applied Ecology*, 29(2), 451-465.
- GAME CONSERVANCY, 1994. *Game and shooting crops*. Game Conservancy, Fordingbridge, Hampshire, 97 p.
- GÉNISSEL A., AUPINEL P., BRESSAC C., TASÉI J.N., CHEVRIER C., 2002. Influence of pollen origin on performance of *Bombus terrestris* micro colonies. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 104(2-3), 329-336.
- GHAZOU J., 2005. Buzziness as usual ? Questioning the global pollination crisis. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(7), 367-373.
- GOULD J.L., GOULD C.G., 1988. *The honey bee*. Scientific American Library, New-York, 239 p.
- GOULSON D., DARVILL B., 2004. Niche overlap and diet breadth in bumblebees; are rare species more specialized in their choice of flowers? *Apidologie*, 35, 55-64.
- HASKELL P., MCEWEN P., 1998. *Ecotoxicology: Pesticides and beneficial organisms*. Kluwer Academic Publishers, London, 396 p.
- HOLSINGER K.E., 1992. Ecological models of plant mating systems and the evolutionary stability of mixed mating systems. In : R. Wyatt: *Ecology and evolution of plant reproduction*. Chapman and Hall, New York, 169-191.
- IZAMBARD M., 2003. Les jachères : opération Phacélie. *Abeilles et Fleurs*, 638, p.13.
- JACQUARD P., CROISIER L., MONNIER G., 1969. Étude des effets résiduels des cultures fourragères sur les cultures arables. I. Effets résiduels de la luzerne sur le blé et le maïs. *Annales agronomiques*, 20(4), 37-43.
- JAMIESON C.A., AUSTIN G.M., 1956. Preferences of honeybees for sugar solutions. In : International society of Entomology: *Proceedings of the 10th International Congress of Entomology*, Montréal, 4, 1059-1062.
- JOHANSEN C., MAYER D., EVES J., KIOUS C., 1983. Pesticides and bees. *Environmental Entomology*, 12(5), 1513-1518.
- JUSTES E., THIÉBEAU P., CATTIN G., LARBRE D., NICOLARDOT B., 2001. Libération d'azote après retournement d'une culture de luzerne : un effet sur deux campagnes. *Perspectives Agricoles*, 264, 22-28.
- JUSTES E., DORSAINVIL F., THIÉBEAU P., ALEXANDRE M., 2002. The effect of catch crops on the water budget of the fallow period and the succeeding main crop. In : F.J.Villalobos & L. Testi: *Proc. VII Congress of ESA, Cordoba, Spain, 15-18 July*, 503-504.
- KEARNS C.A., INOUE D.W., WASER N.M., 1998. Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 83-112.
- KEVAN P.G., 1975. Forest application of the insecticide Fenitrothion and its effects on wild bee pollinators (Hymenoptera: Apoidea) of lowbush blueberries (*Vaccinium* spp.) in southern New Brunswick, Canada. *Biological Conservation*, 7(4), 301-309.
- KLEIN A.M., VAISSIÈRE B.E., STEFFAN-DEWENTER I., CUNNINGHAM S.A., CLAIRE K., TSCHARNTKE T., 2006. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B.*, 274(1608), 303-313.
- LAGERLÖF J., STARK J., SVENSSON B., 1992. Margins of agricultural field as habitats for pollinating insects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 40(1-4), 117-124.
- LAGERLÖF J., WALLIN H., 1993. The abundance of arthropods along two field margins with different types of vegetation composition: an experimental study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 43(2), 141-154.

- LAVOINNE M., PERES M., 1993. Intérêt des associations fourragères graminée-luzerne pour économiser la fumure azotée. *Fourrages*, 134, 205-210.
- LECOMPTE P., 1995. Apiculture et jachère. *Les Dossiers de l'Environnement de l'INRA*, 9, 119-121.
- LECOMPTE P., 2004. Les jachères. *Abeille de France*, 905, 341-342.
- LEWIS T., 1969. The distribution of insects near a low hedgerow. *Journal of Applied Ecology*, 6(3), 443-452.
- LONGLEY M., SOTHERTON N.W., 1997. Factors determining the effects of pesticides upon butterflies inhabiting arable farmland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 61(4), 1-12.
- LOUVEAUX J., 1954. Études sur la récolte du pollen par les abeilles. *Apiculteur*, 98, 43-50.
- LOUVEAUX J., 1959. Recherches sur la récolte du pollen par les abeilles (*Apis mellifera* L.). *Annales de l'abeille*, 1, 13-111.
- MANNING R., 2001. Fatty acids in pollen: a review of their importance for honey bee. *Bee World*, 82(2), 60-75.
- MARSHALL E.J.P., MOONEN A.C., 2002. Field margins in northern Europe: their functions and interactions with agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 89(1-2), 5-21.
- MAURIZIO A., 1954. Pollen: its composition, collection, utilization, and identification. *Bee World*, 35, 49-50.
- MAURIZIO A., 1975. How bees make honey. In : E. Crane: *Honey, a comprehensive survey*. Heinemann, London, 77-105.
- MEEK B., LOXTON D., SPARKS T., PYWELL R., PICKETT H., NOWAKOWSKI M., 2002. The effect of arable field margin composition on invertebrate biodiversity. *Biological Conservation*, 106(2), 259-271.
- MEISINGER J.J., HARGROVE W.L., MIKKELSEN R.L., WILLIAMS J.R., BENSON V.W., 1991. Effects of cover crops on groundwater quality. In : W.L. Hargrove: *Cover crops for clean water*. Soil and Water Conservation Society, Jackson, Tennessee, USA, 57-68.
- MULLER J.C., DENYS D., THIÉBEAU P., 1993. Présence de légumineuses dans la succession de cultures : luzerne et pois cultivés purs ou en association, influence sur la dynamique de l'azote. In : *Matières organiques et agricultures*. Congrès GEMAS-COMIFER, Blois, novembre 1993, 83-92.
- OMNES G., 2003. L'interdiction de broyage des jachères est-elle adaptée ? *France Agricole*, n°2983, 2 mai, p.20.
- O'NEAL R.J., WALLER G.D., 1984. On the pollen harvest by the honey bee (*Apis mellifera* L.) near Tucson, Arizona (1976-1981). *Desert Plants*, 6, 81-109.
- PAGE R.E., WADDINGTON K.D., HUNT G.J., FONDRK M.K., 1995. Genetic determinants of honey bee foraging behaviour. *Animal Behaviour*, 50(6), 1617-1625.
- PERNAL S.F., CURRIE R.W., 2000. Pollen quality of fresh and 1-year-old single pollen diets for worker honey bee (*Apis mellifera* L.). *Apidologie*, 31, 387-409.
- PETKOV V., 1958. An investigation on the nectar yield of sainfoin (*Onobrychis sativa*), phacelia (*Phacelia tanacetifolia*), borage (*Borago officinalis*) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). *Nauchni Trud. Minist. Zemed. Gorite*, 1, 211-246.
- PFLIMLIN A., ARNAUD J.D., GAUTIER D., LE GALL A., 2003. Les légumineuses fourragères, une voie pour concilier autonomie en protéines et préservation de l'environnement. *Fourrages*, 174, 183-203.
- PICARD J., 1982. Les légumineuses dans la production fourragère française – évolution au cours des vingt dernières années. *Fourrages*, 90, 17-26.
- PIERRE J., MESQUIDA J., MARILLEAU R., PHAM-DELÈGUE M.H., RENARD M., 1999. Nectar secretion in winter oilseed rape, *Brassica napus* – quantitative and qualitative variability among 71 genotypes. *Plant Breeding*, 118(6), 471-476.
- PIERRE J., RENARD M., 1999. Plant development mutants: incidence on honey bees behaviour and pollination. In : CGIRC: *Xth International Rapeseed Congress*, 26-29 September, Canberra, Australia (CD Rom, 5 p.).
- PYKE G.H., 1982. Local geographic distributions of bumblebees near Crested Butte, Colorado: competition and community structure. *Ecology*, 63, 555-573.
- PYWELL R.F., WARMAN E.A., CARVELL C., SPARKS T.H., DICKS L.V., BENNETT D., WRIGHT A., CRITCHLEY C.N.R., SHERWOOD A., 2005. Providing foraging resources for bumblebees in intensively farmed landscapes, *Biological Conservation*, 121(4), 479-494.
- RASMONT P., PAULY A., TERZO M., PATINY S., MICHEZ D., ISERBYT S., BARBIER Y., HAUBRUGE E., 2006. *The survey of wild bees (Hymenoptera, Apoidea) in Belgium and France*. 18 p. [<http://www.fao.org/ag/AGP/AGPS/C-CAB/Caselist.html>]
- RICHARDS A.J., 2001. Does low biodiversity resulting from modern agricultural practice affect crop pollination and yield? *Annals of Botany*, 88, 165-172.
- RODRIGUEZ A., MAMAROT J., 1994. *La jachère dans les rotations*. Acta (Point n°2), Paris, 40 p.
- RODRIGUEZ A., 1995. *Jachère à couvert spontané et maîtrise des mauvaises herbes sur des rotations*. Rapport Action recherche du COS-Acta 95. Acta, Paris, 20 p.
- ROULSTON T.H., CANE J.H., 2000. Pollen nutritional content and digestibility for animals. *Plant Systematics and Evolution*, 222(1-4), 187-209.
- SCHMICKL T., CRAILSHEIM K., 2001. Survival of honeybee larvae in times of pollen stress. *Apidologie*, 32, 496-498.

- SÉBILLOTTE M., ALLAIN S., DORÉ T., MEYNARD J.M., 1993. La jachère et ses fonctions agronomiques, économiques et environnementales. Diagnostic actuel. *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 20, 11-22.
- SIGURDSON J.E., 1981a. Automated discrete trials techniques of appetitive conditioning in honeybees. *Behaviour Research Methods and Instruments*, 13, 1-10.
- SIGURDSON J.E., 1981b. Measurement of consummatory behavior of honeybees. *Behaviour Research Methods and Instruments*, 13, 308310.
- SOTHERTON N.W., 1984. The distribution and abundance of predatory arthropods overwintering on farmland. *Annals of Applied Biology*, 105(3), 423-429.
- STANLEY R.G., LINSKENS H., 1974. *Pollen: biology, biochemistry, management*. Springer-Verlag, 307 p.
- STEFFAN-DEWENTER I., KUHN A., 2003. Honeybee foraging in differentially structured landscape. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 270, 569-575.
- STEFFAN-DEWENTER I., KLEIN A.M., GAEBELE V., ALFERT T., TSCHARNTKE T., 2006. Bee diversity and plant-pollinator interactions in fragmented landscapes. In : N.M. Waser & J. Ollerton: *Plant-Pollinator Interactions: From Specialization to Generalization*. University of Chicago Press, 387-407.
- SZALAI Z., 2001. Development of melliferous plant mixtures with long-lasting flowering period. VIIIth International Symposium on Pollination – Pollination: Integrator of crops and native plant systems. *Acta Horticulturae*, 561, 185-190.
- TASÉI J.N., 1996. Impact des pesticides sur les Abeilles et les autres pollinisateurs. *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 29, 9-18.
- TEITTINEN P., 1980. Observations on the food plants of the honeybee. *Annales Agriculturae Fenniae*, 19(2), 156-163.
- THIÉBEAU P., LARBRE D., JUSTES E., 2002. Effet précédent de cultures intermédiaires, seigle et ray-grass, sur l'implantation et la production d'une luzerne semée au printemps. *Fourrages*, 172, 377-392.
- THIÉBEAU P., PARNAUDEAU V., GUY P., 2003. Quel avenir pour la luzerne en France et en Europe? *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 49, 29-46.
- THOMAS M.B., WRATTEN S.D., SOTHERTON N.W., 1991. Creation of "island" habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: predator densities and emigration. *Journal of Applied Ecology*, 28(3), 906-917.
- THOMAS C.F.G., COOKE H., BAULY J., MARSHALL E.J.P., 1994. Invertebrate colonisation overwintering sites in different field boundary habitats. In : J. Clarke, A. Lane, A. Mitchell, M. Ramans & P. Ryan: *Arable farming under CAP reform*. Association of Applied Biologists, Wellesbourne. *Aspects of applied biology*, 40, 229-232.
- THOMAS C.F.G., MARSHALL E.J.P., 1999. Arthropod abundance and diversity in differently vegetated margins of arable fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 72(2-4), 131-144.
- VAISSIÈRE B.E., TORRE-GROSSA J.P., RODET G., MALABOEUF F., 1994. Sociality and pollen flow: direct evidence for effective in-hive pollen transfer. *Proc. 12th International Congress of International Union for the Study of Social Insects*, Paris, 21-27 August 1994, p. 290.
- VAISSIÈRE B.E., VINSON B., 1994. Pollen morphology and its effect on pollen collection by honey bees *Apis mellifera* L. (*Hymenoptera Apidae*) with special reference to upland cotton, *Gossypium hirsutum* L. (*Malvaceae*). *Grana*, 33, 128-138.
- VAN NITSEN L., 1993a. Le gel des terres, une aubaine pour les apiculteurs? *Les Carnets du CARI*, n°36, 1^{er} trimestre.
- VAN NITSEN L., 1993b. Jachères : le choix mellifère. *Les Carnets du CARI*, n°38, 3^{ème} trimestre.
- WADDINGTON K.D., KIRCHNER W.H., 1992. Acoustical and behavioral correlates of profitability of food sources in honey bee round dances. *Ethology*, 92, 1-6.
- WAHL O., ULM K., 1983. Influence of pollen feeding and physiological condition on pesticide sensitivity of the honey bee *Apis mellifera carnica*. *Oecologia*, 59, 106-128.
- WALLER G.D., 1972. Evaluating responses of honeybees to sugar solutions using an artificial feeder. *Annals of the Entomological Society of America*, 65, 857-861.
- WILLE H., IMDORF A., BUHLMANN G., KILCHENMANN V., WILLE M., 1985. Beziehung zwischen Polleneintrag Brutaufzucht und mittlerer Lebenserwartung der Arbeiterinnen in Bienenvölkern (*Apis mellifica* L.). *Bulletin de la Société Entomologique Suisse*, 58, 205-214.
- WILLIAMS I.H., 1996. Aspects of bee diversity and crop pollination in the European Union. In : Matheson A., Buchmann S.L., O'Toole C., Westrich P., Williams I.H.: *The conservation of bees*. Academic Press, London, 63-80.
- WINSTON M.L., 1987. *The biology of the honey bee*. Harvard University Press, Cambridge, 294 p.
- WRATTEN S.D., 1988. The role of field boundaries as reservoirs of beneficial insects. In : J.R. Park: *Environmental management in agriculture: European perspectives*. Belhaven Press, London, 144-150.