



AGROCAMPUS OUEST

65 rue de Saint Briec
CS 84215
35042 Rennes Cedex
Tél : 02 23 48 55 00

UNIVERSITE DE RENNES 1

UMR 6553 Ecobio
Avenue du Général Leclerc
Campus de Beaulieu
35042 RENNES Cedex

Mémoire de Fin d'Etudes

Diplôme d'Agronomie Approfondie

Spécialité : Génie de l'Environnement

Option : Préservation et Aménagement des milieux – Ecologie Quantitative

Répartition des pollinisateurs en relation avec la distribution des ressources florales au sein des parcelles de colza

Par : M. Antonin LE CAMPION



Photos : Antonin Le Campion

Encadrant(e) : Françoise BUREL

Soutenu le : 25/09/2009

Maître de stage : Violette LE FEON

Tuteur scientifique : Yannick OUTREMAN

"Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST"

REMERCIEMENTS

Je voudrais tout d'abord remercier Françoise Burel pour m'avoir accueilli au sein de l'équipe Ecologie du Paysage, pour son encadrement, ses conseils et ses corrections attentives tout au long de ce stage.

Je tiens à remercier tout particulièrement Violette Le Féon qui a été ma maître de stage durant ces 6 mois. Un grand merci pour la disponibilité et la patience que tu as réussi à m'apporter alors que tu avais déjà un planning bien chargé. Merci également pour tes conseils et corrections minutieuses. Très bonne continuation pour la fin de ta thèse !

Merci à l'ensemble de l'équipe Ecologie du Paysage avec qui mes rapports furent aussi divers qu'enrichissants.

Je remercie également Jacqueline Pierre de l'INRA du Rheu pour ses conseils toujours avisés et pour son intérêt particulier porté à mes questions.

Merci également à Yannick Outreman qui fut mon tuteur pour ce stage de fin d'études.

Mon travail s'inscrit dans la continuité d'un mémoire de Master 2 réalisé en 2008. Ainsi, merci spécial pour M. Diab Al Hassan qui l'a réalisé. Merci pour ta bonne humeur et pour ta gentillesse à toutes épreuves. Plein d'encouragements pour ta thèse !

Merci également à Julie Ferreira de Carvalho, Benoît Geslin et Violette Le Féon qui ont participé aux captures de pollinisateurs avec Diab.

Merci à l'ensemble des déterminateurs : Robert Fonfria, David Genoud, Xavier Lair, Violette Le Féon, Gilles Mahé, Jean-Pierre Sarthou, Peter Stallegger.

Je remercie Stuart Roberts qui m'a généreusement fourni les informations concernant les distances intertégulaires et les statuts alimentaires des Apoïdés capturés.

Je remercie aussi l'ensemble des agriculteurs que j'ai eu la chance de rencontrer durant ce stage. Leurs rencontres ont été d'un enrichissement personnel formidable. Je les remercie de leur accueil chaleureux.

Enfin, un grand merci à Aline, pour son implication indirecte (parfois même directe) durant ces 6 mois.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
MATERIEL ET METHODES	4
A. Caractérisation du site d'étude et des parcelles échantillonnées	4
A. 1) La Zone-Atelier de Pleine-Fougères	4
A. 2) Caractéristiques des parcelles étudiées en 2008 et 2009	4
B. Modèles biologiques	6
B. 1) La culture de colza d'hiver	6
B. 2) Pollinisateurs étudiés.....	6
B. 2) a. <i>Hyménoptères Apoïdes</i>	7
B. 2) b. <i>Diptères Syrphidés</i>	7
B. 2) c. <i>Capacités de vol et échelle de perception du paysage</i>	8
C. Acquisition des données	8
C. 1) Enquêtes et acquisitions des caractéristiques des parcelles étudiées	8
C. 2) Récolte des pollinisateurs en 2008	9
C. 3) Evaluation de la ressource disponible en 3 emplacements dans la parcelle : Mesure de la densité de fleurs de colza en 2009	9
D. Traitement des données	10
D. 1) Les données insectes	10
D. 1) a. <i>Abondance des pollinisateurs en fonction de la position dans la parcelle</i>	10
D. 1) b. <i>Analyse canonique des correspondances des espèces en fonction de variables environnementales</i>	10
D. 1) c. <i>Comparaison des tailles moyennes des Apoïdes en fonction de leur position dans la parcelle</i>	11
D. 2) Masse florale	11
D. 2) a. <i>Caractérisation de la densité de fleurs en 3 positions dans la parcelle</i>	11
D. 2) b. <i>Comparaison des densités en fonction des positions</i>	11
D. 2) c. <i>Comparaison des densités en fonction des variables environnementales et agronomiques</i>	11
D. 3) Confrontation de l'abondance des pollinisateurs en 2008 avec la distribution de la ressource florale en 2009	12
RESULTATS	12
A. Abondance et morphologie des pollinisateurs en trois positions sur la parcelle cultivée de colza	12
A. 1) Abondance des pollinisateurs en 3 positions dans la parcelle	12
A. 1) a. <i>Répartition de l'ensemble des insectes</i>	12
A. 1) b. <i>Répartition des 4 groupes étudiés</i>	12
A. 1) c. <i>Répartition des différentes espèces en fonction de la position dans la parcelle</i>	13
A. 2) Distribution des espèces en fonction des variables environnementales et agronomiques	15
A. 3) Comparaison de la distance intertégulaire des différents groupes d'Apoïdes en fonction de la position dans la parcelle	16
B. Caractérisation de la densité de fleurs de colza en trois positions sur la parcelle cultivée	17
B. 1) Densité de fleurs de colza en 3 positions dans la parcelle	17
B. 2) Etude de l'influence de caractéristiques agronomiques et environnementales sur la distribution des densités de fleurs de colza sur la parcelle.....	18
B. 2) a. <i>Effet haie</i>	18

INTRODUCTION

Au cours de la fin du 20ème siècle, la mise au premier plan des questions environnementales et la reconnaissance de l'écologie politique ont amené les scientifiques à se pencher sur l'attribution d'une « valeur » aux écosystèmes. Cette estimation prend appui sur le concept de services rendus par les écosystèmes (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). La pollinisation entomophile en est un exemple souvent développé (Klein et al., 2007 ; Gallai et al., 2009). Ainsi, la valeur économique totale de la pollinisation entomophile à travers le monde a été évaluée à 153 milliards de dollars pour l'année 2005, ce qui représentait 9,5% de la production agricole mondiale utilisée pour l'alimentation humaine (Gallai et al., 2009). Selon Williams (1994), 84% des espèces cultivées en Europe dépendent directement des insectes pollinisateurs, en particulier des abeilles, pour leur pollinisation.

Les signes d'un déclin des populations de pollinisateurs sont souvent évoqués par les scientifiques, notamment en Amérique du Nord où les abeilles domestiques sont touchées par le « Colony Collapse Disorder », un syndrome d'effondrement des colonies dont les causes ne sont pas encore clairement identifiées (National Research Council, 2006 ; Stockstad, 2007, Cox-Foster et al., 2007) et en Europe où des surmortalités d'abeilles sont constatées (AFSSA, 2008). De plus, des espèces sauvages, notamment de bourdons sont menacées (Rasmont, 1988 ; Goulson et al., 2005). Ce constat repris par les organismes de protection de la nature est relayé de manière souvent confuse par les médias. Toutefois, même si ce phénomène semble facilement admis de tous, peu d'études se sont attachées à le démontrer. La crise de la pollinisation est donc un sujet qui a donné lieu à des échanges animés dans la communauté scientifique, notamment entre Ghazoul (2005a, 2005b) et Steffan-Dewenter (2005), le premier mettant en doute l'existence d'une crise réelle. Mais, Biesmeijer et al. (2006) ont plus récemment avancé des preuves scientifiques du déclin en comparant deux jeux de données obtenues avant et après 1980 en Grande-Bretagne et aux Pays-Bas. Cet article montre que le déclin touche les populations de pollinisateurs les plus spécialistes et qu'il s'opère conjointement avec une réduction des populations locales de plantes allogames. Toutefois, une étude récente se basant sur des données de la FAO (Aizen et Harder, 2009) relance la polémique en soutenant que les populations d'abeilles domestiques ont augmenté de 45% au cours de la moitié du siècle dernier quand les cultures dépendantes de la pollinisation se sont développées de 300%. Ainsi, ce ne serait pas les populations d'abeilles domestiques qui se seraient effondrées mais plutôt la demande en ces dernières qui aurait explosé.

L'intensification et la mécanisation des pratiques agricoles qui se sont opérées dans la seconde moitié du siècle dernier sont souvent mises en cause pour expliquer la diminution des effectifs de pollinisateurs. Cette « industrialisation » du secteur primaire a façonné de nouveaux paysages (Robinson et Sutherland, 2002) entraînant la réduction des zones d'habitats naturels et semi-naturels (Tscharntke et al., 2005). Ainsi, la raréfaction de ces habitats riches en ressources florales serait la cause principale de la diminution des populations de pollinisateurs (Kremen et Chaplin-Kramer, 2007 ; Steffan-Dewenter et Westphal, 2008).

Avec la raréfaction des ressources florales sauvages, les plantes cultivées à floraison massive comme le colza, deviennent des sources énergétiques importantes pour les pollinisateurs sauvages (Osborne et al., 2008). La grande capacité de production de pollen et

de nectar des fleurs de colza (Robert, 1994 in Calabuig, 2000) pendant une période de l'année pauvre en fleurs sauvages, fait de cette culture une ressource exploitable importante pour l'établissement des colonies de certains pollinisateurs, notamment les bourdons (Westphal et al., 2009). Cette réserve abondante est toutefois restreinte dans le temps du fait d'une courte période de floraison d'environ un mois (Westphal et al., 2003 ; 2009). Par ailleurs, plusieurs études se basant sur la culture du melon soutiennent que les pertes de rendement provoquées par la diminution des populations d'abeilles domestiques pourraient être amorties par l'action pollinisatrice des abeilles solitaires dont l'abondance est favorisée par la présence de milieux semi-naturels (Kremen et al., 2002 ; Goulson, 2003a ; Winfree et al., 2007, Winfree et al., 2008). En conséquence, plusieurs auteurs exhortent les pouvoirs politiques à reconsidérer l'aménagement de l'espace rural de façon à encourager le regain d'habitats naturels (Kremen et al., 2002 ; Goulson, 2003a ; Pywell et al., 2005 ; Tscharntke et al., 2005) et promouvoir les cultures à floraison massive, comme le colza (Westphal et al., 2003) .

Ainsi, il semble important de comprendre comment les insectes exploitent cette ressource abondante mais éphémère, quelles espèces l'utilisent et avec quelle intensité. Les pollinisateurs du colza sont nombreux. Les abeilles domestiques (Mc Gregor, 1976 ; Pesson et Louveaux, 1984) sont reconnues pour être les pollinisateurs majeurs de cette culture. Elles sont d'ailleurs utilisées pour en augmenter la valeur commerciale, notamment au Canada (Sabbahi et al., 2005 ; Pierre et al. en prep.). Plusieurs auteurs évoquent également l'action pollinisatrice des bourdons (Pesson et Louveaux, 1984 ; Calabuig, 2000 ; Westphal et al., 2003) et de certaines espèces généralistes d'abeilles solitaires (Pesson et Louveaux, 1984 ; Calabuig, 2000). Enfin, une espèce de syrphe a été décrite par Jauker et Wolters (2008) pour son aptitude à féconder les fleurs de colza.

La parcelle cultivée est un espace au fonctionnement écologique particulier puisqu'elle subit de nombreuses perturbations intenses et itératives. La durée de vie d'une culture est courte mais son influence est forte sur la faune qui y exploite des ressources. Il est donc intéressant d'étudier le comportement des insectes en relation avec une culture comme le colza.

Notre étude s'inscrit dans la continuité d'un travail réalisé en 2008 (Al Hassan, 2008) qui avait pour but de caractériser la distribution de quatre groupes d'insectes pollinisateurs (abeilles domestiques, abeilles solitaires, bourdons, syrphes) au sein de parcelles de colza. Ce mémoire a permis de montrer une hétérogénéité spatiotemporelle de la distribution de ces groupes d'insectes. Mais, comment pouvons-nous expliquer cette disparité dans leur répartition ? Et à quels facteurs pouvons-nous l'attribuer ?

Dans un premier temps, nous étudierons la répartition des pollinisateurs sur la parcelle en fonction de l'espèce ou de caractéristiques morphologiques. Greenleaf et al. (2007) ont montré que les capacités de déplacement des insectes étaient liées à leur taille. Nous pouvons alors poser l'hypothèse que la taille des insectes est reliée à leur capacité à pénétrer à l'intérieur de la parcelle pour y rechercher de la nourriture.

Il est également possible de conjecturer que des facteurs environnementaux ou agronomiques et notamment le type variétal peuvent influencer sur la présence des pollinisateurs. En effet, selon le type variétal considéré la production de nectar et de pollen sera différente. Nous étudierons donc l'impact de ce facteur sur la présence des pollinisateurs.

La théorie de l'Optimal Foraging (Mac Arthur et Pianka, 1966) prédit que les organismes recherchent leur nourriture de façon à optimiser leur gain énergétique par unité de temps. Dans le cadre de cette théorie, le concept de Distribution Libre Idéale soutient que la répartition des pollinisateurs se fait de manière à ce que chaque individu obtienne le même gain d'énergie par unité de temps et que par conséquent leur abondance soit corrélée à la densité de ressource disponible par m².

Ainsi, dans un second temps, nous formulerons l'hypothèse que les pollinisateurs qui en ont la capacité, s'orientent vers l'endroit où la ressource est la plus abondante. Cette supposition soulève alors la question suivante : existe-t-il une hétérogénéité spatiotemporelle de la floraison du colza comparable à celle observée dans la distribution des insectes?

Il est alors probable qu'une telle disparité de la floraison s'exprime différemment selon des variables:

- (1) Génétiques : la distribution de la masse florale peut avoir des réponses différentes selon le cultivar utilisé.
- (2) Environnementales ou locales : En effet, le type de bordure (absence/présence de haie) ou encore la taille et la forme de la parcelle pourraient affecter la floraison.

Afin de réunir l'ensemble des caractéristiques des parcelles étudiées, une enquête fut réalisée auprès des agriculteurs concernés.

Cette étude a été réalisée dans le cadre de l'ANR GM-Bioimpact en lien avec le travail de thèse de Violette Le Féon.

MATERIEL ET METHODES

A. Caractérisation du site d'étude et des parcelles échantillonnées

A. 1) La Zone-Atelier de Pleine-Fougères

Ce site d'étude est situé au nord-est du département d'Ille-et-Vilaine, au sud de la Baie du Mont-Saint-Michel (48° 36' N, 1° 32' W). Il présente un gradient d'ouverture du bocage, pouvant aller d'un réseau de haies dense au sud (280m de haies par ha) à ouvert au nord (100m par ha). Les activités anthropiques dominantes sont agricoles, essentiellement représentées par l'élevage laitier (Thenail, 1996). Les successions culturales sont à base de maïs, céréales et prairies temporaires. L'implantation des prairies permanentes est plus forte dans le sud du site et la part des successions culturales à base de maïs varie de 20% de la SAU au sud à 80% de la SAU au nord.

(Source : http://www.rennes.inra.fr/sad/pages_sad_armorique/site_etude_principal.htm)

A. 2) Caractéristiques des parcelles étudiées en 2008 et 2009

Notre étude s'étend sur deux années. En 2008, des captures de pollinisateurs ont été réalisées sur des parcelles de colza dans la Zone-Atelier (Al Hassan, 2008). Puis en 2009, ce sont des comptages de fleurs de colza qui ont été entrepris sur des parcelles différentes de celles de 2008.

Les captures de 2008 (Al Hassan, 2008) furent effectuées sur 20 parcelles de colza présentant une diversité de tailles, de formes et implantées dans des contextes paysagers variés. Cette hétérogénéité dans la physiologie des parcelles fut imposée par le faible nombre de champs cultivés en colza. En 2009, les comptages de fleurs ont été mis en œuvre sur 10 parcelles de colza (Tab. 2) afin d'augmenter la précision des résultats en fonction de l'effort d'échantillonnage à fournir. Ces dernières furent choisies de façon à ce que leurs caractéristiques soient représentatives des conditions environnementales décrites pour les 20 parcelles de 2008 (Tab. 1).

Les parcelles étudiées en 2008 (Tab. 1 et Annexe II) présentent des types variétaux contrastés. 7 parcelles sont des Composites Hybrides Lignées (CHL), 9 sont des Hybrides Restaurés (HR) et 3 sont des Lignées (L) (cf. Glossaire). En 2009 (Tab. 2 et Annexe II), seule une parcelle était cultivée avec une variété CHL et 7 avec des HR. Par contre, 4 parcelles étaient cultivées avec la variété « Pelican », un cultivar appartenant aux colzas dit « classiques » et 3 parcelles étaient semées avec le cultivar « Palmedor », un colza dit « érucique » du fait de la forte teneur en acide érucique présente dans ses graines.

L'indice de forme de Gravelius (Tab. 1 et 2) est obtenu en divisant le périmètre de la parcelle par le périmètre du cercle de surface égale à celle de la parcelle. Il est donc supérieur à 1 et sera d'autant plus élevé que la forme de la parcelle sera complexe ou allongée.

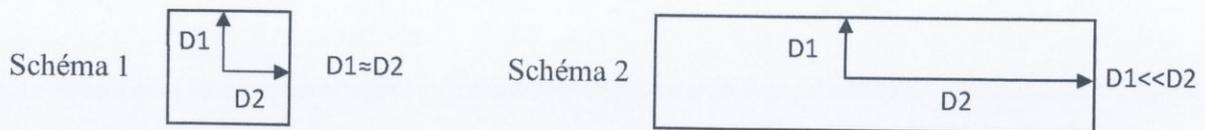
Parcelles	Site	Type variétal	Variété de colza	Surface parcelle (m ²)	Indice de forme (Gravelius)	Présence / absence de haie
C01N08	NORD	CHL	ES Anibal	25 342,5	1,15078979	Pas de haie
C03N08	NORD	CHL	Standing	15 038,8	1,23299161	Pas de haie
C04N08	NORD	CHL	Standing	16 980,3	1,258668	Pas de haie
C06N08	NORD	CHL	Standing	30 596,2	1,37710717	Pas de haie
C09N08	NORD	CHL	Standing	69 521,5	1,31977248	Pas de haie
C10N08	NORD	CHL	Standing	113 131,1	1,4517389	Pas de haie
C05S08	SUD	CHL	Standing	12 036,7	1,1584681	Pas de haie
C02N08	NORD	HR	PR46W14	50 481,7	1,21948599	Haie
C07N08	NORD	HR	Palmedor	73 946,3	1,14005666	Pas de haie
C08N08	NORD	HR	PR46W14	29 603,6	1,31797853	Haie
C04S08	SUD	HR	Pelican	14 146,8	1,30646663	Haie
C06S08	SUD	HR	Palmedor	4 236,9	1,54603284	Pas de haie
C07S08	SUD	HR	Palmedor	4 301,5	1,50139552	Pas de haie
C08S08	SUD	HR	Palmedor	4 212,4	1,35359282	Haie
C09S08	SUD	HR	Palmedor	30 360,4	1,37721522	Haie
C10S08	SUD	HR	Palmedor	14 412,8	1,12218799	Pas de haie
C01S08	SUD	L	Gospel	30 179,2	1,30575527	Haie
C02S08	SUD	L	Gospel	6 206,7	1,36143607	Pas de haie
C03S08	SUD	L	Gospel	9 027,8	1,18615479	Haie
C05N08	NORD	NC	NC	10 806,3	1,41194688	Pas de haie

Tableau 1 : Caractéristiques des parcelles de colza échantillonnées en 2008 (Capture des pollinisateurs)
Remarque : **CHL**=Composite Hybride Lignée **L**=Lignée **HR**=Hybride restauré

Parcelles	Site	Variété de colza	Type variétal	Famille	Surface parcelle (m ²)	Indice de forme (Gravelius)	Présence/ absence de haie
C09S09	SUD	Standing	CHL	Classique	19225,1	1,413599835	Haie
C01N09	NORD	Pelican	HR	Classique	31596,1	1,117139984	Pas de haie
C02N09	NORD	Pelican	HR	Classique	15026,9	1,174844752	Haie
C03N09	NORD	Pelican	HR	Classique	14774,4	1,382806244	Haie
C06N09	NORD	PR44W22	HR	Classique	18296,7	1,225245167	Pas de haie
C08S09	SUD	Pelican	HR	Classique	48860,8	1,078672693	Haie
C04N09	NORD	Palmedor	HR	Erucique	44549,5	1,226371034	Pas de haie
C05S09	SUD	Palmedor	HR	Erucique	44115,1	1,19282868	Pas de haie
C10N09	NORD	Palmedor	HR	Erucique	43084,1	1,15834835	Pas de haie
C07S09	SUD	NC	NC	NC	13737,2	1,383519813	Haie

Tableau 2 : Caractéristiques des parcelles de colza échantillonnées en 2009 (Comptage des fleurs de colza)

La variabilité des surfaces des parcelles rend complexe la notion de « centre » qui sera utilisée pour désigner la distance la plus éloignée de la bordure échantillonnée. En effet, les distances du centre au bord du champ sont très variables selon la forme de la parcelle.



Sur le schéma 2, la distance centre-bordure est variable en fonction de la bordure qui est échantillonnée. Ce facteur est donc important à considérer notamment pour les analyses portant sur la répartition des pollinisateurs sur la parcelle cultivée de colza.

Ainsi, pour les parcelles échantillonnées en 2008, la différence $D2 - D1$ (schéma 2) peut aller de 22 mètres (pour les parcelles les plus carrées) à 130 mètres (pour les parcelles les plus rectangulaires).

B. Modèles biologiques

B. 1) La culture de colza d'hiver

Le colza (*Brassica napus*) est une plante cultivée de la famille des Brassicacées. C'est une espèce hermaphrodite dont le système de reproduction est mixte (autogamie partielle) (Pierre et Renard, 1995). Bien que les résultats diffèrent selon les variétés, il semblerait que le colza soit capable de produire 70% de ses fruits par autopollinisation (Downey et al., 1970, in Mc Gregor ; Mesquida, 1981). La pollinisation croisée n'est donc pas indispensable à sa reproduction mais elle améliore son rendement (Mesquida, 1981 ; Steffan-Dewenter, 2003 ; Kamler et Jaš, 2003a, Sabbahi, 2005, Pierre et al. en prép.). Le pollen lourd et collant de ses fleurs limite la pollinisation anémophile et favorise la pollinisation entomophile. C'est une plante mellifère de premier ordre dont le nectar est fortement concentré en sucre (Mesquida et al., 1988 ; Kamler et Jaš, 2003b ; Koltowski, 2007). Cette propriété la rend particulièrement appétante pour les pollinisateurs.

Par ailleurs, il existerait un lien entre la densité de fleurs de colza et l'abondance des pollinisateurs. Taséi (1978 in Brunel et al., 1994) a en effet évalué qu'au cours de la période de floraison (relativement longue par rapport à d'autres cultures fleuries) les densités de populations de butineuses (abeilles domestiques) fluctuaient corrélativement avec l'intensité de la floraison.

La physionomie générale de la plante (ramifications, inflorescences, taille des pieds, etc.) présentent des différences en fonction de la variété cultivée. En Europe tempérée, la floraison du colza d'hiver a lieu en avril et mai durant 3 à 7 semaines (Pesson et Louveaux, 1984).

B. 2) Pollinisateurs étudiés

Pour notre étude nous regrouperons sous le terme « pollinisateurs » les Hyménoptères Apoïdés (abeilles domestiques, abeilles solitaires, bourdons) et les Diptères Syrphidés. Ces

quatre groupes constituent l'essentiel de la faune pollinisatrice du colza bien que d'autres espèces aient déjà été recensées, notamment des espèces de coléoptères.

B. 2) a. Hyménoptères Apoïdés

La Super-famille des Apoïdés regroupe 7 familles d'abeilles au sens large du terme. Une famille, celle des Apidés renferme entre autres les espèces dites sociales, représentées principalement par les abeilles domestiques et les bourdons. Les 6 autres familles regroupent des espèces d'abeilles dites « solitaires », c'est-à-dire qu'il n'y a pas de castes d'ouvrières ni de coopération entre les individus (Payette, 1998). Les abeilles solitaires représentent près de 85% des espèces parmi les Apoïdés (Villemant, 2007).

L'abeille domestique, *Apis mellifera*, est l'insecte pollinisateur que l'on trouve en plus grand nombre dans certaines régions agricoles (Payette, 1998). Ce sont des colonies permanentes qui se reproduisent par essaimage. L'espèce compte 3 castes, une seule reine qui pond les œufs, des ouvrières stériles et quelques mâles « faux-bourdons » (Payette, 2000). Les bourdons comportent la même organisation de caste. La principale différence entre ces deux genres d'Apinae réside sur le fait que les colonies d'abeilles domestiques persistent plusieurs années alors que chez les bourdons tous les membres, excepté la reine, meurent chaque année (Pouvreau, 2004). De plus, le miel produit par les abeilles domestiques est exploité à des fins commerciales contrairement à celui des bourdons. Ainsi, l'abondance de cette espèce est liée à l'activité apicole d'une région.

Les Apoïdés peuvent présenter différentes spécificités alimentaires et leur catégorisation selon ce critère peut se traduire par une terminologie complexe. Pour simplifier, les espèces capables de prélever du pollen sur diverses familles de plantes sont dites polylectiques. Les espèces ne se nourrissant que d'une seule famille ou genre de plantes sont appelées oligolectiques. Cette spécialisation de certaines espèces d'abeilles pour un nombre réduit de végétaux repose en partie sur des critères morphologiques de la fleur et de l'abeille. Parmi les Apoïdés, les représentants de 3 familles (Colletidés, Andrenidés, Halictidés) possèdent généralement une langue ou glosse courte, tandis que les abeilles des 4 autres familles (Mellitidés, Megachilidés, Anthophoridés et Apidés) sont pourvues d'une langue bien développée, pointue et souvent très longue (Villemant, 2007). Cette modification des pièces buccales mise en relation avec la forme de la corolle de la fleur explique partiellement les préférences alimentaires des abeilles. Toutefois, le degré de spécialisation d'une espèce pour une plante dépend également de la qualité du nectar et du pollen.

La température et les précipitations sont les principaux facteurs météorologiques influençant l'activité des abeilles. Les bourdons sont connus pour être plus résistants et peuvent faire face à des conditions climatiques plus rudes que les abeilles solitaires et les abeilles domestiques (Heinrich et Raven, 1972).

B. 2) b. Diptères Syrphidés

Les syrphes appartiennent à l'ordre des Diptères et sont remarquables pour leur mimétisme avec les guêpes, les bourdons ou les abeilles (Pouvreau, 2004). Ces insectes ne sont pas sociaux. Ainsi, contrairement aux abeilles, ils ne collectent pas de pollen et de nectar pour leurs congénères mais seulement pour leur progéniture au moment de la reproduction. Ils sont pollinivores ou nectarivores.

Bien que l'action pollinisatrice de ces insectes ait été peu étudiée, il semblerait qu'ils jouent un rôle non négligeable dans la pollinisation de certaines cultures. Ainsi, l'importance d'une espèce de syrphe (*Episyrphus balteatus*) dans la pollinisation du colza a été récemment démontrée (Jauker et Wolters, 2008).

B. 2) c. Capacités de vol et échelle de perception du paysage

L'ensemble des pollinisateurs étudiés ne présentent pas les mêmes capacités de vol, et ainsi ne perçoivent pas le paysage de la même façon. Or, c'est également l'aptitude à se déplacer plus ou moins loin dans le paysage qui justifiera la présence d'un individu à un endroit donné.

Les distances intertégulaires (ITD) des abeilles domestiques, des espèces de bourdons et d'abeilles solitaires capturées en 2008 ont été renseignées par Mr. Stuart Roberts, chercheur à l'Université de Reading (Annexe IV). Greenleaf et al. (2007) ont utilisé des distances intertégulaires mesurées sur des Apoïdés pour les comparer avec les capacités de vol de ces insectes. La distance intertégulaire est une mesure de la distance entre la base des ailes, c'est-à-dire une mesure de la largeur du thorax. Leurs résultats ont permis de mettre en évidence une corrélation entre la capacité de vol et la distance intertégulaire, cette dernière étant également reliée à la taille du corps des abeilles (masse corporelle sèche) (Cane, 1987 in Greenleaf et al., 2007). Ainsi, les grandes abeilles prospecteraient plus loin que les plus petites. De plus, des études montrent que les Apoïdés présentent des capacités de vol contrastées en fonction de leur famille ou de leur espèce. Les abeilles domestiques (Visscher et Seeley, 1982 ; Beekman et Ratnieks, 2000) et les bourdons (Walther-Hellwig and Frankl, 2000 ; Chapman 2003 ; Darvill, 2004 ; Knight, 2005 ; Westphal, 2006) disposent globalement des mêmes capacités de dispersion de l'ordre de 500 mètres à plusieurs kilomètres.

Pour les abeilles solitaires les distances parcourues sont plus faibles, de l'ordre de 150 à 600 mètres (Gathmann et Tschamtkke, 2002).

Chez les syrphes, peu d'informations sont disponibles quand à leur capacité de déplacement. Des distances de vol maximales de 200 mètres pour 3 espèces de syrphes sont documentées par Wratten et al. (2003). Les femelles peuvent se disperser dans le paysage de façon linéaire, alternant nourrissage et ponte alors que les abeilles doivent retourner à leur nid après chaque recherche de nourriture (Kleijn et van Langevelde, 2006).

C. Acquisition des données

C. 1) Enquêtes et acquisitions des caractéristiques des parcelles étudiées

Pour le travail de thèse de Violette Le Féon, des enquêtes auprès des agriculteurs cultivant les parcelles utilisées pour son étude étaient nécessaires afin d'obtenir des informations sur les modalités de gestion des bords de champs et sur les interventions effectuées sur les parcelles. Au total, 26 agriculteurs furent interviewés. Dans ce cadre, sur les 15 agriculteurs exploitant les parcelles impliquées dans l'expérience, 13 furent rencontrés et les informations concernant les caractéristiques des parcelles échantillonnées purent être rassemblées (Tab. 1 et 2). Une brève analyse des résultats de l'ensemble des enquêtes (26

agriculteurs) ainsi que le questionnaire des entretiens figurent dans l'Annexe I. Quelques résultats seront utilisés en discussion de l'étude.

C. 2) Récolte des pollinisateurs en 2008

Le travail de terrain fut effectué pendant la période de floraison du colza, du 12 avril au 17 mai de l'année 2008. Pour une prise en compte de la dimension temporelle dans l'étude, les captures furent réalisées sur 3 sessions successives déterminées par différentes périodes successives de floraison du colza (début de floraison, pic de floraison, défloraison).

Chaque journée de terrain fut entreprise sous des conditions météorologiques aussi semblables que possibles, compatibles avec l'activité des insectes, c'est-à-dire une température supérieure à 15°C et une couverture nuageuse inférieure à 50% (Vaissière, Chifflet et Le Féon, Protocole d'échantillonnage de la faune pollinisatrice, GMBIOIMPACT, 2007).

La capture des insectes a nécessité l'utilisation d'un filet à papillons surmonté d'une poche à mailles fines pour faciliter la récupération des individus prélevés. Sur chaque parcelle, le procédé fut identique. Trois points de capture au filet furent établis en trois positions dans la parcelle : la bordure, à 5m de la bordure et au « centre » de la parcelle. Pour chaque position, ces 3 points de prélèvements furent espacés de 10 mètres. En chaque point, 3 coups de filet furent portés, à l'aveugle, à hauteur des inflorescences superficielles de colza. Les individus capturés furent tués à l'aide d'acétate d'éthyle pour procéder ensuite à la détermination de l'espèce.

C. 3) Evaluation de la ressource disponible en 3 emplacements dans la parcelle : Mesure de la densité de fleurs de colza en 2009

L'acquisition des données de terrain a été effectuée du 13 avril au 13 mai 2009. L'expérience avait pour but d'évaluer la densité de fleurs de colza, potentiellement la ressource disponible, sur les 3 secteurs de parcelle échantillonnés en 2008. Afin de pouvoir mettre en relation les informations acquises au cours de cet échantillonnage et les données « pollinisateurs » de 2008, les positions de prélèvements (bordure, 5m et centre) étaient imposées dès le départ.

La culture du colza ne peut être envisagée sur la même parcelle au cours de deux années successives. Une rotation longue d'au moins 5 ans est d'ailleurs préconisée. Ainsi, les parcelles échantillonnées en 2008 furent différentes de celles de 2009.

De plus, au vu de la variabilité du nombre de fleurs par pieds au sein de la même parcelle et au vu de l'effort de travail à fournir, il fut nécessaire de réduire le nombre de parcelles pour augmenter la précision du résultat. C'est pourquoi seulement 10 parcelles furent considérées en 2009.

Afin de pouvoir effectuer des comparaisons avec les données d'abondance en pollinisateurs acquises en 2008, 3 sessions de comptages de fleurs ont été programmées en 2009. Pour que les périodes de floraison coïncident et que l'abondance en ressource florale soit identique entre les deux années, des comptages de fleurs « tests » ont été effectués en 2008 et en 2009.

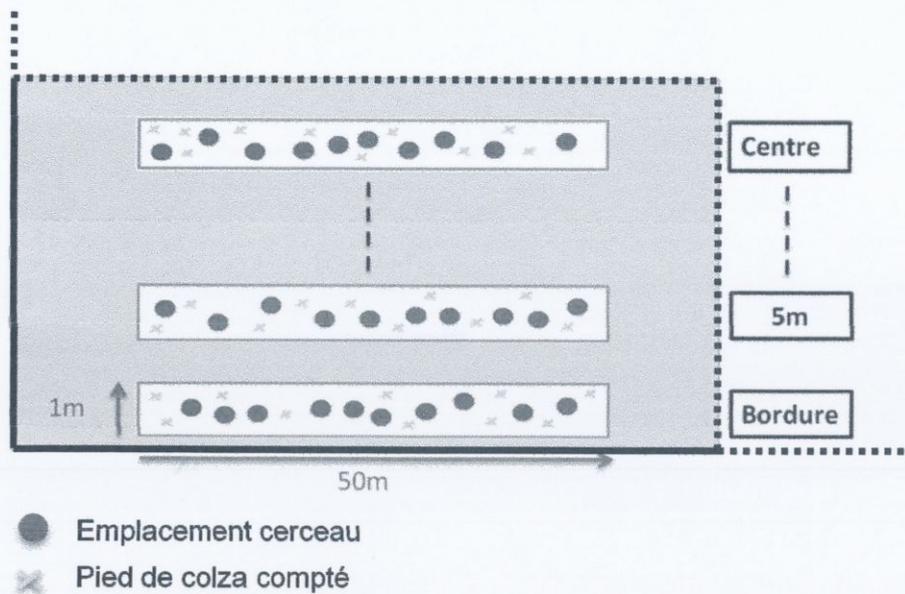


Fig. 1 : Représentation schématique du protocole d'acquisition des données sur une parcelle de colza

La figure 1 représente le protocole d'acquisition des données sur une parcelle cultivée en colza. Trois bandes de 50m² furent considérées en bordure, à 5m et au centre de la parcelle. Sur chacune de ces bandes, 10 pieds de colza furent choisis aléatoirement afin de comptabiliser le nombre de fleurs épanouies par pied. Une fleur est considérée comme épanouie si elle porte ses 4 pétales (Vaissière, Chifflet et Le Féon, Protocole d'échantillonnage de la faune pollinisatrice, GMBIOIMPACT, 2007). Sur chaque bande, 10 jets au hasard d'un cerceau de 80cm de diamètre furent entrepris. Le nombre de pieds de colza dont au moins une inflorescence était contenue à l'intérieur du cerceau fut dénombré.

D. Traitement des données

D. 1) Les données insectes

D. 1) a. Abondance des pollinisateurs en fonction de la position dans la parcelle

Des comparaisons de moyennes des abondances d'insectes par point de capture en fonction de la position dans la parcelle ont été réalisées. Par ce faire, le test T de Student (Aspin-Welch) avec un niveau de confiance de 95% a été réalisé (R, 2008 ; R Commander Version 1.4-10). Ce test a été entrepris sur l'ensemble des insectes échantillonnés puis sur chaque groupe de pollinisateurs (abeille domestique, abeille solitaire, bourdon, syrphe) afin d'étudier leur comportement propre.

D. 1) b. Analyse canonique des correspondances des espèces en fonction de variables environnementales

Afin de comprendre quelles variables environnementales pouvaient influencer la répartition des différentes espèces, une analyse canonique des correspondances a été réalisée à l'aide du logiciel Canoco 4.5 (Ter Braak et Smilauer, 1998). L'analyse porta sur 4 variables

environnementales : le type variétal du colza, forme de la parcelle (indice de Gravelius), la distance minimale centre-bordure, et la présence ou l'absence de haie sur la bordure échantillonnée.

D. 1) c. Comparaison des tailles moyennes des Apoïdes en fonction de leur position dans la parcelle

Des comparaisons de moyennes des ITD entre les trois positions dans la parcelle ont été effectuées à l'aide d'un test t de Student (Aspin-Welch). (R, 2008 ; R Commander Version 1.4-10)

D. 2) Masse florale

D. 2) a. Caractérisation de la densité de fleurs en 3 positions dans la parcelle

La densité de fleurs de colza pour chaque position fut calculée en multipliant le nombre moyen de fleurs par pieds en chaque position par le nombre de pieds de colza présents dans un cerceau.

Pour mettre en évidence une éventuelle différence de densités de fleurs entre 3 positions sur l'ensemble des parcelles échantillonnées, le nombre moyen de fleurs par pieds et par position fut calculé à partir de l'ensemble des pieds comptés sur les 10 parcelles. Le but ici est de caractériser un phénomène fort. Ce « pooling » de l'ensemble des pieds (100 par position) permet ainsi d'augmenter la précision sur la moyenne calculée en multipliant par 10 le nombre d'individus dans l'échantillon.

En fonction de l'analyse qui sera réalisée, différents pooling seront effectués selon les caractéristiques des parcelles qui seront étudiées. Par exemple, pour étudier l'impact de la présence d'une haie sur la floraison, tous les pieds des parcelles bordées d'une haie seront pris en compte pour calculer le nombre moyen de fleurs par pied.

D. 2) b. Comparaison des densités en fonction des positions

Des tests de comparaisons de moyennes de Student (Aspin-Welch) ont été réalisés (R, 2008 ; R Commander Version 1.4-10) pour comparer les densités de fleurs entre :

- le centre et la bordure
- le centre et la position à 5m de la bordure
- la position à 5m de la bordure et la bordure

D. 2) c. Comparaison des densités en fonction des variables environnementales et agronomiques

Trois variables ont été testées : la présence ou absence de haie, la surface des parcelles et la variété de colza. Pour mettre en évidence l'effet de ces facteurs, des tests de Student (Aspin-Welch) (R, 2008 ; R Commander Version 1.4-10) ont été effectués entre :

- les différentes positions pour les parcelles présentant le même facteur
- les parcelles présentant deux modalités d'un facteur, pour chacune des positions

Pour étudier ces facteurs simultanément, une analyse canonique des correspondances a été réalisée à l'aide du logiciel Canoco 4.5 (Ter Braak et Smilauer, 1998). Quatre variables

environnementales ont été prises en compte : les 3 précédemment décrites et la forme des parcelles (indice de Gravelius).

D. 3) Confrontation de l'abondance des pollinisateurs en 2008 avec la distribution de la ressource florale en 2009

Afin de mettre en évidence un lien éventuel entre la présence des pollinisateurs et la quantité de ressources disponibles, nous confronterons les résultats obtenus en 2008 et 2009. Toutefois, les données ayant été récoltées sur deux années différentes, le lien entre ces deux variables ne sera pas quantifier.

RESULTATS

A. Abondance et morphologie des pollinisateurs en trois positions sur la parcelle cultivée de colza

A. 1) Abondance des pollinisateurs en 3 positions dans la parcelle

A. 1) a. Répartition de l'ensemble des insectes

Les comparaisons des moyennes d'abondance de l'ensemble des pollinisateurs selon la position sur la parcelle montrent **la présence d'un nombre d'individus significativement plus élevé au centre (C) et à 5m qu'en bordure (B) de parcelle.** (Fig. 5, $p = 7.447e-09$ pour la différence 5m - B et $p = 9.666e-12$ pour la différence C - B).

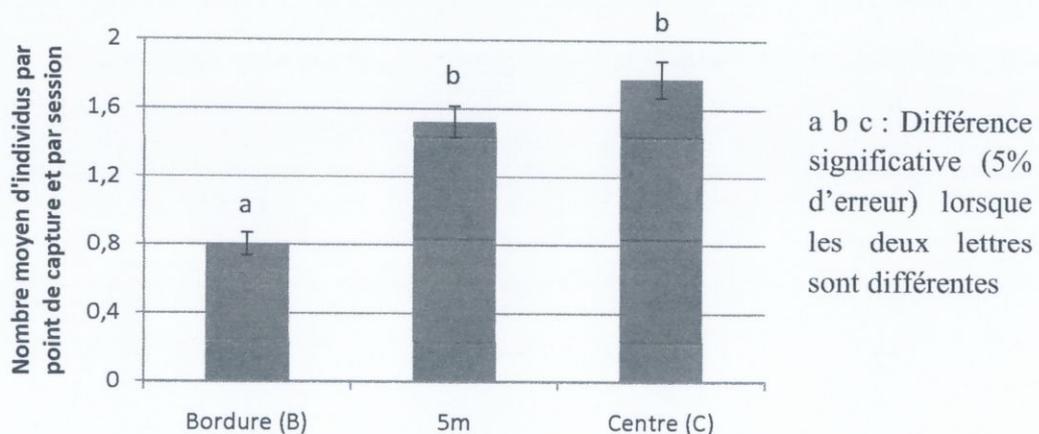


Fig. 5 : Comparaison de l'abondance de l'ensemble des pollinisateurs en fonction de la position dans la parcelle

A. 1) b. Répartition des 4 groupes étudiés

Afin d'obtenir une vision plus précise des pollinisateurs qui fréquentent majoritairement l'intérieur des parcelles, des comparaisons sont effectuées entre les 4 groupes d'insectes pollinisateurs étudiés. **Il en ressort que chez trois groupes, les pollinisateurs sont plus abondant à l'intérieur des parcelles (5m+centre) qu'en bordure.** C'est le cas chez

l'abeille domestique (Fig. 6, $p = 1.188e-06$ pour la différence C - B et $p = 4.168e-05$ pour 5m - B), chez les bourdons, avec une abondance maximale aux centres des parcelles (Fig.6, $p = 0.001462$ pour la différence C - 5m, $p = 3.279e-08$ pour C - B et $p = 2.220e-05$ pour 5m - B) et enfin chez les syrphes (Fig. 6, $p = 0.0341$ pour C - B et $p = 0.0007406$ pour 5m - B).

Pour les abeilles solitaires, aucune différence significative d'abondance selon la position n'est démontrée (Fig. 6).

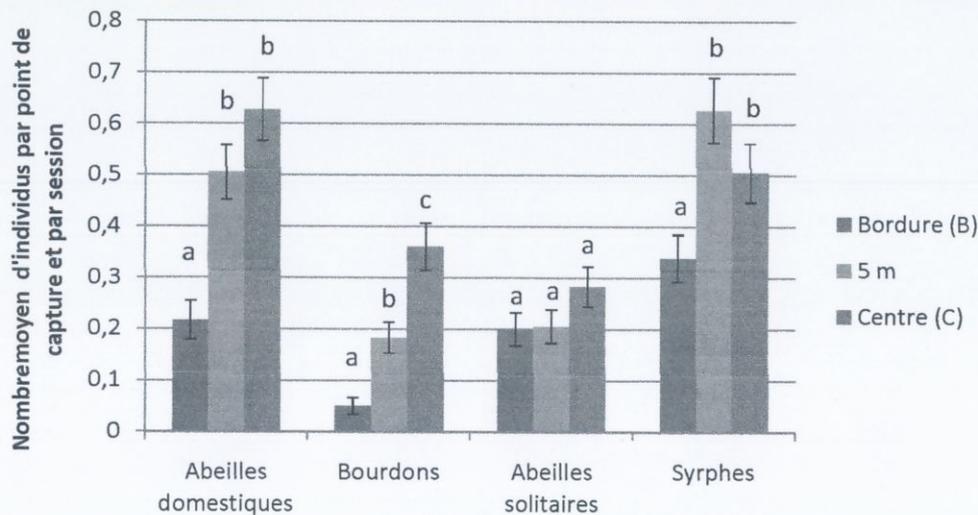


Fig. 6: Comparaison de l'abondance des 4 groupes d'insectes pollinisateurs capturés en bordure, à 5m de la bordure et au centre de la parcelle cultivée en colza

A. 1) c. Répartition des différentes espèces en fonction de la position dans la parcelle

Au total, 29 espèces différentes d'Apoïdés pour un total de 469 individus (Fig. 7, Tab. 1 Annexe III) et 20 espèces de Syrphes sur 265 individus (Fig. 8, Tab. 2 Annexe III) furent capturées et identifiées pour l'ensemble des parcelles échantillonnées en 2008. Parmi les Apoïdés, les abeilles solitaires présentent la plus forte richesse spécifique (19 espèces). Dix espèces sociales ont également été capturées, 9 espèces de bourdons et l'abeille domestique.

La figure 7 représente les différentes espèces d'Apoïdés identifiées et leurs abondances respectives pour chacune des 3 positions échantillonnées dans la parcelle. Pour faciliter la lecture du graphique, l'abeille domestique (*Apis mellifera*, 253 individus) n'est pas prise en compte, cette dernière espèce étant surreprésentée. Nous pouvons noter que beaucoup d'espèces ne sont représentées que par un seul individu ce qui limite l'exploitation des données.

Toutefois, nous pouvons constater que la tendance observée précédemment sur le comportement des bourdons dans la parcelle se confirme. En effet, les individus capturés sont très présents au centre. Ils présentent une forte capacité de pénétration à l'intérieur de la parcelle cultivée pour l'ensemble des espèces rencontrées.

Chez les abeilles solitaires, la tendance est plus contrastée entre les espèces. Plusieurs espèces (*Andrena nitida*, *Andrena nigroaena*, *Andrena haemorrhoa*, *Andrena cineraria*, *Andrena carantonica*) semblent présentes sans distinction sur les 3 positions échantillonnées dans la parcelle. Une espèce, *Andrena dorsata*, apparaît moins cosmopolite et n'est pratiquement capturée qu'en bordure (Fig. 7).

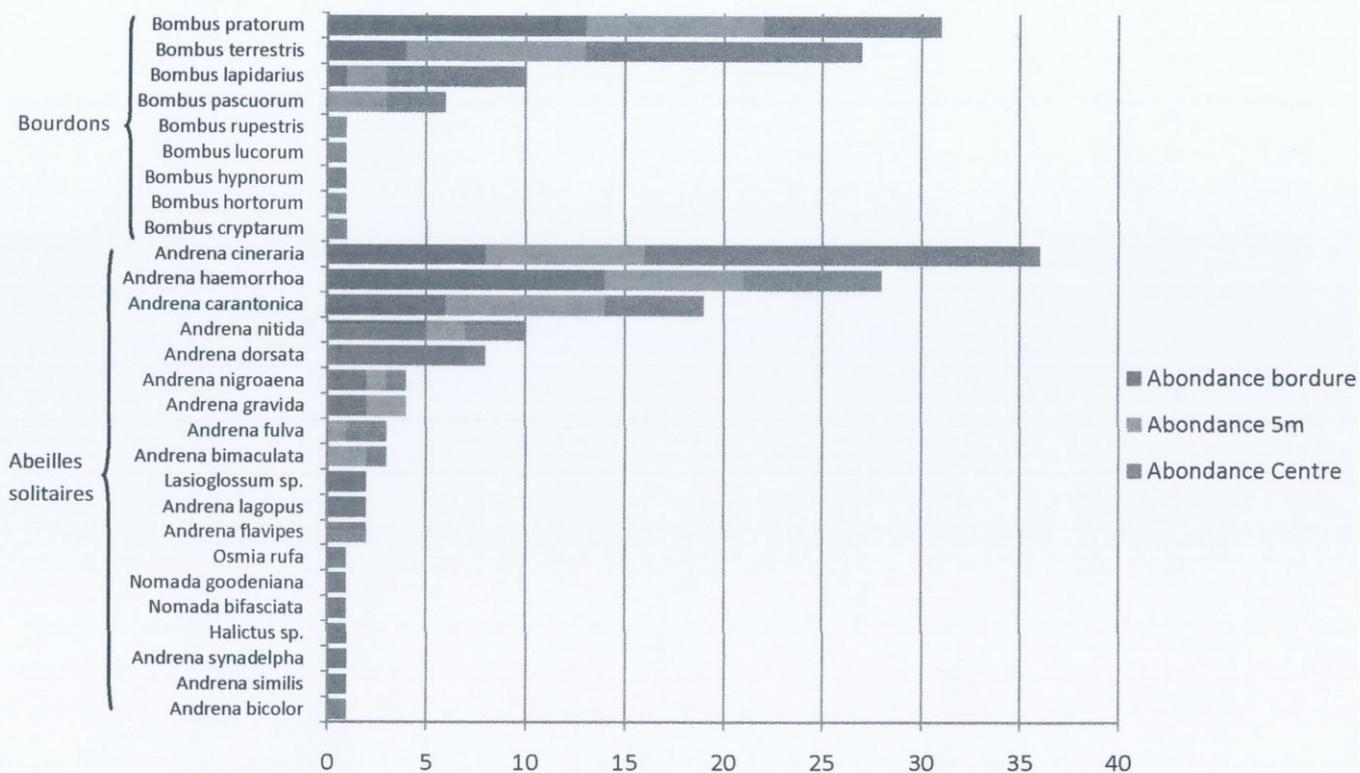


Fig. 7 : Espèces d'Apoïdés capturées et leur abondance en fonction de la position dans la parcelle

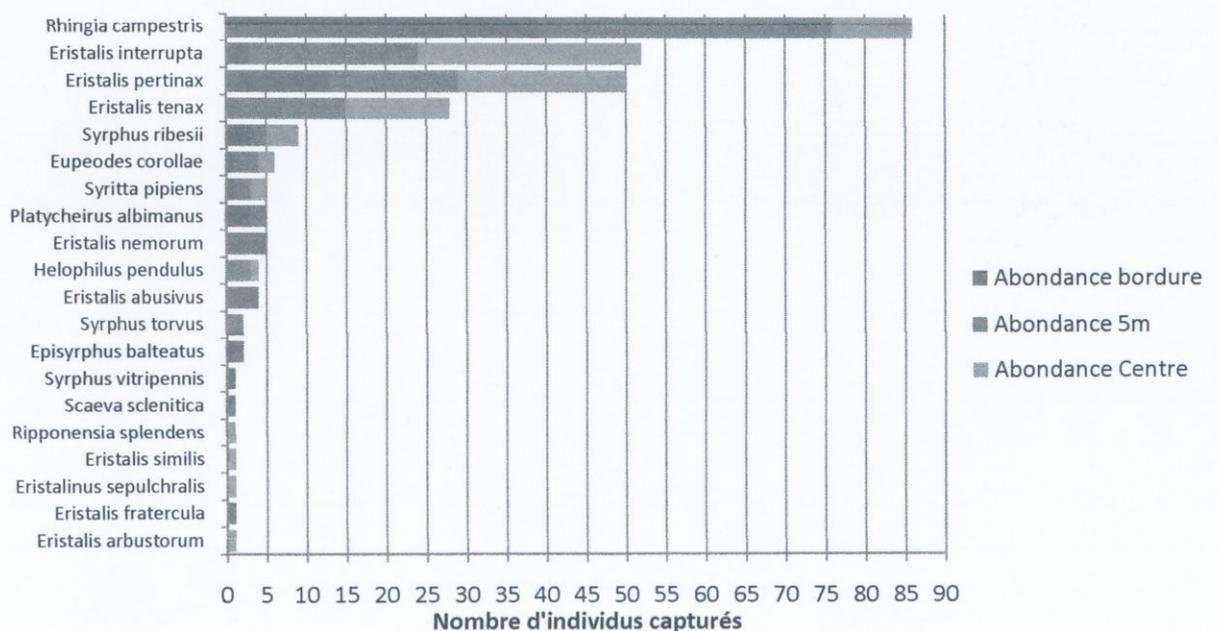


Fig. 8 : Espèces de Diptères Syrphidés capturées et leur abondance en fonction de la position dans la parcelle

La figure 8 renseigne les différentes espèces de syrphes capturées et leurs abondances respectives. *Rhingia campestris* est l'espèce la plus fréquente. Sa répartition est assez

homogène selon la position, bien qu'elle semble délaisser le centre des parcelles. Deux autres espèces, *Eristalis tenax* et *Eristalis interrupta*, semblent plutôt éviter les bordures. Par contre, *Eristalis pertinax* semble généralement réparti de façon homogène sur les parcelles.

Les Syrphes présentent une richesse spécifique importante mais pour beaucoup d'espèces peu représentées, il est difficile de tirer des conclusions.

A. 2) Distribution des espèces en fonction des variables environnementales et agronomiques

Les espèces rares (abondance = 1 ind.) ont été retirées du jeu de données. Le tableau « espèces » compte 687 individus pour un totale de 30 espèces. Les variables environnementales considérées pour l'analyse sont : la forme des parcelles (indice de Gravelius), la distance minimale centre-bordure (distance entre le centre de la parcelle et la bordure la plus proche), et deux variables disjonctées, la présence/absence de haie (valeur 1 quand présence, 0 quand absence de haie) et le type variétal (valeur 1 pour CHL et valeur 0 pour HR et L).

L'analyse canonique effectuée entre les données espèces et les variables environnementales expliquent près de 30% de l'inertie totale, les deux premiers axes comptant pour 21% de l'inertie totale. Le test de Monte Carlo se révèle significatif pour le premier axe ($p=0,02$) et pour l'ensemble des axes canoniques ($p=0,011$).

Le premier axe est associé à un effet de la forme des parcelles (Fig. 9). Seule cette variable est significativement associée à la distribution des espèces entre les parcelles. La distance minimale séparant le centre des parcelles et leurs bordures est inversement corrélée à la forme des parcelles. Ce résultat apparaît logique, les parcelles les plus allongées présentant des indices de forme élevés mais une courte distance centre-bordure.

Variables environnementales	p	% relatif de l'inertie totale expliquée	Coefficients de corrélation	
			Axe 1	Axe 2
Forme des parcelles *	0.030	30	0.7163	0.1298
Dist. minimale Centre-bordure	0.058	30	-0.7315	0.1194
Présence/absence de haie	0.111	22	0.3075	-0.8933
Variété	0.354	19	-0.5757	0.1616

Tab. 3 : Probabilité critique, pourcentage d'inertie expliquée et coefficients de corrélation entre les variables environnementales et les deux premiers axes de l'ACC

Les espèces se répartissent donc le long de l'axe 1 entre des parcelles de formes simples à plus complexes (Fig. 9). Il est difficile d'interpréter ce résultat. Toutefois, il est possible de supposer que les espèces présentes dans les parcelles les plus exigües (à droite sur le graphique) sont des espèces à faible capacité de déplacement, contrairement aux espèces présentes dans les parcelles les plus grandes et carrées (à gauche sur le graphique).

L'effet du type variétal sur la présence des pollinisateurs, qui était l'effet testé en priorité, n'est pas démontré.

L'axe 2 est principalement expliqué par le type de bordure qui longe les parcelles, c'est-à-dire la présence ou l'absence de haie, toutefois cette variable n'est pas significative.

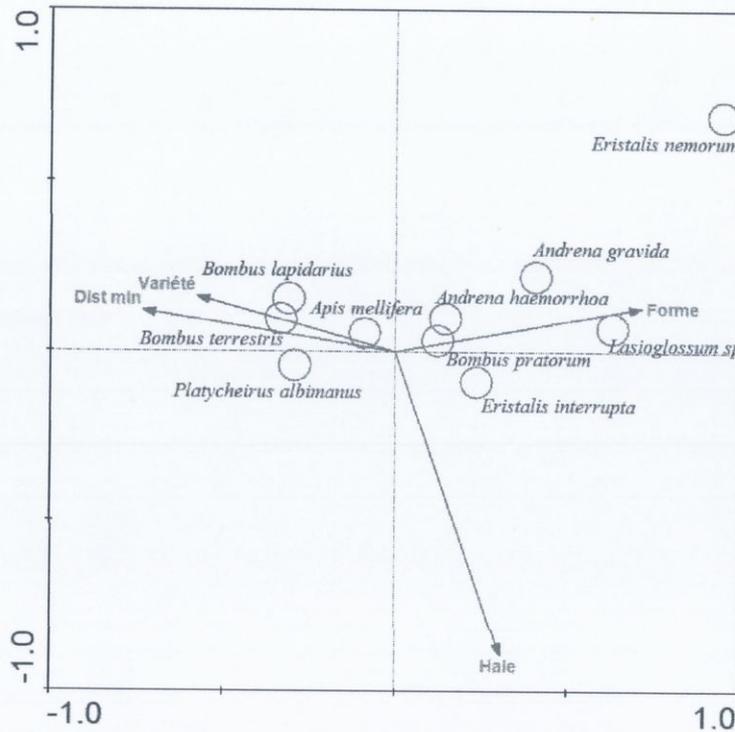


Fig. 9 :

Représentation des espèces sur le plan de l'ACC prenant en compte les espèces dont l'abondance est >1 et les variables environnementales pour les 20 parcelles échantillonnées.

Seules les espèces ayant un poids >10% dans la construction de l'axe 1 ont été figurées.

A. 3) Comparaison de la distance intertégulaire des différents groupes d'Apoïdés en fonction de la position dans la parcelle

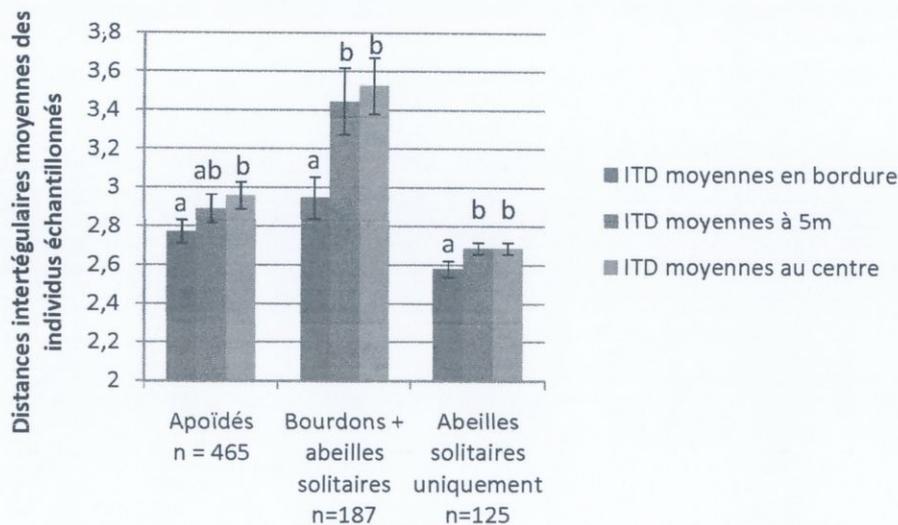


Fig. 10 : Comparaison des distances intertégulaires (ITD) moyennes de l'ensemble des Apoïdés, de l'ensemble des individus de bourdons et d'abeilles solitaires puis des abeilles solitaires uniquement en fonction de la position dans la parcelle

Pour ce test, les distances intertégulaires (ITD) moyennes de l'ensemble des Apoïdés, puis des bourdons et des abeilles solitaires et enfin celles des abeilles solitaires uniquement furent comparées en fonction de leur position dans la parcelle. Ce test ne comprend pas les syrphes pour lesquels le lien entre la taille et la capacité de vol n'est pas démontré.

L'ensemble des Apoïdés présente en moyenne des distances intertégulaires plus grandes au centre de la parcelle qu'en bordure (Fig. 10, $p = 0.04595$). Il n'y a pas de différences significatives entre les ITD des Apoïdés du centre de la parcelle et ceux présents à 5m ni entre les individus à 5m dans la parcelle et ceux de bordure. L'abeille domestique (ITD = 2,56) est ensuite écartée du jeu de données puisque son omniprésence peut dissimuler le poids des ITD des autres individus dans les comparaisons.

Les individus sont significativement plus grands au centre de la parcelle (Fig. 10, $p = 0.000308$) et à 5m (Fig. 10, $p = 0.005814$) par rapport à la bordure pour l'ensemble des bourdons et des abeilles solitaires. **Puisque nous avons remarqué que les bourdons butinaient majoritairement au centre des parcelles**, leurs tailles peuvent contribuer majoritairement à ce résultat. Il est alors intéressant de refaire le test en ne considérant que les abeilles solitaires. Il en ressort que les abeilles solitaires capturées sont en moyenne de plus grandes tailles au centre des parcelles et à 5m qu'en bordure (Fig. 10, $p = 0.04321$ pour la différence 5m - B et $p = 0.04384$ pour la différence C - B). En regardant de plus près le jeu de données, il semble toutefois que ce résultat n'est pratiquement dû qu'à une seule espèce d'abeilles solitaires de petite taille, *Andrena dorsata*, fréquentant très majoritairement la bordure du champ. Les individus de cette seule espèce tirent la moyenne des ITD des individus de bordure vers le bas et semblent expliquer par leur seule présence la significativité du test de Student.

B. Caractérisation de la densité de fleurs de colza en trois positions sur la parcelle cultivée

B. 1) Densité de fleurs de colza en 3 positions dans la parcelle

En considérant l'ensemble des 10 parcelles échantillonnées, il existe en moyenne une différence des densités de fleurs entre les 3 positions considérées dans la parcelle. La densité de fleurs est significativement plus élevée au centre des parcelles qu'en bordure (Fig. 11, resp, $p = 1.666e-08$ et $p < 2.2e-16$). La densité de fleurs est également supérieure à 5m à l'intérieur de la parcelle qu'en bordure de champ (Fig. 11, $p < 2.2e-16$).

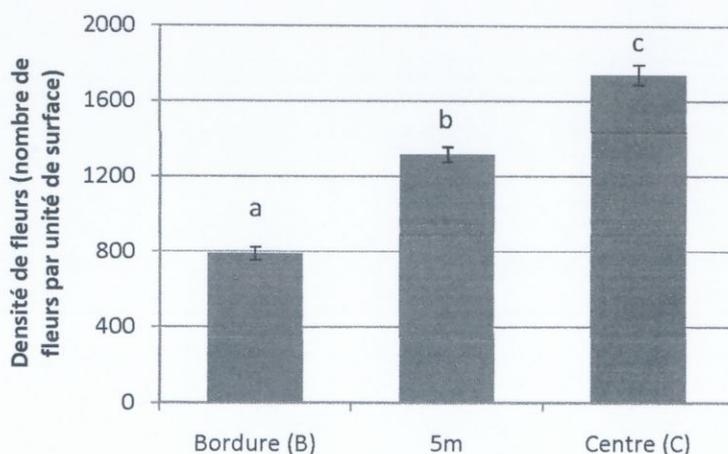


Fig. 11 : Comparaison des densités de fleurs calculées entre les 3 positions « bordure de parcelle », « 5m à l'intérieur de la parcelle » et « centre de la parcelle »

B. 2) Etude de l'influence de caractéristiques agronomiques et environnementales sur la distribution des densités de fleurs de colza sur la parcelle

B. 2) a. Effet haie

Les parcelles bordées d'une haie (5 parcelles) présentent des densités de fleurs plus faibles en bordure qu'à 5m (Fig. 12, $p = 1.304e-06$) et qu'au centre de la parcelle (Fig. 12, $p < 2.2e-16$). En outre, au centre, il y a significativement plus de fleurs qu'à 5m (Fig. 12, $p = 1.499e-09$). Les parcelles dépourvues de haie sur la bordure échantillonnée (5 parcelles) affichent les mêmes différences significatives (Fig. 12, $p < 2.2e-16$ pour la différence C - B et $p = 2.028e-15$ pour la différence 5m - B) sauf pour la comparaison entre le centre et 5m où le test n'est pas significatif.

De plus, les parcelles sans haies ont des densités de fleurs plus élevées que les parcelles longées d'une haie, en bordure (Fig. 13, $p = 1.872e-15$), à 5m (Fig. 13, $p < 2.2e-16$) et jusqu'au centre des parcelles (Fig.13, $p = 2.234e-11$).

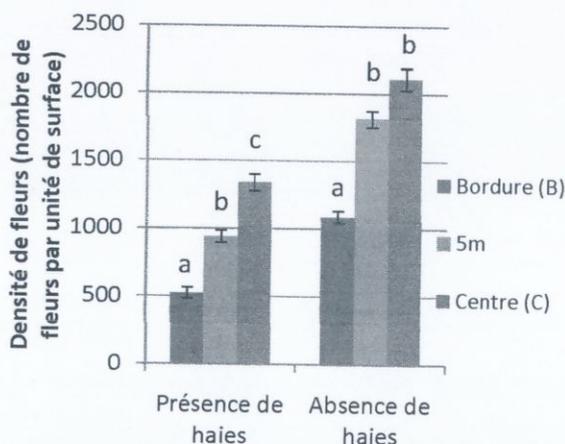


Fig. 12 : Effet de la position dans la parcelle en fonction du type de bordure considérée

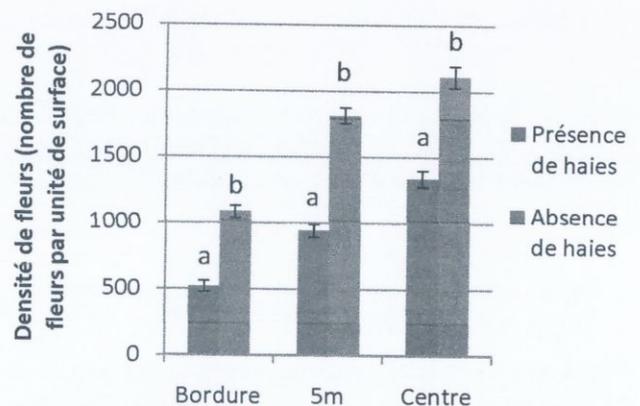


Fig. 13 : Effet de la présence ou de l'absence de haie en fonction de la position considérée

B. 2) b. Effet taille

Pour pouvoir comparer les densités de fleurs en fonction de la taille des parcelles, les parcelles ont été rassemblées en deux groupes. Le premier englobe les parcelles de « grandes tailles » ayant une surface supérieure à 4 hectares et le second regroupe les parcelles de « petites tailles » dont les surfaces ne dépassent pas 2 hectares.

Pour les « petites » parcelles les densités de fleurs augmentent entre la bordure et 5m (Fig. 14, $p = 7.281e-10$) et entre la bordure et le centre des parcelles (Fig. 14, $p < 2.2e-16$). Cet accroissement est également significatif de 5m vers le centre (Fig. 14, $p = 4.019e-08$). Dans les « grandes » parcelles, les bordures sont, en moyenne, plus clairsemées que les centres de champs (Fig. 14, $p = 1.517e-13$). Ce résultat est identique dans la comparaison des positions 5m et bordure (Fig. 14, $p = 1.149e-09$). Par contre, les densités semblent identiques entre le centre et 5m à l'intérieur de la parcelle, le test de Student n'étant pas significatif.

En outre, nous pouvons constater que les parcelles de « grandes » tailles ont des densités de fleurs significativement plus élevées en bordure (Fig. 15, $p = 0.03704$) et à 5m (Fig. 15, $p = 0.0001547$) que les parcelles de « petites » tailles. Par contre, il n'y a pas de différence de densité de fleurs entre les centres des parcelles de « grandes » et de « petites » tailles.

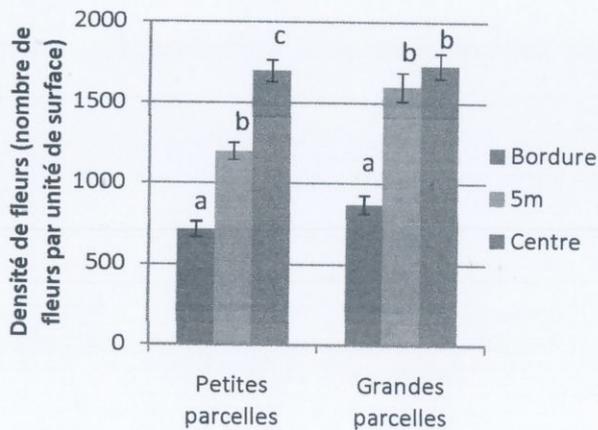


Fig. 14 : Effet de la position dans la parcelle en fonction de la taille des parcelles

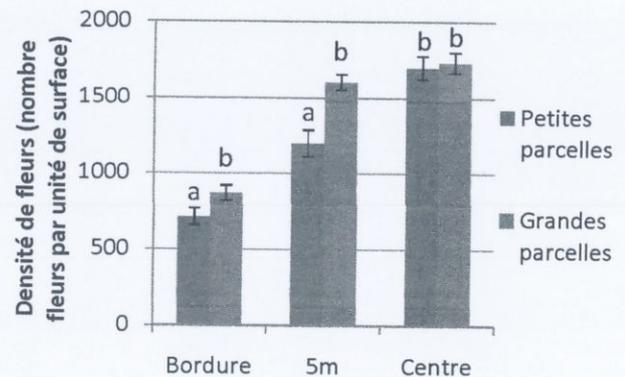


Fig. 15 : Effet de la taille des parcelles en fonction de la position considérée

B. 2) c. Effet variété

Les parcelles de 2009 ne présentant qu'une seule parcelle de type variétal CHL contre 8 parcelles HR (Tab.2), l'étude de l'effet de ce facteur sur la floraison n'a pas été retenue. Toutefois, parmi ces parcelles, 4 étaient semées avec un cultivar (Pelican) de la famille des colzas classiques et 3 étaient cultivées avec un cultivar érucique (Palmedor). Ces deux familles de colza présentant des différences morphologiques, c'est sur ce critère qu'ont été regroupées les parcelles comparées par la suite.

En moyenne, les 4 parcelles cultivées avec la variété « Pelican » présentent des densités de fleurs supérieures dans leurs centres par rapport aux positions « 5m » (Fig. 16, $p = 2.092e-05$) et « bordure » (Fig. 16, $p = 2.455e-15$). Les densités sont également plus importantes à 5m qu'en bordure (Fig. 16, $p = 5.764e-09$).

Sur les parcelles cultivées avec la variété de colza érucique Palmedor, les densités de fleurs s'égalisent entre le centre de la parcelle et 5m (Fig. 16) puisque le test n'est pas significatif. Les densités restent supérieures au centre (Fig. 16, $p = 4.384e-08$) et à 5m par rapport à la bordure de la parcelle (Fig. 16, $p = 5.45e-09$).

Enfin, aucune différence de densité n'est établie entre les deux variétés de colza en bordure et à 5m à l'intérieur de la parcelle. Toutefois, aux centres des parcelles, la variété « Pelican » affiche, en moyenne, une densité de fleurs plus élevée que la variété « Palmedor » (Fig. 17, $p = 0.0002240$).

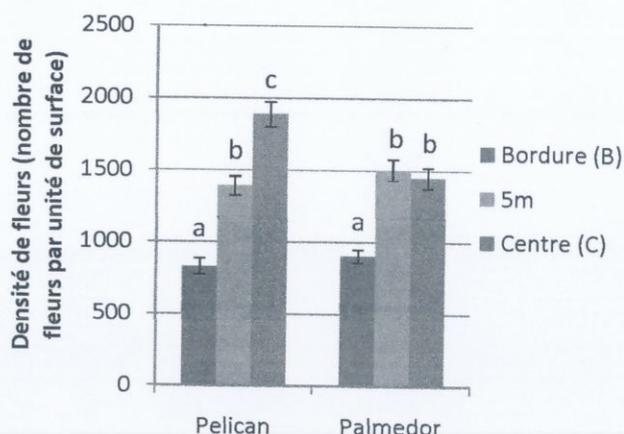


Fig. 16 : Effet de la position en fonction de la variété cultivée

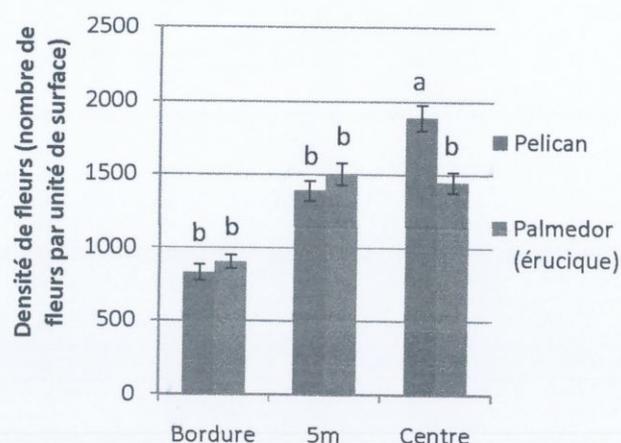


Fig. 17 : Effet de la variété en fonction de la position considérée

B. 2) d. Synthèse des résultats sur les 3 facteurs testés

Afin de donner une vision globale des facteurs influençant la distribution des fleurs de colza et de comprendre les possibles interactions entre ces effets, il semble utile de confronter ces informations dans des tableaux (Tab. 4 et 5).

	Bordure	5m	Centre
Haie - Pas haie	*	*	*
Grande - Petite	*	*	NS
Pelican - Palmedor	NS	NS	*

* le test est significatif
NS le test n'est pas significatif

Tab. 4 : Effets du type de bordure, de la taille des parcelles et de la variété sur la floraison en fonction de la position dans la parcelle

	Parcelle avec haie	Parcelle sans haie	Grande parcelle	Petite parcelle	Parcelle "Pelican"	Parcelle "Palmedor"
Bordure-Centre	*	*	*	*	*	*
Bordure-5m	*	*	*	*	*	*
5m-Centre	*	NS	NS	*	*	NS

Tab. 5 : Effet de la position dans la parcelle pour un facteur environnemental ou agronomique choisi

Le tableau 5 montre des résultats pratiquement similaires de l'effet de la position pour les parcelles rassemblées selon une caractéristique environnementale ou agronomique. Seules les réponses entre les positions « centre » et « 5m » varient. Ainsi, il est difficile de faire ressortir l'influence d'une variable plutôt que d'une autre. Ces résultats sont essentiellement dus à la faiblesse et au choix de l'échantillon qui entraîne des combinaisons et corrélations entre les facteurs qui ne sont alors pas considérés « toutes choses égales par ailleurs ».

B. 3) Hiérarchisation des facteurs : analyse multivariée

Pour tenter de comprendre quel(s) facteur(s) influence(nt) le plus la floraison du colza, une analyse canonique des correspondances a été réalisée. Le jeu de données « espèces » est constitué par les 10 parcelles pour les lignes et par les 3 positions « bordure », « 5m » et « centre » pour les colonnes. Chaque cellule renseigne donc la valeur moyenne de densité de fleurs par parcelle pour une position considérée.

Les variables environnementales sont les 3 précédemment décrites (présence/absence de haie, taille, variété) et la forme des parcelles (indice de Gravelius). L'objectif ici est de répondre à la question : quels facteurs peuvent expliquer la distribution spatiale de la floraison ?

Le test de Monte-Carlo effectué s'est révélé non significatif ($p = 0,3$). Ce résultat peut être attribué à l'imprécision sur le calcul des densités de fleurs par position et surtout par parcelle. En effet, calculer le nombre moyen de fleurs par pied pour une seule parcelle revient à évaluer cette moyenne à partir de 10 pieds au lieu de 30, 50 ou 100 (selon l'hypothèse étudiée) sur les tests précédents. Il en résulte des imprécisions parfois élevées de l'estimation de la densité de fleurs pour certaines parcelles. En outre, la faiblesse de l'échantillon entraîne une multiplicité de combinaisons entre les variables environnementales ce qui empêche de faire ressortir le(s) facteur(s) les plus influents.

C. Relation entre l'abondance des pollinisateurs et la ressource disponible

Cette quatrième partie a pour fin de mettre en parallèle les jeux de données « pollinisateurs » et « ressource en colza » et de vérifier s'il existe un lien entre l'abondance des insectes pollinisateurs et la répartition des fleurs de colza. Des figures précédemment utilisées peuvent être réinsérées dans le texte.

C. 1) Comparaison de la densité de fleurs et de l'abondance en pollinisateurs selon la position dans la parcelle

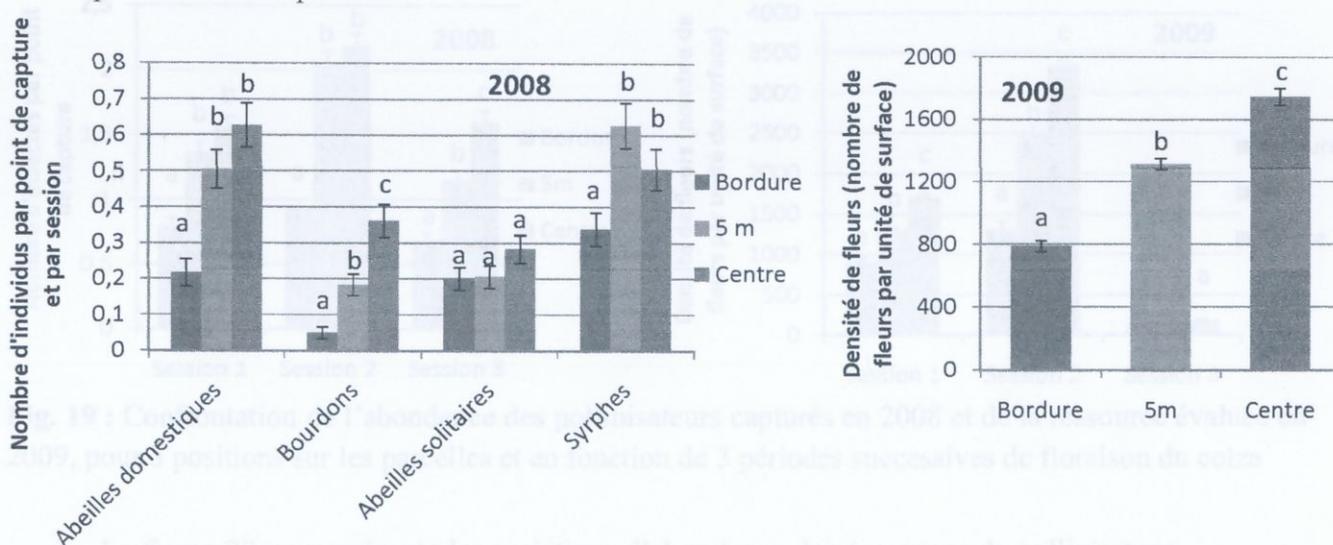


Fig. 18 : Confrontation de l'abondance des 4 groupes de pollinisateurs capturés en 2008 et de la quantité de ressources disponibles en 3 positions sur la parcelle de colza en 2009

seconde session. Les abeilles domestiques et les bourdons semblent désertier le site au cours de la troisième session de capture (Fig. 20, resp $p=2.697e-05$ pour S1-S3, $p=2.441e-05$ pour S2-S3 et $p=0.002750$ pour S2-S3) alors que les abondances d'abeilles solitaires et de syrphes semblent peu affectées.

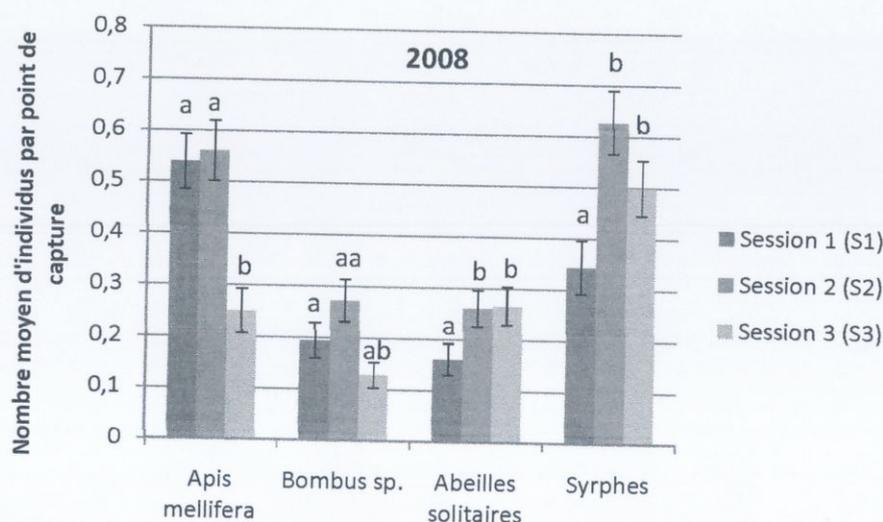


Fig. 20 : Comparaison de l'abondance de 4 groupes de pollinisateurs sur la parcelle cultivée de colza en fonction de 3 stades de floraison

DISCUSSION

A. Répartition des pollinisateurs sur la parcelle

A. 1) Contexte et observations générales

Pour les pollinisateurs en général, la parcelle cultivée de colza représente une surface étendue pouvant offrir une quantité exceptionnelle de ressources énergétiques de nectar et de pollen (Westphal et al., 2003). Cette caractéristique rend les champs de colza très attractifs et l'étude de l'exploitation de ces réserves de fleurs et de la répartition des pollinisateurs sur les parcelles semble importante. Certaines des espèces capturées sur les champs de colza lors de notre étude en 2008 ont déjà été observées sur le colza au cours d'études antérieures. Ainsi, Pesson et Louveaux (1984) relatent la présence d'*Andrena nitida*, *Andrena grandidata* et *Andrena haemorrhoa* sur les parcelles de colza et l'expliquent du fait de la simultanéité des floraisons du colza et d'arbres fruitiers que fréquentent ces andrènes (ex : pommiers, poiriers). De même en Belgique, Delbrassine et Rasmont (1998) avaient noté la présence d'*Apis mellifera*, *Bombus terrestris*, *Bombus lucorum*, *Bombus cryptarum* et *Bombus lapidarius* sur des champs de colza. De plus, Calabuig (2000) et Stuart Roberts (com. pers.) soulignent le statut polylectique et la préférence pour des Brassicacées de la majorité des espèces d'abeilles solitaires et de bourdons qui ont été capturées. Pour les syrphes, nous avons capturé un seul

individu d'*Episyrphus balteatus* dont l'activité pollinisatrice sur le colza a été démontrée par Jaunker (2008).

A. 2) Répartition de l'ensemble des pollinisateurs

L'ensemble des pollinisateurs capturés sur 20 parcelles au cours de 3 sessions de captures représente 49 espèces pour 734 individus et montre en moyenne une plus forte exploitation de l'intérieur des parcelles. Il est alors possible d'imaginer que l'activité pollinisatrice est plus importante au cœur des parcelles cultivées.

A. 3) Répartition des 4 groupes étudiés

Pour affiner l'analyse nous avons regardé les comportements de 4 grands groupes de pollinisateurs, chaque groupe présentant des critères taxonomiques, morphologiques et comportementaux différents comme nous avons pu le voir dans la partie matériel et méthodes. Il ressort que l'abondance des 2 genres d'Apoïdés sociaux (Bourdons et Abeille domestique) augmente de la bordure vers le centre des parcelles, bien que l'abondance des abeilles domestiques ne soit pas significativement supérieure au centre qu'à 5 m. Ces résultats semblent, au moins partiellement, corroborer ceux obtenus dans le travail de thèse d'Isabel Calabuig (2000). Dans cette étude réalisée sur une seule parcelle de colza au Danemark, l'abondance de bourdons augmentait linéairement en pénétrant vers le centre de la parcelle. Ainsi, notre étude et celle de Calabuig appuient la préférence des bourdons à l'exploitation des ressources du centre des parcelles de colza. Concernant les abeilles solitaires, notre analyse ne démontre pas de préférence particulière de ces dernières pour les bords des parcelles, contrairement à l'étude de Calabuig dans laquelle l'abondance d'abeilles solitaires diminuait de façon exponentielle en pénétrant dans la parcelle. Toutefois, nous pouvons remarquer que la distance de la bordure vers le centre de la parcelle de cette expérience mesurait 190 mètres alors que la moyenne des distances bord-centre calculée sur l'ensemble des parcelles de notre expérience était de 52 mètres en 2008. Cette différence pourrait expliquer nos résultats contrastés concernant les abeilles solitaires.

Chez les syrphes, il est uniquement possible d'affirmer que leurs représentants délaissent les bordures.

A. 4) Répartition des différentes espèces

L'analyse au niveau espèce de la répartition des pollinisateurs permet de faire ressortir quelles sont les espèces prépondérantes et de mettre en évidence les espèces qui fréquentent la totalité de la surface de la parcelle ou celles qui s'y limitent à une position particulière.

Les espèces de bourdons capturées en nombre important (*Bombus terrestris*, *Bombus lapidarius*, *Bombus pratorum*) présentent globalement le même schéma de répartition sur la parcelle. Ces espèces semblent explorer l'ensemble de la parcelle avec une affinité particulière pour le centre. Toutefois, du fait d'un nombre d'individus assez limité les comparaisons espèce par espèce n'ont pas été effectuées.