

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

N° de Série.08/TS/2008

N° d'Ordre 01/CH/2008

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Spécialité : Entomologie appliquée



THEME

**Diversité et activité pollinisatrice des abeilles (Hymenoptera:
Apoidea) sur les plantes cultivées**

Présentée par : BENACHOUR Karima

Soutenue le 25 février 2008

Jury:

Présidente: Prof. Khalfallah N.

(Université Mentouri - Constantine)

Rapporteur : Prof. Louadi K.

(Université Mentouri - Constantine)

Examineurs : Prof. Doumandji S.

(INA - El Harrach - Alger)

: Prof. Samraoui B.

(Université de Guelma)

: Dr. Berchi S.

(M.C Université Mentouri - Constantine)

: Dr. Achou M.

(M.C Université d'Annaba)

Remerciements

Je remercie le Professeur Kamel Louadi de l'Université Mentouri de Constantine pour avoir dirigé ce travail, pour ses conseils et ses orientations et à qui j'exprime toute ma gratitude.

Je remercie tout aussi chaleureusement :

Madame le Professeur Khalfallah Nadhra (UMC) pour avoir acceptée de présider le jury

Le Professeur Doumandji Salaheddine de l'INA d'Alger, le Professeur Samraoui Boudjemaa de l'Université de Guelma, les docteurs Berchi Selima (Maître de conférence à l'UMC) et Achou Mohamed (Maître de conférence à l'Université d'Annaba) pour l'intérêt et le temps qu'ils ont consacré à ce manuscrit.

Il m'est aussi agréable de remercier :

Le Professeur Pierre Rasmont du Laboratoire de Zoologie de l'Université de Mons Hainaut (Belgique) pour m'avoir accueilli en stage.

Le Docteur Michaël Terzo du Laboratoire de Zoologie de l'UMH (Belgique) pour l'aide apportée à l'identification des abeilles, à la réalisation de l'article et pour son amabilité.

Mr Boudjellel Abdelghani, Directeur de l'Institut de Nutrition, d'Alimentation et des Technologies Agro-alimentaires (UMC) pour avoir mis à ma disposition la parcelle de l'Institut.

Je remercie très affectueusement mes parents, ma sœur Nassima, mes frères : Abderrahim, Toufik, Lyès et Kheireddine ainsi que ma tante Ouarda pour leur aide et leur soutien.

Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Un grand Merci à Azzeddine Arfa.

LISTE DES FIGURES

- Figure 1.** Structure générale d'un Apoidea (d'après Scheuchl 1995).
- Figure 2.** Patte postérieure d'un apoïde.
- Figure 3.** Aile antérieure d'un apoïde.
- Figure 4.** Schéma de la pollinisation (d'après Pouvreau 2004).
- Figure 5 (A, B et C).** Schéma des différents types de pollinisation (d'après Pouvreau 2004).
- Figure 6.** Patte postérieure de la femelle de *Lasioglossum leucozonium* (Halictidae) (d'après Pouvreau 2004).
- Figure 7.** Brosse ventrale d'une femelle d'*Anthidium* sp (Megachilidae) (d'après Pouvreau 2004).
- Figure 8.** Tête d'abeille avec pièces buccales (abeille à langue courte) (d'après Scheuchl 1995).
- Figure 9.** Section longitudinale de la fleur de *Vicia faba* (d'après Stoddard & Bond 1987).
- Figure 10.** Fleur de *Pisum sativum* (sans corolle).
- Figure 11 (a et b).** Section longitudinale de la fleur femelle (a) et mâle (b) de *Cucurbita pepo* (d'après Mc Gregor 1976).
- Figure 12.** Coupe longitudinale de la fleur mâle (a) et femelle (b) de *Cucumis sativus* (d'après Mc Gregor 1976).
- Figure 13.** Fleur de *Brassica napus* avec pétales et sépales supprimés (d'après Ross-Craig 1949 in Free 1993).
- Figure 14.** Section longitudinale de la fleur de *Raphanus sativus* (d'après Mc Gregor 1976).
- Figure 15.** Fleur de *Beta vulgaris* (d'après Robbins 1931 in Free 1993).
- Figure 16.** Section médiane de la fleur de *Solanum tuberosum* (d'après Robbins 1931 in Free 1993).
- Figure 17.** Section longitudinale de la fleur de *Lycopersicon esculentum* (d'après Mc Gregor 1976).
- Figure 18.** Limites administratives de la wilaya de Constantine.
- Figure 19.** Photo de la Parcelle de Hamma Bouziane.
- Figure 20.** Photo de la Parcelle de l'INATAA.
- Figure 21.** Méthode des quadrats pour l'observation et le comptage des apoïdes.

Figure 22. Pourcentages des produits floraux récoltés par *Eucera numida* (a) et *Apis mellifera* (b) sur *Vicia faba* aux différentes heures de la journée (floraison 2001).

Figure 23. Evolution du nombre d'*Eucera numida* sur *Pisum sativum* pendant la période de floraison (2001).

Figure 24. Pourcentages des produits floraux récoltés par *Eucera numida* sur *Pisum sativum* aux différentes heures de la journée (floraison 2001).

Figure 25. Production des fleurs mâles et femelles par les plants de *Cucurbita pepo* pendant les floraisons de 2001 (a) et de 2003 (b) et sex ratio floral (SRF: ♂/♀).

Figure 26. Evolution du nombre de visites d'*Apis mellifera* sur *Cucurbita pepo* en relation avec la densité des fleurs au cours des floraisons de 2001 (a) et de 2003 (b).

Figure 27. Nombres moyens (\pm erreur standard) de visites d'*Apis mellifera* enregistrées sur *Cucurbita pepo* aux heures d'observation durant les floraisons de 2001 et de 2003.

Figure 28. Recherche alimentaire d'*Apis mellifera* sur *Cucurbita pepo* aux heures d'observation durant les floraisons de 2001 et de 2003.

Figure 29. Densités florales moyennes (par m²) de *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001 (a) et de 2002 (b).

Figure 30. Evolution du nombre des visites florales effectuées par l'abeille domestique et les abeilles sauvages sur *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001(a) et de 2002 (b).

Figure 31. Evolution du nombre moyen de visites aux différentes heures de la journée des principaux pollinisateurs sur *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001(a) et de 2002 (b).

Figure 32. Nombres moyens (\pm erreur standard) de visites enregistrées par *Apis mellifera*, *lasioglossum mediterraneum* et les andrènes sur *Brassica rapa* aux différentes heures de la journée (floraison de 2003).

Figure 33. Pourcentages des produits floraux récoltés par *A. mellifera* (a) et *L. mediterraneum* (b) sur *Brassica rapa* aux différentes heures de la journée (floraison 2003).

Figure 34. Activité de butinage des principaux pollinisateurs de *Raphanus sativus* aux différentes heures de la journée (floraison de 2004).

Figure 35. Pourcentages des produits floraux récoltés par *Ceratina cucurbitina* sur *Raphanus sativus* aux différentes heures de la journée (floraison 2004).

Figure 36. Pourcentages des produits floraux récoltés par *Lasioglossum mediterraneum* sur *Raphanus sativus* aux différentes heures de la journée (floraison 2004).

Figure 37. Pourcentages des produits floraux récoltés par *Lasioglossum pauxillum* sur *Raphanus sativus* aux différentes heures de la journée (floraison 2004).

Figure 38. Pourcentages des produits floraux récoltés par *Lasioglossum malachurum* sur *Raphanus sativus* aux différentes heures de la journée (floraison 2004).

Figure 39. Evolution du nombre de visites (moyenne \pm erreur standard) des principaux Halictidae rencontrés sur *Beta vulgaris* aux différentes heures de la journée pendant la floraison de 2003.

Figure 40. Pourcentages des produits floraux récoltés par *Lasioglossum mediterraneum*, *Lasioglossum lativentre* et *Lasioglossum malachurum* sur *Beta vulgaris* pendant la floraison de 2003.

Figure 41 (a, b et c). Recherche alimentaire des principaux Halictidae rencontrés sur *Beta vulgaris* aux différentes heures de la journée (floraison 2003).

Figure 42. Répartition des familles d'apoïdes sur les différentes plantes maraîchères.

Figure 43 (a et b). Activité journalière d'*A. mellifera* et d'*E. numida* en relation avec les facteurs climatiques (floraison de *Vicia faba* en 2001).

Figure 44 (a et b). Activité journalière de *L. mediterraneum* en relation avec les facteurs climatiques (floraison de *Beta vulgaris* en 2003).

Figure 45 (a et b). Activité journalière de *M. leachella* en relation avec les facteurs climatiques (floraison de *Cucumis sativus* en 2002).

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Variétés, dates de semis et systèmes de plantation des différentes plantes étudiées.

Tableau 2. Nombres moyens des pollinisateurs par 100 fleurs de *Vicia faba* pendant les floraisons de 2000, 2001 et 2002.

Tableau 3. Nombre de visites observées et de visites pollinisantes pour les deux espèces les plus abondantes, *Eucera numida* et *Apis mellifera*, sur les fleurs de *Vicia faba* pendant les trois floraisons.

Tableau 4. Répartition des visites (en %) d'*Eucera numida* et d'*Apis mellifera* sur *Vicia faba* selon le produit floral récolté et l'efficacité pollinisatrice de ces visites pendant la floraison de 2001.

Tableau 5. Vitesse de butinage d'*Eucera numida* et d'*Apis mellifera* sur *Vicia faba* pendant les trois floraisons.

Tableau 6. Rendement grainier moyen de *Vicia faba* dans les quadrats libres (QL) et encagés (QE) pendant la floraison de 2001.

Tableau 7. Indices moyens de fertilité de *Vicia faba* calculés à partir des plantes de 6 quadrats (3 libres et 3 encagés) pendant la floraison de 2001.

Tableau 8. Nombres de visites observées et nombres moyens des pollinisateurs par 100 fleurs de *Pisum sativum* pendant la floraison de 2001.

Tableau 9. Répartition des visites (en %) d'*Eucera numida* sur *Pisum sativum* selon le produit récolté et l'efficacité pollinisatrice de ses visites durant la période de floraison (2001).

Tableau 10. Rendement grainier et indices moyens de fertilité de *Pisum sativum* en présence (quadrats libres) et en absence de pollinisateurs (quadrats encagés) pendant la floraison de 2001.

Tableau 11. Densités moyennes par 100 fleurs des pollinisateurs de *Cucurbita pepo* pendant les floraisons de 2001 et de 2003.

Tableau 12. Répartition (en %) des visites d'*Apis mellifera* (*Apis*) et des abeilles sauvages (AS) sur *Cucurbita pepo* selon le produit récolté durant les floraisons de 2001 et de 2003.

Tableau 13. Temps moyens (en secondes) de visite par fleur d'*Apis mellifera* durant les floraisons de *Cucurbita pepo* en 2001 et en 2003.

Tableau 14. Rendement de *Cucurbita pepo* en présence et en absence de pollinisateurs pendant la floraison de 2001.

Tableau 15. Densités journalières dans 7 m² des fleurs (staminées et pistillées) et ratio S/P floral de *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001 et de 2002.

Tableau 16. Densités moyennes par 100 fleurs des pollinisateurs de *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001 et de 2002.

Tableau 17. Vitesse de butinage d'*A. mellifera*, de *C. cucurbitina* et des mégachiles sur *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001 et de 2002.

Tableau 18. Pourcentages des visites effectuées par l'abeille domestique et les abeilles sauvages sur les fleurs mâles (♂) et femelles (♀) de *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001 et de 2002.

Tableau 19. Temps moyens (en secondes) dépensés par *A. mellifera*, *C. cucurbitina* et les mégachiles sur les fleurs mâles (♂) et femelles (♀) de *C. sativus* pendant la floraison de 2002.

Tableau 20. Test d'égalité des variances (test de Fisher) du temps dépensé sur les fleurs pistillées par les 5 espèces.

Tableau 21. Rendement de *Cucumis sativus* en présence et en absence de pollinisateurs pendant la floraison de 2003.

Tableau 22. Densités moyennes par m² des pollinisateurs de *Brassica rapa* pendant la floraison de 2003.

Tableau 23. Répartition des visites (en %) pour les deux espèces les plus abondantes, *Apis mellifera* et *Lasioglossum mediterraneum* sur *Brassica rapa* selon le produit floral récolté et l'efficacité pollinisatrice de ses visites pendant la floraison de 2003.

Tableau 24. Vitesse de butinage d'*Apis mellifera* et de *Lasioglossum mediterraneum* sur *Brassica rapa* pendant la floraison de 2003.

Tableau 25. Rendement grainier de *Brassica rapa* en présence (quadrats libres) et en absence (quadrats encagés) de pollinisateurs (floraison de 2003).

Tableau 26. Nombres moyens par 100 fleurs des pollinisateurs de *Raphanus sativus* pendant la floraison de 2004.

Tableau 27. Répartition des visites (en %) de *Ceratina cucurbitina* et des Halictidae les plus abondants sur *Raphanus sativus* selon le produit floral récolté et l'efficacité pollinisatrice de ses visites pendant la floraison de 2004.

Tableau 28. Vitesse de butinage de *Ceratina cucurbitina* et des principaux Halictidae rencontrés sur *Raphanus sativus* pendant la floraison de 2004.

Tableau 29. Nombre de visites observées et de visites pollinisantes pour les espèces les plus abondantes sur les fleurs de *Raphanus sativus* pendant la floraison de 2004.

Tableau 30. Rendement grainier de *Raphanus sativus* en présence et en absence de pollinisateurs (floraison de 2004).

Tableau 31. Nombres moyens par m² des pollinisateurs de *Beta vulgaris* pendant la floraison de 2003.

Tableau 32. Vitesse de butinage des principaux Halictidae rencontrés sur *Beta vulgaris* pendant la période de floraison (2003).

Tableau 33. Nombres moyens d'abeilles (domestiques et sauvages) enregistrés aux différentes heures de la journée en relation avec les facteurs climatiques (valeurs moyennes) pendant la floraison de 4 plantes.

Tableau 34. Matrices des coefficients de corrélation entre les facteurs climatiques et le nombre d'abeilles.

Tableau 35. Régression linéaire multiple entre les facteurs climatiques et le nombre d'abeilles.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I. DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

I. Généralités sur la faune des apoïdes

1. Aperçu sur la distribution géographique des apoïdes
2. Structure anatomique des apoïdes

II. Les rapports mutuels entre fleurs et abeilles

1. Notion de pollinisation et de fécondation
2. La supériorité de la pollinisation croisée sur l'autopollinisation
3. Les différents agents pollinisateurs
4. Importance de la pollinisation par les abeilles sur la production agricole
5. La valeur économique de la pollinisation par les insectes
6. Utilisation des abeilles sauvages dans la pollinisation des plantes cultivées

III. Situation de l'agriculture en Algérie et importance des cultures maraîchères

1. Les cultures maraîchères dans la région de Constantine

VI. Données générales sur les plantes étudiées

1. La fève
2. Le petit pois
3. La courgette
4. Le concombre
5. Le navet
6. Le radis
7. La betterave
8. La pomme de terre
9. La tomate

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

1. Données géographiques et climatiques de la wilaya de Constantine
2. Caractérisation des stations d'étude et plantes étudiées
3. Inventaire et densité de la faune pollinisatrice
4. Observation et comportement de butinage des abeilles
5. Etude de l'influence des facteurs climatiques sur les populations d'abeilles

6. Evaluation de l'effet de la pollinisation par les abeilles sur le rendement des plantes
7. Identification des apoïdes et des plantes spontanées
8. Analyse statistique des données

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

I. Diversité et activité pollinisatrice des apoïdes sur les plantes étudiées

1. La fève (*Vicia faba* L.)

- 1.1. Floraison de la plante
- 1.2. Diversité et densité des pollinisateurs
- 1.3. Comportement de butinage et efficacité pollinisatrice
- 1.4. Recherche alimentaire des abeilles
- 1.5. Effet de la pollinisation entomophile sur le rendement grainier
- 1.6. Discussion

2. Le petit pois (*Pisum sativum* L.)

- 2.1. Floraison de la plante
- 2.2. Densité et diversité des pollinisateurs
- 2.3. Activité journalière, comportement de butinage et efficacité pollinisatrice
- 2.4. Recherche alimentaire de *Eucera numida*
- 2.5. Effet de la pollinisation entomophile sur le rendement grainier
- 2.6. Discussion

3. La courgette (*Cucurbita pepo* L.)

- 3.1. Production des fleurs et sex- ratio
- 3.2. Diversité et densité des pollinisateurs
- 3.3. Activité quotidienne de l'abeille domestique
- 3.4. Comportement de butinage et efficacité pollinisatrice
 - Durée de visite sur les fleurs
- 3.5. Recherche alimentaire de l'abeille domestique
- 3.6. Effet de la pollinisation croisée sur le rendement de la plante
- 3.7. Discussion

4. Le concombre (*Cucumis sativus* L.)

- 4.1. Floraison de la plante
- 4.2. Diversité et densité des pollinisateurs

- 4.3. Activité de butinage des abeilles
- 4.4. Efficacité pollinisatrice des abeilles
- 4.5. Effet de la pollinisation entomophile sur le rendement de la plante
- 4.6. Discussion

5. Le navet (*Brassica rapa* L.)

- 5.1. Floraison de la plante
- 5.2. Diversité et densité des pollinisateurs
- 5.3. Activité journalière des abeilles
- 5.4. Comportement de butinage et efficacité pollinisatrice
- 5.5. Recherche alimentaire des abeilles
- 5.6. Effet de la pollinisation entomophile sur le rendement grainier
- 5.7. Discussion

6. Le radis (*Raphanus sativus* L.)

- 6.1. Floraison de la plante
- 6.2. Diversité et densité des pollinisateurs
- 6.3. Activité journalière des abeilles
- 6.4. Comportement de butinage et efficacité pollinisatrice
- 6.5. Recherche alimentaire des abeilles
- 6.6. Effet de la pollinisation croisée sur le rendement de la plante
- 6.7. Discussion

7. La betterave (*Beta vulgaris* L.)

- 7.1. Floraison de la plante
- 7.2. Diversité et densité des pollinisateurs
- 7.3. Activité journalière et comportement de butinage des principaux pollinisateurs
- 7.4. Recherche alimentaire des abeilles
- 7.5. Discussion

8. La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) et la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)

9. Répartition des familles d'apoïdes sur les différentes plantes

II. Influence des facteurs climatiques sur l'activité quotidienne des apoïdes

Discussion.

DISCUSSION GENERALE

1. Composition de la faune apoidienne, comportement de butinage et efficacité pollinisatrice des abeilles sur les plantes étudiées

2. Influence des facteurs climatiques sur l'activité des apoïdes

3. Effet de la pollinisation entomophile sur le rendement des plantes

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Références bibliographiques

Annexes

Résumés (Anglais – Arabe)

Planches (photos d'apoïdes et de fleurs des plantes étudiées)

INTRODUCTION

Depuis les temps les plus anciens, les abeilles sont connues par l'homme pour leur apport en miel et d'autres produits de la ruche (cire, gelée royale, pollen) mais leur rôle dans la pollinisation est moins bien connu.

La pollinisation, processus qui permet le transport de pollen depuis les étamines jusqu'au stigmate du même ou d'un autre individu, est le type le plus important de mutualisme entre les plantes et les insectes. Parmi les insectes, ce sont les abeilles (domestiques et sauvages) qui sont les pollinisateurs les plus importants.

La découverte du rôle des abeilles, et plus généralement des insectes, dans la pollinisation des plantes à fleurs (angiospermes) est relativement récente, et la démonstration de ce phénomène est créditée à Joseph Kölreuter (1733-1806), professeur d'histoire naturelle à l'Université de Karlsruhe (Allemagne) (Vaissière 2002). Ses observations ont montré que la visite des abeilles était absolument nécessaire pour assurer la pollinisation des fleurs de mauve (*Malva sylvestris* L.). Christian Sprengel (1750-1816) fut le premier à se consacrer à l'étude de la biologie de la pollinisation et c'est ensuite Darwin (1809-1882) qui publia de nombreuses observations sur la pollinisation à partir de 1852 (Vaissière 2002). Ainsi en 1858, un an avant la publication de "*The Origin of Species*", il montra chez plusieurs espèces de Fabaceae que leurs fleurs recouvertes d'un filet pour empêcher la visite des abeilles donnaient moins de graines que les fleurs laissées en pollinisation libre (Vaissière 2002).

La relation indissociable entre fleurs et abeilles a conduit à la coévolution et à la diversité des espèces que l'on connaît actuellement. Ainsi, la pollinisation constitue la contribution essentielle des abeilles aux écosystèmes naturels et à l'agriculture. Plus de 20000 espèces d'abeilles dans le monde contribuent à la reproduction sexuée, autrement dit à la survie et à l'évolution, de plus de 80% des espèces de plantes à fleur (Vaissière 2002). En permettant la fécondation croisée, les abeilles contribuent à réduire les risques de dégénérescence par consanguinité, et participent à la biodiversité végétale.

En agriculture, la contribution des abeilles dans l'amélioration des rendements quantitatifs mais aussi qualitatifs des cultures est considérable. C'est le cas de nombreuses cultures, comme les Rosaceae fruitières (abricotier, amandier, poirier, pommier, etc.), les Cucurbitaceae (courgette, melon, concombre), les Solanaceae (tomate, poivron), les cultures oléagineuses (colza, tournesol) et protéagineuses (féverole) et les semences de toutes ces espèces ainsi que les cultures fourragères (luzerne, trèfle).

L'incidence de l'activité des abeilles ne se limite pas seulement aux espèces entomophiles mais aussi aux espèces anémophiles (Poaceae, Fagaceae). Les abeilles peuvent contribuer à la mise en suspension du pollen qui peut à son tour intervenir dans la pollinisation. Une étude réalisée au Cameroun a montré que la pollinisation par les abeilles (domestiques et sauvages) a un impact positif sur le rendement en grains du maïs (Tchuenguem Fohouo *et al.* 2002). Ainsi, on estime qu'un tiers de la production alimentaire d'une nation dépend directement ou indirectement de la pollinisation par les insectes, et particulièrement les abeilles (Batra 1984). Quant à la valeur économique de la pollinisation par les abeilles, elle est inestimable. Des estimations approximatives de la contribution des abeilles (surtout domestiques) dans la pollinisation des cultures dans certains pays (France, Amérique du Nord, Nouvelle Zélande) sont évaluées en milliards de francs et de dollars (Borneck & Merle 1989 cités par Pouvreau 2004 ; Matheson & Schrader 1987 et Robinson *et al.* 1989 cités par Free 1993).

Dans notre pays, il n'existe pas d'études sur la pollinisation par les abeilles des plantes cultivées. Quelques observations cependant ont été réalisées sur certaines plantes comme la fève (Aguib 2006 ; Maghni 2006), la pomme de terre (Maghni 2006) et la tomate (Bendifallah-Tazerouti 2002). Les seules observations réalisées par Louadi (1998 a et b, 1999 a), Bendifallah-Tazerouti (2002), Maatallah (2003), Arigue (2004), Benarfa (2004), Aguib (2006), Maghni (2006) et Louadi *et al.*(2007a) ont porté surtout sur les plantes spontanées.

En raison de l'importance économique des cultures maraîchères et du peu d'information concernant les abeilles sauvages de l'Algérie, il nous a paru nécessaire d'étudier les agents pollinisateurs et leur impact sur le rendement de quelques plantes maraîchères dans la région de Constantine.

L'objectif de ce travail consiste à mener des observations sur 9 plantes maraîchères (la fève, le petit pois, la courgette, le concombre, la tomate, la pomme de terre, le navet, le radis et la betterave) dans deux stations, l'une située dans la commune de Hamma Bouziane et l'autre dans la commune de Constantine. Durant la floraison de chaque plante, nous mettrons d'abord en évidence les insectes pollinisateurs, nous estimerons les densités et l'efficacité pollinisatrice des principales espèces. Ensuite, nous mesurerons leur action en comparant le rendement des plants laissés libres d'accès aux pollinisateurs avec les plants encagés.

Enfin, nous étudierons l'influence de trois facteurs climatiques (température, humidité relative et luminosité) sur l'activité quotidienne des principales espèces rencontrées sur ces plantes.

CHAPITRE I

DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

I. Généralités sur la faune des apoïdes

1. Aperçu sur la distribution géographique des apoïdes

Les abeilles appartiennent à l'ordre des Hymenoptera et elles sont regroupées dans la super famille des Apoidea. La faune des apoïdes comporte environ 16000 espèces décrites jusqu'à ce jour et placées dans 1197 genres et sous genres (Michener 2000). La distribution de cette faune dépend de plusieurs facteurs, tels que le climat, la végétation et aussi l'aptitude des abeilles à se disperser et à atteindre des aires convenables.

Les abeilles sont très abondantes et diversifiées dans les régions à climat tempéré (nord-est américain, l'Europe, l'extrême sud brésilien jusqu'en Argentine) (Michener 2000). Cependant, la plus grande richesse est enregistrée dans les régions à climat méditerranéen comme l'Afrique du Nord et la côte ouest des Etats unis (Californie). Les régions les moins riches sont l'extrême sud africain, les régions arides et les savanes tropicales, l'extrême nord australien, les savanes équatoriales et enfin l'Afrique de l'est.

Selon Michener (2000), les abeilles sont classées en 7 familles : les Stenotritidae, les Colletidae, les Andrenidae, les Halictidae, les Megachilidae, les Melittidae et les Apidae. La première famille n'est présente qu'en Australie. Les colletidae, les plus primitifs des abeilles à cause de leur langue très courte, sont surtout présents en Australie, en région paléarctique (Afrique du Nord, Turquie, Moyen-Orient, nord de l'Inde et du Pakistan, la plupart de la Chine et du Japon), en région néotropicale (du Mexique tropical au sud jusqu'à l'Amérique du sud excluant les Antilles, le Chili et les régions voisines de l'ouest et du sud de l'Argentine), dans les Antilles (excluant le Trinidad), et en région araucanienne (exp.le Chili et les régions voisines de l'ouest et du sud de l'Argentine). Les Andrenidae sont rencontrés en Afrique sub-saharienne avec la sous famille des Andreninae et la tribu des Melitturgini et en région araucanienne. Ils sont plus diversifiés dans les régions paléarctique et néarctique (le plateau mexicain et les montagnes environnantes). Les Halictidae sont cosmopolites, les Melittidae sont surtout représentés par la sous famille des Mellitinae et la tribu des Dasypodini en région paléarctique, néarctique et en Afrique subtropicale. Les Megachilidae et les Apidae ne sont pas rencontrés à Madagascar. Ces derniers sont surtout diversifiés en région orientale tels que l'Asie tropicale depuis le Séré Lanka, l'Inde et le Pakistan au dessous

de l'Himalaya, le sud-est de l'Asie jusqu'au Vietnam et le sud-est de la Chine, Taiwan, les Philippines et l'ouest de l'Indonésie ; en région néotropicale et en Afrique sub-saharienne avec la tribu des Xylocopini. Les Nomadini et les Epeolini sont diversifiés dans les régions paléarctique, néarctique et néotropicale, les Apini en région orientale, les Bombini et les Anthophorini en régions paléarctique et néarctique.

La région néotropicale montre aussi une plus grande diversité d'Apinae avec des tribus comme celles des Meliponini, Ericrocidini, Centridini et Emphorini.

Dans la région du Maghreb, des travaux sur la faune apoidienne datant du début du XX siècle, ont été réalisés par Saunders (1908) et Alfken (1914) en Algérie, de Schulthess (1924) (Maroc, Algérie et Tunisie), Guiglia (1942) en Lybie et Benoist (1949, 1950, 1961) en Afrique du Nord et Centrale. Ces travaux ont permis de recenser de nombreuses espèces appartenant à divers genres et familles. Depuis les travaux de ces auteurs, et plus récemment, de nouvelles espèces et sous espèces ont été décrites dans la région notamment par van der Zanden en 1991, 1994 et 1996. Parmi elles, on cite *Anthocopa guichardi* van der Zanden 1991 pour le Maroc et *Hoplosmia anceyi biarnica* van der Zanden 1994 pour le Maroc, l'Algérie et la Tunisie.

En Algérie, des travaux entrepris plus récemment dans diverses régions du pays, ont permis de recenser de nouvelles espèces pour la faune apoidienne dont, à titre d'exemple, *Halictus brunnescens* Eversmann 1952, *Lasioglossum discum fertoni* Vachal 1895 (Louadi 1999b) et *Dasypoda maura* Pérez 1895 (Louadi *et al.* 2007b), Cette dernière était connue uniquement du Maroc (Michez 2004a et b)

Ainsi, dans la région Est de l'Algérie nous citons également les travaux de Louadi (1998a et b;1999a), Aguib (2006), Benachour *et al.* (2007) et Louadi *et al.* (2007a) à Constantine, Maatallah (2003) dans la région de Skikda, Benarfa (2004) dans la région de Tébessa (extrême est) et Maghni (2006) dans la région de Khenchela. Au sud (sahara), il n'y a que le travail d'Arigue (2004) dans la région d'El Oued. Dans la région du centre (Alger) Bendifallah-Tazerouti (2002) a étudié la faune de la mitidja. Tous ces travaux ont permis d'établir des listes non exhaustives d'espèces de chaque région en utilisant la nomenclature actuelle. Cependant, plusieurs d'entre elles issues des recherches en cours restent encore à identifier afin d'établir une mise à jour de la faune apoidienne dans ces régions.

2. Structure anatomique des apoïdes

Dans ce qui suit nous apportons seulement un bref aperçu sur la morphologie des abeilles laquelle est nécessaire pour la compréhension et l'utilisation des clés dichotomiques qui permettent de déterminer les espèces.

Les abeilles, comme tous les insectes, ont un corps divisé en trois régions : tête, thorax et abdomen (fig.1). Elles présentent une particularité qui consiste en une constriction appelée « taille de guêpe » située entre le premier et le second segment abdominal (hyménoptères apocrites). Les ailes sont membraneuses (d'où le nom d'hyménoptères). L'abdomen est généralement formé de 6 segments (tergites) chez les femelles et de 7 segments chez les mâles. Le dernier tergite, chez les femelles, se termine le plus souvent par un plateau pygidial (pygidium). Les antennes sont formées de 12 articles chez les femelles et de 13 articles chez les mâles.

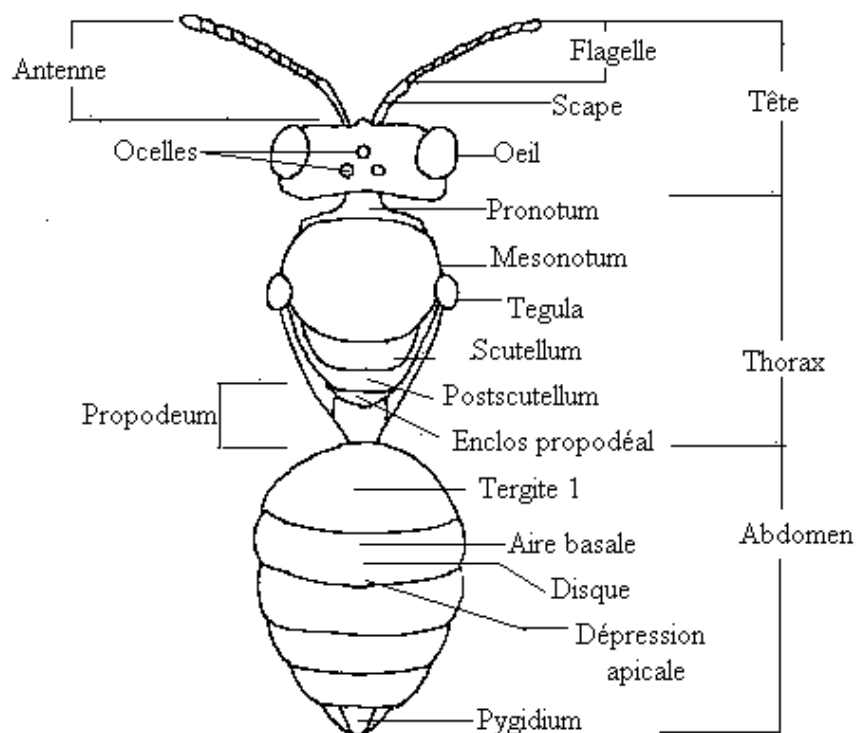


Figure 1. Structure générale d'un Apoidea (d'après Scheuchl 1995).

Les pattes sont formées de cinq articles. Sur le quatrième article (tibia) de la patte postérieure se trouve un plateau appelé plateau basitibial qui peut être modifié en forme de dent (s). Le dernier article (tarse) est constitué de cinq articles dont le dernier est terminé par une paire de griffes simples ou bifides et entre lesquelles se trouve un pulvillus ou arolium (organe adhésif) (fig.2).

Les ailes antérieures portent des nervures (exp. nervures médiane, cubitale, transverso-cubitales et récurrentes) qui délimitent des cellules (exp. cellules submarginales, discoïdales et marginale.) (fig.3).

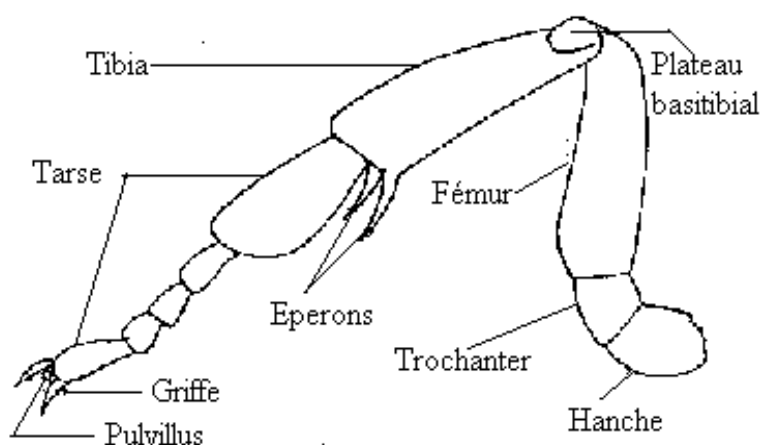


Figure 2. Patte postérieure d'un Apoïde

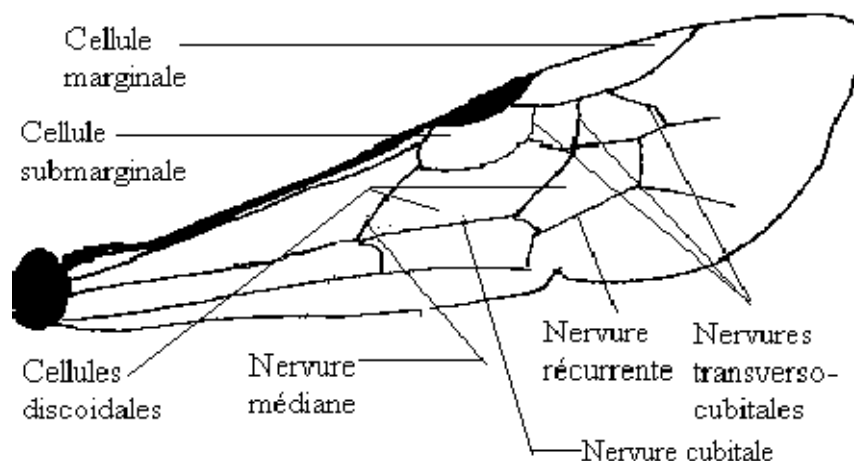


Figure 3. Aile antérieure d'un apoïde

II. Les rapports mutuels entre fleurs et abeilles

1. Notion de pollinisation et de fécondation

Abeilles et fleurs sont indissociables et c'est sur la base d'échanges réciproques, essentiellement source alimentaire pour l'insecte (nectar et /ou pollen) et avantage de la reproduction pour la plante, que ce sont établies et diversifiées les relations des plantes supérieures avec leurs organismes visiteurs (Pesson 1984 cité par Philippe 1991). Plus de 20000 espèces d'abeilles dans le monde contribuent à la reproduction sexuée et donc à la survie et à l'évolution de plus de 80% des espèces de plantes à fleurs (Vaissière 2002). Ces relations mutuelles bénéfiques ont conduit à la diversité des espèces que l'on connaît aujourd'hui.

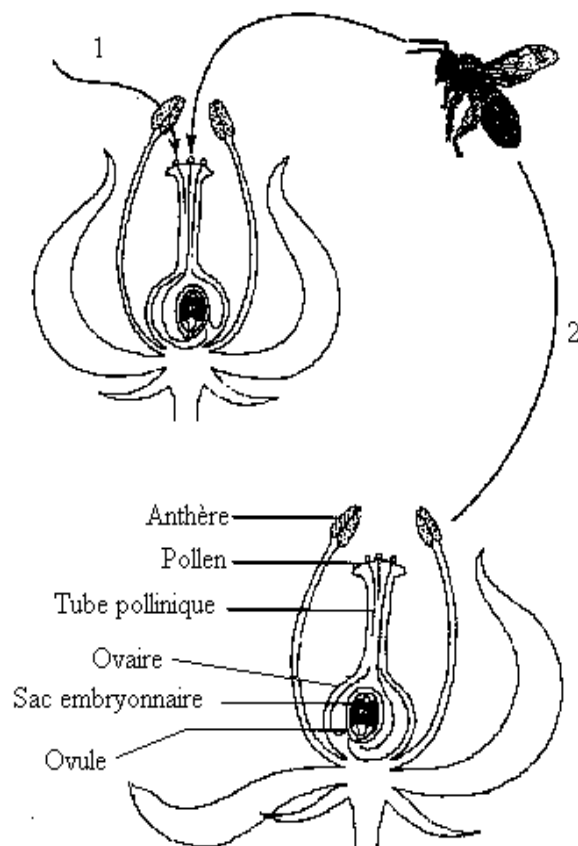


Figure 4. Schéma de la pollinisation (d'après Pouvreau 2004)

1 = autopolinisation ou pollinisation directe
2 = Pollinisation croisée ou allopollinisation

1.1. La pollinisation

La plupart des plantes cultivées indispensables à notre vie (céréales, légumes, plantes fruitières) appartiennent aux angiospermes ou aux plantes à fleurs. Chez ces plantes, la fécondation qui est l'union des gamètes mâle et femelle ne peut s'effectuer sans pollinisation. Ce processus consiste en le transfert de pollen de l'anthere vers le stigmate de la fleur et s'opère essentiellement suivant deux modalités : l'autopolinisation ou autogamie et la pollinisation croisée ou allogamie (fig.4).

Chez les plantes, on retrouve trois formes sexuées :

a- Les plantes hermaphrodites

Chez ces plantes, les organes mâle et femelle sont réunis dans une même fleur. 70% des angiospermes sont hermaphrodites. Lorsque l'ovule est fécondé par le pollen de la même fleur, on parle d'autopollinisation ou d'autogamie et lorsqu'il est fécondé par le pollen d'une autre fleur appartenant au même pied ou à un pied différent, on parle de pollinisation croisée ou d'allogamie (fig.5A). Parmi les plantes hermaphrodites, on cite le chou, le navet, le radis, la moutarde, la fève, le petit pois, le rosier, le poirier et le prunier.

b- Les plantes monoïques

Chez ce type de plantes, chaque pied présente à la fois des fleurs mâles et des fleurs femelles, la reproduction se fait toujours par pollinisation croisée, soit entre deux fleurs du même pied ou de deux pieds différents (fig.5B). Ce mode de reproduction concerne le noisetier, le chêne, le hêtre, le melon, le concombre et la courgette.

c- Les plantes dioïques

Chez ces plantes, chaque pied possède uniquement des fleurs mâles ou des fleurs femelles et la pollinisation est obligatoirement croisée (fig.5C) (exemples : le saule, le peuplier, le silène).

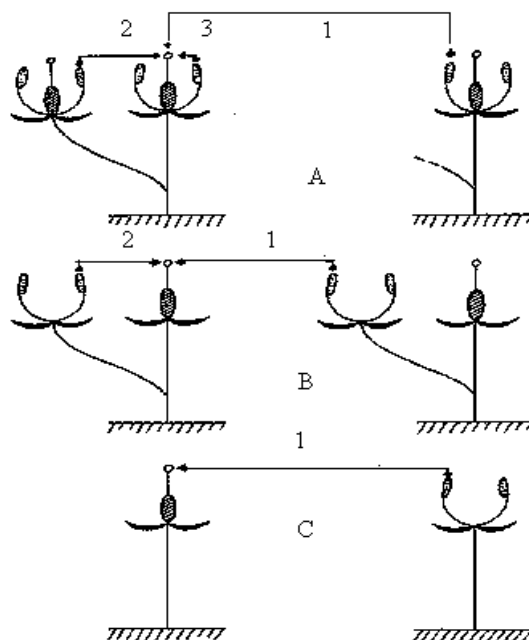


Figure 5 (A, B et C). Schéma des différents types de pollinisation (d'après Pouvreau 2004)

A = Plante hermaphrodite (1 = pollinisation croisée : 2 pieds différents ; 2 = pollinisation croisée : entre 2 fleurs du même pied ; 3 = pollinisation directe)

B = Plante monoïque (fleurs unisexuées) (1 = pollinisation croisée ; 2 = pollinisation directe)

C = plante dioïque (1 = pollinisation croisée obligatoire)

2. La supériorité de la pollinisation croisée sur l'autopollinisation

La pollinisation croisée et l'autopollinisation sont deux modes de reproduction qui n'ont pas la même valeur génétique et la supériorité de l'état hétérozygote sur l'état homozygote a été démontrée par plusieurs travaux. Un grand nombre de plantes semblent, en effet, bénéficier de la vigueur hybride particulièrement apparente au niveau des graines ou des fruits (nombre de graines plus élevé, meilleure qualité germinative, fruits mieux formés et mieux conservés, meilleure qualité industrielle des produits agricoles). De plus, le brassage et le réarrangement des gènes qui s'effectuent lors de la confrontation de deux patrimoines héréditaires distincts lors d'une fertilisation allogame, est considérablement favorable à la diversification des organismes et à la création de nouvelles lignées.

Une des explications de la supériorité de l'allogamie sur l'autogamie est apportée par Barbier en 1986. Le tube pollinique de l'allopollen libère une plus grande quantité d'enzymes qui permettent à leur tour la libération par le style d'une plus grande quantité d'hormones (auxines) lesquelles assurent la progression rapide du tube pollinique et, par conséquent, des spermatozoïdes vers l'ovule.

2.1. Les structures de la fleur au service de l'allogamie

Chez beaucoup d'angiospermes hermaphrodites, la structure de la fleur peut constituer un véritable barrage topographique ou biologique s'opposant à l'autopollinisation. Ainsi, l'allogamie est obligatoire pour les espèces autoincompatibles ou autostériles. Les deux appareils sexuels complets et fertiles sont stériles avec leur propre pollen, mais féconds avec le pollen d'un autre individu de la même espèce. Le nombre d'espèces autostériles est estimé à plus de 3000. Ces espèces sont réparties en environ 68 familles telles que les Brassicaceae, les Rosaceae et les Asteraceae (Pouvreau 2004). Ce refus de l'autofécondation protège l'espèce des effets dépressifs de la consanguinité (Dumas *et al.* 1984 ; Mitteau 1992 cités par Pouvreau 2004).

Les plantes hétérostylées font également appel à l'allogamie. Chez ces plantes (cas de la primevère) s'observent deux sortes de fleurs en proportions sensiblement égales : les longistyles (style long) et les brévistyles (style court). Le pollen des longistyles ne peut germer que sur le stigmate des brévistyles et inversement.

Le décalage dans la maturité des organes sexuels chez les plantes hermaphrodites, appelé dichogamie, s'oppose aussi à l'autopollinisation. Parmi les espèces dichogames, on retrouve de nombreuses Chenopodiaceae (exemple la Betterave), Malvaceae et Asteraceae.

Une dernière structure florale, l'hercogamie, est aussi au service de l'allogamie. Dans ce cas, la conformation topographique des organes est telle qu'il y a impossibilité pour le pollen de se rendre spontanément sur le stigmate de la même fleur (exemple : les orchidées).

Il faut aussi souligner que les processus de pollinisation sont d'une grande complexité. Ainsi, beaucoup de plantes autogames peuvent présenter des taux d'allogamie considérables, tandis que des plantes allogames peuvent être plus ou moins fortement autopollinisées.

3. Les différents agents pollinisateurs

Parmi les agents pollinisateurs qui assurent le transfert du pollen sur le stigmate, on retrouve :

3.1. Le vent

Un certain nombre de plantes cultivées importantes telles que les graminées incluant les céréales (blé, orge, avoine, seigle, maïs, riz), la betterave à sucre, le noyer, le noisetier, l'olivier et le palmier dattier sont anémophiles. Ces plantes, pollinisées par le vent, présentent certaines caractéristiques qui favorisent le transport du pollen par le vent, telles que l'émission d'un très grand nombre de pollen (exemple : une inflorescence de seigle libère environ 50000 grains de pollen par jour), une faible densité et pulvérulence des grains de pollen, des stigmates de forme variés favorisant la prise du pollen ou encore un périanthe fortement réduit et de couleur terne n'attirant pas les insectes. En outre, les fleurs de ces plantes ne produisent pas de nectar (Philippe 1991 ; Pouvreau 2004).

3.2. L'eau

La pollinisation par l'eau (hydrogamie) est rencontrée chez les plantes aquatiques.

3.3. Les animaux (zoogamie) :

Différents types d'animaux sont des agents pollinisateurs :

- Les chauves souris, représentées par certaines espèces tropicales qui lèchent le nectar des fleurs. Les espèces strictement insectivores, dans certains cas, arrivent à servir de transporteurs de pollen en capturant des insectes sur les fleurs.

- De petits marsupiaux
- Les oiseaux, représentés par des espèces tropicales comme les colibris ou oiseaux mouches. Certaines espèces insectivores sont aussi pollinisatrices lorsqu'elles capturent des insectes qui butinent.
- Des mollusques (dans le milieu aquatique)
- Les insectes (Pouvreau 2004).

De tous les animaux, ce sont les insectes qui pollinisent le plus grand nombre d'espèces végétales. Ces dernières sont qualifiées d'entomophiles. Cependant, quelques groupes ou ordres seulement se distinguent par une réelle activité sur les fleurs et peuvent être considérés comme d'efficaces pollinisateurs.

Classés par ordre d'importance croissante, ces insectes sont représentés par les coléoptères, les lépidoptères, les diptères et les hyménoptères. A l'intérieur de chaque ordre, la pollinisation est assurée par un certain nombre de familles.

a- Les coléoptères

Ils peuvent récolter sur les fleurs le pollen et le nectar. Cependant, ceux qui ont un rôle pollinisateur sont peu nombreux et appartiennent surtout à la famille des Cantharidae dont plusieurs genres ont un appareil buccal assez bien adapté à la récolte du nectar. Le rôle pollinisateur des coléoptères s'observe surtout en milieu tropical (Pouvreau 2004).

b- Les lépidoptères (papillons)

Ces insectes sont pourvus d'une trompe qui atteint souvent plusieurs centimètres de longueur. Ils puisent dans les fleurs tubulaires étroites le nectar accumulé en profondeur et inaccessible à d'autres insectes. Qu'ils soient diurnes ou nocturnes, les papillons sont seulement des butineurs de nectar. Les grains de pollen tombent sur le corps de l'insecte lors de sa visite sur la fleur et il est transporté d'une fleur à l'autre. Certains papillons nocturnes butinent le nectar en vol devant la fleur et le transport de pollen est alors assuré par leur trompe. De nombreuses Caryophyllaceae sont pollinisées par les papillons (Pouvreau 2004).

c- Les diptères (les mouches)

Les mouches jouent un rôle important comme pollinisateurs en raison du grand nombre de familles, de genres et d'espèces qui montrent une attirance pour les fleurs. De nombreuses espèces, de petite taille, sont particulièrement utiles pour la pollinisation croisée des petites fleurs dont les faibles ressources en nectar ne les rendent pas attractives pour la plupart des autres pollinisateurs (nombreuses ombellifères).

Les mouches se nourrissent de nectar et parfois de pollen. Les mouches qui sont les visiteurs les plus fréquents observés sur de nombreuses plantes appartiennent essentiellement aux familles des Calliphoridae (mouches à viande), Conopidae, Syrphidae et Bombyliidae. (Pouvreau 2004).

d- Les hyménoptères

Ils sont de loin les pollinisateurs les plus efficaces, ils comprennent les fourmis, les guêpes et les abeilles. Dans ce groupe, le rôle de pollinisateurs revient essentiellement aux abeilles.

Les abeilles présentent de nombreuses caractéristiques qui en font des agents pollinisateurs par excellence. Une première caractéristique est leur nutrition à base exclusivement de nectar pour les adultes et de pollen pour les larves. Lors de sa visite sur la fleur et pour accéder au butin recherché, l'insecte entre en contact avec les étamines et /ou le stigmate, il s'ensuivra une charge de pollen sur le corps de l'abeille ou un dépôt de pollen sur le stigmate ou encore les deux.

* adaptation à la récolte et au transport du pollen :

La morphologie du corps de l'abeille est particulièrement bien adaptée à la pollinisation. Le corps des abeilles est caractérisé le plus souvent par une pilosité très abondante ; les poils (ou soies) sont plumeux (caractéristique des apoïdes) ce qui facilite l'adhésion des grains de pollen lors de la visite de l'insecte. Ces poils permettent à l'abeille de transporter le pollen, et ils sont le plus souvent situés sur le tibia des pattes postérieures des femelles où ils forment une brosse (fig. 6).

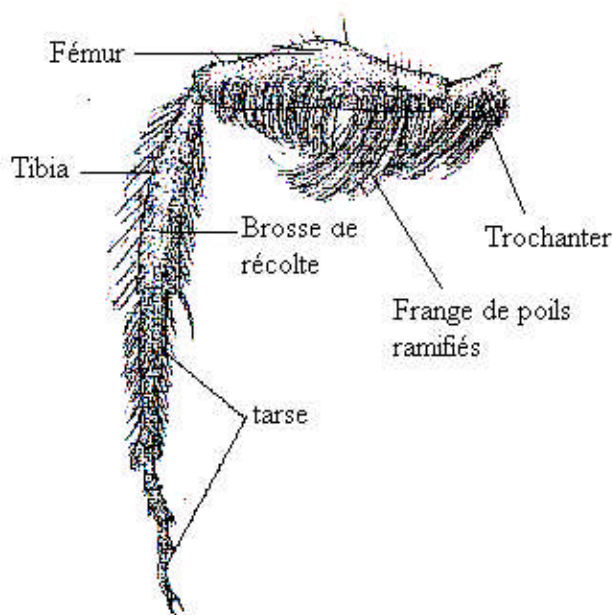


Figure 6. Patte postérieure de la femelle de *Lasioglossum leucozonium* (Halictidae) (d'après Pouvreau 2004).

Ils peuvent être localisés sur la face ventrale de l'abdomen (brosse ventrale) (Megachilidae) (fig.7). Certaines abeilles peuvent aussi transporter le pollen sur leur thorax (Andrenidae), sur les poils denses situés sous l'avant de l'abdomen (Halictidae et Colletidae) ou sur le fémur des pattes postérieures qui présente une structure qui ressemble à la corbeille des Apidae et qui est entourée de franges de poils ramifiés (fig.6).

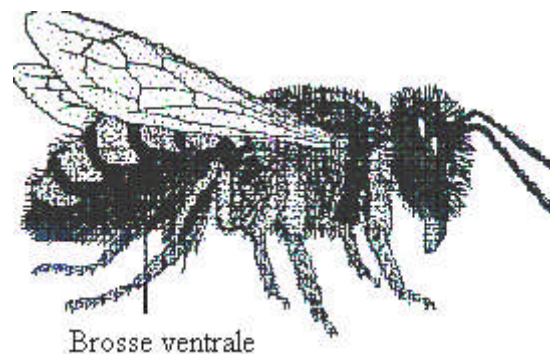


Figure 7. Brosse ventrale d'une femelle d'*Anthidium* sp (Megachilidae) (d'après Pouvreau 2004).

* adaptation à la récolte du nectar :

L'appareil buccal, adapté à la récolte du nectar, est de type broyeur lècheur (fig.8). Dans cet appareil, les mandibules sont conservées et permettent à l'insecte de travailler certaines substances (cire chez l'abeille domestique et les bourdons) ou de recueillir la propolis (substance résineuse de certains arbres utilisée pour colmater les fissures de la ruche et fixer les rayons). Les maxilles s'allongent pour former une langue ou glosse qui permet à l'abeille d'aspirer le nectar. La longueur de cette glosse est variable selon les familles.

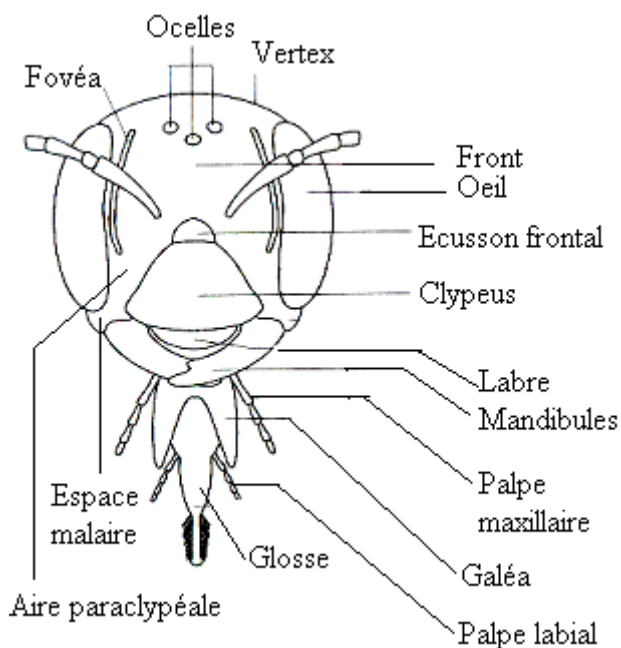


Figure 8. Tête d'abeille avec pièces buccales (abeille à langue courte) (d'après Scheuchl 1995).

Le comportement de butinage des abeilles est aussi particulièrement favorable à la pollinisation car certaines espèces d'abeilles (très rares) sont généralement fidèles à une espèce végétale, ou à la rigueur, à quelques espèces très étroitement apparentées (espèces monolectiques), d'autres (cas de nombreuses abeilles solitaires) exploitent quelques espèces de plantes appartenant à une seule famille (espèces oligolectiques) ce qui contribue à l'efficacité de la pollinisation.

4. Importance de la pollinisation par les abeilles sur la production agricole

Les abeilles jouent un rôle primordial non seulement dans la pollinisation des plantes sauvages, mais elles interviennent également de façon déterminante dans la pollinisation des cultures. On estime qu'un tiers de la production alimentaire d'une nation dépend directement ou indirectement de la pollinisation par les insectes et principalement par les abeilles (Batra 1984 ; Jacob-Remacle 1990).

De nombreuses plantes cultivées (environ une cinquantaine) et représentant près de la moitié des plantes alimentaires majeures dépendent des insectes, en particulier les abeilles domestiques, soit pour leur fructification ou pour l'amélioration de leurs rendements quantitatif et qualitatif (Philippe 1991). Ces plantes regroupent :

- Les cultures à graines oléagineuses tels que le carthame (Barbier & Nadir 1976) et le tournesol (Cîrnu *et al.* 1975 ; Tarta 1979 ; Barbier 1986) (Asteraceae) le colza et les moutardes (Brassicaceae) (Koutensky 1958 ; Free & Spencer-Booth 1963 ; Williams 1978 ; Barbier 1986 ; Kevan & Eisikowitch 1990 ; Adegas & Nogueira-Couto 1992) , le cotonnier (Malvaceae) (Wafa & Ibrahim 1960 ; Mc Gregor 1976) et le soja (Fabaceae) (Erickson *et al.* 1978 cités par Philippe 1991).
- Les cultures de légumineuses fourragères destinées à la production de semences tels que la luzerne (Tasei 1978 ; Barbier 1986), le sainfoin (Bogoyavlenski 1975 cité par Philippe 1991), les trèfles blanc et violet (Palmer-Jones *et al.* (1962) cités par Free 1993 ; Tasei 1984) et la vesce velue (Mlyniec & Wajtowski 1962 cités par Philippe 1991).
- Les cultures de légumineuses protéagineuses tels que les féveroles (Pritsch 1971 ; Pinzauti & Frediani 1979) et les lupins (Cozine 1967 cité par Free 1993).
- Les cultures de Cucurbitaceae comme le concombre et les cornichons (Rahmlow 1970 ; Stanghellini *et al.* 1997), les courges et courgettes (Avila *et al.* 1989 ; Couto

*et al.*1990), les melons (Iselin *et al.*1974) et pastèques (Stanghellini *et al.*1997) et la culture de quelques Solanaceae telle que la tomate (Daşcan *et al.* 2004).

- Les cultures de plantes potagères destinées à la production de semences tels que la carotte (Apiaceae) (Mc Gregor 1976 ; Alam *et al.* 1987 cités par Free 1993) et l'oignon (Liliaceae) (Benedek & Gaal 1972 ; Williams & Free 1974 ; Pouvreau 2004). Le chou (Radchenko 1966 et Alam *et al.* 1987 cités par Free 1993 ; Ladurner *et al.* 1999), le radis (Muhammad *et al.* 1973) et le navet (Singh *et al.* 1996) (Brassicaceae), l'artichaut (Morison *et al.* 2000) (Asteraceae) et le céleri (Apiaceae) (Pouvreau 2004).
- Les cultures d'arbres fruitiers : abricotier (Mc Gregor 1976 ; Langridge & Goodman 1981 cités par Philippe 1991), amandier (Barbier 1986), cerisier (Dresher & Engel 1976), pêcher (Mc Gregor 1976 ; Barbier 1986) et prunier (Rosaceae) (Philippe 1991), kiwi (Actinidiaceae) (Marletto 1978 ; Donovan & Read 1990), avocatier (Lauraceae) (Philippe 1991), et caféier (Rubiaceae) (Raw & Free 1977).
- Les cultures de petits fruits tels que le fraisier (Free 1993 ; Porter & Dibbens 1977 ; Fota & Grossu 1978 cités par Philippe 1991) et le framboisier (Free 1993) (Rosaceae), la myrtille (Ericaceae), le cassissier et le groseillier (Saxifragaceae) (Free 1993; Ricciardelli d'Alboe & Piastrelli 1976 cités par Barbier 1986).

Les besoins en pollinisation de quelques cultures pollinisées par les insectes sont fournis en annexe 1.

5. La valeur économique de la pollinisation par les insectes

L'incidence économique de la pollinisation par les insectes est difficile à évaluer, mais elle est extrêmement importante. Certaines cultures (exemples : pois, haricot) ne présentent pas d'augmentation ou seulement une très faible augmentation de leur rendement lorsqu'elles sont pollinisées par les insectes, alors que d'autres (exemples : féverole, chou) montrent une augmentation importante de leur rendement en présence d'insectes. D'autres cultures (nombreuses Fabaceae, Brassicaceae et Rosaceae) produisent peu ou pas du tout de fruits et de graines en l'absence d'insectes (Pouvreau 2004).

Les besoins des cultures en insectes pollinisateurs peuvent s'exprimer sur le plan économique par un coefficient. Ce dernier est défini comme la participation de l'action des insectes dans le

rendement final d'une culture. Le calcul d'un tel coefficient est, cependant, une opération délicate et certains auteurs estiment de manière approximative la part prise par chaque catégorie d'insectes dans la pollinisation des cultures.

En France, la contribution des insectes pollinisateurs a été évaluée en 1982 à environ 3,6 milliards de francs (Borneck & Merle 1989 cités par Pouvreau 2004), et les abeilles domestiques seraient responsables de 85% de la pollinisation.

Aux Etats-Unis, les abeilles domestiques seraient également responsables de 80% de la pollinisation et les effets bénéfiques dus à cette pollinisation sont évalués à 9,7 milliards de dollars (Plowright & Rodd 1980 cités par Pouvreau 2004). Morse & Calderone (2000) rapportent, pour l'ensemble des cultures aux Etats –Unis, que la valeur de l'augmentation quantitative et qualitative du rendement attribué aux abeilles domestiques seules est estimée à 14,6 milliards de dollars.

L'évaluation des effets de la pollinisation doit aussi prendre en compte la contribution des autres agents pollinisateurs, notamment les abeilles sauvages, la contribution de la pollinisation dirigée qui est réalisée par l'apport des ruches à proximité de la culture à polliniser et de celle de la pollinisation libre réalisée par des colonies d'abeilles présentes au hasard dans une zone voisine de la culture.

L'évaluation de l'incidence économique de la pollinisation demeure sous estimée, parce que seuls sont pris en compte les critères quantitatifs de production. L'influence de la pollinisation sur la qualité des produits est loin d'être négligeable surtout pour les fruits. Une pollinisation insuffisante est la cause de déformations et dans certains cas, d'une moins bonne conservation des fruits (Jacob-Remacle 1990 ; Pouvreau 2004).

L'influence bénéfique de la pollinisation doit également inclure les incidences non commerciales. Les insectes contribuent à la pollinisation des fleurs ornementales des parcs et des jardins publics, des cultures potagères et florales des jardins privés. L'influence des insectes pollinisateurs sur la flore sauvage est aussi considérable. Ces derniers contribuent à l'expansion des pâturages destinés au bétail par la pollinisation de Fabaceae, notamment celle des trèfles. Une autre pollinisation, également d'une grande importance économique, est celle des plantes qui aident à la conservation des sols, au contrôle de l'érosion, ou de plantes qui fournissent des ressources pour la faune par l'apport de provisions ou encore d'une protection durant l'hivernage par exemple.

6. Utilisation des abeilles sauvages dans la pollinisation des plantes cultivées

Des observations réalisées sur certaines cultures, telles que la luzerne et des cultures d'arbres fruitiers, ont montré la supériorité pollinisatrice de plusieurs abeilles sauvages en comparaison avec l'abeille domestique (Parker *et al.* 1987 ; Torchio 1987).

Actuellement, ces abeilles sauvages font l'objet d'élevage dans certains pays afin d'assurer la pollinisation de cultures qui sont peu ou mal pollinisées par l'abeille domestique. Une pollinisation insuffisante ou inadéquate par l'abeille domestique peut être due à une mauvaise adaptation à la morphologie de la fleur (exemple : la luzerne) ou à une activité réduite lors de floraisons très hâtives survenant lorsque la température est basse (exemple : l'amandier).

Parmi les abeilles sauvages élevées, on trouve :

- L'abeille coupeuse de feuille, *Megachile rotundata* Fabricius 1787 (Megachilidae), pollinisatrice de la luzerne (Jacob-Remacle 1990 ; Free 1993) qui fait l'objet d'un élevage intensif aux Etats-Unis, au Canada et en Nouvelle Zélande.
- L'abeille des sols salés, *Nomia melanderi* Cockerell 1906 et l'espèce *Rophitoides canus* Eversmann 1852 (Halictidae), pollinisatrices également de la luzerne respectivement dans l'ouest des Etats-Unis et en Europe de l'est (Torchio 1966 ; Johansen *et al.* 1982 ; Free 1993 ; Dobrynin 1998).
- Les osmies (Megachilidae) élevées principalement pour la pollinisation des cultures fruitières aux Etats-Unis, au Japon et en Espagne. Aux Etats-Unis, c'est *Osmia lignaria* Say 1837 qui est utilisée pour la pollinisation des vergers d'amandiers et de cerisiers (Torchio 1976 et 1978 cités par Free 1993 ; Bosch & Kemp 1999 ; Bosch *et al.* 2000). Cette abeille est également élevée pour polliniser certaines espèces de Brassicaceae telles que *Brassica napus* L. et *B.rapa* L. (Abel *et al.* 2003). Au Japon, c'est *Osmia cornifrons* Radoszkowsky 1887 qui est élevée et commercialisée pour la pollinisation des plantations de pommiers (Bosch & Kemp 2002). Cette abeille présente une efficacité pollinisatrice individuelle 80 fois plus élevée que celle de l'abeille domestique (Jacob-Remacle 1990). La même abeille est utilisée avec succès au Danemark pour la pollinisation du poivron sous serre (Kristjansson & Rasmussen 1990). En Espagne, c'est *Osmia cornuta* Latreille 1805 qui est surtout utilisée pour la pollinisation des vergers d'amandiers (Torchio 1987 ; Jacob-Remacle 1990 ; Bosch 1994 ; Marquez *et al.*1994).
Osmia rufa (L.1758) est également utilisée pour la pollinisation des cultures sous serre (Holm 1973 et Kristjansson 1989 cités par Free 1993).

- Les bourdons dont l'élevage est réalisé pour assurer la pollinisation sous serre de certaines cultures telles que la tomate, l'aubergine et le poivrier (Banda & Paxton 1990 ; Heemert *et al.* 1990 ; Corbet *et al.* 1991 ; Daşcan *et al.* 2004 ; Pouvreau 2004). Les caractères morphologiques et comportementaux des bourdons (meilleures adaptations à la morphologie de la fleur, aux conditions climatiques défavorables, aux conditions de la serre) font que ces derniers se montrent supérieurs à l'abeille domestique pour la pollinisation de ces cultures (Corbet *et al.* 1991 ; Pouvreau 2004).

III. Situation de l'agriculture en Algérie et importance des cultures maraîchères

Avec plus de 2.380.000 Km², l'Algérie recèle un milieu naturel très diversifié mais en matière agricole, elle n'est pas autosuffisante et accuse chaque année un déficit important et près de 75% de ses besoins sont importés. Actuellement, l'agriculture est une des priorités du gouvernement qui a lancé le PNDA (Plan National de Développement de l'Agriculture) et a accordé diverses subventions pour sa modernisation

L'agriculture est surtout concentrée dans la région nord du pays où l'on trouve les meilleures terres et les conditions climatiques les plus favorables. La superficie agricole totale (SAT) de l'Algérie est de l'ordre de 40,9 millions d'hectares, soit 17% de la superficie territoriale. La superficie agricole utile (SAU) sur laquelle sont cultivées des spéculations, et ce depuis au moins 1997, s'étend sur une surface de l'ordre de 8 millions d'hectares, soit 20% de la SAT (DSASI, 2001).

Les cultures céréalières (d'hiver et d'été) occupent la première place avec une superficie d'environ 3 143 010 ha. Le maraîchage vient en seconde position occupant une superficie évaluée à plus de 268 760 ha et une production aux alentours de 3 362 203 quintaux (DSASI, 2001). Il est pratiqué dans les zones du littoral, du sublittoral et dans les plaines intérieures. Les principales wilayates productrices de maraîchage sont Boumerdes, Ain Defla, Biskra, Alger, Mascara, Mostaganem, Skikda, Tipaza, El Taref, Tlemcen, M'sila, et Chlef. Les légumes de base sont la pomme de terre, la tomate, l'ail, l'oignon, la fève verte, la carotte, le navet et le poivron/piment. La production maraîchère totale en 2001 des principales wilayas productrices est indiquée en annexe 2.

Dans les régions sahariennes, les cultures légumières ont connu un développement remarquable passant de 5300 ha en 1975 à 35000 ha cultivés en 1997 (Amrar 1997).

1. Les cultures maraîchères dans la région de Constantine

Dans la wilaya de Constantine, la SAT est d'environ 198 560 ha et la SAU est de 128 390 ha (soit 64,7% de la SAT) (DSASI, 2001). Les cultures herbacées occupent une superficie totale d'environ 75 356 ha et sont représentés essentiellement par les céréales d'hiver (blé dur, blé tendre, avoine et orge) avec une superficie d'environ 67 500 ha (soit 89,6% de la superficie des cultures herbacées). Les cultures maraîchères occupent seulement une superficie d'environ 3341 ha (4,6%), viennent ensuite les fourrages artificiels avec une surface de 3270 ha (4,3%) et les légumes secs (fève, pois sec, pois chiche, lentilles) avec une superficie d'environ 1145 ha (1,5%) (DSASI, 2001). Les vergers occupent une superficie de 1457 ha soit 0,7% de la SAU.

Parmi les principales cultures maraîchères cultivées dans la région, on trouve la pomme de terre, la fève verte, le petit pois, l'oignon, la courgette, la tomate et le melon. Ces cultures sont localisées essentiellement dans les localités de Hamma Bouziane, Didouche Mourad, Beni Hamidane et Boudjeraou Messaoud.

La production moyenne (2000-2004) des principales cultures maraîchères dans la wilaya de Constantine est rapportée dans l'annexe 3.

IV. Données générales sur les plantes étudiées

Dans cette partie, il ne s'agit pas de présenter une description botanique détaillée des plantes étudiées, mais seulement de donner quelques généralités sur ces plantes, leur importance économique en Algérie ainsi qu'une description de leur inflorescence.

1. La fève

La fève (*Vicia faba* L.) est une légumineuse (Fabaceae) dont la culture est d'origine méditerranéenne. Elle est aujourd'hui parmi les plantes légumières les plus cultivées dans le monde. Sa culture dans les pays du bassin méditerranéen représente presque 25% de la surface totale cultivée et de la production mondiale de fèves, avec un rendement très proche de la moyenne mondiale (Saxena 1991).

En Afrique du Nord, elle représente une source alimentaire de première importance. En Algérie, on la cultive sur les plaines côtières et les zones sublittorales. Avec une surface cultivée d'environ 65 000 ha et une production comprise entre 20 000 et 38 000 tonnes par an (Zaghouane 1991), elle occupe la première place parmi les légumes secs. En climat méditerranéen, elle est semée en automne et fleurit entre février et avril. C'est une espèce qui

présente plusieurs systèmes de reproduction. Elle peut être, selon les lignées, autogame ou allogame (Le Guen *et al.* 1993 ; Pierre *et al.* 1997, 1999).

- la fleur :

Les fleurs de la fève sont au nombre de 2 ou 4 et sont groupées en inflorescences. Elles naissent à l'aisselle des feuilles. La fleur présente une structure typique de celle des Papilionaceae, c'est une corolle irrégulière blanche avec des taches brunes ou noires. Elle est formée d'un grand pétale (l'étendard), de deux pétales latéraux ou ailes recouvrant deux autres pétales inférieurs unis le long de leurs bords extérieurs pour former le carène. Les étamines sont au nombre de 10 dont 9 sont soudées entre elles par leur filet dans une gaine (fig.9).

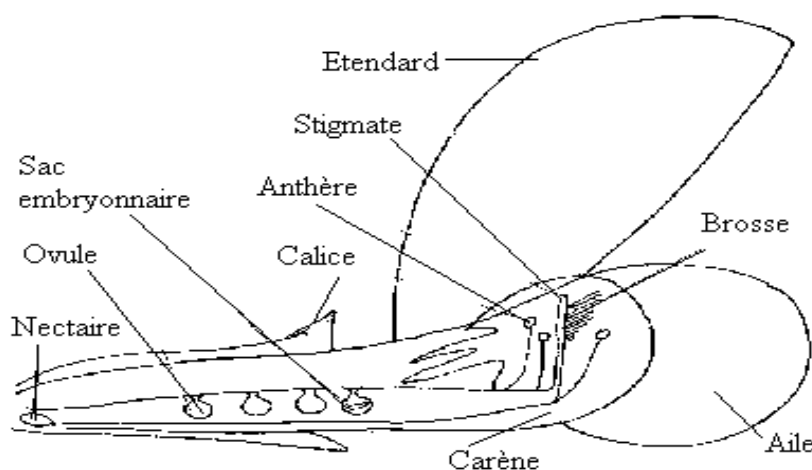


Figure 9. Section longitudinale de la fleur de *Vicia faba* (d'après Stoddard & Bond 1987). Pour la clarté, seulement 3 des 10 étamines sont représentées.

L'ovaire possède 2 à 9 ovules. La surface du stigmate couverte d'une papille forme, lorsque ce dernier est réceptif, un exuda essentiel à la germination du pollen. Le style porte une brosse à longs poils juste au dessous du stigmate. Le nectar est sécrété par des nectaires situés à la base de la corolle. Ce dernier est aussi sécrété par des nectaires extra floraux portés par des stipules foliaires. Les fruits sont des gousses pendantes. Leur longueur, forme et couleur diffèrent beaucoup selon la variété.

2. Le petit pois

Le petit pois (*Pisum sativum* L.) est une plante annuelle de la famille des Fabaceae. Il est originaire de l'Asie centrale (Afghanistan et Inde) et sa culture est très ancienne. C'est une

plante essentiellement autogame (Free 1993 ; Pouvreau 2004) mais des taux d'allogamie peuvent être observés chez certains cultivars (Haskell 1943).

Le petit pois est un légume dont les qualités nutritives, gustatives et culinaires sont très élevées ce qui a conduit à une extension rapide de sa culture dans les différentes régions du monde. En Algérie, les conditions climatiques et du sol sont très favorables à sa culture, laquelle s'étend sur une superficie de 21 200 ha avec une production annuelle de 632 900 qx, soit un rendement de 29,9 qx/ha (DSASI 2001). Les principales wilayas productrices sont Mascara, Boumerdes, Biskra et Tlemcen.

- La fleur :

Les fleurs du petit pois (type Papilionaceae) sont généralement blanches, solitaires ou groupées par deux et naissent aux aisselles des feuilles. Le calice a 5 dents, les étamines sont au nombre de 10 dont une libre et les neuf autres soudées par leur filet en un tube (fig.10) Le fruit est une gousse, qui selon la variété, a une forme, une longueur et une couleur différente. Le nombre de graines par gousse varie également selon la variété (4 à 10).

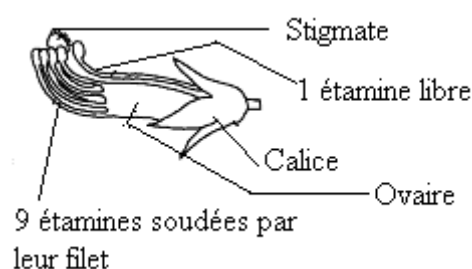


Figure 10. Fleur de *Pisum sativum* (sans corolle) (www.ac-corse.fr/svt/ress_p)

3. La courgette

La courgette (*Cucurbita pepo* L.) est une plante annuelle qui appartient à la famille des Cucurbitaceae. L'origine des courgettes ou des courges est américaine. Leur culture était largement répandue en Amérique centrale et du sud (Mexique, Pérou, Bolivie, etc.). Actuellement, leur culture est répandue dans tous les pays du monde où elles trouvent des conditions favorables pour leur développement. Cette vaste étendue des courges est due aux qualités nutritives et gustatives des fruits. Les courges à fruits allongées appelées courgettes sont récoltées et consommées en légumes à l'état de jeunes fruits. Les courges, de formes diverses (potirons, citrouilles), présentent une conservation très grande et sont consommées à l'état mûr, très souvent pendant l'hiver.

En Algérie, les conditions climatiques et les types de sol sont très favorables pour la culture de toutes les espèces de courges. Leurs cultures couvrent une superficie de 8010 ha avec une production totale de 875 410 qx (DSASI 2001). Les principales wilayas productrices sont Mostaganem, Boumerdes et Tipaza. La courgette est également cultivée sous serre,

essentiellement dans la région de Tipaza, sur une superficie totale d'environ 443 ha pour une production de 111 300 qx (DSASI 2001).

- La fleur :

La courgette est une plante monoïque, chaque pied porte deux types de fleurs : mâles et femelles. Le nombre de fleurs mâles est toujours plus élevé que celui des fleurs femelles, ce qui est nécessaire pour assurer la fécondation de ces dernières.

La fleur femelle (fig.11 a) est portée par un court pédoncule anguleux, elle est constituée d'un calice formé de 5 petits sépales triangulaires formant 5 dents. La corolle, jaune d'or de grande taille, est constituée de 5 pétales plus ou moins soudés entre eux. Le stigmate est constitué de trois lobes supportés par un style formé de 3 colonnes et au dessous duquel se trouve un ovaire infère de grande taille (future courgette) contenant en moyenne 411 ± 52 ovules (Nepi & Pacini 1993). Le nectaire consiste en un canal autour de la base du style bordé par un anneau.

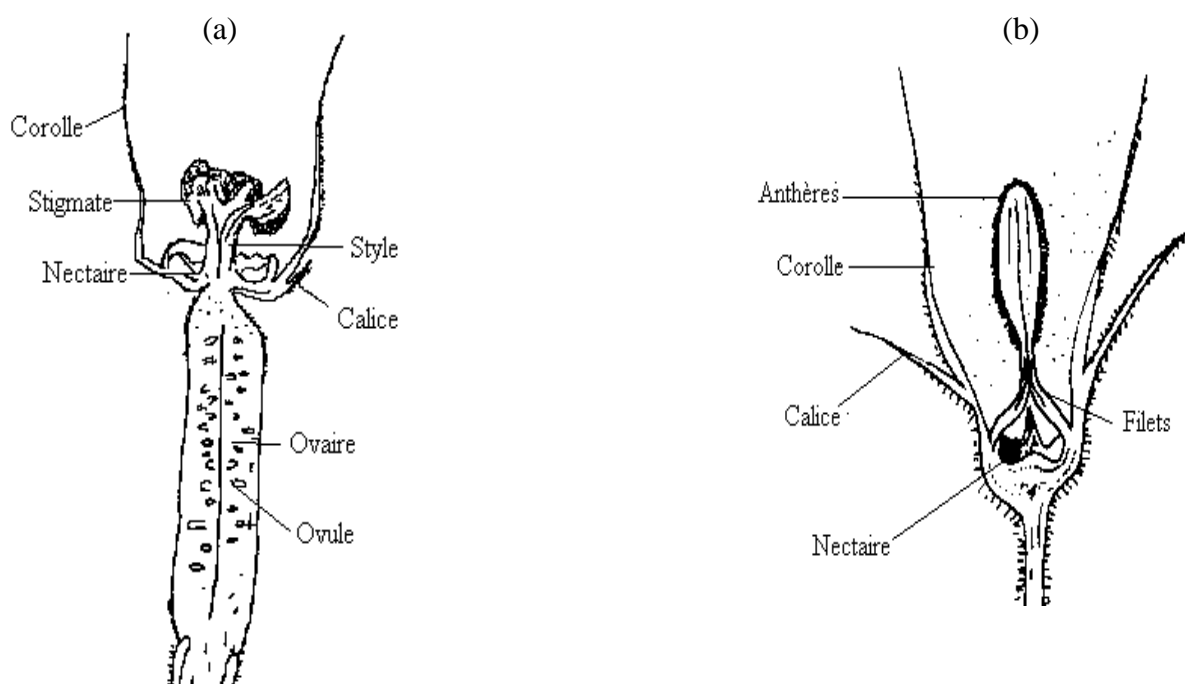


Figure 11 (a et b). Section longitudinale de la fleur femelle (a) et mâle (b) de *Cucurbita pepo* (d'après Mc Gregor 1976).

La fleur mâle (fig.11 b) est portée par un long et grêle pédoncule, elle est constituée d'un calice formé de 5 sépales verts longs et minces. La corolle, jaune d'or et également de grande taille, est soudée au calice. Elle est formée de 5 pétales plus ou moins longuement soudés

entre eux. Il y a 5 anthères tubulaires pliées pour former la colonne anthérifère. Les 5 anthères produisent une moyenne de 16487 ± 231 grains de pollen (Nepi & Pacini 1993). Le nectaire se trouve à l'intérieur d'une niche à la base des filets staminaux qui forment autour de lui une couronne.

4. Le concombre

Le concombre (*Cucumis sativus* L.) est une plante annuelle rampante de la famille des Cucurbitaceae. Elle est originaire de la région tropicale de l'Inde où l'on retrouve jusqu'à ce jour sa forme sauvage. Les fleurs mâles sont séparées des fleurs femelles mais portées par un même pied (la plante est dite monoïque). Certaines variétés sont gynoïques (fleurs uniquement femelles) ou parthénocarpiques (ne nécessitant pas de pollinisation). Pour les variétés classiques (monoïques), la pollinisation est assurée par les insectes. Malgré sa valeur nutritive relativement faible, le fruit du concombre est très estimé et il est consommé en frais et encore sous la forme de différentes conserves. La plante est largement cultivée à travers le monde. En Algérie, les conditions climatiques et du sol sont très favorables pour une production rentable et de qualité supérieure tant sous abris plastiques qu'en pleine terre.

La production nationale totale en 2001 du concombre a atteint 593 920 qx pour une superficie totale de 3230 ha (DSASI 2001). Les principales wilayas productrices sont Tipaza, M'sila, Mostaganem et Chlef. Sous serres, la culture couvre une superficie totale d'environ 268 ha pour une production de 183 420 qx et avec la wilaya de Tipaza comme principal producteur (DSASI 2001).

- la fleur :

Les fleurs du concombre, de couleur jaune, naissent aux aisselles des feuilles. Elles sont formées de 5 pétales ridés et partiellement soudés. Les fleurs mâles, beaucoup plus nombreuses, naissent en bouquets et apparaissent quelques temps (environ une dizaine de jours) avant les fleurs femelles. Chaque fleur est portée par un mince pédoncule et présente 3 étamines, dont deux portent 2 anthères et la troisième une anthère (fig.12a). Les fleurs femelles ou pistillées sont habituellement solitaires et sont portées par un fort pédoncule. Comme chez d'autres Cucurbitaceae, elles sont facilement reconnaissables par leur ovaire allongé à la base de la fleur. Leur stigmate, formé de trois lobes épais, est porté par un large style. L'ovaire est formé de 3 chambres, pourvue chacune de plusieurs rangs d'ovules (fig.12b).

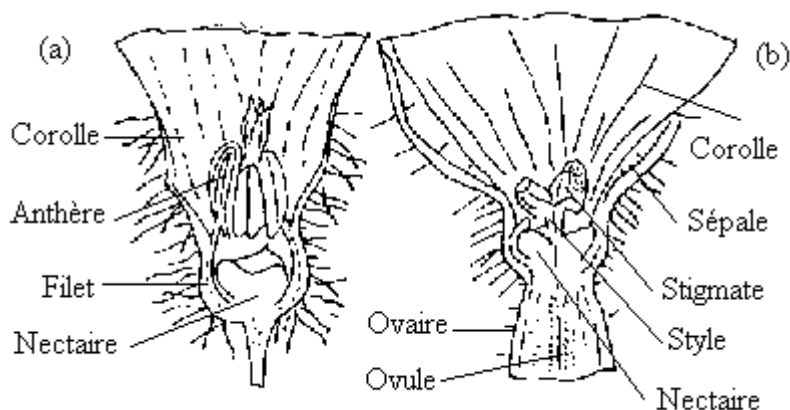


Figure 12. Coupe longitudinale de la fleur mâle (a) et femelle (b) de *Cucumis sativus* (d'après Mc Gregor 1976)

5. Le navet

Le navet (*Brassica rapa* L.) est une plante bisannuelle à racines, de la famille des Brassicaceae. Il serait originaire de l'Europe ou encore de l'Asie (Inde) (Anonyme 1999). C'est une culture très ancienne qui était très répandue au moyen âge avant l'introduction de la pomme de terre et du haricot. Ses qualités culinaires sont moins estimées et appréciées aujourd'hui qu'au moyen âge mais sa valeur nutritive est loin d'être sous estimée. En Algérie, c'est un légume qui est cultivé dans toutes les régions du pays en culture irriguée de printemps et d'été et non irriguée en fin d'automne et début de printemps. La superficie totale cultivée s'étend sur 7710 ha pour une production annuelle totale de 862 430 qx et les principales wilayas productrices sont Bourmedes, M'sila et Alger (DSASI 2001).

- La fleur :

Les fleurs, fortement autostériles, du navet sont de couleur jaune (7-11 mm). Elles sont réunies dans des inflorescences en grappes allongées et très nombreuses, et portées par une hampe (tige) florale primaire et des hampes secondaires (ramifications) et tertiaires. On retrouve parfois des hampes quaternaires.

Chaque fleur est constituée de 4 pétales ovales avec 4 sépales alternes et héberge 6 étamines. 4 de ces étamines, situées centralement, sont longues et sont projetées au dessus du stigmate. Les deux autres, localisées latéralement, sont plus courtes que le style. Ce dernier, situé au centre, est allongé et il est surmonté d'un stigmate enflé. L'ovaire renferme 2 carpelles.

Il y a 4 nectaires partiellement dissimulés, deux sur le côté interne des étamines courtes et les deux autres sont situés entre les insertions de chaque paire des étamines longues. Les fruits sont des siliques qui renferment de petites graines rondes.

La structure et la morphologie de la fleur du navet sont semblables à celle du colza (*Brassica napus* L.) que nous présentons ci-dessous (fig.13).

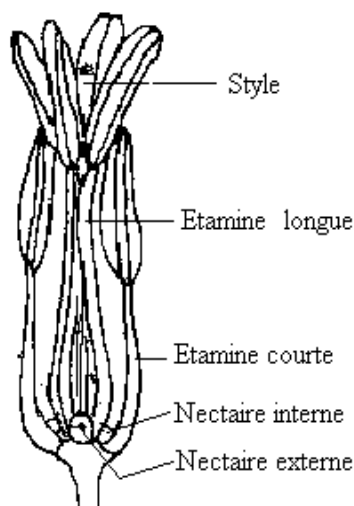


Figure 13. Fleur de *Brassica napus* avec pétales et sépales supprimés (d'après Ross-Craig 1949 in Free 1993).

6. Le radis :

Le radis (*Raphanus sativus* L.), comme le navet, est une plante bisannuelle à racines de la famille des Brassicaceae. Il est généralement autoincompatible mais quelques variétés sont autofertiles. Les petits radis sont des plantes annuelles, cependant les grosses variétés tardives sont des plantes biennuelles. L'origine du radis reste incertaine, il serait originaire de l'extrême Orient, en particulier la Chine et le Japon où l'on retrouve de très nombreuses variétés. D'autres botanistes soupçonnent que la plante serait originaire de la Méditerranée ou encore de l'Europe. La culture du radis est très ancienne et c'est à partir du XVII^e siècle que sa culture commence à être largement répandue. De nos jours, c'est une culture maraîchère répandue dans toutes les régions du monde. Sa valeur nutritive n'est pas grande et il est surtout apprécié comme légume rafraîchissant puisqu'il contient des quantités considérables

de vitamine C et de sels minéraux. En Algérie, le radis n'est pas très répandu puisque sa culture est pratiquée sur de petites superficies.

- la fleur :

Les fleurs du radis, typiques de celles des Brassicaceae sont constituées de 4 sépales, de 4 pétales (blancs rosés), de 6 étamines et d'un ovaire formé de 2 carpelles. Elles sont disposées en un panicule lâche aux extrémités des tiges ou hampes florales. Les nectaires sont situés à la base des étamines (fig 14).

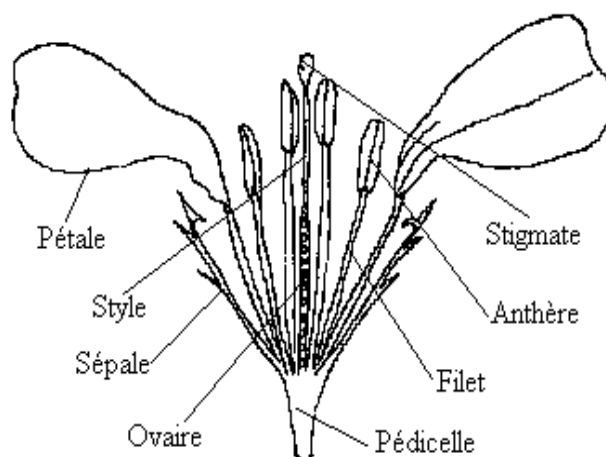


Figure 14. Section longitudinale de la fleur de *Raphanus sativus* (d'après Mc Gregor 1976).

7. La betterave

La betterave (*Beta vulgaris* L.) est une plante bisannuelle à racines charnues (partie consommée) de la famille des Chenopodiaceae. Elle serait originaire de la Méditerranée ou encore du sud de l'Europe. C'est un légume dont la culture et la consommation sont relativement récentes (XIV-XV siècle). L'amélioration ou la sélection intensive de cette espèce ainsi que l'introduction de certaines variétés précieuses ont beaucoup contribué à la vulgarisation de cette espèce maraîchère dans presque tous les pays d'Europe et d'Amérique. Parmi les légumes racines, la betterave potagère est un des légumes les plus répandus et qui a une importance économique considérable. Elle peut être consommée comme légume frais ou sous forme de différentes conserves pendant presque toute l'année. La facilité, les exigences pas trop grandes de sa culture ainsi que les qualités nutritives et diététiques de ses racines ont largement contribué à sa vaste étendue et consommation. En Algérie, la betterave potagère trouve des conditions extrêmement favorables pour son développement, mais ce légume n'a pas reçu jusqu'à présent l'étendue et la consommation qu'il mérite. Sa culture est pratiquée sur de petites superficies.

- La fleur :

Les fleurs de la betterave, généralement auto incompatibles, sont petites et de couleur verdâtre. Elles sont disposées en bouquets denses de 3 à 4 soudées ensemble et développées sur de longues inflorescences. Chaque fleur a 5 sépales étroits et incurvés, 5 étamines insérées à la base des lobes du calice, un ovaire infère composé de 3 carpelles fusionnés contenant un seul ovule et un style court avec 3 lobes stigmatiques (fig.15).

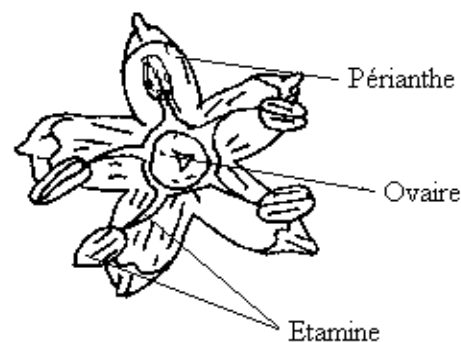


Figure 15. Fleur de *Beta vulgaris* (d'après Robbins 1931 in Free 1993).

8. La pomme de terre

La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) appartient à la famille des Solanaceae. C'est une plante annuelle qui serait originaire des régions de l'ouest de l'Amérique latine où l'on retrouve jusqu'à ce jour de nombreuses formes sauvages (Pérou, Chili et Bolivie). Elle ne connaît une extension prodigieuse que durant le XIX^e siècle, ses avantages ont largement contribué, avec le temps, à son extension rapide dans les différentes régions du monde. La pomme de terre est actuellement un des légumes les plus importants et les plus précieux. Ses qualités nutritives sont très grandes puisqu'elle renferme de fortes quantités de protéines, de glucides et de vitamines (surtout C et B). Les variétés de cette plante, cultivées dans les différents pays du monde, appartiennent à quelques espèces botaniques distinctes, mais la plupart des variétés répandues et largement cultivées dans les pays producteurs dérivent de l'espèce *Solanum tuberosum* L.

En Algérie, la pomme de terre vient en tête des cultures maraîchères. L'augmentation de son rendement s'explique en grande partie par la conduite, rendue obligatoire, en irrigué de sa culture (Amrar 1997). La production annuelle de la plante est de 9 672 320 qx pour une superficie totale de 65 790 ha (DSASI 2001) et avec comme principales wilayas productrices Ain Defla, Mascara, Mostaganem et Tlemcen.

- La fleur :

Les fleurs de la pomme de terre, réunies en inflorescences au sommet des tiges, sont généralement blanches ou mauves, mais parfois aussi bleues, pourpres ou d'un violet foncé selon les variétés. Elles sont autogames et très souvent stériles. Certaines variétés ne forment pas de fleurs ou celles-ci coulent et ne se développent pas en fruits.

La fleur comporte un calice tubulaire et une corolle dont le haut est lobé (fig.16). Les 5 étamines alternent avec les lobes de la corolle et portent de grandes anthères charnues qui se projettent pour former un cône. Les anthères s'ouvrent par des pores terminaux. L'ovaire est formé de deux chambres avec de nombreux ovules, il est surmonté par un seul style et stigmate. Le fruit est une baie, sorte de petite tomate très ronde renfermant de très nombreuses graines.

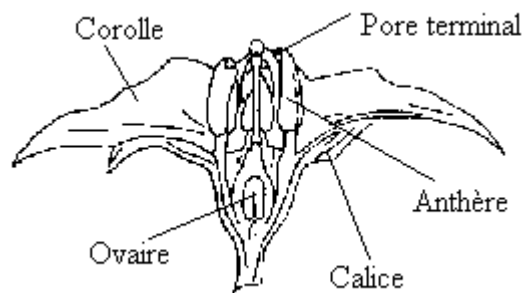


Figure 16. Section médiane de la fleur de *Solanum tuberosum* (d'après Robbins 1931 in Free 1993).

9. La tomate

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) est une plante autogame de la famille des Solanaceae, elle est d'origine américaine particulièrement d'Amérique centrale et du sud (Mexique, Pérou, Equateur, etc.). Dans les régions montagneuses de ces pays, on trouve jusqu'à ce jour la plus grande diversité de formes sauvages et culturelles. En Europe, et jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, elle est cultivée uniquement dans un but ornemental à cause de son lien de parenté botanique très étroit avec certaines espèces botaniques reconnues comme vénéneuses. Aujourd'hui, c'est la culture potagère la plus répandue dans le monde et dont l'utilisation surtout par l'industrie alimentaire a connu une très grande croissance. Son adaptation comme une culture sous serre a favorisé son extension dans les régions nordiques du monde, où sa culture en plein champ est risquée ou impossible. Les qualités excellentes, tant gustatives que technologiques de ce légume, ont largement contribué à sa consommation massive.

En Algérie, c'est la culture maraîchère la plus appréciée et la plus répandue tant en plein champ que sous abris. Les conditions climatiques dans toutes les régions du pays sont très favorables pour une culture fortement rentable. Sa culture en plein champ s'étend sur une superficie totale de 16 760 ha pour une production annuelle de 3 735 340 qx. Les principales

régions productrices sont Tipaza, Biskra et Alger (DSASI 2001). Sa culture sous serres couvre une superficie d'environ 1865 ha pour une production de 1 354 270 qx et les principaux producteurs sont Biskra, Tipaza, Chlef et Mostaganem (DSASI 2001).

- La fleur :

Les fleurs de la tomate, de couleur jaune, sont réunies dans des inflorescences ou bouquets qui contiennent 4 à 12 fleurs pendantes. Cependant, les inflorescences de la plupart des cultivars commerciaux ont 4 à 5 fleurs seulement. Le calice et la corolle (fig.17) sont

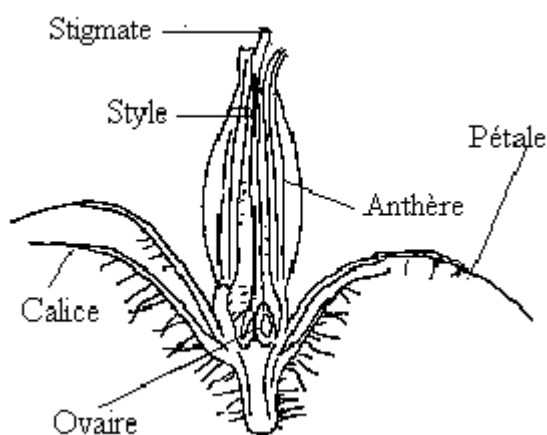


Figure 17. Section longitudinale de la fleur de *Lycopersicon esculentum* (d'après Mc Gregor 1976).

formés de 5 à 10, le plus souvent, 6 lobes pointus et ceux de la corolle sont réfléchis. Il y a habituellement 6 étamines attachées à la base du tube de la corolle ; les filets courts sont surmontés par de longues et brillantes anthères jaunes lesquelles sont partiellement unies en un cône entourant le pistil ; le haut de chaque anthère est prolongé en un bec stérile. Les fleurs ne produisent pas de nectar (Neiswander 1956 ; Free 1993). L'ovaire est formé de 5 à 9 chambres.

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODES

1. Données géographiques et climatiques de la wilaya de Constantine

La wilaya de Constantine est située à l'est de l'Algérie ($36^{\circ}20'N$ $06^{\circ}35'E$, 660 m d'altitude) et s'étend sur une superficie de 2287 Km². Elle est bordée au nord par la Wilaya de Skikda, au sud par la Wilaya de Oum El Bouaghi, à l'est par la wilaya de Guelma et à l'ouest par la wilaya de Mila. La ville de Constantine est située au carrefour de 4 vallées. La vallée du Rhumel supérieur au sud-ouest et qui comprend la ville de Ain S'mara ($36^{\circ}26'N$ $06^{\circ}50'E$, 609 m d'altitude), la vallée de Bumerzoug au sud-est et qui comprend la ville d'El Khroub ($36^{\circ}16'N$ $06^{\circ}42'E$, 640 m d'altitude), la vallée du Rhumel inférieur située au nord-ouest avec l'axe de Mila et la dépression de Hamma Bouziane au nord ($35^{\circ}26'N$ $07^{\circ}05'E$, 460 m d'altitude) (fig.18).

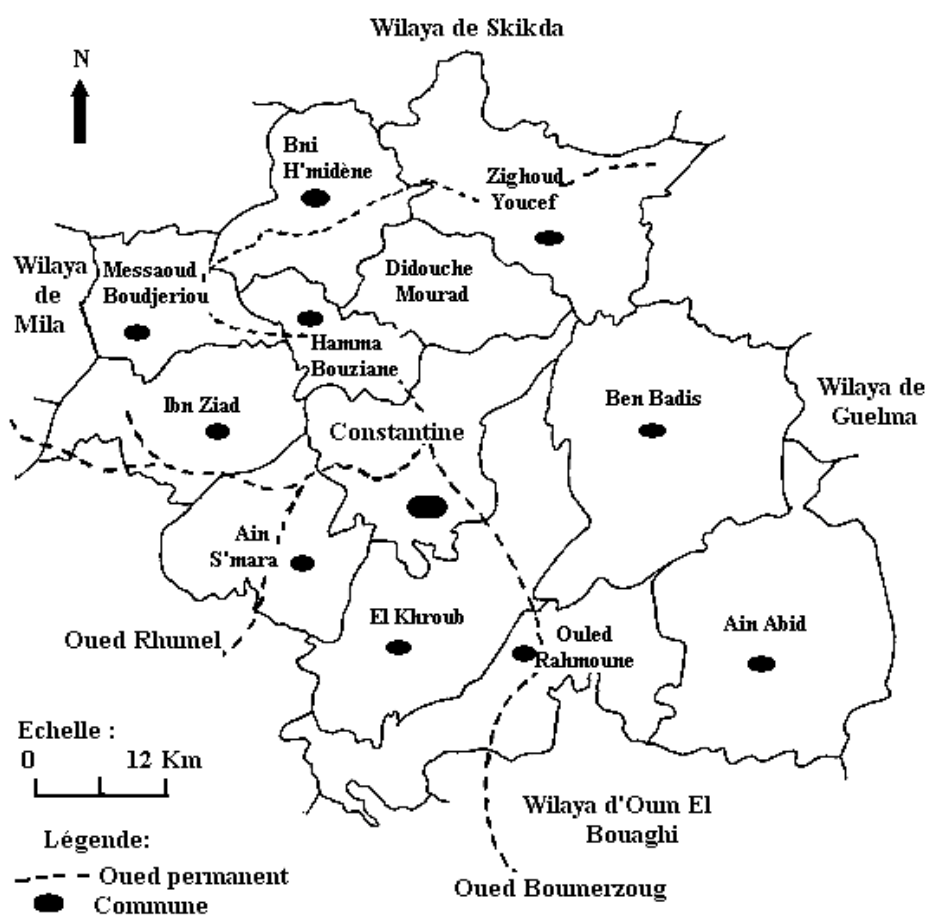


Figure 18. Limites administratives de la wilaya de Constantine

(www.ands/dsp-25/commune.jpg).

Le climat de la Wilaya est un climat méditerranéen de type semi aride caractérisé par des hivers relativement frais et humides et des étés chauds et secs. Les données climatiques de la région relatives à la période d'étude (2000-2004) sont fournies en annexe 4.

1.1. La végétation

La flore, diversifiée, est composée de forêts, de maquis, de prairies naturelles et artificielles, de terres labourées, de vergers et de surfaces nues englobant les terres dénudées, les steppes et les brouisalles. La strate arborescente supérieure (20 à 30 m) est composée de pins tel que le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.), de chênes avec le chêne liège (*Quercus suber* L.), le chêne vert (*Q. ilex* L.), le chêne Zeen (*Q. faginea* Lamk.), etc. Dans la strate arbustive (1 à 7 m), on retrouve la bruyère et l'arbousier ; le romarin et le thym dans la strate sous arbustive. La flore spontanée dominante de la strate herbacée se compose de plusieurs familles botaniques. Parmi elles, les Brassicaceae (*Brassica* spp., *Sinapis* spp.), les Asteraceae (*Silybum* spp., *Scolymus* spp.), les Labiatae (*Rosmarinus* spp.), les Boraginaceae (*Borago* spp.), Convolvulaceae (*Convolvulus* spp.), Primulaceae (*Silene* spp.), etc.

Les structures physiques et chimiques du sol, ainsi que les conditions climatiques de la wilaya sont favorables au développement de plusieurs cultures mentionnées dans le chapitre précédent, et des plantes spontanées qui représentent une source alimentaire indispensable aux abeilles.

1.2. Hydrographie

Les facteurs climatiques sont des phénomènes aléatoires qui déterminent le plus le comportement hydrologique des cours d'eau et de l'alimentation hydrique des nappes. Ils interviennent dans le bilan de l'écoulement essentiellement par les précipitations et par les températures (Mebarki 1984).

Sur le plan hydrologique, dans la région de Constantine s'écoule l'oued Rhumel qui prend sa source vers 1160 m dans les marges méridionales du Tell au nord-ouest de Bellaa. Il traverse les hautes plaines constantinoises avec une orientation SW-NE jusqu'à Constantine où il s'encaisse très profondément dans les gorges calcaires. L'oued Rhumel reçoit quelques affluents importants : l'oued Dekri, l'oued Athmania, l'oued Seguin, l'oued Boumerzoug, l'oued Smendou et l'oued El Ktone.

En plus de l'écoulement de surface et sub-superficiel, les traits communs caractérisant les hautes plaines de Constantine, notamment les bassins de Ain S'mara et El Khroub, consistent

en la présence de matériaux quaternaires (alluvions) qui déterminent la présence de nappes phréatiques (Mebarki 1984).

1.3. La nature des sols

C'est dans le sol que les plantes trouvent les matières premières pour se développer, croître et devenir une source d'alimentation pour les insectes floricoles, les abeilles en particulier. Le sol offre également un gîte pour de nombreuses abeilles sauvages qui y nidifient (Plateaux-Quénu 1972 ; Batra 1984 ; Pouvreau 2004). Ainsi la plupart des espèces, préfèrent un sol plus ou moins ferme et une surface dure. Les terrains argileux et argilo-sableux conviennent à de nombreux genres, quelques espèces (exp : l'Halictidae *Systropha curvicornis* Scopoli 1770) nidifient dans la terre meuble des champs (Plateaux-Quénu 1972).

Concernant la structure des sols du bassin Kebir-Rhumel, et selon l'étude de Mebarki (1984), la wilaya de Constantine est caractérisée par une prédominance de terrains tendres (marnes et argiles). La chaîne numidique du nord qui fait partie du massif Tellien comporte des massifs calcaires jurassiques et des massifs gréseux. Les hautes plaines constantinoises enveloppant le sud de la wilaya correspondent à des bassins de marnes et d'argiles. Entre les deux, on trouve le piémont Tellien constituant un bassin formé de collines aux formes molles (argile) taillées par les oueds Rhumel, Boumerzoug et Smendou.

2. Caractérisation des stations d'étude et plantes étudiées

L'étude a été menée durant 4 années successives (2000 à 2004) dans deux stations. La première station (fig.19) est située dans la localité de Hamma Bouziane au nord de la ville (35°26'N 07°05'E, 460 m d'altitude). Il s'agit d'une parcelle de 660 m² (60 m de long sur 11m de large) au sein d'un jardin ouvert sur la nature. La végétation environnante est herbacée et comporte principalement les espèces mellifères suivantes: *Calendula arvensis* L. (Asteraceae), *Sinapis arvensis* L. (Brassicaceae), *Borago officinalis* L. (Boraginaceae), *Silene fuscata* L. (Caryophyllaceae), *Bryonia dioica* L. (Cucurbitaceae), *Allium triquetrum* L. (Liliaceae),



Figure 19. Photo de la Parcelle de Hamma Bouziane

Malva sylvestris L. (Malvaceae), *Oxalis pes-caprae* L. (Oxalidaceae), *Anagallis arvensis* L. (Primulaceae).



Figure 20. Photo de la Parcelle de l'INATAA

La deuxième station (fig.20) est une parcelle de l'Institut de Nutrition, d'Alimentation et des Technologies Agro-alimentaires (INATAA) de l'Université Mentouri de Constantine (36°22'N 06°37'E, 660 m d'altitude). Il s'agit d'une parcelle de 308 m² (22 m de long sur 14 m de large). Une forêt naturelle entoure l'Institut. Elle est essentiellement composée des essences

suivantes : *Abies numidica* DeLannoy ex Carr, *Cedrus atlantica* Manetti et *Pinus pinaster* Soland (Arietaceae), *Schinus* sp. (Anacardiaceae), *Cupressus sempervirens* L. (Cupressaceae) et *Olea europaea* L. et *Syringa vulgaris* L. (Oleaceae). La végétation herbacée mellifère y est abondante et très diversifiée.

L'étude a été menée sur la fève (*Vicia faba* L.) en 2000, 2001 et 2002, sur le petit pois (*Pisum sativum* L.) en 2001, sur la courgette (*Cucurbita pepo* L.) en 2001 et 2003, sur le concombre (*Cucumis sativus* L.) en 2001 et 2002, sur le navet (*Brassica rapa* L.) et la betterave (*Beta vulgaris* L.) en 2003, sur le radis (*Raphanus sativus* L.) en 2004. Enfin, les observations sur la tomate *Lycopersicon esculentum* Mill.) et la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) sont réalisées en 2002.

Les observations effectuées sur la pomme de terre, la tomate et la fève, pour la floraison de 2000, se sont déroulées dans la première station. Pour les autres plantes, toutes les observations ont été réalisées dans la deuxième station.

La variété plantée, la date de semis et le système de plantation pour chacune des plantes étudiées sont fournis dans le tableau 1.

Tableau 1. Variétés, dates de semis et systèmes de plantation des différentes plantes étudiées.

Plantes	Variétés	Dates de semis	Systèmes de plantation	Espacements entre les rangées	Densités de plants/m ²
Fève	<i>major</i> (fève marocaine longue)	15/XI/1999 29/XI/2000 15/XI/2001	En lignes (rangées)	80 cm	24
Petit pois	<i>merveille de Kelvedon</i>	14/XI/2001	Idem	80 cm	25
Courgette	<i>squash quarantaine</i>	25/V/2001 09/VII/2003	Idem	60 cm	8
Concombre	<i>super marketer</i>	15/V/2001 18/VI/2002	Idem	60 cm	15
Navet	<i>marteau</i>	03/IX/2002	Idem	30 cm	50
Radis	<i>national</i>	14/II/2004	Idem	10 cm	Idem
Betterave	<i>royal sluis</i>	29/VI/2002	Idem	30 cm	30
Pomme de terre	<i>désiré</i>	14/IV/2002	Idem	70 cm	12 à 15 plants
Tomate	<i>tongo</i>	05/V/2002	Idem	1m	12

3. Inventaire et densité de la faune pollinisatrice

Pour procéder à l'observation et au comptage des pollinisateurs et de la densité florale sur les différentes plantes étudiées, nous avons utilisé la méthode des quadrats (Sonnet & Jacob-Remacle 1987 ; Abrol 1988). Sept quadrats de 1 m² chacun sont délimités au moyen de fils et de pieux dans les deux premières rangées à partir du bord de chaque culture. La distance qui sépare deux quadrats est de 2 m. Tous les quadrats sont exposés au soleil et bénéficient d'un même arrosage (fig.21).

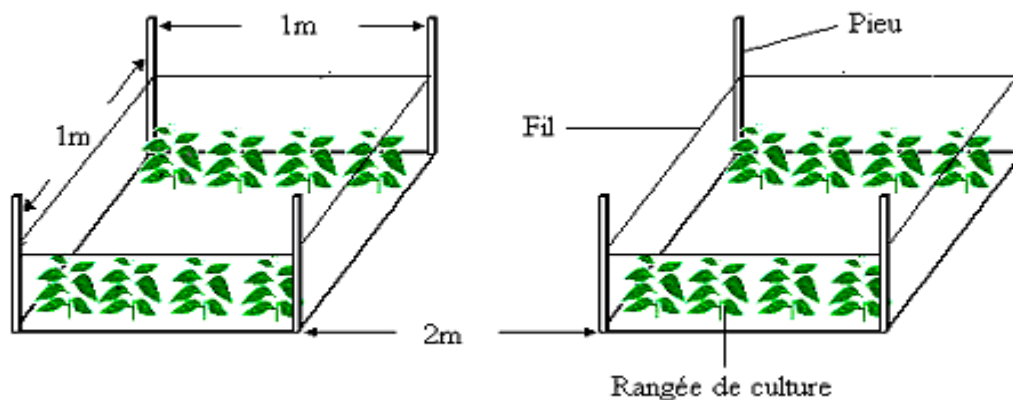


Figure 21. Méthode des quadrats pour l'observation et le comptage des apoïdes

Tous les deux jours et à partir de la floraison de chaque plante, l'observateur parcourt les quadrats de 9 h jusqu'à 17 h (Gmt + 1). Dans chacun d'eux et pendant 7 à 8 minutes, il procède au comptage des insectes butineurs. Quelques spécimens de chaque espèce rencontrée sont capturés pour une identification en laboratoire. La récolte des spécimens se fait par approche directe avec des tubes en plastique contenant du papier filtre imbibé d'éther acétique (Guiglia 1972).

L'objet de visite de l'insecte (récolte de pollen, de nectar ou des deux produits ensemble) est également noté pour les espèces les plus abondantes sur les fleurs. Parallèlement au comptage, une mesure de la densité des fleurs épanouies, et donc susceptibles d'être butinées, est effectuée dans chacun des quadrats. La densité d'insectes est ainsi estimée en rapportant le nombre d'insectes dénombrés à un nombre défini de 100 fleurs. Cette méthode est actuellement la plus fréquemment utilisée pour comparer les densités de pollinisateurs dans les cultures (Pierre *et al.* 1997, 1999).

4. Observation du comportement de butinage des insectes

Le comportement de butinage des insectes est qualifié comme suit. Il est dit positif lorsque l'insecte effectue une visite frontale sur la fleur pour prélever le pollen ou le nectar. Il

entre ainsi en contact avec le stigmate et ses déplacements entre les fleurs et entre les plants peuvent assurer l'allogamie (Carré *et al.* 1994 ; Louadi & Doumandji 1998a).

Le butinage est considéré comme négatif lorsque l'insecte effectue une visite latérale en introduisant sa langue entre les filets des étamines à la base de la corolle pour prélever le nectar. L'efficacité pollinisatrice des abeilles est mesurée par le nombre de visites pollinisantes (positives) effectuées sur les fleurs. Elle est aussi mesurée par la vitesse de butinage qui correspond au nombre de fleurs visitées par minute. Cette mesure est effectuée au moyen d'un chronomètre électronique.

5. Etude de l'influence des facteurs climatiques sur les populations d'abeilles

Pendant la floraison de chaque plante, nous avons étudié l'influence de trois variables climatiques sur l'activité quotidienne des abeilles. Ainsi, et à chaque heure d'observation, nous mesurons la température ambiante, l'humidité relative de l'air et la luminosité. Les deux premières variables sont mesurées à l'aide d'un thermohygromètre (modèle testo 615, précision $\pm 3\%$ HR et $\pm 0,4^\circ\text{C}$) doté d'une sonde combinée humidité/température intégrée. La luminosité est mesurée à l'aide d'un luxmètre (modèle LX-607, précision $\pm 5\%$).

6. Evaluation de l'effet de la pollinisation sur le rendement des plantes

Afin de mesurer l'influence de la pollinisation par les abeilles sur le rendement des plantes, 14 quadrats de 1m^2 sont mis en place. Sept de ces quadrats, situés dans les deux premières rangées de chaque culture, sont laissés libres d'accès aux pollinisateurs. Les sept autres quadrats, situés dans les deux rangées suivantes, sont encagés à l'aide de tulle (1 m de côté pour 2 m de hauteur) afin d'interdire l'accès des pollinisateurs.

L'effet de la pollinisation croisée a été étudié sur 6 plantes : la fève, le petit pois, le navet, le radis, la courgette et le concombre. L'encagement de la betterave n'a pas été réalisé en raison de la hauteur élevée de la plante (environ 2 m de hauteur). L'effet de la pollinisation entomophile sur le rendement de la pomme de terre et de la tomate n'a pas aussi été étudié en raison de l'absence de pollinisateurs sur ces deux plantes.

Au moment de la récolte, des mesures des composantes du rendement sont réalisées pour chacune des 6 plantes.

7. Identification des apoïdes et des plantes spontanées

Diverses clés dichotomiques permettant de séparer les différents genres et espèces d'abeilles sont établies par les auteurs. La détermination, sous une loupe binoculaire, des spécimens capturés lors de cette étude a été réalisée au moyen des clés suivantes : Batra (1977) ; Daly (1983) ; Patiny (2001) ; les clés de Osyshnjuk traduites du russe par Cenci (1991) et Kut (1993) ; Banaszak & Romasenko (1998) ; Amiet *et al.* (2001) ; Terzo (2000) ; Gusenleitner & Schwartz (2002).

La détermination a été également effectuée grâce au matériel de référence du laboratoire de Zoologie de l'Université de Mons Hainant (Belgique) et de celui du laboratoire de Biosystématique et d'Ecologie des Arthropodes de l'Université Mentouri de Constantine.

Les spécimens récoltés sont piqués avec des épingles entomologiques et étiquetés. Chaque étiquette porte le nom de la région où l'insecte a été capturé et de ses coordonnées géographiques, la date de capture, le nom scientifique de la plante visitée et le nom et prénom du légataire. Les insectes sont placés dans des boîtes de collection pour la constitution d'un matériel de référence.

La détermination des espèces végétales présentes au niveau des stations d'étude et visitées par les abeilles parallèlement aux plantes cultivées est effectuée à l'aide de l'ouvrage de Beniston (1984).

Les photos d'apoides rencontrés sur les plantes et présentées en planches sont réalisées au moyen d'un appareil photo numérique (modèle Sony DSC-H38).

8. Analyse statistique des données

Le test de Student (t) et le test U de Mann Whitney (utilisé pour les petits effectifs ou lorsque la distribution des données n'est pas normale) sont utilisés pour comparer les moyennes dans les quadrats libres et encagés concernant l'étude de l'effet de la pollinisation entomophile sur le rendement des plantes, et pour le temps dépensé par les abeilles sur les fleurs des deux Cucurbitaceae. Les comparaisons des pourcentages sont effectuées par un test de l'écart réduit (ϵ). L'influence des facteurs climatiques sur l'abondance des populations d'abeilles est interprétée par une matrice des coefficients de corrélation et par la régression linéaire multiple. L'analyse de la variance (Anova) à un facteur est utilisée pour comparer le temps dépensé sur les fleurs entre les différentes espèces sur le concombre ainsi que la vitesse de butinage entre les différentes espèces sur le radis.

Par ailleurs, la normalité de la distribution des données pour les différentes moyennes calculées et les différents tests statistiques réalisés (sauf pour les effectifs supérieurs à 100) est vérifiée au moyen d'un test de normalité (test de Shapiro-Wilk).

Les diverses analyses statistiques sont réalisées avec les logiciels Statistica version 6 et Statitcf version 5. Les représentations graphiques sont réalisées avec le logiciel Excel version 2003.

Chapitre III

RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. Diversité et activité pollinisatrice des apoïdes sur les plantes étudiées

1. La fève (*Vicia faba* L.)

1.1. Floraison de la plante

Les floraisons ont débuté le 25.II.2000, le 28.II.2001 et le 6.III.2002 et se sont étalées respectivement sur 33, 23 et 22 jours.

Un plant porte entre 27 et 58 fleurs (33 fleurs/plant en moyenne) groupées en inflorescences. On dénombre en moyenne 7 inflorescences par plant et 4 fleurs par inflorescence. La floraison s'échelonne de la base vers l'extrémité du plant et de l'inflorescence.

1.2. Diversité et densité des pollinisateurs

Les observations menées lors des trois périodes de floraison montrent que les insectes qui butinent les fleurs de *Vicia faba* sont tous des hyménoptères apoïdes appartenant à deux familles : Apidae et Megachilidae. Huit espèces sont recensées mais seules trois d'entre elles sont observées au cours des trois floraisons : *Eucera numida* Lepeletier 1841, *Apis mellifera* L. 1758 et *Xylocopa violacea* (L. 1758) (tab.2). Les nombres de visites observées pour les deux premières espèces, et pour les trois floraisons étudiées, sont fournis au tableau 3.

Eucera numida est toujours l'espèce la plus fréquente sur les fleurs, avec une densité de 13 à 20 individus pour 100 fleurs (tab.2). Elle est aussi la seule à être présente sur les fleurs pendant toute la période de floraison.

L'abeille domestique n'est abondante qu'au cours de la période de floraison de 2001 (tab.2).

La présence de *Xylocopa violacea* et des autres espèces n'est qu'épisodique (tab.2).

1.3. Comportement de butinage et efficacité pollinisatrice

Le comportement de butinage des deux espèces les plus fréquentes sur les fleurs, *Eucera numida* et *Apis mellifera*, est seulement noté durant la floraison de 2001.

Les observations montrent que 59% des visites d'*E. numida* concernent la récolte du nectar, environ 20% la récolte de pollen et 20% la récolte mixte de pollen et de nectar (tab.4). L'eucère effectue toujours un butinage positif sur les fleurs. Elle pénètre à l'intérieur de la corolle pour prélever soit le pollen, soit le nectar, soit les deux, ce qui déclenche la colonne staminale qui entre ainsi en contact avec le stigmate. Pour récolter le pollen, l'eucère gratte les anthères avec ses pattes antérieures et le transfère ensuite sur les brosses des pattes postérieures. Pour récolter le nectar, elle enfonce sa langue jusqu'à la base de la corolle où se situent les nectaires. Les visites de l'eucère peuvent donc toutes être fécondantes.

Tableau 2. Nombres moyens des pollinisateurs par 100 fleurs de *Vicia faba* pendant les floraisons de 2000, 2001 et 2002

Familles	Espèces	2000	2001	2002
Apidae	<i>Eucera (Eucera) numida</i> Lepeletier 1841	13	20	15
	<i>Apis mellifera</i> L. 1758	6	16	1
	<i>Xylocopa (Xylocopa) violacea</i> (L. 1758)	1	<1	<1
	<i>Bombus (Bombus) terrestris africanus</i> (Kruger 1956)	1	<1	
	<i>Bombus (Megabombus) ruderatus siculus</i> (Friese 1882)		<1	
	<i>Eucera alternans</i> (Brullé 1832)		1	
	<i>Anthophora</i> sp.	2		
Megachilidae	<i>Osmia (Coerulosmia) hebraea</i> Benoist 1934	<1		

Tableau 3. Nombre de visites observées et de visites pollinisantes pour les deux espèces les plus abondantes, *Eucera numida* et *Apis mellifera*, sur les fleurs de *Vicia faba* pendant les trois floraisons.

N : nombre de spécimens observés ; P : nombre de visites pollinisantes (une seule visite est comptabilisée par insecte).

Floraisons	Espèces	N	%N	P	%P
2000	<i>E. numida</i>	470	70	470	82
	<i>A. mellifera</i>	201	30	104	18
2001	<i>E. numida</i>	525	56	525	66
	<i>A. mellifera</i>	411	44	271	34
2002	<i>E. numida</i>	472	95	472	97
	<i>A. mellifera</i>	24	5	14	3
Total	<i>E. numida</i>	1467	70	1467	79
	<i>A. mellifera</i>	636	30	389	21

Tableau 4. Répartition des visites (en %) d'*Eucera numida* et d'*Apis mellifera* sur *Vicia faba* selon le produit floral récolté et l'efficacité pollinisatrice de ces visites pendant la floraison de 2001

P : pollen ; N : nectar; + : visite pollinisante; - : visite non pollinisante

Espèces	<i>E. numida</i>	<i>A. mellifera</i>
Nombre de visites observées	499	411
P ⁺	19%	65%
N ⁺	59%	0%
N ⁻ (vol)	0%	34%
(P+N) ⁺	22%	1%
Total des visites pollinisantes	100%	66%

L'abeille domestique ne pratique un butinage positif que lorsqu'elle prélève le pollen, soit dans 66% de ses visites. Par contre, pour prélever le nectar (34% des visites), elle passe toujours par les trous percés par les bourdons à la base des corolles, ce qui ne permet pas de féconder la fleur.

Les visites de l'eucère sont plus fréquentes que celles de l'abeille domestique (tab.5). Si on combine effectifs et efficacité pollinisatrice pour ces deux abeilles (tab.3), on constate que, toutes floraisons confondues, plus de 79% de la pollinisation de la plante est assurée par *E. numida*.

Tableau 5. Vitesse de butinage d'*Eucera numida* et d'*Apis mellifera* sur *Vicia faba* pendant les trois floraisons

N = nombre de spécimens observés ; ± : erreur standard

Floraisons	Espèces	N	Nombre moyen de fleurs visitées par minute	Nombre moyen de visites positives par minute
2000	<i>E. numida</i>	20	11,1 ± 1,5	11,1 ± 1,5
	<i>A. mellifera</i>	27	6,7 ± 0,8	4 ± 0,5
2001	<i>E. numida</i>	25	10,4 ± 1,5	10,4 ± 1,5
	<i>A. mellifera</i>	20	7,3 ± 1,1	5,4 ± 0,6
2002	<i>E. numida</i>	21	9,8 ± 1,1	9,8 ± 1,1

1.4. Recherche alimentaire des abeilles

Pour l'eucère, la majeure partie des visites florales au cours de la floraison 2001 concerne la récolte exclusive de nectar (fig.22a). Les plus grandes proportions de collecte de nectar sont observées à 10h et 11h de la matinée et à 15 et 16h de l'après midi. Le pollen est surtout prélevé à 9h et les deux produits ensemble sont surtout récoltés dans l'après midi. C'est au cours de l'après-midi, de 13 à 16h, que les plus grands nombres de visites, tous types de visites confondus, sont observés. De plus, l'eucère reste fidèle aux fleurs de la fève (elle a rarement visité les plantes sauvages) jusqu'à ce que sa floraison s'achève.

A l'inverse, les visites florales de l'abeille domestique concernent toujours principalement la récolte de pollen (fig.22b) et cela, à toutes les heures de la journée. Contrairement à l'eucère également, les plus grands nombres d'observations de l'abeille domestique, tous types de visite

confondus, se font de 10h à 14h. En outre, elle est peu fidèle à la fève et visite de nombreuses autres plantes sauvages. Cela explique les faibles densités de butineuses enregistrées sur la fève lors des floraisons de 2000 et 2002.

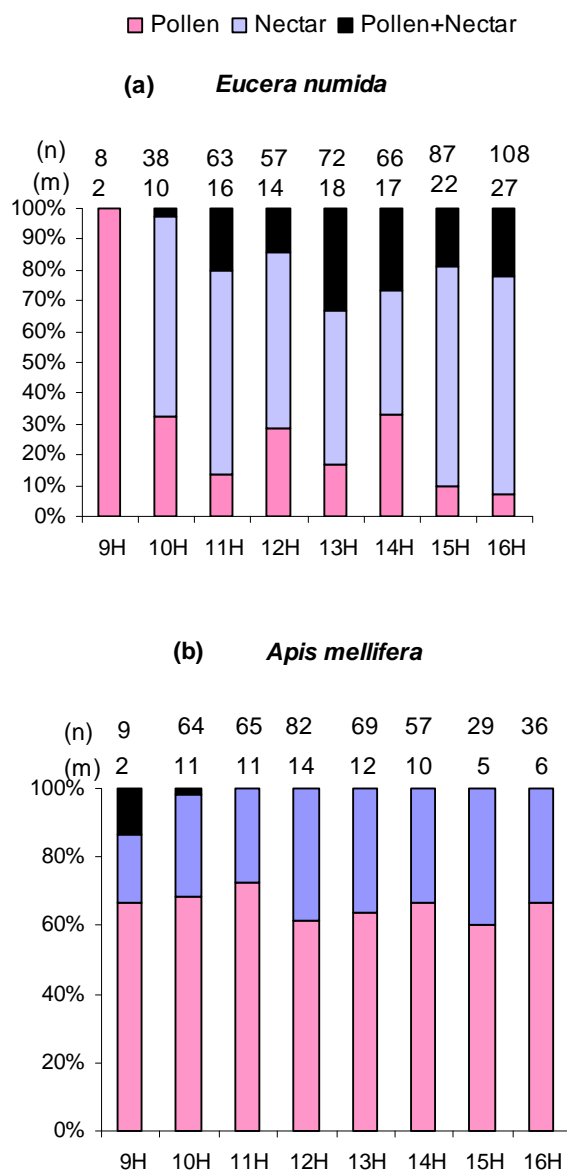


Figure 22. Pourcentages des produits floraux récoltés par *Eucera numida* (a) et *Apis mellifera* (b) sur *Vicia faba* aux différentes heures de la journée (floraison 2001) (n = nombre total de spécimens observés ; m = nombre moyen de spécimens observés)

1.5. Effet de la pollinisation entomophile sur le rendement grainier

L'étude de l'effet de la pollinisation par les insectes sur la production de la plante lors de la floraison de 2001, montre que la présence d'insectes pollinisateurs améliore grandement le rendement de la culture de fèves (tab.6). Le poids moyen de la récolte en graines des quadrats libres est trois fois plus élevé que celui des quadrats encagés. Les poids moyens de la récolte par inflorescence et par plant sont aussi plus élevés sur les plants accessibles aux pollinisateurs que sur ceux encagés. Le poids moyen de la graine (calculé à partir de 500 graines) est aussi significativement plus grand dans les quadrats libres (3 ± 1 gr) que dans les quadrats encagés (2 ± 1 gr) ($t = 3,993$; $p < 0,0001$).

Tableau 6. Rendement grainier moyen de *Vicia faba* dans les quadrats libres (QL) et encagés (QE) pendant la floraison de 2001

U = test de Mann whitney ; t = test de Student ; * $p < 0,01$; ** $p < 0,001$; \pm : erreur standard

	QL	QE	
Poids moyen de la récolte par quadrat (grammes)	673 ± 37	223 ± 21	U = 0*
Poids moyen en graines par plant (grammes)	$32 \pm 0,8$	$11 \pm 0,2$	t = 6,45**
Poids moyen en graines par inflorescence (grammes)	$8,3 \pm 0,4$	$4,7 \pm 0,3$	t = 7,35**

Les nombres moyens de graines par gousse (g/G) et de gousses et de graines par plant (G/P et g/P) calculés à partir des plantes de 6 quadrats (3 libres et 3 encagés) sont significativement plus élevés sur les plants libres que sur ceux encagés (tab.7). Les plants des quadrats libres ont donc produit plus de graines par gousse, plus de gousses par plant et des graines plus grosses et mieux formées que les plants des quadrats encagés.

Le taux de nouaison (% de fleurs transformées en gousses) est significativement plus élevé dans les quadrats libres (13%) que dans ceux encagés (9%) ($\epsilon = 4$; $p = 0.00001$). Les gousses des plantes encagées ont aussi donné un pourcentage de graines ridées (mal formées) nettement supérieur (35%) à celui des gousses des plantes libres (3%). Par contre, le pourcentage de jeunes gousses chutées est significativement plus élevé sur les plantes libres (21,2%) que sur les plantes encagées (5,3%) ($\epsilon = 8$; $p = 0.000$).

Tableau 7. Indices moyens de fertilité de *Vicia faba* calculés à partir des plantes de 6 quadrats (3 libres et 3 encagés) pendant la floraison de 2001.

g/G = nombre moyen de graines par gousse; G/P = nombre moyen de gousses par plant ; g/P = nombre moyen de graines par plant ; QL = quadrats libres; QE = quadrats encagés; t = test de Student; *p = 0,02 ; **p<0,001 ; ± : erreur standard

Indices calculés	QL	QE	T
g/G	3,0 ± 0,1	2,7 ± 0,1	3,48**
G/P	4,0 ± 0,5	3,0 ± 0,5	2,35*
g/P	14,0 ± 2,0	7,0 ± 1,8	5,13**

1.6. Discussion

Les observations menées sur *Vicia faba* au cours des floraisons de 2000, 2001 et 2002 montrent que l'entomofaune pollinisatrice de la plante dans la région de Constantine est composée en majorité d'hyménoptères apoïdes de la famille des Apidae.

L'abeille sauvage *Eucera numida* est l'espèce la plus abondante sur les fleurs au cours des trois floraisons. Elle constitue en moyenne 70% des visites observées. Cette situation est similaire à celle du sud de l'Espagne où la même eucère constitue 89,4% des insectes pollinisateurs observés sur les fleurs de la fève cultivée (Pierre *et al.* 1999).

L'abeille domestique vient en deuxième position en termes d'abondance.

Les autres Apidae, notamment *Xylocopa violacea* et *Bombus terrestris africanus*, sont très peu représentés. Ces derniers sont pourtant considérés comme de bons pollinisateurs de la plante (Stoddard & Bond 1987 ; Pierre *et al.* 1997, 1999), notamment les espèces à langue longue (*Bombus pascuorum* (Scopoli 1763) ; *B. hortorum* (L. 1761)) qui butinent légitimement les fleurs au lieu de perforer la base de la corolle (Free 1966 ; Poulsen 1973 ; Tasei 1976). La faible proportion de bourdons enregistrée sur la plante s'explique par la précocité de la floraison qui coïncide avec la période de fondation de la colonie (Jacob-Remacle 1989 ; Pouveau 2004). En effet, seules des femelles fondatrices ont été observées sur les fleurs.

L'observation du comportement de butinage d'*E. numida* et d'*A. mellifera* montre que l'eucère effectue toujours un butinage positif sur les fleurs quelque soit le produit récolté, et donc toutes ses visites peuvent être fécondantes. Chez l'abeille domestique, la proportion de

butinage positif est en moyenne de 59%. La récolte du nectar correspond toujours à un butinage non fécondant car l'abeille profite des trous percés à la base des corolles par *B. terrestris* (Newton & Hill 1983 ; Corbet *et al.* 1991). Ce comportement de butinage est également observé par plusieurs auteurs (Stoddard & Bond 1987 ; Free 1993 ; Koltowski 1996 ; Pierre *et al.* 1999). En France, il est responsable de la faible proportion de visites positives (seulement 12%) enregistré par l'abeille sur différents géotypes de la plante (Pierre *et al.* 1999).

L'activité quotidienne des abeilles sur les fleurs dépend de la production soit de pollen (Stone *et al.* 1998), soit de nectar (Pierre *et al.* 1996 ; Suzo *et al.* 2001 ; Pouvreau 2004) au cours de la journée. Nos observations en 2001 montrent que l'eucère récolte principalement le nectar (environ 60% des visites) et que la proportion de visites destinées au prélèvement de nectar est plus grande de 10h à 11h et de 15h à 16h ce qui correspond aux heures de la journée où de nombreuses fleurs s'épanouissent (Stoddard & Bond 1987) ou produisent le maximum de nectar (Pierre *et al.* 1996). A l'inverse, l'abeille domestique récolte principalement du pollen. Les butineuses sont nombreuses sur les fleurs pendant toute la journée puisque le pollen est disponible de 10 à 17h (Free 1993) avec des périodes de pic qui correspondent aussi à l'ouverture de nouveaux boutons floraux (Stoddard & Bond 1987).

La présence d'insectes pollinisateurs contribue grandement à l'amélioration de la production de *Vicia faba*. Le rendement grainier et le nombre de gousses obtenus par pollinisation croisée sont plus élevés que ceux obtenus par autogamie.

Des résultats concordants, en comparant quadrats libres et quadrats encagés, ont été obtenus par Pritsch (1971), Pinzauti & Frediani (1979), Prabucki *et al.* (1987), Varis & Brax (1990), Koltowski (1996) et Svendsen & Brødsgaard (1997). Le pourcentage plus élevé de jeunes gousses chutées observé sur les plantes libres peut s'expliquer par la diminution des ressources alimentaires de la plante (Stephenson 1981) ou par une compétition interne pour ces ressources (Chbouki *et al.* 2005). Les plantes des parcelles libres, dont les fleurs sont pleinement pollinisées, ne peuvent pas assurer la maturité de toutes les graines. Les gousses des premières fleurs pollinisées parviennent ainsi à maturité alors que celles des dernières fleurs pollinisées avortent au stade de jeunes gousses (Tamas *et al.* 1979 ; Stephenson 1980).

En conclusion, dans la région de Constantine comme dans le sud de l'Espagne, *Eucera numida* reste le principal pollinisateur de *V. faba*. Avec un butinage qui peut être fécondant dans 100% des visites, un nombre de visite qui représente 70% du nombre total de visites observés, et une aptitude plus grande à déclencher les fleurs de la fève, l'eucère représente le

pollinisateur le plus efficace et le plus utile pour la plante. L'abeille domestique est moins efficace et moins fidèle que l'eucère.

2. Le petit pois (*Pisum sativum* L.)

2.1. Floraison de la plante

La floraison de *Pisum sativum* a débuté le 7.III.2001 et s'est achevée le 24.IV.2001. La période de floraison s'est étalée sur 49 jours. On dénombre en moyenne 3 inflorescences par plant et chaque inflorescence porte 1 à 2 fleurs. La floraison s'échelonne de la base vers l'extrémité du plant.

2.2. Densité et diversité des pollinisateurs

Les observations menées lors de la période de floraison montrent que seuls quelques insectes hyménoptères appartenant à deux familles, Apidae et Megachilidae ont visité les fleurs de *Pisum sativum*. Les abeilles n'ont fait leur apparition sur la plante qu'à partir du 19 mars et leurs visites ont cessé à partir du 6 avril bien que la plante soit encore en floraison. Parmi les Apidae, c'est *Eucera numida* qui a effectué le plus grand nombre de visites sur la plante avec une densité de 2 individus pour 100 fleurs (tab.8). Les visites des deux autres Apidae présents sur la plante, *Apis mellifera* L. et *Xylocopa violacea* L. ainsi que celles du Megachilidae *Rhodanthidium siculum* Spinola 1838 sont épisodiques.

Tableau 8. Nombres de visites observées et nombres moyens des pollinisateurs par 100 fleurs de *Pisum sativum* pendant la floraison de 2001.
N = nombre de spécimens observés

Familles	Espèces	N	%N	Densité/100 fleurs
Apidae	<i>Eucera (Eucera) numida</i> Lepeletier 1841	87	92	2
	<i>Xylocopa (Xylocopa) violacea</i> (L. 1758)	4	4	<1
	<i>Apis mellifera</i> L.1758	1	1	<1
Megachilidae	<i>Rhodanthidium (Rhodanthidium) siculum</i> Spinola 1838	3	3	<1

2.3. Activité journalière, comportement de butinage et efficacité pollinisatrice

L'activité journalière et le comportement de butinage d'*Eucera numida* sont observés au cours de la floraison de la plante. L'eucère débute son butinage sur les fleurs à 10h, son activité s'intensifie à 11h puis chute à 12h. L'activité de l'abeille reprend plus intensément à

13h, puis chute rapidement à 14h. A 15h, les visites de l'eucère reprennent légèrement et à partir de 16h, seuls quelques individus sont encore observés sur les fleurs (fig.23).

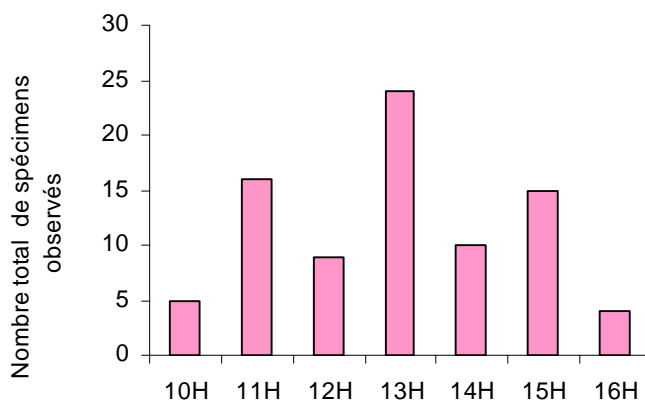


Figure 23. Evolution du nombre d'*Eucera numida* sur *Pisum sativum* pendant la floraison de 2001.

Plus de la moitié des visites d'*Eucera numida* (63%) sont consacrés à la récolte mixte de pollen et de nectar (tab.9). Le pollen et le nectar sont récoltés pratiquement à part égal, respectivement 20% et 17%. Comme sur les fleurs de *Vicia faba*, l'eucère effectue toujours un butinage positif, elle pénètre frontalement à l'intérieur de la corolle pour prélever le pollen, le nectar ou les deux produits ensemble et entre ainsi en contact avec le stigmate. Ses visites peuvent donc toutes être fécondantes.

Tableau 9. Répartition des visites (en %) d'*Eucera numida* sur *Pisum sativum* selon le produit récolté et l'efficacité pollinisatrice de ces visites durant la période de floraison (2001)
P = pollen ; N = nectar ; + : visite pollinisante.

Nombre de visites observées	83
P ⁺	20%
N ⁺	17%
(P+N) ⁺	63%
Total des visites pollinisantes	100%

2.4. Recherche alimentaire d'*Eucera numida*

La majeure partie des visites florales de l'abeille concerne la récolte mixte de pollen et de nectar (fig.24). Les deux produits sont prélevés de 11h jusqu'à 16h et les plus grandes

proportions de collecte sont observées en fin de matinée (12h) et à 13h, 14h et 16h de l'après midi. Le pollen est surtout prélevé dans la matinée et la plus grande proportion de collecte est observée à 10h. A l'inverse, le nectar est récolté dans l'après midi surtout à 15h.

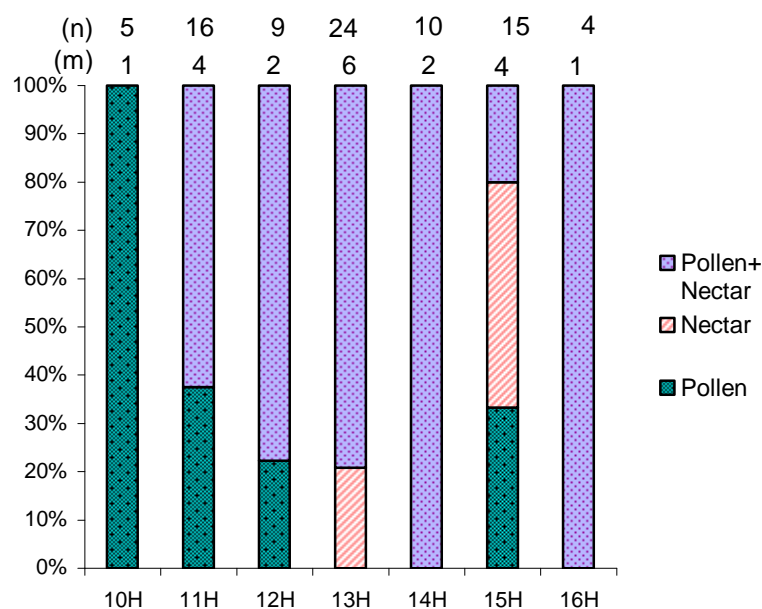


Figure 24. Pourcentages des produits floraux récoltés par *Eucera numida* sur *Pisum sativum* aux différentes heures de la journée (floraison 2001) (n = nombre total de spécimens observés, m = nombre moyen de spécimens observés)

2.5. Effet de la pollinisation entomophile sur le rendement grainier

La présence d'insectes pollinisateurs améliore le rendement du petit pois. Les poids moyens de la récolte par quadrat et en graines par plant sont significativement plus élevés dans les quadrats libres que ceux encagés (tab.10). Les nombres moyens de gousses et de graines par plant sont aussi significativement plus élevés sur les plants libres que sur ceux encagés.

Le nombre moyen de graines par gousse (calculé à partir de 800 gousses libres et 800 encagées) est pratiquement identique sur les plants libres et encagés, mais le test statistique montre que le nombre de graines est significativement plus élevé sur les plants libres.

Tableau 10. Rendement grainier et indices moyens de fertilité de *Pisum sativum* en présence (quadrats libres) et en absence de pollinisateurs (quadrats encagés) pendant la floraison de 2001.

G/P = nombre moyen de gousses par plant ; g/P = nombre moyen de graines par plant ; g/G = nombre moyen de graines par gousse ; t = test de Student ; U = test de Mann whitney ; \pm : erreur standard ; *p < 0,05 ; **p<0,01 ; ***p<0,001

	Quadrats libres	Quadrats encagés	
Poids moyen de la récolte par Quadrat (grammes)	628,8 \pm 36,6	412,8 \pm 22,9	U = 0**
Poids moyen en graines par plant (grammes)	21,2 \pm 2,3	13,2 \pm 1,4	t = 3,92***
Indices de fertilité			
G/P	5,5 \pm 0,5	3,7 \pm 0,5	t = 5,34***
g/P	32 \pm 3,5	21 \pm 2,5	t = 3,43***
g/G	5,3 \pm 0,2	5 \pm 0,2	t = 2,2*

Par ailleurs, le taux de nouaison (% des fleurs transformées en gousses) est significativement plus élevé dans les quadrats libres (96%) que dans ceux encagés (93%) (ϵ = 3,07 ; p = 0,001). Cependant, les gousses des plants encagés ont donné un pourcentage de graines mal formées (ridées) (1,1%) similaire à celui des plants libres (0,3%) (ϵ = 0,72 ; p = 0,50).

2.6. Discussion

Les observations menées sur *Pisum sativum* durant la période de floraison de 2001 montrent que la plante est peu visitée par les insectes. Seulement quelques hyménoptères apoïdes appartenant à deux familles, Apidae et Megachilidae, sont rencontrés sur les fleurs. Seules les visites d'*Eucera numida* sont relativement abondantes en comparaison avec celles des autres Apidae (*Xylocopa violacea* et *Apis mellifera*) et du Megachilidae *Rhodanthidium siculum*, et dont les visites sont occasionnelles. L'abeille domestique et *Rhodanthidium siculum* ont concentré la plupart de leurs visites sur les plantes sauvages présentes aux abords de la culture notamment *Sinapis arvensis* L. (Brassicaceae), *Borago officinalis* L. (Boraginaceae), *Calendula arvensis* L. (Asteraceae) et *Fumaria capreolata* L. (Fumariaceae). Quelques individus *Eucera numida* sont également observés sur ces fleurs sauvages.

Free (1993) constate également que les cultures du petit pois sont rarement visitées par les insectes. En Turquie, le même auteur observe qu'*Eucera dalmatica* Lepeletier 1841 représente le visiteur le plus commun de la plante. Des bourdons, *Bombus lucorum* (L. 1761),

B. sylvarum (L. 1761) et *B. humilis* (Illiger 1806) ainsi que *Megachile lagopoda* (L. 1761) visitent aussi la plante. Par contre, l'abeille domestique visite très peu le petit pois. En Russie, Bogdanova & Berdnikov (2000) constatent aussi que les bourdons sont les agents pollinisateurs les plus fréquents sur la plante.

Le comportement de butinage d'*Eucera numida* est le même que celui observé sur *Vicia faba*. L'eucère effectue toujours un butinage positif sur les fleurs quelque soit le produit récolté et toutes ses visites peuvent être fécondantes.

Durant la floraison de la plante, nos observations montrent que les fleurs de *Pisum sativum* produisent un pollen abondant et que celui-ci est encore disponible à 16h. Sur les fleurs, *Eucera numida* récolte le pollen principalement dans la matinée. Ce dernier est probablement libéré plus intensément durant cette période. Le nectar est plus récolté dans l'après midi. La majorité des visites de l'eucère, cependant, concerne la récolte des deux produits ensemble (60% des visites) et les plus grandes proportions de collecte sont observés de 12h à 14h et à 16h.

Le petit pois est considéré habituellement comme une plante autogame. La déhiscence des anthères (Free 1993) et la fécondation des fleurs (Bogdanova & Berdnikov 2000) se produisent déjà au stade du bouton floral. La plante peut également être allogame (Free 1993). En Argentine, des études ont montré que les taux d'allogamie chez le petit pois varient de 0,2 à 6,5% chez la plupart des cultivars (Haskell 1943).

La pollinisation croisée peut améliorer le rendement de la plante. Nos observations montrent, en effet, que la présence d'insectes améliore la production du petit pois. Le rendement grainier de la plante et le nombre de gousses obtenus par pollinisation croisée sont plus élevés que ceux obtenus par autopollinisation. A l'est de la Sibérie, Martynov (1976) obtient également en présence de colonies d'abeilles des rendements grainiers plus élevés en comparaison avec ceux obtenus sans colonies. Pour expliquer la contribution des insectes dans la production et l'amélioration du rendement de la plante, Bogdanova & Berdnikov (2000) suggèrent qu'il est possible que quelques ovules restent encore non fertilisés après l'ouverture des fleurs. Les mêmes auteurs indiquent que l'aptitude du petit pois à la pollinisation croisée peut dépendre de plusieurs facteurs tels que le génotype de la plante et les facteurs géographiques et environnementaux.

En conclusion, dans la région de Constantine l'Apidae *Eucera numida* semble être le principal pollinisateur de la plante et ce malgré un nombre de visites relativement faible. La présence des insectes pollinisateurs, bien que peu importante, contribue à améliorer la production de la plante.

3. La courgette (*Cucurbita pepo* L.)

3.1. Production des fleurs et sex- ratio

Les floraisons de *Cucurbita pepo* ont débuté le 8.VIII.2001 et le 11.VIII.2003 et elles se sont étalées respectivement sur 25 et 24 jours. La production totale des fleurs staminées (mâles) et pistillées (femelles) durant les deux floraisons est indiquée dans la figure 25 (a et b).

Les fleurs mâles apparaissent quelques jours avant les fleurs femelles et leur nombre est toujours plus élevé par rapport à celui des fleurs femelles. Ce nombre varie constamment. Il est faible au début de la floraison puis il croît et décroît au cours de la saison. De même, le nombre de fleurs femelles varie au cours de la floraison (fig. 25 a et b).

En 2003, les plants ont produit beaucoup moins de fleurs pistillées (fig. 25 b). Le sex ratio des deux populations varie également au cours du temps. En 2001, il se stabilise lors du 22^{ème} et 24^{ème} jour, et durant les derniers jours pendant la floraison de 2003 (fig. 25 a et b).

Les sex-ratios moyens de la population sont : 7 ♂ / 1 ♀ et 11 ♂ / 1 ♀ respectivement en 2001 et en 2003.

3.2. Diversité et densité des pollinisateurs

Les observations menées lors des deux floraisons ont montré que les insectes qui butinent les fleurs de *Cucurbita pepo* sont principalement des Hyménoptères apoïdes appartenant à deux familles : Apidae et Halictidae. Quelques Hyménoptères formicides (fourmis) ont aussi visité les fleurs.

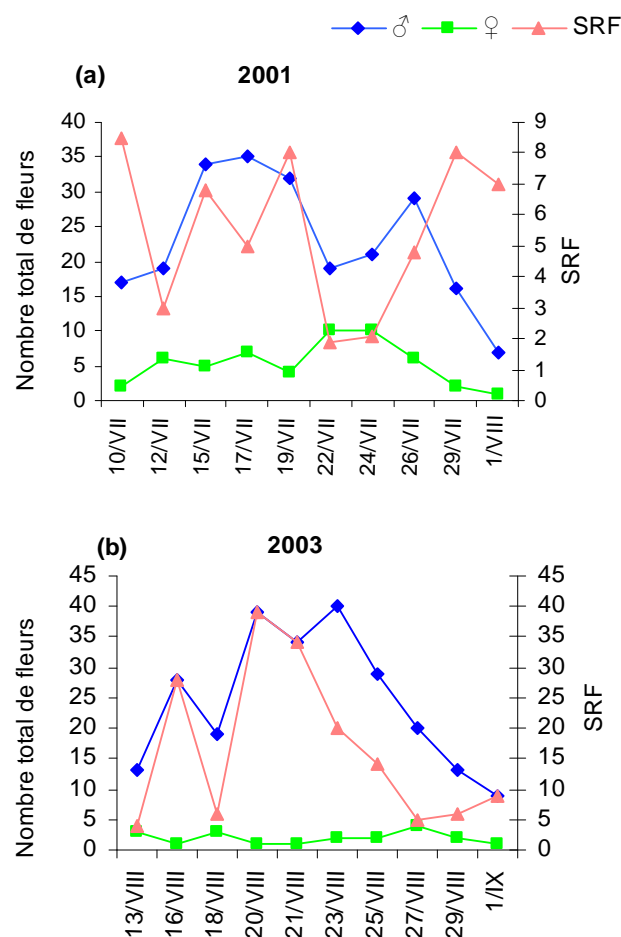


Figure 25. Production des fleurs mâles et femelles par les plants de *Cucurbita pepo* pendant les floraisons de 2001 (a) et de 2003 (b) et sex ratio floral (SRF: ♂/♀)

6 espèces d'abeilles sont recensées sur la plante (tab.11). L'abeille domestique (*Apis mellifera* L. 1758) est présente durant les deux périodes de floraisons et a enregistré les plus grands nombres de visites. Les densités de l'abeille par 100 fleurs sont toutefois surestimées car les butineuses sont dispersées sur quelques fleurs seulement. L'Apidae *Ceratina cucurbitina* Rossi 1792 et les quatre Halictidae : *Lasioglossum albocinctum* (Lucas 1846), *L. interruptum* (Panzer 1798), *L. villosulum* (Kirby 1802) et *L. malachurum* (Kirby 1802) sont observés seulement durant la floraison de 2001, et ont effectué des visites occasionnelles (tab.11).

Tableau 11. Densités moyennes par 100 fleurs des pollinisateurs de *Cucurbita pepo* pendant les floraisons de 2001 et de 2003. (- : absence)

Familles	Espèces	2001	2003
Apidae	<i>Apis mellifera</i> L. 1758	68	51
	<i>Ceratina (Ceratina) cucurbitina</i> (Rossi 1792)	3	-
Halictidae	<i>Lasioglossum (Lasioglossum) albocinctum</i> (Lucas, 1846)	4	-
	<i>L (Evylaeus) interruptum</i> (Panzer 1798)	3	-
	<i>L (Evylaeus) villosulum</i> (Kirby 1802)	1	-
	<i>L (Evylaeus) malachurum</i> (Kirby 1802)	1	-

3.3. Evolution du nombre de visites de l'abeille domestique durant les deux floraisons

En 2001, le pic de visite de l'abeille domestique est enregistré vers la fin de la période de floraison (le 26/VIII) (fig.26a) et l'évolution du nombre de visites de l'abeille suit approximativement la forme de la courbe florale.

Durant la floraison de 2003, les visites de l'abeille sont plus nombreuses en début de floraison. A partir du 25 août, la courbe d'évolution des visites suit aussi approximativement celle de l'évolution des fleurs (fig.26b).

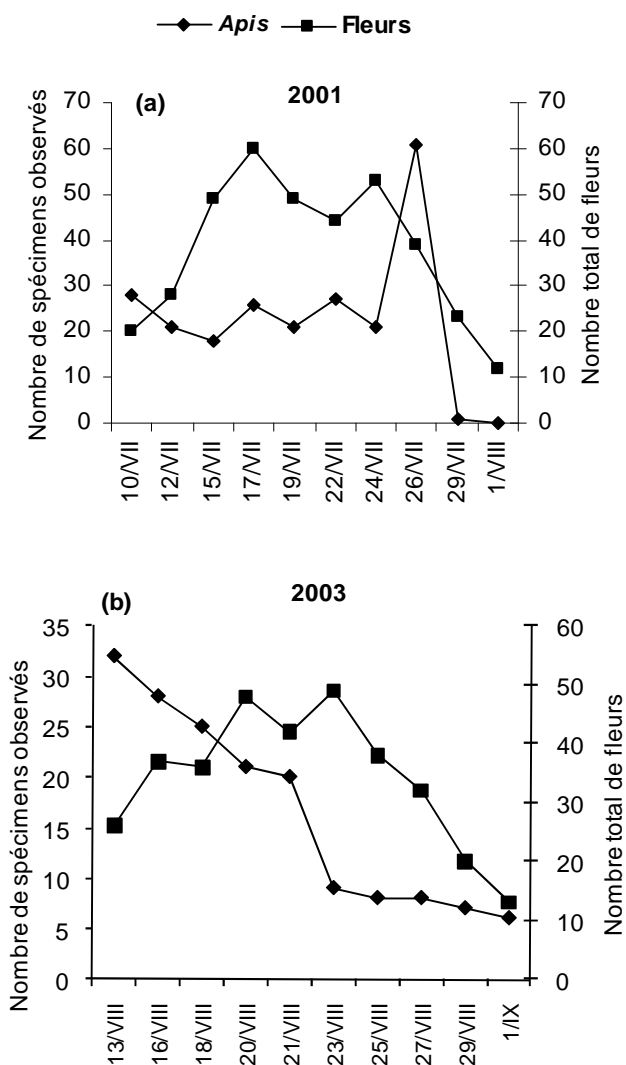


Figure 26. Evolution du nombre de visites d'*Apis mellifera* sur *Cucurbita pepo* en relation avec la densité des fleurs au cours des floraisons de 2001 (a) et de 2003 (b)

3.4. Comportement de butinage et efficacité pollinisatrice

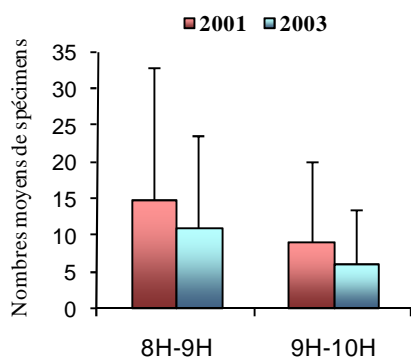


Figure 27. Nombres moyens (\pm erreur standard) de visites d'*Apis mellifera* enregistrées sur *Cucurbita pepo* aux heures d'observation durant les floraisons de 2001 et de 2003

Les visites de l'abeille domestique sur les fleurs sont plus fréquentes durant la première période d'observation (8h-9h) lorsqu'un maximum de fleurs est épanoui. A partir de 9h,

les visites de l'abeille diminuent car beaucoup de fleurs commencent à se fermer (fig.27).

77% des visites de l'abeille sont destinées à la récolte de nectar en 2001, et 72% en 2003. Le reste des visites (23% et 28% respectivement en 2001 et en 2003) est consacré à la récolte de pollen. La plupart des visites (75%) des abeilles sauvages sont aussi consacrées à la récolte de nectar (tab.12). Sur les fleurs femelles et avant de pénétrer au fond de la corolle pour prélever le nectar, l'abeille domestique atterrit d'abord sur le stigmate sur lequel elle effectue des déplacements. Quelques fois, elle effectue cette opération avant de quitter la fleur. Ainsi, les visites de l'abeille domestique sur les fleurs pistillées sont toutes potentiellement pollinisantes.

Sur les fleurs staminées, l'abeille atterrit sur les anthères qu'elle gratte avec ses pattes antérieures pour récolter le pollen. Pour prélever le nectar, l'insecte débarque près du bord de la corolle et se dirige au fond de celle-ci. En quittant la fleur, il arrive que l'abeille touche les anthères avec son corps ce qui permet aux grains de pollen d'adhérer aux poils, mais le plus souvent, elle effectue des déplacements sur les anthères. Souvent les abeilles sortent des fleurs couvertes de pollen et effectuent sur les feuilles une petite toilette pour s'en débarrasser.

Comme la courgette est une plante monoïque, l'efficacité des pollinisateurs peut être affectée par le nombre de visites des fleurs mâles et femelles. La proportion de visites des fleurs mâles (staminées) par l'abeille domestique est significativement plus élevée que celle des fleurs femelles en 2001 ($\chi^2 = 19,45$; ddl = 1 ; $p < 0,00001$). En 2003, 90% des visites de l'abeille sont aussi effectuées sur les fleurs staminées (tab.12). Les abeilles sauvages ont également montré une nette préférence pour les fleurs staminées.

Tableau 12. Répartition (en %) des visites d'*Apis mellifera* (*Apis*) et des abeilles sauvages (AS) sur *Cucurbita pepo* selon le produit floral récolté durant les floraisons de 2001 et de 2003.

N = nectar ; P = pollen ; + : visite pollinisante ; (♀) : fleur pistillée ; (♂) : fleur staminée ; n = nombre de spécimens observés

Floraisons	2001				2003	
Espèces	<i>Apis</i>		AS		<i>Apis</i>	
Produit récolté	n	%	N	%	n	%
N ⁺ (♀)	79	35%	2	12%	16	9%
N (♂)	93	42%	10	63%	103	63%
P (♂)	52	23%	4	25%	45	28%
Nombre total de visites	224	100	16	100	164	100
Pourcentages de visites sur les fleurs						
♂	65%		88%		91%	
♀	35%		12%		9%	

- Durée de visite sur les fleurs

L'efficacité pollinisatrice des abeilles sur les fleurs dépend aussi du temps que l'insecte passe sur les deux types de fleurs. Si une espèce préfère les fleurs femelles, mais passe beaucoup de temps à visiter la fleur, le taux de ses visites serait si bas que le nombre réel de ses visites pollinisantes est faible. Nous avons, donc, mesuré le temps dépensé par l'abeille domestique sur les deux types de fleurs.

Les résultats (tab.13) montrent que durant la floraison de 2001, l'abeille a dépensé significativement plus de temps sur les fleurs pistillées (20,3s) que sur les fleurs staminées (14,5s) (test de Mann Whitney (U) = 5 ; p<0,01). En 2003, l'abeille a également dépensé moins de temps sur les fleurs mâles que sur les fleurs femelles (U = 1 ; p< 0,01).

Tableau 13. Temps moyens (en secondes) de visite par fleur d'*Apis mellifera* durant les floraisons de *Cucurbita pepo* en 2001 et en 2003. ± : erreur standard ; n = nombre de spécimens observés ; N = nectar ; P = pollen

Floraisons	Flours staminées (N)	Flours pistillées (N)	Flours staminées (P)
2001	(n = 10) 14,5 ± 1,38	(n = 7) 20,3 ± 0,78	(n = 10) 4,4 ± 0,22
2003	(n = 8) 16,87 ± 1,01	(n = 4) 21 ± 0,71	(n = 9) 4 ± 0,24

Les visites destinées à la récolte de pollen sont beaucoup plus rapides.

3.5. Recherche alimentaire de l'abeille domestique

La majeure partie des visites florales de l'abeille domestique durant les deux floraisons concerne la récolte exclusive de nectar (fig.28) et les proportions de collecte sont un peu plus élevées de 8h à 9h. Le pollen est légèrement plus récolté à 8h au cours des deux floraisons.

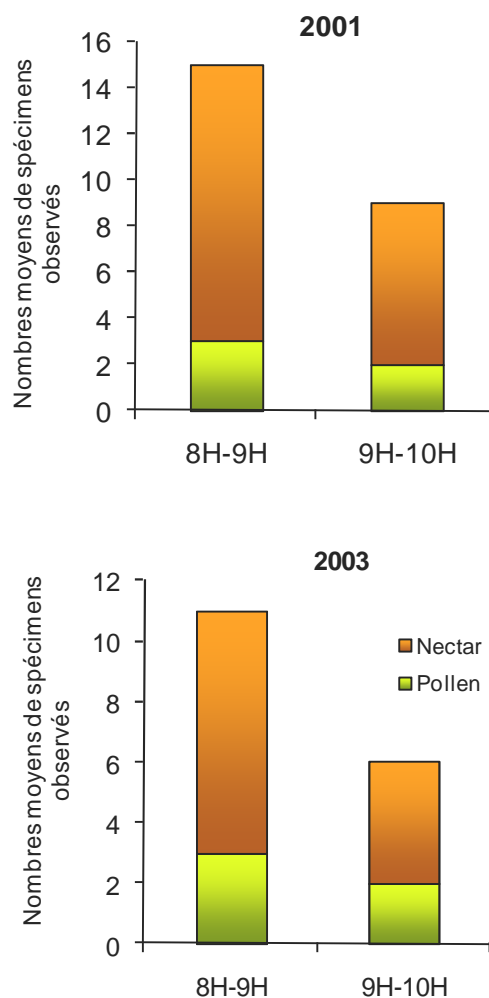


Figure 28. Recherche alimentaire d'*Apis mellifera* sur *Cucurbita pepo* aux heures d'observation durant les floraisons de 2001 et de 2003.

3.6. Effet de la pollinisation croisée sur le rendement de la plante

La présence des insectes pollinisateurs est indispensable pour le rendement de la plante. Lors de la floraison de 2001, les plants des quadrats engagés ont produit au total 7 fruits et

seulement 4 plants (soit un pourcentage de 7%) ont donné des fruits, alors que tous les plants des quadrats libres ont produit des fruits (121 au total) (tab.14).

Tableau 14. Rendement de *Cucurbita pepo* en présence et en absence de pollinisateurs pendant la floraison de 2001.

Traitements	Nbre total de Plants	Nbre total de fruits obtenus	Pourcentage des plants ayant produit des fruits	Pourcentage de fruits obtenus
Quadrats libres	56	121	100%	94%
Quadrats encagés	56	7	7%	6%

3.7. Discussion

Les observations menées sur *Cucurbita pepo* lors des deux floraisons ont montré que l'abeille domestique est le visiteur le plus commun de la plante. Des études réalisées en France (Greatti *et al* 1997), en Italie (Nepi & Pacini 1993), au Brésil (Avila *et al.* 1989 ; Couto *et al.* 1990) ont également montré que l'abeille domestique est le visiteur le plus abondant sur la plante. Aux Etats-Unis, l'Apidae sauvage *Peponapis pruinosa* Say 1837 est un important pollinisateur de la plante (Tepedino 1981). Au Portugal, c'est également un Apidae sauvage, *Trigona spinipes* Fabricius, qui est un des principaux pollinisateurs de la plante (Avila *et al.* 1989).

Les visites de l'abeille sont plus intenses entre 8h et 9h lorsque beaucoup de fleurs sont encore épanouies. Les fleurs commencent à se fermer à partir de 9h 30. A 10h, elles sont toutes fermées. Tepedino (1981) et Nepi & Pacini (1993) ont constaté que les fleurs s'ouvrent approximativement au lever du soleil et se ferment en fin de matinée (12h-12h.30). L'ouverture et la fermeture des deux fleurs varient selon la saison (Nepi & Pacini, 1993). Par temps chaud, les fleurs se fanent et se ferment plus précocement (Hurd 1966 ; Skinnet & Lovett 1992).

Atwal (1970) a constaté que les visites des abeilles sur les fleurs sont plus nombreuses 2 à 3 heures après le lever du soleil. En effet, les premières heures de la matinée correspondent à la période où les fleurs produisent un maximum de pollen et de nectar d'où une activité intense des abeilles (Nepi & Pacini 1993). Cette activité importante des abeilles assure une pollinisation adéquate de la plante puisque les fleurs, comme celles d'autres Cucurbitaceae, ne restent ouvertes qu'un seul jour et durant quelques heures seulement.

Nos observations ont montré que la majorité des visites d'*Apis mellifera* sont consacrées à la récolte de nectar. Verdieva & Ismailova (1960) ont aussi constaté que les abeilles visitent

les fleurs de *C. pepo* seulement pour leur nectar. Ce dernier est sécrété en grande quantité par les fleurs (Tepedino 1981 ; Nepi & Pacini 1993). Le pollen, par contre, est peu récolté par l'abeille. Les fleurs staminées n'en produisent pas beaucoup et il est surtout abondant durant les premières heures de l'anthèse (Nepi & Pacini 1993). Michelbacher *et al* (1964) et Philippe (1991) ont aussi constaté que ce produit est rarement récolté par les abeilles.

L'efficacité pollinisatrice des abeilles est mesurée par la distribution des individus sur les fleurs mâles et femelles, et par le temps de butinage dépensé sur la fleur. Chez la courgette, il est démontré que les fleurs femelles produisent plus de nectar que les fleurs mâles et sont plus fréquemment visitées par les abeilles (Tepedino 1981 ; Couto *et al.* 1990 ; Philippe 1991 ; Nepi & Pacini 1993). Nos observations ont montré, au contraire, que les visites de l'abeille domestique sont plus nombreuses sur les fleurs mâles ; ceci peut s'expliquer par la concentration plus élevée en sucre du nectar produit par les fleurs mâles. En effet, Tepedino (1981) a constaté que le nectar des fleurs mâles contenait un pourcentage en sucres plus élevé que celui des fleurs femelles. Toutefois, le nectar des fleurs femelles peut être plus riche en sucres que celui des fleurs mâles (Couto *et al.* 1990 ; Nepi & Pacini 1993 ; Nepi *et al.* 2001).

Les visites de l'abeille domestique sont aussi plus rapides sur les fleurs staminées, ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Tepedino (1981) et Nepi & Pacini (1993). Selon ces derniers auteurs, les visites de l'abeille sont plus lentes sur les fleurs pistillées en raison de la quantité élevée de nectar et de la position du nectaire.

La présence des insectes pollinisateurs est indispensable pour la production de *Cucurbita pepo*, puisque seulement 7% des plants encagés ont donné des fruits.

En effet, le butinage des insectes augmente considérablement le rendement de la plante (Nevkryta 1953 et Battaglini 1969 cités par Mc Gregor 1976 ; Wolfenbarger 1962 cité par Philippe 1991 ; Wadlow 1970 ; Wills & Wearing 1993). Des rendements nuls suite à un avortement total des fleurs sont aussi observés (Avila *et al.* 1989 ; Couto *et al.* 1990 ; Skinner & Lovett 1992).

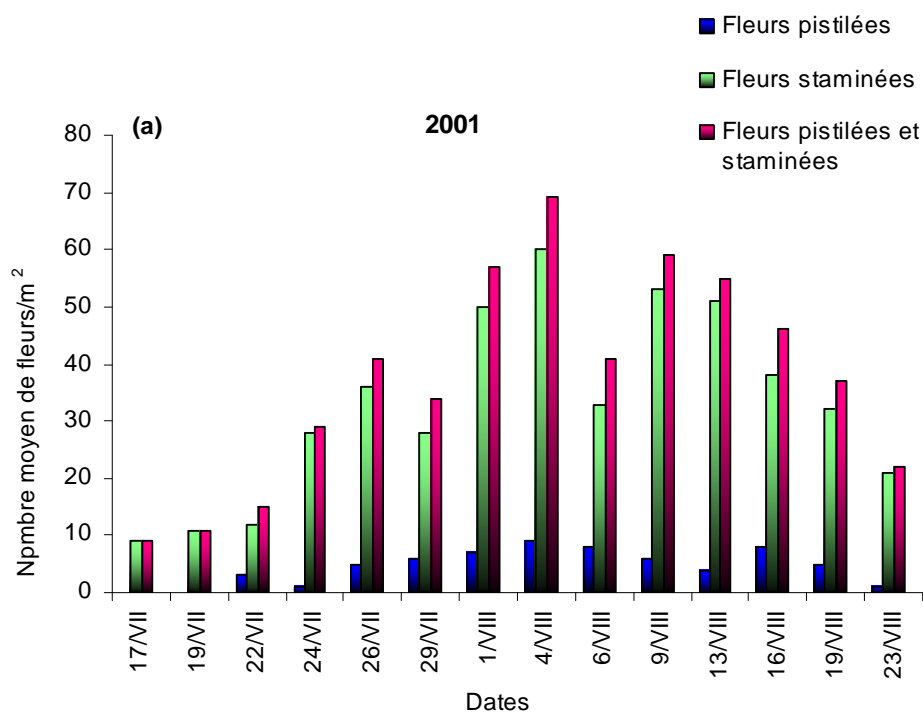
En conclusion, l'abeille domestique du fait de son abondance relative sur les fleurs de *C. pepo* et de ses visites potentiellement fécondantes sur les fleurs pistillées, peut être le principal pollinisateur de la plante dans la région. En absence de pollinisateurs sauvages, et afin d'assurer une pollinisation adéquate des cultures, l'introduction de colonies suffisantes d'abeilles dans les champs est recommandée.

4. Le concombre (*Cucumis sativus* L.)

4.1. Floraison de la plante

Les floraisons de *Cucumis sativus* ont débuté le 15 juillet et le 25 juillet respectivement en 2001 et en 2002, elles ont duré 43 et 30 jours. La floraison de la plante a été plus réduite en 2002 en raison d'un hiver plus sec en comparaison avec l'année 2001. Les fleurs mâles sont toujours plus nombreuses, et apparaissent environ une semaine avant les fleurs femelles.

Au cours de l'année 2001, la densité florale (moyenne \pm l'erreur standard) est de 37 ± 5 fleurs/m² avec 33 ± 4 fleurs staminées et 4 ± 1 fleur pistillée. Le nombre de fleurs augmente progressivement au cours de la saison et atteint son maximum le 4 août ($69 \pm 4,6$ fleurs/ m²). La floraison commence à décliner à partir du 13 août (fig.29a). Pendant la floraison de 2002, la densité florale moyenne est seulement de 16 ± 2 fleurs/m² avec 14 ± 2 fleurs staminées et $2 \pm 0,5$ fleur pistillée. Le nombre de fleurs augmente aussi progressivement au cours de la saison. Le pic de densité florale ($32 \pm 2,5$ fleurs/m²) est atteint le 10 août, puis la floraison décline progressivement (fig.29b). Les ratios S/P floraux moyens sont de 8 et de 7 respectivement en 2001 et en 2002 (tab.15).



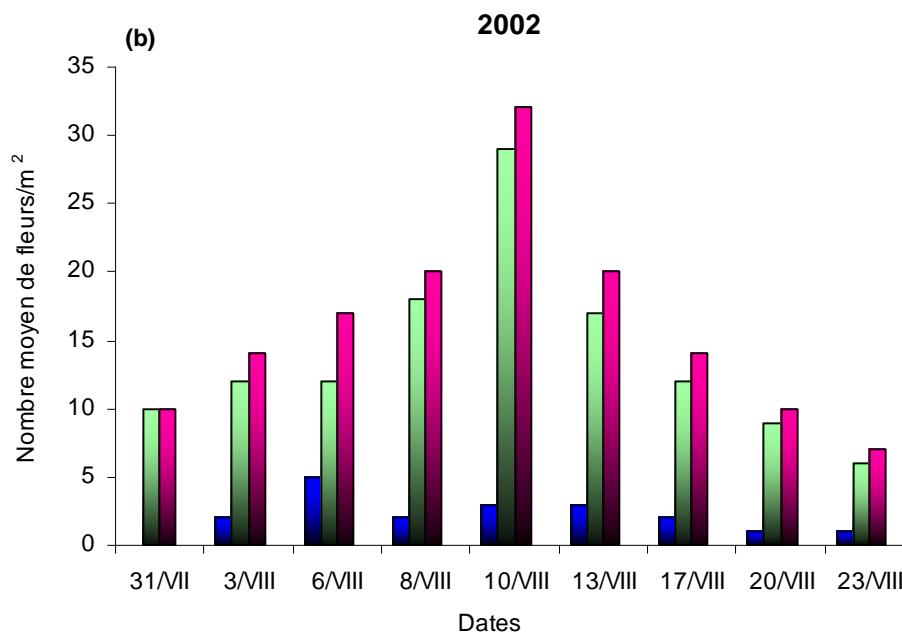


Figure 29. Densités florales moyennes (par m²) de *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001 (a) et de 2002 (b).

Tableau 15. Densités journalières dans 7 m² des fleurs (staminées et pistillées) et ratio S/P floral de *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001 et de 2002 (S = fleur staminée ; P = fleur pistillée).

Floraisons Dates	2001		2002		
	Nombre de Fleurs	Ratio S/P floral	Dates	Nombre de fleurs	Ratio S/P Floral
17/VII/2001	63 (♂)	-	31/VII/2002	72 (♂)	-
19/VII/2001	79 (♂)	-	3/VIII/2002	95	6 : 1
22/VII/2001	107	4 : 1	6/VIII/2002	119	2 : 1
24/VII/2001	203	19 : 1	8/VIII/2002	141	12 : 1
26/VII/2001	284	8 : 1	10/VIII/2002	226	8 : 1
29/VII/2001	239	5 : 1	13/VIII/2002	139	7 : 1
1/VIII/2001	397	7 : 1	17/VIII/2002	98	8 : 1
4/VIII/2001	480	7 : 1	20/VIII/2002	72	8 : 1
6/VIII/2001	284	4 : 1	23/VIII/2002	51	5 : 1
9/VIII/2001	415	8 : 1			
13/VIII/2001	389	12 : 1			
16/VIII/2001	324	5 : 1			
19/VIII/2001	259	6 : 1			
23/VIII/2001	157	13 : 1			
Total/moyenne	3680	8:1		1013	7:1

4.2. Diversité et densité des pollinisateurs

18 espèces d'abeilles dont 7 Apidae, 6 Megachilidae et 5 Halictidae ont été recensées sur la plante durant les deux floraisons. Parmi les Apidae, *Apis mellifera* L et *Ceratina cucurbitina* Rossi sont les plus abondants sur les fleurs avec des densités pour 100 fleurs respectives de 27 et 35 et de 21 et 39 individus (tab.16). Les visites de *Ceratina saundersi* Saunders 1848 et de *Ceratina albosticta* Cockerell 1931 sont moins nombreuses, surtout lors de la floraison de 2002.

3 espèces de mégachiles sont rencontrées sur les fleurs. *Megachile leachella* Curtis 1828 et *Megachile pilidens* Alfken 1924 sont les plus fréquentes et leurs densités par 100 fleurs sont plus élevées durant la floraison de 2002. Les visites de *Megachile apicalis* Spinola 1908 sont moins abondantes. Les autres Megachilidae ont effectué des visites occasionnelles. Quelques Halictidae sont également observés épisodiquement sur les fleurs (tab.16).

Les nombres de visites observées lors des deux floraisons pour les trois mégachiles et les Apidae *A. mellifera*, *C. cucurbitina*, *C. saundersi* et *C. albosticta* sont fournis au tableau 18.

Les visites de l'abeille domestique et des cératines (représentées essentiellement par *C. cucurbitina*) sur les fleurs sont surtout nombreuses durant la première moitié des deux floraisons, alors que les visites des Megachilidae sont plus intenses durant la seconde moitié des deux floraisons (fig.30 a et b).

Tableau 16. Densités moyennes par 100 fleurs des pollinisateurs de *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001 et de 2002. - : absence

Familles	Espèces	2001	2002
Apidae	<i>Apis mellifera</i> L. 1758	27	35
	<i>Ceratina cucurbitina</i> (Rossi 1792)	21	39
	<i>Ceratina (Euceratina) albosticta</i> Cockerell 1931	6	2
	<i>Ceratina (Euceratina) saundersi</i> Saunders 1848	3	2
	<i>Ceratina (Euceratina) mocsaryi</i> Friese 1896	-	2
	<i>Ceratina (Ceratina) parvula</i> Smith 1854	1	
	<i>Xylocopa violacea</i> (L. 1758)	-	1
Megachilidae	<i>Megachile (Eutricharaea) leachella</i> Curtis 1828	5	24
	<i>Megachile (Eutricharaea) pilidens</i> Alfken 1924	5	22
	<i>Megachile (Noeutricharaea) apicalis</i> Spinola 1908	2	3
	<i>Heriades (Heriades) crenulatus</i> Nylander 1856	2	3
	<i>Heriades (Heriades) truncorum</i> (L. 1758)	1	2
	<i>Anthidiellum strigatum</i> (Panzer 1805)	-	2

Halictidae	<i>Halictus (Seladonia) gemmeus</i> Dours 1872	3	
	<i>Lasioglossum (Evylaeus) puncticolle</i> (Morawitz 1872)	2	
	<i>Lasioglossum (Lasioglossum) discum aegyptiellum</i> (Strand 1909)	-	4
	<i>Halictus (Halictus) fulvipes</i> (Klug 1817)	1	3
	<i>Halictus (Halictus) scabiosae</i> (Rossi 1790)	1	2

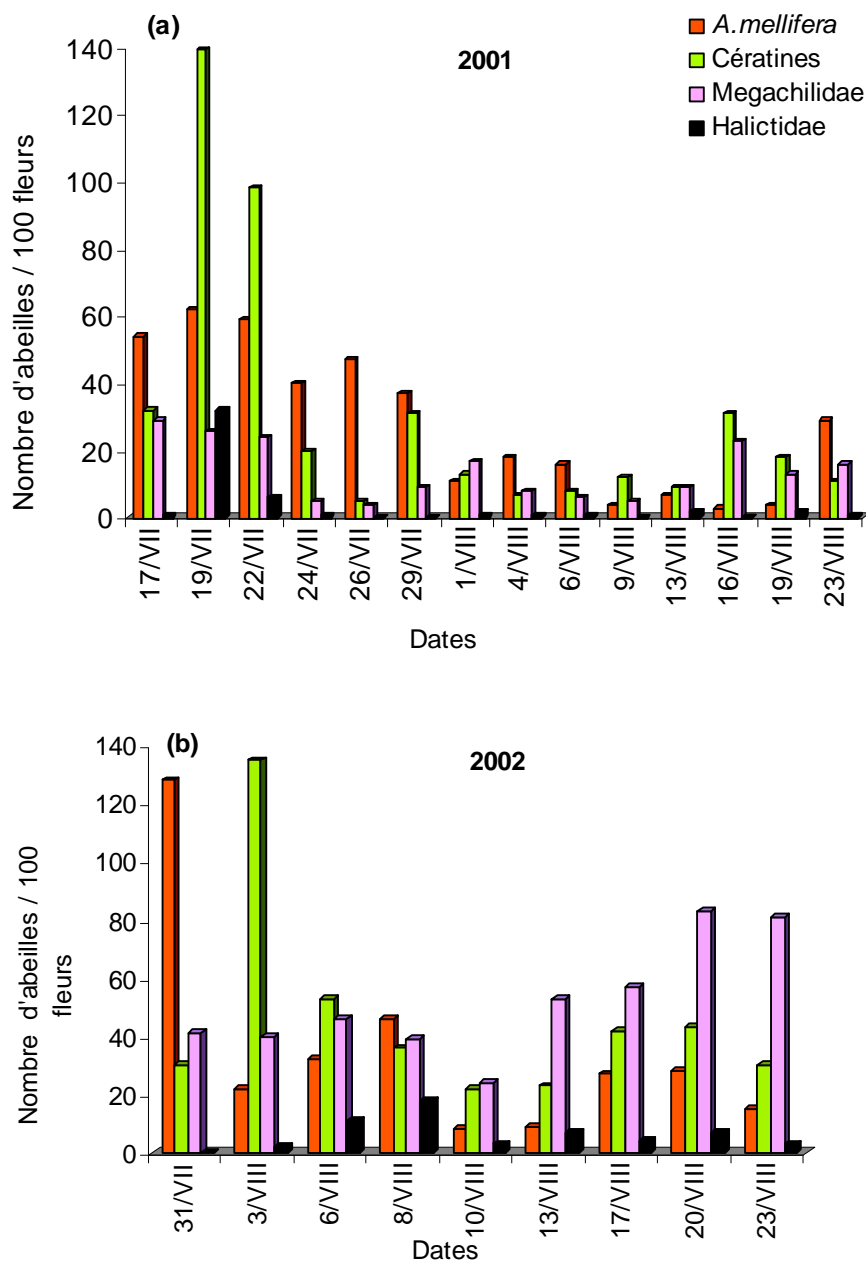


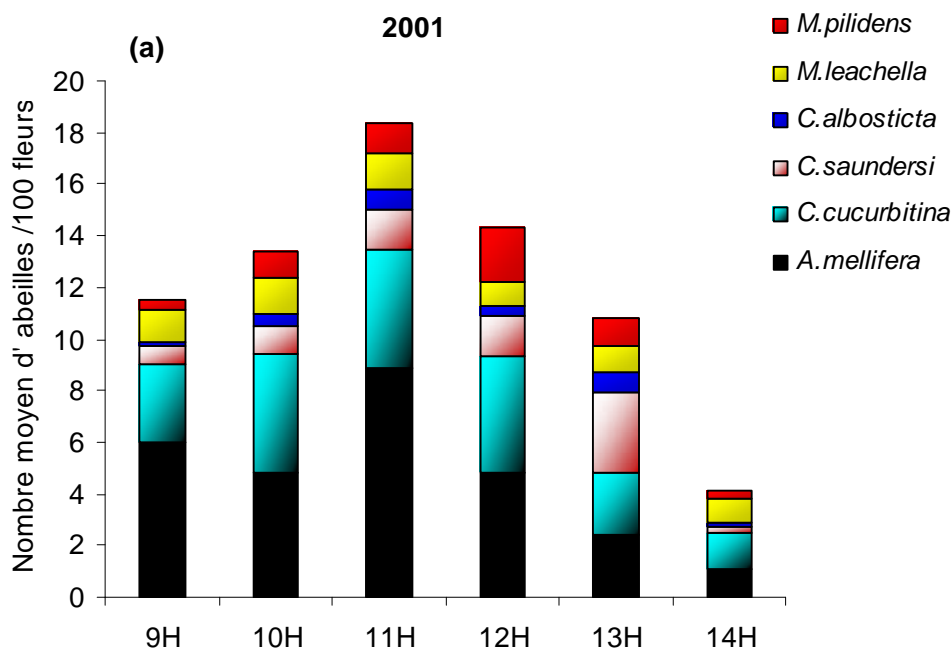
Figure 30. Evolution du nombre des visites florales effectuées par l'abeille domestique et les abeilles sauvages sur *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001(a) et de 2002 (b)

4.3. Activité de butinage des abeilles

Durant les deux périodes de floraison de la plante, l'activité journalière des pollinisateurs les plus abondants sur les fleurs est observée.

Les différentes espèces présentent des modes de répartition journalière variables. Durant la floraison de 2001 (fig.31a), l'abeille domestique, *C. cucurbitina*, *C. saundersi* et *C. albosticta* sont actives tout au long de la journée. Les visites des deux premières espèces sont surtout intenses durant la matinée. Celles de *C. albosticta* et de *C. saundersi* sont plus nombreuses à partir de 11h. Les visites de *M. leachella* sont pratiquement homogènes tout au long de la journée et celles de *M. pilidens* sont plus intenses à 10h et à 13h. En 2002, les visites de l'abeille domestique et de *C. cucurbitina* sont toujours intenses durant la matinée. *M. leachella* est également plus active durant cette période, alors que *M. pilidens* est surtout présente sur les fleurs à partir de midi (fig.31b).

Le nectar est le seul produit récolté par toutes les espèces qui ont visité la plante. Seulement quelques visites de l'abeille domestique (11%) et de l'halictidae *Lasioglossum discum aegyptielluum* Strand 1909 (4%) ont été consacrées respectivement à la récolte de pollen et à l'ensemble des deux produits.



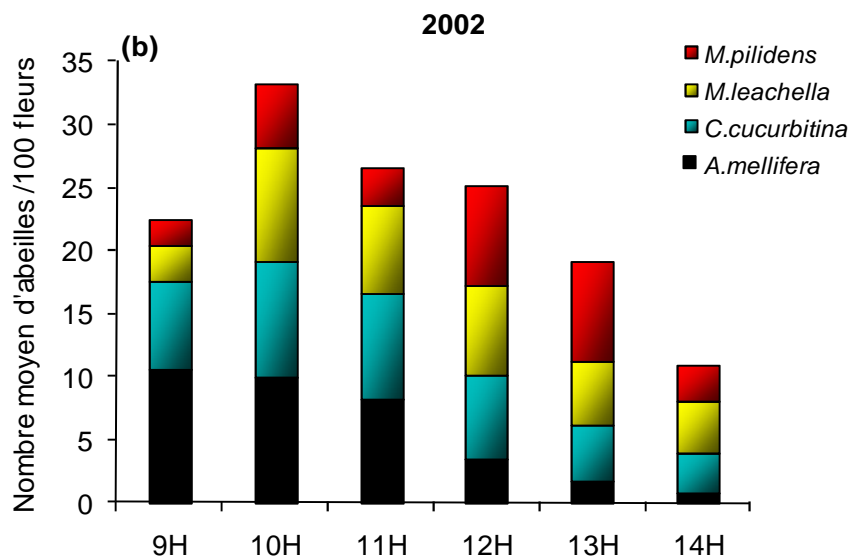


Figure 31. Evolution du nombre moyen de visites aux différentes heures de la journée des principaux pollinisateurs de *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001(a) et de 2002 (b).

4.4. Efficacité pollinisatrice des abeilles

Durant les deux floraisons de la plante, la vitesse de butinage des principales espèces rencontrées sur les fleurs est noté (tab.17). Les visites des mégachiles sont significativement plus fréquentes que celles de l'abeille domestique et de *C. cucurbitina* ($F = 18,86$; ddl : 4-162 ; $p = 9.10^{-13}$). Les vitesses de butinage de *C. saundersi* et de *C. albosticta* ne sont pas notées car il nous a été impossible de discerner entre les deux espèces sur les fleurs.

Tableau 17. Vitesse de butinage d'*A. mellifera*, de *C. cucurbitina* et des mégachiles sur *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001 et de 2002.

N = nombre de spécimens observés ; ± : erreur standard

Espèces	Floraisons			
	N	2001	N	2002
<i>A. mellifera</i>	24	6,3 ± 0,2	27	6,5 ± 0,2
<i>C. cucurbitina</i>	19	5,8 ± 0,3	23	5,7 ± 0,2
<i>M. leachella</i>	9	7,2 ± 0,2	15	7,8 ± 0,3
<i>M. pilidens</i>	17	7,7 ± 0,3	11	8 ± 0,2
<i>M. apicalis</i>	13	6,9 ± 0,4	8	7 ± 0,1

Comme la courgette, le concombre est une plante monoïque et l'efficacité pollinisatrice des espèces peut être aussi mesurée par la proportion de visites des fleurs staminées et pistillées, et par le temps dépensé par les abeilles sur chaque type de fleur.

Les abeilles ont montré une nette préférence pour les fleurs staminées (tab.18) et leurs visites sur les fleurs pistillées sont toutes potentiellement fécondantes puisqu'elles entrent en contact avec le stigmate.

Tableau 18. Pourcentages des visites effectuées par l'abeille domestique et les abeilles sauvages sur les fleurs mâles (♂) et femelles (♀) de *Cucumis sativus* pendant les floraisons de 2001 et de 2002. NT = nombre total de spécimens observés ; N = nombre de spécimens observés sur chaque type de fleur.

Floraisons	2001					2002				
Flours	♂		♀		♂		♀			
Espèces	NT	N	%	N	%	NT	N	%	N	%
<i>A. mellifera</i>	807	703	87	104	13	396	321	81	75	19
<i>C. cucurbitina</i>	569	492	86	77	14	494	407	82	87	18
<i>C. saundersi</i>	157	142	90	15	10	30	28	93	23	7
<i>C. albosticta</i>	79	63	80	16	20	14	11	78	3	22
<i>M. leachella</i>	228	202	89	26	11	307	280	91	27	9
<i>M. pilidens</i>	189	158	84	31	16	238	185	78	53	22
<i>M. apicalis</i>	45	37	82	8	18	39	28	72	11	28

Le temps dépensé par les abeilles sur les fleurs mâles et femelles est mesuré durant la floraison de 2002 (tab.19). L'abeille domestique a dépensé significativement plus de temps sur les fleurs femelles que sur les fleurs mâles ($t = 1,86$; $ddl = 23$; $P = 0,076$). De même, les femelles de *C. cucurbitina* et de *M. apicalis* (les mâles ne sont pas observés sur les fleurs) ont passé plus de temps sur les fleurs pistillées que staminées (respectivement : $t = 3,44$; $ddl = 28$; $p = 0,002$ et $t = 4,78$; $ddl = 14$; $p = 0,0003$). Les visites de *M. leachella* sont aussi plus rapides sur les fleurs mâles que sur les fleurs femelles ($t = 6,98$; $ddl = 31$; $p = 0,000$). Seul *M. pilidens* a dépensé le même temps de visite sur les deux types de fleurs ($t = 1,12$; $ddl = 14$; $p = 0,27$). Pour ces deux dernières espèces, le temps dépensé sur les fleurs a été observé seulement chez les mâles, beaucoup plus nombreux que les femelles.

Tableau 19. Temps moyens (en secondes) dépensés par *A. mellifera*, *C. cucurbitina* et les mégachiles sur les fleurs mâles (♂) et femelles (♀) de *C. sativus* pendant la floraison de 2002. n = nombre de spécimens observés ; ± : erreur standard

Espèces	<i>A.mellifera</i>	<i>C.cucurbitina</i>	<i>M.leachella</i>	<i>M.pilidens</i>	<i>M.apicalis</i>
Fleurs ♂	(n = 14) 7,2 ± 0,4	(n = 17) 7,5 ± 0,4	(n = 25) 6,8 ± 0,2	(n = 11) 7 ± 0,5	(n = 10) 6,4 ± 0,3
Fleurs ♀	(n = 11) 8,4 ± 0,5	(n = 13) 10,5 ± 0,8	(n = 8) 11,1 ± 0,9	(n = 5) 8 ± 0,7	(n = 6) 10,7 ± 1,1

Par ailleurs, les 5 espèces ont dépensé le même temps sur les fleurs staminées ($F = 0,5$; ddl : 4-72 ; $p = 0,73$). Par contre, leurs durées de visites sur les fleurs pistillées diffèrent significativement ($F = 3,02$; ddl : 4-38 ; $p = 0,03$).

Les visites de l'abeille domestique et de *Megachile pilidens* sont plus courtes (tab.20).

Tableau 20. Test d'égalité des variances (test de Fisher) du temps dépensé sur les fleurs pistillées par les 5 espèces.

M1 : *A.mellifera* ; M2 : *M.leachella* ; M3 : *M.pilidens* ; M4 : *C.cucurbitina* ; M5 : *M.apicalis*.

S = significatif ; NS = non significatif ; ddl = degrés de liberté ; p = seuil de probabilité

	Test de Fisher	ddl	P
M1-M2	0,5	10 - 7	0,20 S
M2-M3	0,4	5 - 4	0,20 S
M2-M4	1,32	12 - 7	0,40 NS
M1-M3	1,24	10 - 4	0,45 NS
M2-M5	1,15	5 - 7	0,41 NS

4.5. Effet de la pollinisation entomophile sur le rendement de la plante

L'effet de la pollinisation entomophile sur la plante, étudié en 2003, montre qu'en absence de pollinisateurs le rendement de la plante est fortement diminué. Les plants des parcelles encagées ont produit seulement 6 fruits alors que ceux des parcelles libres ont produit 260 fruits (tab.21).

Tableau 21. Rendement de *Cucumis sativus* en présence et en absence de pollinisateurs pendant la floraison de 2003. \pm : erreur standard

Traitements	Nombre total de Plants	Nombre total de fruits obtenus	% des plants ayant produit des fruits	% de fruits obtenus
Quadrats libres	105	260	100%	98%
Quadrats encagés	105	6	4,8%	2%

4.6. Discussion

Les observations réalisées sur *Cucumis sativus* lors des floraisons de 2001 et de 2002 ont montré que les fleurs de cette Cucurbitaceae attirent de nombreux visiteurs qui sont en majorité des hyménoptères apoïdes. Mc Gregor (1976) et Delaplane & Mayer (2000) considèrent que la plante ne représente pas une source majeure de pollen et de nectar, mais les fleurs (pistillées et staminées) produisent relativement de grandes quantités de nectar. En absence de plantes plus attractives, la plante est volontiers visitée par les abeilles. Quelques Diptères (Syrphidae) et Lépidoptères ont été observés occasionnellement sur les fleurs.

3 familles, 8 genres et 18 espèces d'abeilles ont été recensés sur la plante. Les Apidae représentés essentiellement par *Apis mellifera* et *Ceratina cucurbitina* sont les visiteurs les plus abondants (en moyenne 66% des visites observées) sur les fleurs durant les deux floraisons. Parmi les Megachilidae, ce sont surtout *Megachile leachella* et *Megachile pilidens* qui ont enregistré les plus grands nombres de visites. Ces deux espèces constituent en moyenne 85% des visites effectuées par les Megachilidae. Les Halictidae sont les visiteurs les moins abondants sur la plante (4% des visites observées).

La plus grande activité des abeilles se produit durant la matinée avec des pics de visites entre 10h et 11h. A partir de 14h, les fleurs commencent à se fermer d'où une diminution importante des visites. Cette activité matinale intense est synchronisée avec une sécrétion maximale de nectar qui se produit 2 à 3 heures après l'ouverture des fleurs laquelle débute approximativement au lever du soleil (Nemirovich-Danchenko 1964 ; Cervancia & Bergonia 1991). La période matinale est aussi la plus utile pour la pollinisation car le stigmathe y est plus réceptif (Seaton *et al* 1936). Aux USA, Seyman *et al* (1969), Connor & Martin (1970), Collison (1976), Collison & Martin (1979) ont constaté que la majorité des visites des abeilles se produisent entre 10h et 14h avec des pics entre 11h et 12h. Les visites des abeilles peuvent

être plus tardives par temps frais puisque les fleurs restent ouvertes plus longtemps dans la journée (Mc Gregor 1976).

Par ailleurs la richesse en sucres du nectar peut expliquer la variabilité des modèles d'activité journalière observés chez les différentes espèces d'abeilles. Les fleurs de certaines plantes produisent un nectar plus concentré dans la matinée alors que celles d'autres plantes produisent un nectar plus concentré dans l'après midi. Rust *et al* (2003) ont constaté sur *Ecbalium elaterium*, Cucurbitaceae endémique du bassin méditerranéen, que les abeilles qui recherchent un nectar plus concentré sont plus actives dans l'après midi alors que celles qui recherchent un nectar moins concentré sont plus actives dans la matinée.

Le nectar est l'objectif de toutes les abeilles qui ont visité la plante. Ceci corrobore les résultats obtenus par Connor (1969), Martin (1970), Collison & Martin (1979) et Delaplane & Mayer (2000) qui ont également constaté que le nectar est le principal produit récolté par les abeilles qui visitent le concombre. Ces auteurs ont aussi constaté que les visites pour le pollen ne sont nombreuses qu'en absence d'autres sources de ce produit. Lors de nos observations, nous avons constaté que l'abeille domestique et les abeilles sauvages ont prélevé le pollen sur les plantes sauvages présentes aux abords de la culture notamment *Portulaca oleracea* L. (Portulacaceae); *Convolvulus arvensis* L. (Convolvulaceae) et *Ecbalium elaterium* L. (Cucurbitaceae).

Bien que les visites des abeilles sur les fleurs pistillées soient potentiellement pollinisantes, elles sont beaucoup moins nombreuses que celles effectuées sur les fleurs mâles. Collison & Martin (1979) ont également constaté que les visites des abeilles domestiques sont plus nombreuses sur les fleurs staminées. Les proportions de visites élevées sur les fleurs mâles affectent l'efficacité pollinisatrice des abeilles (Tepedino 1981), mais elles restent d'une grande importance en raison du manque apparent d'attractivité des abeilles pour le pollen de la plante. Les deux types de fleurs doivent être visitées afin d'assurer le succès de la pollinisation (Collison & Martin 1979).

La différence de sécrétion de nectar entre les deux types de fleurs peut expliquer les préférences des abeilles pour l'un ou l'autre type de fleur. Cependant, il a été démontré que les fleurs pistillées produisent plus de nectar (Nemirovich-Danchenko 1964 ; Kaziev & Sedova 1965 ; Collison 1973). Le nectar des fleurs femelles est également plus énergétique (total en sucres : 4,6 mg pour le nectar femelle et 3,3 mg pour le nectar mâle), par contre le nectar des fleurs mâles est beaucoup plus concentré que celui des fleurs femelles (Collison 1973). Cette concentration plus élevée en sucres du nectar mâle semble expliquer la préférence des abeilles pour les fleurs staminées (Collison & Martin 1979).

Le temps dépensé par les abeilles sur les fleurs staminées et pistillées peut déterminer aussi leur efficacité pollinisatrice. Plus une abeille dépense moins de temps sur les fleurs pistillées, plus le taux de ses visites pollinisantes est grand (Tepedino 1981 ; Cervancia & Bergonia 1991). Nos observations ont montré que les abeilles ont dépensé plus de temps sur les fleurs femelles que sur les fleurs mâles. L'abondance du nectar des fleurs femelles peut expliquer la lenteur des visites des butineuses sur celles-ci. En effet, Collison & Martin (1979) ont constaté que la durée des visites sur les fleurs est corrélée à la quantité de nectar présente. Les auteurs ont remarqué que si une abeille domestique n'est pas perturbée, elle reste sur la fleur jusqu'à ce qu'elle prélève tout le nectar.

En absence d'insectes pollinisateurs, les plants des quadrats encagées ont produit seulement 6 fruits alors que ceux des quadrats libres ont produit 260. De nombreux travaux ont montré la nécessité des pollinisateurs dans la production des fruits chez le concombre. Les rendements sont toujours plus élevés en présence de pollinisateurs en comparaison avec ceux obtenus sans visites entomophiles (Gubin 1945 ; Schemekkov 1945 cité par Mc Gregor 1976 ; Seyman *et al.* 1969 ; Lemasson 1987 ; Cervancia & Bergonia 1991 ; Nogeira-Couto & Calmona 1993 ; Gingras *et al.* 1996 ; Gingras *et al.* 1999 cités par Delaplane & Mayer 2000). Des rendements nuls ont été aussi observés en absence de pollinisateurs suite à un avortement total des fleurs (Seaton *et al.* 1936 ; Rahmlov 1970 ; Coleman 1979 ; Stanghellini *et al.* 1997). L'activité des insectes est donc indispensable pour assurer le transfert des grains de pollen entre les fleurs d'autant plus que ces derniers sont gros et gluants, et donc difficilement transportables par le vent (Sedgley & Scholefield 1980 ; Greatti *et al.* 1997).

En conclusion et malgré la diversité des apoïdes rencontrés sur la plante, quelques uns numériquement importants et représentés par l'abeille domestique, *Ceratina cucurbitina* et les deux mégachiles (*Megachile leachella* et *Megachile pilidens*) peuvent, en contribuant avec un plus grand nombre de visites sur les fleurs et avec des taux de butinage modestes, être considérés comme des pollinisateurs probables de la plante. La détermination du/ ou des pollinisateurs réels ou les plus efficaces sur la plante est une autre étape qui nécessite le comptage du nombre de grains de pollen présents sur les brosses, ou déposés sur le stigmate par chacun des visiteurs.

5. Le navet (*Brassica rapa* L.)

5.1. Floraison de la plante

La floraison de *Brassica rapa* a débuté le 16.III.2003 et s'est achevée le 19.IV.2003. La période de floraison a duré 34 jours. Les fleurs, très nombreuses, sont disposées en grappes allongées. Au début de la floraison, elles s'ouvrent sur une inflorescence verticale ou hampe primaire, puis apparaissent les inflorescences secondaires et tertiaires. Ces dernières sont très peu nombreuses. La floraison s'échelonne de la base vers l'extrémité du plant et de l'inflorescence. On dénombre en moyenne 6 inflorescences secondaires par plant. Durant la période de floraison, la densité des fleurs épanouies n'a pas été mesurée en raison du nombre trop élevé de fleurs portées par les plants. La densité des pollinisateurs est, donc, estimée au mètre carré.

5.2. Diversité et densité des pollinisateurs

Les observations réalisées lors de la période de floraison montrent que les insectes qui butinent les fleurs de *Brassica rapa* sont en majorité des hyménoptères apoïdes appartenant à trois familles : Apidae, Halictidae et Andrenidae. Quelques Diptères Syrphidae ont occasionnellement visité les fleurs.

Apis mellifera L. est le seul Apidae présent sur la plante, elle est aussi la plus fréquente sur les fleurs avec une densité moyenne de 214 individus /m² (tab.22). L'halictidae, *Lasioglossum mediterraneum* Blüthgen 1926 vient en deuxième position, avec une densité plus faible de seulement 20 individus / m². Les Andrenidae, bien que représentés par plusieurs espèces, sont très peu abondants sur la plante.

Tableau 22. Densités moyennes par m² des pollinisateurs de *Brassica rapa* pendant la floraison de 2003

Familles	Espèces	Densités
Apidae	<i>A. mellifera</i> L. 1758	214
Halictidae	<i>Lasioglossum (Evyllaesus) mediterraneum</i> (Blüthgen 1926)	20
	<i>L. malachurum</i> (Kirby1802)	4
Andrenidae	<i>Andrena (Biareolina) lagopus</i> Latreille 1809	2
	<i>A. (Zonandrena) discor</i> Erichson 1836	1
	<i>A. (Agandrena) agilissima</i> (Scopoli 1770)	1
	<i>A. (Simandrena) rhypara</i> Pérez 1903	1
	<i>A. (Zonandrena) flavipes</i> Panzer 1799	1
	<i>A. (Distandrena) distinguenda obsoleta</i> Pérez 1895	<1
	<i>A. (Poliandrena) blanda</i> Pérez 1895	<1
	<i>A. (Leucandrena) maroccana</i> Benoist 1950	<1
	<i>A. (Melandrena) nigroaenea</i> (Kirby 1802)	<1
	<i>A. (Andrena) sp</i>	1

	<i>A. (Melandrena)</i> sp	1
	<i>A. (Truncandrena)</i> sp	1
	<i>A. (Holandrena)</i> sp	<1

5.3. Activité journalière des abeilles

L'abeille domestique fait son apparition en premier sur les fleurs à partir de 9h, le nombre de ses visites augmente jusqu'à 13h puis son activité diminue progressivement jusqu'à 16h (fig.32). Elle est observée sur la plante durant toute sa floraison, mais elle visite en parallèle de nombreuses plantes sauvages présentes aux abords de la culture notamment *Borago officinalis* L. (Boraginaceae) et *Sinapis arvensis* L. (Brassicaceae). L'Halictidae, *Lasioglossum mediterraneum* beaucoup moins fréquent sur les fleurs que l'abeille domestique, débute son activité plus tardivement à 10h. Ses visites sont plus nombreuses entre 11h et 13h. A partir de 14h, son activité est pratiquement nulle. Les andrènes font aussi leur apparition sur les fleurs vers 10h, elles sont un peu actives entre 11h et 13h et leur activité cesse aussi à partir de 14h.

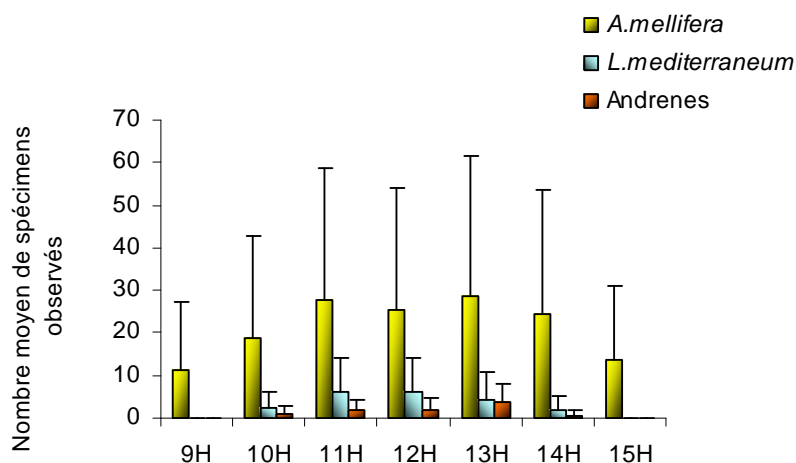


Figure 32. Nombres moyens (\pm erreur standard) de visites enregistrées par *Apis mellifera*, *lasioglossum mediterraneum* et les andrènes sur *Brassica rapa* aux différentes heures de la journée (floraison de 2003)

5.4. Comportement de butinage et efficacité pollinisatrice

Seul le comportement de butinage des deux espèces les plus fréquentes sur les fleurs, *Apis mellifera* et *Lasioglossum mediterraneum* est observé.

La majorité des visites de l'abeille domestique (91%) concernent la récolte de nectar, le reste des visites (9%) est consacré à la récolte de pollen (tab.23). l'abeille effectue toujours une visite frontale pour prélever le nectar, ses visites peuvent donc toutes être fécondantes.

Les visites de l'halictide sont consacrées beaucoup plus à la collecte des deux produits ensemble (56%). 27% et 17% de ses visites sont consacrés respectivement à la collecte de nectar et à la collecte de pollen. Comme l'abeille domestique, *L. mediterraneum* effectue également un butinage positif sur les fleurs puisqu'il adopte toujours une position frontale pour la récolte de nectar.

Les visites de l'abeille domestique sont plus rapides que celles de l'halictide (tab.24).

Tableau 23. Répartition des visites (en %) pour les deux espèces les plus abondantes, *Apis mellifera* et *Lasioglossum mediterraneum* sur *Brassica rapa* selon le produit floral récolté et l'efficacité pollinisatrice de ces visites pendant la floraison de 2003.

P : pollen ; N : nectar ; + : visite pollinisante ; - : visite non pollinisante

Espèces	<i>A.mellifera</i>	<i>L.mediterraneum</i>
Nombre de visites observées	1494	114
P ⁺	9%	17%
N ⁺	91%	27%
N ⁻	0	0
(P+N) ⁺	<1	56%
Total des visites pollinisantes	100%	100%

Tableau 24. Vitesse de butinage d'*Apis mellifera* et de *Lasioglossum mediterraneum* sur *Brassica rapa* pendant la floraison de 2003

N = nombre de spécimens observés ; ± : erreur standard

Espèces	N	Nombre de fleurs visitées par minute
<i>A. mellifera</i>	33	14 ± 0,65
<i>L. mediterraneum</i>	28	5,4 ± 0,3

5.5. Recherche alimentaire des abeilles

Pour l'abeille domestique, la majeure partie des visites florales concerne la récolte exclusive de nectar (fig.33a). Les plus grandes proportions de collecte de nectar sont observées de 12h à 15h. Le pollen est surtout prélevé de 9h à 11h. A l'inverse, la plupart des visites de *L. mediterraneum* sont consacrés à la récolte des deux produits ensemble (fig.33b) et cela, à toutes les heures de la journée. Le nectar est également récolté toute la journée, mais

les plus grandes proportions sont observées à 12h et 14h. Le pollen est surtout prélevé à 11h et 13h.

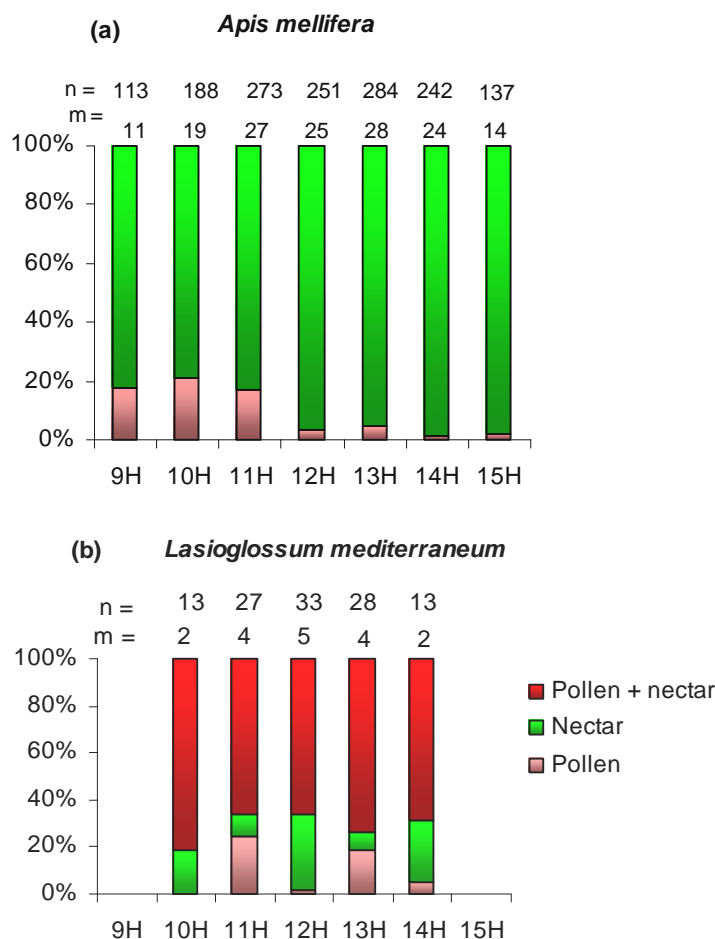


Figure 33. Pourcentages des produits floraux récoltés par *A.mellifera* (a) et *L.mediterraneum* (b) sur *Brassica rapa* aux différentes heures de la journée (floraison 2003) (n = nombre total de spécimens observés ; m = nombre moyen de spécimens observés).

5.6. Effet de la pollinisation entomophile sur le rendement grainier

La présence d'insectes pollinisateurs améliore le rendement de la culture (tab.25). Le nombre de graines par siliques (obtenu à partir de 1000 siliques libres et 1000 siliques encagées) est significativement plus élevé sur les plants libres que sur ceux encagés ($t = 10,08$; ddl = 1998 ; $P = 0,000$). Le nombre de siliques par plant, établi à partir des plants de 8 quadrats (4 libres et 4 encagés), est aussi plus élevé sur les plants libres. Cependant, la différence n'est pas significative ($t = 1,24$; ddl = 398 ; $p = 0,21$). Le poids moyen de 1000 graines (10 x 1000 graines) issues des quadrats encagées est, par contre, significativement

plus élevé que celui des graines provenant des quadrats libres ($U = 0$; $p < 0,01$). Par ailleurs, les siliques des plants engagés ont donné un pourcentage de graines avortées (10,3%) supérieur à celui des plants libres (4,12%) ($\varepsilon = 10,6$; $p = 0,000$). De même, les siliques des plants engagés ont donné un pourcentage de graines mal formées significativement plus élevé (1,9%) que celui des plants libres (0,9%) ($\varepsilon = 5,88$; $p = 10^{-8}$).

Tableau 25. Rendement grainier de *Brassica rapa* en présence (quadrats libres) et en absence (quadrats engagés) de pollinisateurs (floraison de 2003). ES = erreur standard ; QL = quadrats libres ; QE = quadrats engagés

Traitement		Nombre de siliques/plant	Nombre de graines/silique	Poids de 1000 graines (gr)
QL	Moyenne	29	11,7	1,8
	± ES	3,8	0,4	0,04
QE	Moyenne	25,5	8,1	2,2
	± ES	3,9	0,6	0,03

5.7. Discussion

Les observations menées sur *Brassica rapa* lors de la période de floraison de 2003 montrent que les principaux visiteurs de la plante sont des hyménoptères apoïdes appartenant à trois familles : Apidae, Halictidae et Andrenidae. L'abeille domestique est le visiteur le plus fréquent sur les fleurs, elle constitue à elle seule 86% des visites observées. Les Halictidae, représentés essentiellement par *Lasioglossum mediterraneum* viennent en deuxième position avec 10% des visites. Enfin, les Andrenidae et malgré la diversité des espèces présentes sur les fleurs ne constituent que 4% du total des visites observées.

Les visites de l'abeille domestique et de *Lasioglossum mediterraneum* sur la plante sont plus nombreuses dans la matinée et en début d'après midi. L'activité des deux abeilles est synchronisée avec la sécrétion de nectar et la production de pollen par les fleurs. Ces dernières secrètent plus de nectar dans la matinée (Mohr & Jay 1990) et c'est durant cette période que le pollen est intensément collecté par les abeilles (FAO 1995).

L'abeille domestique a visité la plante principalement pour le nectar. En effet, le navet comme d'autres espèces cultivées de *Brassica* (*Brassica napus* ; *B. oleracea*) représente une bonne source de nectar pour les abeilles (Hammer 1966 ; Mc Gregor 1976 ; Free 1993), et la plupart des abeilles qui visitent ces plantes récoltent principalement le nectar (Free & Nuttall 1968 ; Goodman 1982 cité par Free 1993 ; Free & Fergusson 1983 ; Mishra *et al.* 1988 ; Free 1993). *L. mediterraneum* a, par contre, consacré la majorité de ses visites à la récolte des deux produits ensemble.

L'observation du comportement de butinage des deux abeilles montre que toutes leurs visites peuvent être fécondantes puisqu'elles effectuent un butinage positif sur les fleurs quelque soit le produit récolté. Sur *Brassica napus*, quelques abeilles domestiques pratiquent un butinage négatif lorsqu'elles récoltent le nectar, et ceci en introduisant la langue entre les filets des étamines à la base de la fleur ("vol de nectar") (Free & Fergusson 1983 ; Mohr & Jay 1988 cités par Free 1993). La prévalence d'un tel comportement de butinage réduit quelquefois considérablement la valeur pollinisatrice de l'abeille domestique (Delbrassine & Rasmont 1988).

Brassica rapa est presque complètement autostérile (Downey *et al.* 1970 ; Williams *et al.* 1987 ; Morandin & Winston 2004). Par conséquent, la pollinisation croisée est indispensable pour l'obtention de rendements élevés. Nos observations montrent, en effet, que la présence d'insectes pollinisateurs contribue à l'amélioration de la production de la plante. Le rendement grainier obtenu à partir de la pollinisation croisée est plus élevé que celui obtenu par autopolinisation.

De nombreux travaux ont aussi montré que les rendements de la plante sont plus élevés en présence de pollinisateurs en comparaison avec ceux obtenus sans pollinisateurs (Jones & Rosa 1928 cités par Free 1993 ; Koutensky 1958 ; Latif *et al.* 1960 ; Downey & Bolton 1961 ; Pritsh 1965 ; Williams 1978 ; Sihag 1986 ; Mishra *et al.* 1988 ; Singh *et al.* 1996). Fries & Stark (1983) ont constaté que des densités élevées d'abeilles domestiques dans les champs de *B. rapa* augmentent le rendement grainier de la plante et aussi le rendement en huile des graines.

Aux Etats-Unis, Abel *et al* (2003) constatent que l'abeille domestique peut ne pas être le meilleur pollinisateur de *Brassica rapa*. Ces auteurs obtiennent des rendements en graines plus élevés de la plante, ainsi que de deux autres Brassicaceae (*Brassica napus* L. et *Sinapis alba* L.) en présence de colonies de deux osmies (*Osmia cornifrons* et *O. lignaria*).

Le vent peut aussi assurer le transport de pollen d'une plante à une autre (Mc Gregor 1976) et sur une distance pouvant atteindre jusqu'à 2,5 Km (Timmons *et al.* 1995), mais le rôle des insectes, particulièrement les abeilles, est plus important.

Selon nos observations, les siliques des plants engagés ont aussi donné des pourcentages de graines avortées et mal formées plus élevés que ceux des plants libres. Par contre, le poids moyen en graines est significativement plus élevé sur les plants engagés que sur ceux accessibles aux pollinisateurs.

Sur *Brassica oleracea*, Sinha & Chakrabarti (1985) ont également reporté un poids moyen de 1000 graines supérieur sur les plants engagés en comparaison avec celui obtenu sur les

plants libres. Les plants engagés compenseraient leur faible production en graines en formant des graines plus grosses.

En effet, Hebblethwaite *et al* (1984) ont constaté sur *Vicia faba* que les plants engagés sans abeilles produisaient moins de graines par gousse que ceux engagés avec abeilles parce que beaucoup de leurs graines avortent, mais les plants compensent leur faible production en graines en formant des graines plus grosses.

En conclusion, nos observations montrent que dans la région de Constantine, l'abeille domestique constitue le principal pollinisateur de la plante. Elle est aussi le visiteur le plus important de la plante dans de nombreuses régions tels que l'Angleterre (Williams *et al.* 1987), le Canada (Mohr & Jay 1990), la Finlande (Varis 1996) et la Russie (Nikitina 1950). En Inde, par contre, c'est *Apis Cerana indica* qui est le pollinisateur le plus commun (Mishra *et al.* 1988). Du fait de son autostérilité plus ou moins forte selon les variétés, et étant donné le nombre très élevé de fleurs à polliniser, il est recommandé d'introduire des colonies d'abeilles dans les champs en floraison. 4 à 6 ruches par hectare sont nécessaires depuis le début jusqu'à la fin de la floraison (Philippe 1991).

6. Le radis (*Raphanus sativus* L.)

6.1. Floraison de la plante

La floraison de *Raphanus sativus* a débuté le 5.VI.2004 et s'est achevée le 30.VI.2004. La période de floraison s'est étalée sur 26 jours. Les fleurs sont groupées en un panicule lâche. On dénombre en moyenne 4 inflorescences (secondaires et tertiaires) par plant. L'inflorescence terminale (hampe primaire) porte en moyenne 12 fleurs, les inflorescences secondaires et tertiaires portent en moyenne 7 et 5 fleurs respectivement.

6.2. Diversité et densité des pollinisateurs

Les principaux visiteurs de *Raphanus sativus* sont des hyménoptères apoïdes appartenant à 4 familles : Apidae, Halictidae, Andrenidae et Megachilidae (tab.26). D'autres insectes, moins fréquents que les apoïdes, ont visité la plante. Ils sont représentés par des coléoptères Scarabeidae, des diptères Syrphidae (*Eristalis sp.*) et Bombyliidae (*Bombylus sp.*), et quelques Lépidoptères et Hémiptères.

Tableau 26. Nombres moyens par 100 fleurs des pollinisateurs de *Raphanus sativus* pendant la floraison de 2004.

Familles	Espèces	Densités
Apidae	<i>Ceratina cucurbitina</i> (Rossi 1792)	6
	<i>A. mellifera</i> L. 1758	<1
	<i>Bombus terrestris africanus</i> Kruger 1956	<1
Halictidae	<i>Lasioglossum mediterraneum</i> (Blüthgen 1926)	2
	<i>L. (Evylaeus) pauxillum</i> (Schenck 1853)	1
	<i>L. malachurum</i> (Kirby 1802)	1
	<i>L. (Lasioglossum) lativentre</i> (Schenck 1853)	<1
	<i>L. (Evylaeus) politum</i> (Schenck 1853)	<1
	<i>L. interruptum</i> (Panzer 1798)	<1
Andrenidae	<i>Andrena flavipes</i> (Panzer 1799)	<1
	<i>A. distinguenda obsoleta</i> Pérez 1895	<1
	<i>A. (Lepidandrena) sardoa</i> Lapeletier 1841	<1
	<i>A. (Micrandrena) minutuloides</i> Perkins 1914	<1
	<i>A. (Micrandrena) sp</i>	<1
	<i>Panurgus (Panurgus) vachali</i> Pérez 1895	<1
Megachilidae	<i>Heriades truncorum</i> (L. 1758)	<1

L'Apidae sauvage, *Ceratina cucurbitina* est le visiteur le plus abondant sur la plante avec une densité de 6 individus pour 100 fleurs (tab.26). Les visites des deux autres Apidae, *Apis mellifera* et *Bombus terrestris* sont occasionnelles. L'abeille domestique n'est apparue sur la plante qu'à partir de la mi-floraison, et lors d'une seule journée (le 19 juin). Elle est observée surtout sur les fleurs de *Daphne gnidium* L., arbrisseau de la famille des Thymelaeaceae et sur *Lavandula officinalis* L. (Labiatae) situés aux abords de la parcelle. *B. terrestris* a surtout butiné les fleurs de *Lavandula officinalis*.

Les Halictidae sont représentés principalement par *Lasioglossum mediterraneum* avec une densité de 2 individus pour 100 fleurs. Les Andrenidae, représentés par 6 espèces et les Megachilidae avec seulement *Heriades truncorum*, sont observés occasionnellement sur les fleurs. Les Halictidae sont aussi observés sur les plantes sauvages présentes aux alentours de la culture, notamment *Sinapis arvensis* L. (Brassicaceae). Les différentes espèces d'Andrenidae ont surtout visité *Sinapis arvensis* et *Scolymus hispanicus* L. (Asteraceae). Quant au Megachilidae, *Heriades truncorum*, il a surtout visité *Scolymus hispanicus* L. et *Crepis vesicaria* L. (Asteraceae).

6.3. Activité journalière des abeilles

Durant la période de floraison, l'activité journalière des espèces les plus fréquentes (*C. cucurbitina*, *L. mediterraneum*, *L. pauxillum* et *L. malachurum*) sur les fleurs est observée.

L'activité de *C. cucurbitina* est surtout intense dans la matinée entre 9h et 12h avec un maximum de visites à 11h (fig.34). Son activité diminue progressivement dans l'après midi.

L'abeille reste fidèle aux fleurs de la

plante, elle a rarement visité les fleurs sauvages présentes aux abords de la culture. Les visites de *L. mediterraneum* sont pratiquement homogènes tout au long de la journée. Son activité diminue à partir de 16h (fig.34). Les deux autres halictides, *L. pauxillum* et *L. malachurum* sont actifs durant la matinée et en début d'après midi à 13h (fig.34).

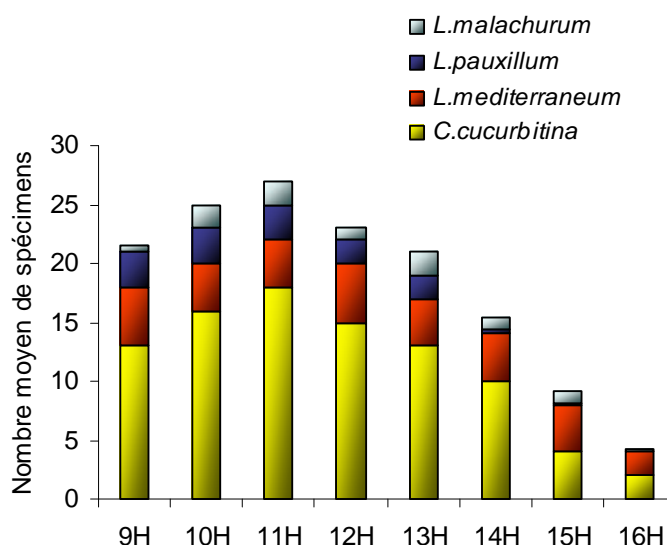


Figure 34. Activité de butinage des principaux pollinisateurs de *Raphanus sativus* aux différentes heures de la journée (floraison de 2004)

6.4. Comportement de butinage et efficacité pollinisatrice

Durant la période de floraison, le comportement de butinage de ces 4 espèces est observé. Plus de la moitié des visites (56%) de *C. cucurbitina* concernent la récolte de nectar, 17% la récolte de pollen et 27% la récolte des deux produits ensemble (tab.27). Son butinage est toujours positif puisqu'elle n'effectue que des visites frontales sur les fleurs. Ses visites peuvent être toutes fécondantes. En prélevant le nectar, les trois halictides par contre peuvent effectuer un butinage négatif (sans contact avec le stigmate), et ceci en introduisant la langue entre les filets à la base des étamines. En moyenne, 75% de leurs visites sont potentiellement fécondantes.

Par ailleurs, les visites de *C. cucurbitina* sur les fleurs sont significativement plus rapides ($F = 29,4$; ddl : 3-58 ; $p = 1,1 \cdot 10^{-11}$) (tab.28). Le nombre de visites positives effectuées par minute est identique pour les trois Halictidae.

En combinant effectifs et efficacité pollinisatrice pour ces quatre abeilles (tab.29), on constate qu'environ 70% de la pollinisation de la plante est assurée par *C. cucurbitina*.

Tableau 27. Répartition des visites (en %) de *Ceratina cucurbitina* et des Halictidae les plus abondants sur *Raphanus sativus* selon le produit floral récolté et l'efficacité pollinisatrice de ces visites pendant la floraison de 2004.

P = pollen ; N = nectar ; + : visite pollinisante ; - : visite non pollinisante

Espèces	<i>C. cucurbitina</i>	<i>L. mediterraneum</i>	<i>L. pauxillum</i>	<i>L. malachurum</i>
Nombre de visites observées	741	272	117	87
P ⁺	17%	23%	19%	21%
N ⁺	56%	28%	33%	17%
N ⁻ (vol)	0%	32%	13%	30%
(P+N) ⁺	27%	17%	35%	32%
Total des visites pollinisantes	100%	68%	87%	70%

Tableau 28. Vitesse de butinage de *Ceratina cucurbitina* et des principaux Halictidae rencontrés sur *Raphanus sativus* pendant la floraison de 2004

N = nombre de spécimens observés ; ± : erreur standard

Espèces	N	Nombre moyen de fleurs visitées par minute	Nombre moyen de visites positives par minute
<i>Ceratina cucurbitina</i>	20	10 ± 0,6	10 ± 0,6
<i>Lasioglossum mediterraneum</i>	16	5,6 ± 0,3	4,4 ± 0,4
<i>L. pauxillum</i>	15	4,7 ± 0,2	4,0 ± 0,3
<i>L. malachurum</i>	11	6,3 ± 0,3	4,4 ± 0,4

Tableau 29. Nombre de visites observées et de visites pollinisantes pour les espèces les plus abondantes sur les fleurs de *Raphanus sativus* pendant la floraison de 2004.

N = nombre de spécimens observés ; P = nombre de visites pollinisantes (une seule visite est comptabilisée par insecte)

Espèces	N	%N	P	%P
<i>C. cucurbitina</i>	827	61	827	69
<i>L. mediterraneum</i>	295	22	196	16
<i>L. pauxillum</i>	130	10	110	9
<i>L. malachurum</i>	96	7	65	6
Total des visites	1348	100	1198	100

6.5. Recherche alimentaire des abeilles

Pour *C. cucurbitina*, le plus grand nombre de visites concerne la récolte de nectar et les plus grandes proportions de collecte sont observées de 11h à 16h (fig.35). Le pollen est surtout collecté à 9h et à 10h et les deux produits ensemble sont prélevés surtout à 9h et à 12h. De même, la majeure partie des visites de *L. mediterraneum* concerne la récolte exclusive de

nectar (fig.36). Les plus grandes proportions sont collectées de 10h à 16h. Le pollen est surtout prélevé dans la matinée et les deux produits ensemble sont collectés à toutes heures de la journée sauf à 15h.

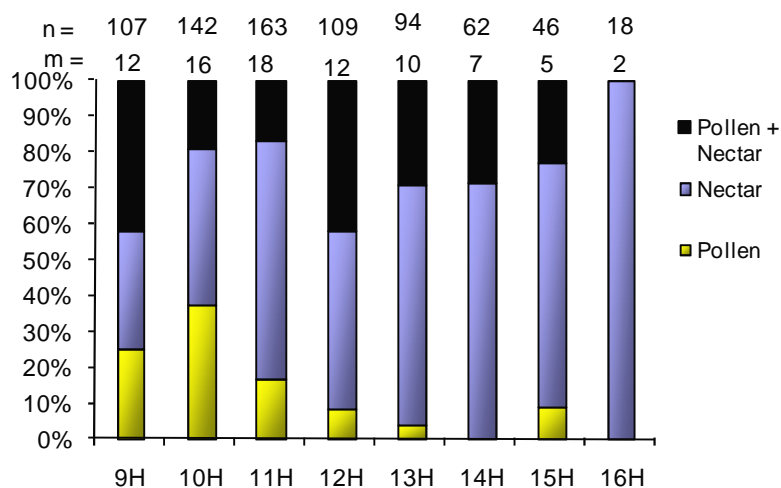


Figure 35. Pourcentages des produits floraux récoltés par *Ceratina cucurbitina* sur *Raphanus sativus* aux différentes heures de la journée (floraison 2004) (m = nombre moyen de spécimens observés ; n = nombre total de spécimens observés)

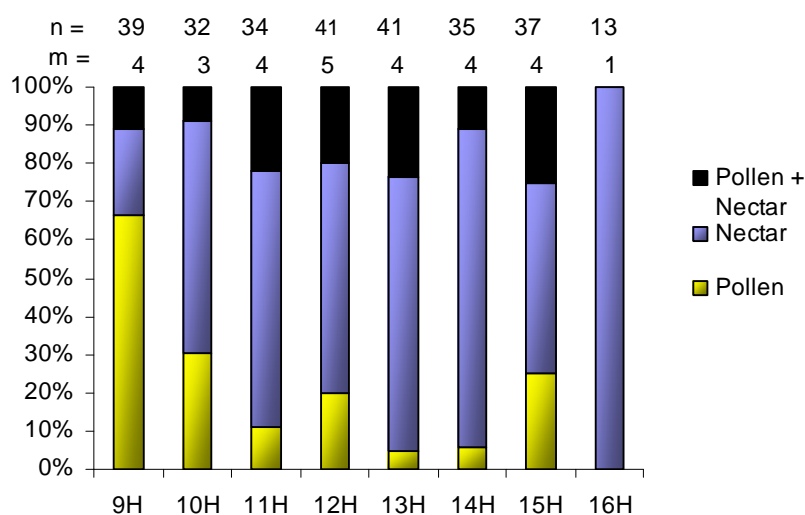


Figure 36. Pourcentages des produits floraux récoltés par *Lasiglossum mediterraneum* sur *Raphanus sativus* aux différentes heures de la journée (floraison 2004) (m = nombre moyen de spécimens observés ; n = nombre total de spécimens observés)

Chez les deux autres halictides, *L. pauxillum* et *L. malachurum*, environ la moitié des visites est destinée à la collecte de nectar. Pour *L. pauxillum*, les plus grandes proportions de nectar sont observées de 13h à 15h. Le pollen et l'ensemble (pollen + nectar) sont collectés

surtout dans la matinée (fig.37). Pour *L. malachurum*, le nectar est surtout prélevé dans la matinée à 11h et à 12h, et à 14h et à 16h dans l'après midi. Les plus grandes proportions de collecte de pollen sont observées à 9h et à 16h et l'ensemble des deux produits est surtout collecté à 10h et à 15h (fig.38).

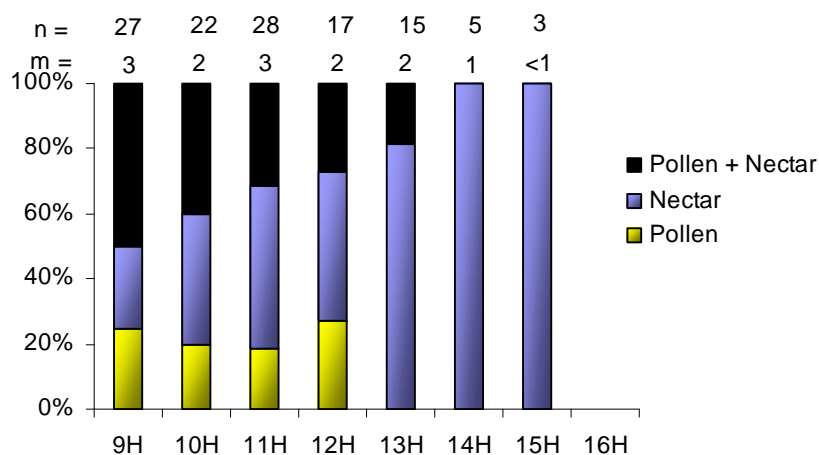


Figure 37. Pourcentages des produits floraux récoltés par *Lasioglossum pauxillum* sur *Raphanus sativus* aux différentes heures de la journée (floraison 2004) (m = nombre moyen de spécimens observés ; n = nombre total de spécimens observés)

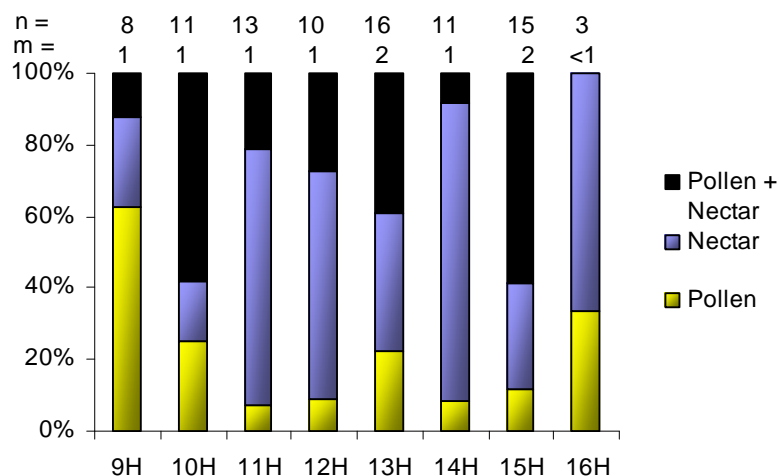


Figure 38. Pourcentages des produits floraux récoltés par *Lasioglossum malachurum* sur *Raphanus sativus* aux différentes heures de la journée (floraison 2004) (m = nombre moyen de spécimens observés ; n = nombre total de spécimens observés)

6.6. Effet de la pollinisation croisée sur le rendement de la plante

En présence d'insectes pollinisateurs, le rendement du radis n'est pas grandement amélioré (tab.30). Le nombre de graines par silique (calculé à partir de 1000 siliques libres et

1000 siliques encagées) est pratiquement identique dans les deux types de quadrats (libres et encagés). Le test statistique montre, toutefois, une différence significative ($t = 2,91$; $ddl = 1998$; $p = 0,0036$). Le nombre de siliques par plant (calculé à partir de 4 quadrats libres et 4 encagés) est identique sur les plants libres et sur les plants encagées ($t = 0,14$; $ddl = 398$; $p = 0,89$). Le poids moyen de 1000 graines (10 x 1000 graines) est également identique dans les deux types de quadrats ($U = 47$; $P > 0,05$). Les siliques des plants libres et des plants encagés ont aussi donné un pourcentage de graines avortées similaire, respectivement 13,3% et 13,2%. ($\varepsilon = 0,14$; $p = 0,90$). Par contre, les siliques des plants encagés ont donné un pourcentage de graines mal formées (3,8%) supérieur à celui des siliques des plants libres (1,9%) ($\varepsilon = 5,08$; $p = 0,000001$).

Tableau 30. Rendement grainier de *Raphanus sativus* en présence et en absence de pollinisateurs (floraison de 2004)

QL = quadrats libres ; QE = quadrats encagés ; ES = erreur standard

Traitement		Nombre de siliques/plant	Nombre de graines/silique	Poids de 1000 graines (gr)
QL	Moyenne	13,1	5,0	5,3
	± ES	1,8	0,1	0,3
QE	Moyenne	13,3	4,6	5,4
	± ES	1,8	0,1	0,2

6.7. Discussion

Les observations réalisées sur *Raphanus sativus* durant la floraison de 2004, montrent que l'entomofaune pollinisatrice de la plante dans la région est en majorité composée d'hyménoptères apoïdes appartenant aux Apidae et aux Halictidae, et qui constituent respectivement 56% et 41% des visites observées.

Contrairement à ce qui a été rapporté par certains auteurs (Kremer 1945 au Michigan (Etats-Unis) ; Radchenko 1966 en Ukraine ; Muhammad *et al.* 1973 au Pakistan et Free 1993 en Pologne), l'abeille domestique ne constitue pas le principal pollinisateur de la plante dans la région. Avec 55% du total des visites observées, c'est l'Apidae sauvage *Ceratina cucurbitina* qui est l'espèce la plus abondante sur les fleurs. Les Halictidae, avec en tête *Lasioglossum mediterraneum*, viennent en deuxième position en terme d'abondance (41% des visites observées). Les Andrenidae et les Megachilidae sont très peu représentés. En Egypte, ce sont aussi les abeilles sauvages de la famille des Halictidae (*Halictus* spp., *Nomia* spp., *Nomioides*

spp.), des Apidae (*Amegilla* spp.), des Megachilidae (*Megachile* spp.) et des Colletidae (*Prosopis* spp.) qui constituent 85% des visiteurs de la plante (Hussein & Abdel Aal 1982).

Nos observations montrent que l'activité des abeilles est surtout intense dans la matinée, période pendant laquelle le pollen et le nectar sont probablement plus disponibles. Kremer (1945) a indiqué que la réceptivité du stigmate au pollen est limitée à quelques heures de la journée, et que l'activité des abeilles est peu importante dans l'après midi.

Sur les fleurs du radis, *Ceratina cucurbitina* butine principalement le nectar qu'elle récolte pratiquement tout au long de la journée. Son butinage est toujours positif et par conséquent toutes ses visites sont potentiellement fécondantes. La plupart des visites des Halictidae sont également consacrées à la collecte exclusive de nectar. Ce dernier est récolté tout au long de la journée par *L. mediterraneum*, surtout dans l'après midi par *L. pauxillum*, et en fin de matinée et dans l'après midi par *L. malachurum*. Les visites (en moyenne 25% du total des visites) destinées à la récolte de nectar par ces trois espèces ne sont pas fécondantes. Les visites destinées à la collecte de pollen s'observent surtout dans la matinée en raison probable de sa disponibilité durant cette période. Les abeilles suivent, en effet, la séquence journalière de libération de pollen par les fleurs (Stone *et al.* 1998).

La présence d'insectes pollinisateurs contribue à augmenter légèrement le rendement grainier de la plante. En effet, certains auteurs (Nilsson 1927 et Kakizaki & Kasai 1933 cités par Free 1993) ont signalé que la fertilisation de quelques variétés de radis peut se réaliser par autopolinisation au stade de boutons floraux. Cependant, de nombreuses observations ont montré que le radis est une plante généralement autoincompatible et que des rendements plus élevés sont obtenus en pollinisation croisée par les insectes en comparaison avec ceux obtenus en autopolinisation (parcelles encagées) (Radchenko 1966 ; Muhammad *et al.* 1973 ; Sihage 1986). Dans le Michigan (Etats-Unis), Kremer (1945) a constaté que des radis semenciers situés à 3,2 Km des colonies d'abeilles ont produit deux fois plus de graines par hectare que ceux situés à plus de 3,2 Km. Ceci montre l'importance de la pollinisation de la plante par les abeilles et la nécessité de poser des ruches à l'intérieur des champs en floraison.

Par ailleurs, le radis ne représente pas une source importante de pollen et de nectar pour les abeilles qui le négligent souvent au profit de plantes sauvages plus attirantes (Kremer 1945 ; Philippe 1991). En effet, nos observations ont montré que toutes les espèces observées sur la plante, notamment l'abeille domestique, le bourdon terrestre (*Bombus terrestris*), *Heriades truncorum*, et les différentes espèces d'Andrenidae ont butiné principalement les

fleurs sauvages présentes aux alentours de la culture. Quelques Halictidae ont aussi visité, parallèlement à la plante, les fleurs sauvages. Par conséquent, il est recommandé d'installer les champs à au moins 3,5 Km de couverts floraux plus attractifs (Philippe 1991) ou de placer un nombre suffisant de ruches dans les champs en floraison (Kremer 1945).

En conclusion et dans la région de Constantine, l'Apidae sauvage *Ceratina cucurbitina* semble être le principal pollinisateur de *Raphanus sativus*. Son butinage peut être fécondant dans 100% des visites. En outre, elle constitue 55% du nombre total de visites observées et ses visites sur les fleurs sont plus fréquentes.

7. La betterave (*Beta vulgaris* L.)

7.1. Floraison de la plante

La floraison de la plante a débuté le 16.V.2003 et s'est achevée le 7.VI.2003. La période de floraison s'est donc étalée sur 22 jours. La densité des pollinisateurs est estimée au mètre carré et non par 100 fleurs en raison du nombre trop élevé de fleurs et de leur petite taille.

7.2. Diversité et densité des pollinisateurs

Les observations menées lors de la floraison de *Beta vulgaris* montrent que les visiteurs les plus abondants sur les fleurs sont des hyménoptères de la famille des Halictidae (tab.31). L'abeille domestique, le seul Apidae rencontré sur la plante, n'est présente qu'épisodiquement. Quelques diptères (Syrphidae et Bombyliidae) et coléoptères (Coccinellidae) fréquentent la plante.

Lasioglossum mediterraneum est l'Halictidae le plus fréquent sur les fleurs avec une densité de 11 individus /m². Il est suivi par *L. lativentre* et *L. malachurum* avec des densités respectives de 3 et de 2 individus /m².

Tableau 31. Nombres moyens par m² des pollinisateurs de *Beta vulgaris* pendant la floraison de 2003

Familles	Espèces	Densités
Halictidae	<i>Lasioglossum mediterraneum</i> (Blüthgen 1926)	11
	<i>L. (Lasioglossum) lativentre</i> (Schenck 1853)	3
	<i>L. malachurum</i> (Kirby 1802)	2
	<i>L. (Evyllaesus) puncticolle</i> (Morawitz 1872)	1
	<i>L. pauxillum</i> (Schenck 1853)	1
Apidae	<i>Apis mellifera</i> L. 1758	<1

7.3. Activité journalière et comportement de butinage des principaux visiteurs

Durant la période de floraison de la plante, l'activité journalière et le comportement de butinage des principaux pollinisateurs : *L. mediterraneum*, *L. lativentre* et *L. malachurum* sont observés.

L'activité des trois halictides est surtout intense dans la matinée entre 10h et 12h (fig.39), elle diminue dans l'après midi pour cesser à partir de 16h.

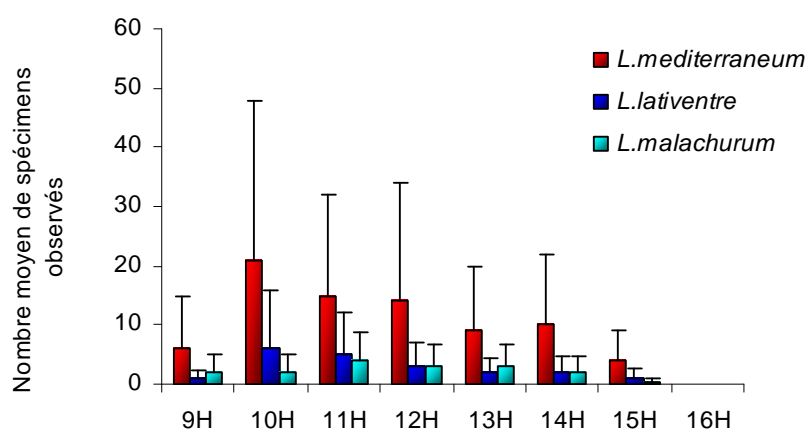


Figure 39. Evolution du nombre de visites (moyennes \pm erreur standard) des principaux Halictidae rencontrés sur *Beta vulgaris* aux différentes heures de la journée pendant la floraison de 2003

Le pollen est le principal objectif des abeilles. 79% des visites de *L. mediterraneum* concernent la récolte de pollen. 69% et 57% respectivement des visites de *L. lativentre* et de *L. malachurum* concernent aussi la collecte de pollen (fig.40). Le reste des visites est consacré essentiellement à la récolte de nectar. Lors des visites, les abeilles entrent en contact avec les organes reproducteurs de la fleur ce qui assure sa fécondation. Le nombre de fleurs visitées par minute est pratiquement identique pour les trois espèces (tab.32).

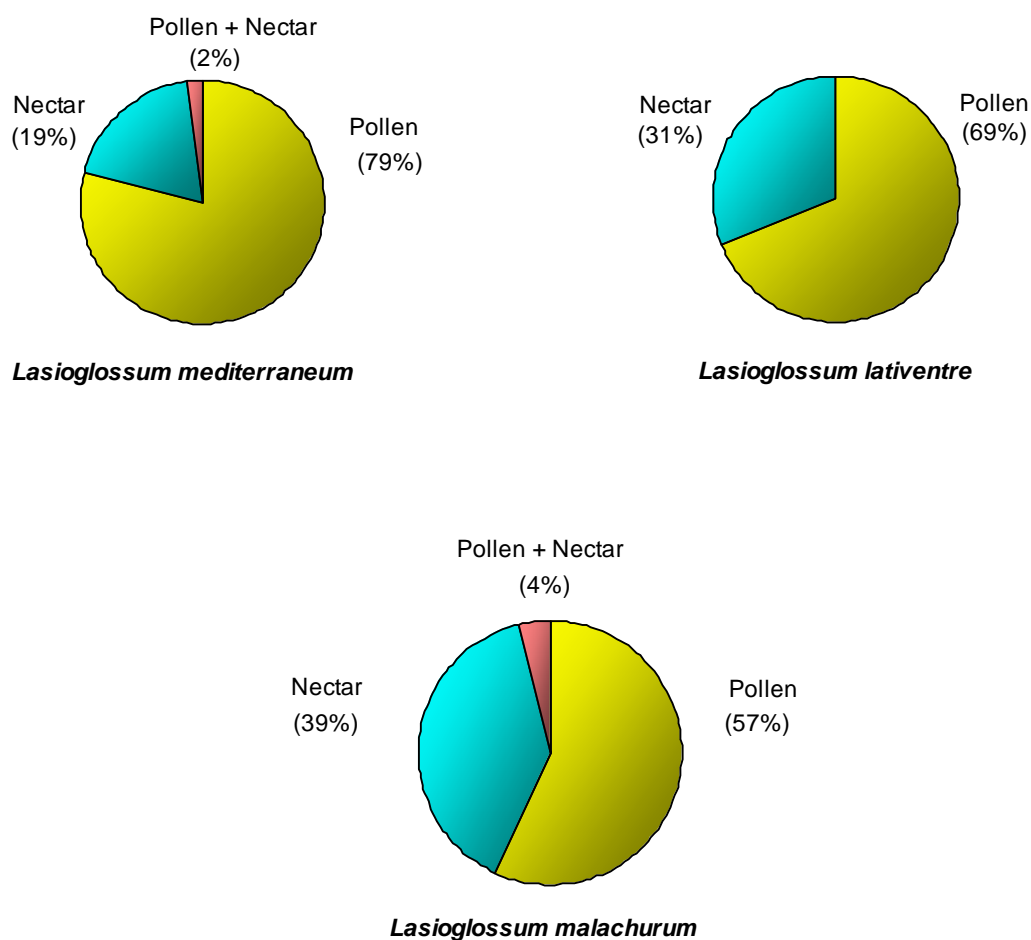


Figure 40. Pourcentages des produits floraux récoltés par *L. mediterraneum*, *L. lativentre* et *L. malachurum* sur *Beta vulgaris* pendant la floraison de 2003

Tableau 32. Vitesse de butinage des principaux Halictidae rencontrés sur *Beta vulgaris* pendant la floraison de 2003. \pm : erreur standard

Espèces	Nombre de fleurs visitées par minute
<i>Lasioglossum mediterraneum</i>	8,4 \pm 0,2
<i>L. lativentre</i>	8 \pm 0,2
<i>L. malachurum</i>	9 \pm 0,3

7.4. Recherche alimentaire des abeilles

La majeure partie des visites florales des trois halictides concerne la récolte exclusive de pollen et les plus grandes proportions de collecte sont observées dans la matinée entre 9h et 12h (fig.41 a, b et c). Le nectar est surtout récolté dans l'après midi, à 14h et à 15h pour *L. mediterraneum* et de 13h jusqu'à 15h pour *L. lativentre* et *L. malachurum*. Une très faible proportion de collecte mixte (pollen + nectar) est observée à 12h et à 13h chez *L. mediterraneum* et à 12h chez *L. malachurum*.

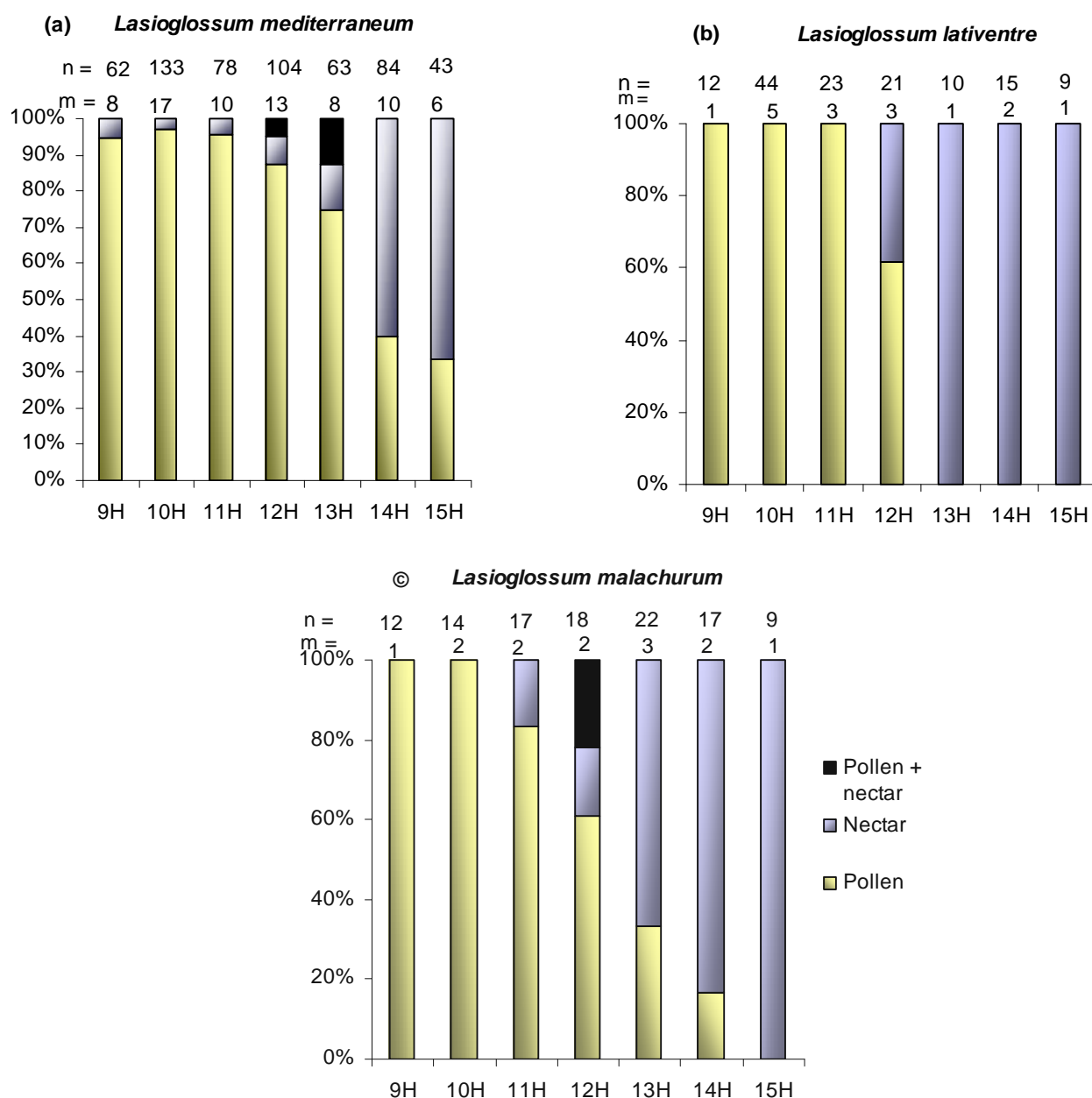


Figure 41. Recherche alimentaire des principaux Halictidae rencontrés sur *Beta vulgaris* aux différentes heures de la journée (floraison de 2003) (m = nombre moyen de spécimens observés ; n = nombre total de spécimens observés)

7.5. Discussion

Les observations menées sur *Beta vulgaris* durant la floraison de 2003, montrent que l'entomofaune pollinisatrice de la plante est composée principalement d'hyménoptères apoïdes de la famille des Halictidae, et qui constituent 99% des visites observées. *Lasioglossum mediterraneum* est l'espèce la plus abondante sur les fleurs (66% des visites observées). Elle est suivie par *L. lativentre* et *L. malachurum* avec respectivement 15% et 12% des visites observées. La présence de l'abeille domestique n'est qu'épisodique.

Des diptères Syrphidae et Bombyliidae, des coléoptères Coccinellidae, moins nombreux que les apoïdes, sont aussi des visiteurs de la plante.

Popov (1952) a constaté que les Halictidae, les Megachilidae et les Apidae sont les visiteurs les plus abondants sur les fleurs de la betterave. Au Canada, Treherne (1923) a reporté que les diptères Syrphidae sont les visiteurs les plus abondants de la plante, mais les abeilles domestiques, sauvages et divers hémiptères sont aussi importants, et que les coléoptères Coccinellidae étaient quelquefois localement nombreux. En Angleterre, Free *et al* (1975b) cités par Free (1993) ont constaté que les Cantharidae, les Coccinellidae (coléoptères), les Syrphidae, les Larvaevoridae et les Muscidae (diptères) sont les insectes les plus nombreux sur la plante. En Inde, Sharma & Sharma (1968) ont constaté que les abeilles domestiques sont abondantes sur la plante.

Les abeilles sont présentes sur la plante de 9h à 15h, mais les plus grands nombres de visites sont observés entre 10h et 14h, période pendant laquelle le pollen est probablement libéré abondamment par les fleurs. Free (1993) constate que, par temps chaud et ensoleillé, le pollen est libéré plus tôt dans la matinée (avant midi) et il est dispersé par le vent et c'est durant cette période que le pic d'activité des abeilles est observé.

La majeure partie des visites florales des Halictidae concerne la récolte de pollen, et les plus grandes proportions de collecte sont observés dans la matinée ; alors que les visites destinées à la récolte de nectar sont plus nombreuses dans l'après midi. La sécrétion de nectar par les fleurs est certainement plus importante durant cette période.

L'abeille domestique est surtout observée sur les plantes sauvages présentes aux abords de la culture et en environs de la parcelle telles que *Sinapis arvensis* L. (Brassicaceae) et *Lavandula officinalis* L. (Labiatae). Archimowitsch (1949) et Mikitenko (1959) constatent que les abeilles domestiques ne sont nombreuses sur les fleurs de la betterave que lorsque d'autres sources de pollen ou de nectar ne sont pas disponibles. Au contraire, Aleksyuk

(1981) et Free *et al.* (1975) cités par Free (1993) constatent que les abeilles domestiques visitent rarement la plante.

La pollinisation de la betterave semble être essentiellement assurée par le vent (Poole 1937, Free 1993). Le pollen de la plante (léger) peut être transporté par l'air sur une distance de plusieurs kilomètres. Néanmoins, certains travaux montrent que la présence d'abeilles domestiques peut augmenter le rendement grainier de la plante (Mikitenko 1959). Cependant et selon Aleksyuk (1981) cité par Free (1993), les abeilles domestiques ne jouent pas un rôle important dans la pollinisation de la plante. Chez les variétés tétraploïdes qui produisent peu de pollen et dont les grains sont plus gros et moins facilement libérés par les anthères que chez les variétés diploïdes (Scott & Longden 1970), la pollinisation par les insectes peut être importante surtout par temps humide lorsque peu de pollen est aéroporté.

En conclusion et dans la région de Constantine, les hyménoptères Halictidae beaucoup plus fréquents sur les fleurs de *Beta vulgaris*, semblent jouer un rôle important dans la pollinisation de la plante.

8. La pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) et la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

La floraison de la pomme de terre a débuté le 15.V.2002 et celle de la tomate le 24.V.2002. Les observations menées sur ces deux plantes montrent l'absence totale d'abeilles sur les fleurs.

9. Répartition des familles d'apioïdes sur les différentes plantes

A l'exception de la betterave, les Apidae sont les visiteurs les plus abondants observés sur les 6 plantes (fig.42). Ils constituent respectivement 99,7%, 96,8 %, 97,3%, 66%, 86% et 56% des visites observées sur la fève, le petit pois, la courgette, le concombre, le navet et le radis. Les Halictidae constituent 99% des visites observées sur la betterave.

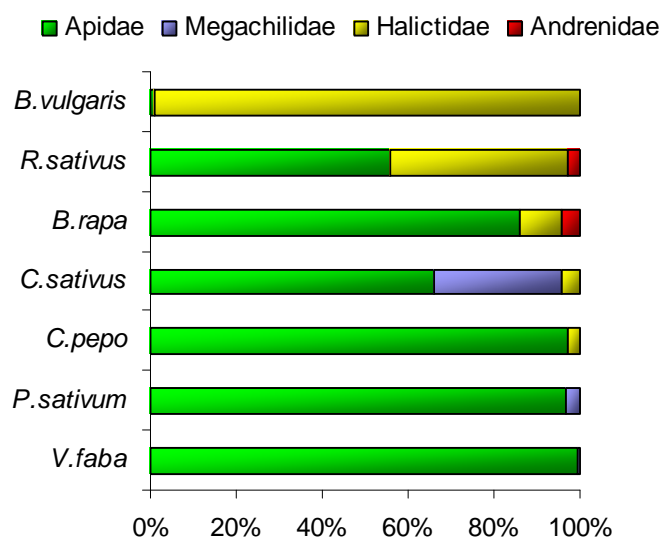


Figure 42. Répartition des familles d'apioïdes sur les différentes plantes maraîchères

II. Influence des facteurs climatiques sur l'activité quotidienne des apoïdes

De nombreux travaux, comme il a été mentionné dans le chapitre précédent, ont montré que les ressources florales (pollen et nectar) influencent l'activité quotidienne des abeilles. Cependant, cette activité est aussi influencée par d'autres facteurs, notamment les facteurs climatiques.

Dans cette partie, nous avons étudié l'influence sur les abeilles de trois variables climatiques : la température, l'humidité relative de l'air et la luminosité. L'influence de ces trois variables climatiques a été étudiée sur les espèces les plus abondantes rencontrées sur les différentes plantes. Les mesures (valeurs moyennes) pour chacune des trois variables testées et le nombre moyen de visites effectuées par les abeilles aux différentes heures de la journée durant la période de floraison sont indiqués dans le tableau 33.

Tableau 33. Nombres moyens d'abeilles (domestiques et sauvages) enregistrés aux différentes heures de la journée en relation avec les facteurs climatiques (valeurs moyennes) pendant la floraison de 4 plantes. T°© = température ; HR (%) = humidité relative ; Lum = luminosité ; Lx = luxmètre.

<i>Vicia faba</i>						
	T°©	HR (%)	Lum (x10 ³ Lx)	<i>A. mellifera</i>	<i>E. numida</i>	
9H	17	46,1	51,4	1,5	2	
10H	20,16	40,64	59,46	11	9,5	
11H	23,63	32,71	59,6	11	16	
12H	23,53	31,77	55,01	14	14	
13H	26,37	25,17	51,17	11	21	
14H	26,74	26,34	57,94	9	20	
15H	22,96	30,99	37,55	5	22	
16H	22,26	34,58	21,98	6	27	
<i>Raphanus sativus</i>						
	T°©	HR (%)	Lum (x10 ³ Lx)	<i>C. cucurbitina</i>	<i>L. pauxillum</i>	
9H	24	47,5	55,6	12,56	3,4	
10H	25,8	40,7	54,6	16	3	
11H	26,8	31,8	42,7	18	3,4	
12H	28,1	36,1	53	15	2,2	
13H	28,3	36,8	50,1	12,7	1,7	
14H	27,7	32,1	43,1	10,3	0,4	
15H	27,4	39,8	31	4,4	0,1	
16H	28,9	35,4	29,3	2		
<i>Cucumis sativus</i>						
	T°©	HR (%)	Lum (x10 ³ Lx)	<i>M. leachella</i>	<i>M. pilidens</i>	
9H	25,9	39,9	42,02	3,4	2,5	

10H	27,9	36,4	52,9	8,7	6	
11H	30,4	28,5	52,4	7,4	4	
12H	31,7	28,3	51,2	6,3	7	
13H	32,5	26,7	48,1	4,4	6	
14H	31,8	30,5	43,7	3,5	4	
<i>Beta vulgaris</i>						
	T°C	HR (%)	Lum (x10 ³ Lx)	<i>L.mediterraneum</i>	<i>L.malachurum</i>	<i>L.lativentre</i>
9H	24	45,1	63,4	6	2	1,12
10H	23,45	45,7	64,6	21	2	5,5
11H	23,8	40,8	65,2	15	4	5
12H	24,7	35,8	67,4	14	3	2,8
13H	25,7	32,4	57,1	9	2,5	1,5
14H	26,1	31,5	55,8	10	2,25	1,6
15H	25,9	27,8	46	4	0,4	0,6

Les données de ce tableau montrent que l'abeille domestique est plus active dans la matinée (entre 10h et 13h) lorsque la température moyenne est comprise entre $20,2^{\circ} \pm 2,3^{\circ}\text{C}$ (erreur standard) et $26,4^{\circ} \pm 1,4^{\circ}\text{C}$; l'humidité relative de l'air entre $25,2 \pm 2,9\%$ et $40,6 \pm 4,8\%$ et la luminosité rangée entre $51200 \pm 8853 \text{ Lx}$ et $59600 \pm 1645,1 \text{ Lx}$. L'activité d'*Eucera numida* est plus intense dans l'après midi lorsque la température est rangée entre $22,3^{\circ} \pm 1,2^{\circ}$ et $26,7^{\circ} \pm 2,4^{\circ}\text{C}$; l'humidité de l'air est située entre $25,2 \pm 2,9\%$ et $34,6 \pm 3,1\%$ et l'intensité lumineuse rangée entre $22000 \pm 2280 \text{ Lx}$ et $57940 \pm 4314 \text{ Lx}$.

Ceratina cucurbitina est plus active de 9h jusqu'à 14h lorsque la température est comprise entre $24^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et $28,3^{\circ} \pm 1,2^{\circ}\text{C}$; l'humidité relative entre $31,8 \pm 5,0\%$ et $47,5 \pm 3,1\%$ et la luminosité située entre $42700 \pm 5365 \text{ Lx}$ et $55600 \pm 3210 \text{ Lx}$.

Les trois Halictidae (*L. mediterraneum*, *L. malachurum* et *L. lativentre*) sont surtout présents sur les fleurs dans la matinée lorsque la température est comprise entre $23,4^{\circ} \pm 1,3^{\circ}\text{C}$ et $24,7^{\circ} \pm 1,9^{\circ}\text{C}$, l'humidité relative entre $35,8 \pm 3,8\%$ et $47,5 \pm 4,1\%$ et une luminosité élevée rangée entre environ $63000 \pm 4532 \text{ Lx}$ et $67000 \pm 860 \text{ Lx}$. L'activité de *L. pauxillum*, également matinale, est plus intense lorsque la température moyenne est située entre $24^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et $28,1^{\circ} \pm 1,3^{\circ}\text{C}$ pour une humidité relative comprise entre $31,8 \pm 5,0\%$ et $47,5 \pm 4,2\%$ et une intensité lumineuse rangée entre $42700 \pm 5365 \text{ Lx}$ et $55600 \pm 3210 \text{ Lx}$.

Enfin, les visites des deux mégachiles, *M. leachella* et *M. pilidens* sont aussi plus fréquentes durant la matinée et en début d'après midi (13h) pour *M. pilidens* lorsque la température de l'air est rangée entre $25,9^{\circ} \pm 1,2^{\circ}\text{C}$ et $32,5^{\circ} \pm 0,7^{\circ}\text{C}$ pour une humidité relative située entre $26,7 \pm 1,8\%$ et $39,9 \pm 3,5\%$ et une luminosité comprise entre $42000 \pm 43199 \text{ Lx}$ et $52900 \pm 4432 \text{ Lx}$.

Des modèles de l'activité de vol quotidienne de deux Apidae, un domestique (*Apis mellifera*) et l'autre sauvage (*Eucera numida*), d'un Megachilidae (*Megachile leachella*) et d'un Halictidae (*Lasioglossum mediterraneum*) en relation avec ces trois facteurs climatiques durant deux journées de floraison sont représentés par les figures 43 (a et b) ; 44 (a et b) et 45 (a et b).

Les données de la figure 43 (a et b) montrent qu'en général, l'activité de l'abeille domestique et d'*Eucera numida* augmente avec la température et décroît avec l'humidité relative. L'activité d'*A.mellifera* semble croître avec la luminosité et celle d'*E.numida* semble beaucoup plus diminuer avec la luminosité.

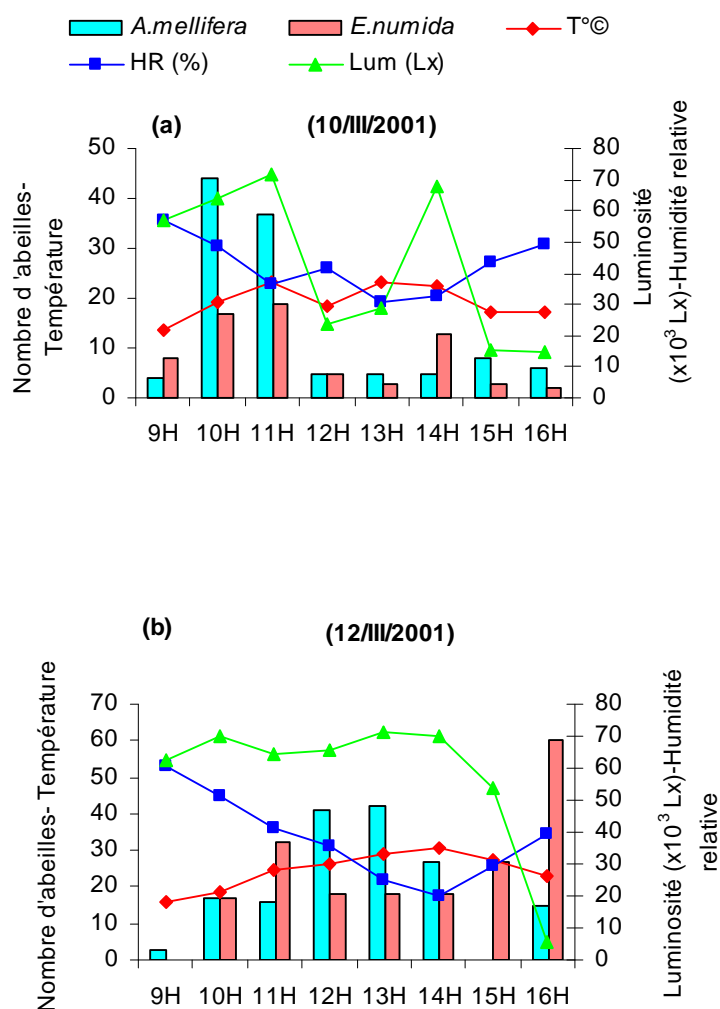


Figure 43 (a et b). Activité journalière d'*A.mellifera* et d'*E.numida* en relation avec les facteurs climatiques (floraison de *Vicia faba* en 2001)

L'analyse des données (tab.34) révèle l'existence d'une corrélation positive mais non significative d'*Apis mellifera* avec la température et la luminosité et d'une corrélation négative mais aussi non significative avec l'humidité relative de l'air. *E. numida*, par contre, est positivement et significativement corrélée à la température, mais présente une corrélation négative et significative avec l'humidité relative. La luminosité n'affecte pas significativement son activité.

Tableau 34. Matrices des coefficients de corrélation entre les facteurs climatiques et le nombre d'abeilles.

T = température ; HR = humidité relative ; Lum = luminosité ; A.me = *Apis mellifera* ; E.nu = *Eucera numida* ; C.cu = *Ceratina cucurbitina* ; M.le = *Megachile leachella* ; M.pi = *M.pilidens* ; L.me = *Lasioglossum mediterraneum* ; L.ma = *L.malachurum* ; L.la = *L.lativentre* ; L.pa = *L.pauxillum* ; ddl = degré de liberté.

Floraison de <i>Vicia faba</i> (2001)						Floraison de <i>Raphanus sativus</i> (2004)				
	T	HR	Lum	A.me	E.nu		T	HR	Lum	C.cu
T	1,00	-0,99***	0,09	0,57	0,71	T	1,00	-0,74	-0,56	-0,42
HR	-0,99	1,00	0,01	-0,50	-0,76	HR	-0,74*	1,00	0,39	-0,04
Lum	0,09	0,01	1,00	0,50	-0,60	Lum	-0,56	0,39	1,00	0,80
A.me	0,57	-0,50	0,50	1,00	0,16	C.cu	-0,42	-0,04	0,80**	1,00
E.nu	0,71*	-0,76**	-0,60	0,16	1,00	ddl = 6 ; ** p<0,02 ; *p<0,05				
ddl = 6 ; *** p<0,01 ; ** p<0,05 ; * p = 0,05										
Floraison de <i>Cucumis sativus</i> (2002)						Floraison de <i>Raphanus sativus</i> (2004)				
	T	HR	Lum	M.le	M.pi		T	HR	Lum	L.pa
T	1,00	-0,96*	0,23	-0,08	0,54	T	1,00	-0,76**	-0,40	-0,62
HR	-0,96	1,00	-0,38	-0,05	-0,52	HR	-0,76	1,00	0,37	0,30
Lum	0,23	-0,38	1,00	0,93	0,68	Lum	-0,40	0,37	1,00	0,70
M.le	-0,08	-0,05	0,93*	1,00	0,49	L.pa	-0,62	0,30	0,70*	1,00
M.pi	0,54	-0,52	0,68	0,49	1,00	ddl = 5 ; **p<0,05 ; *p<0,1				
ddl = 4 ; *p<0,01										
Floraiosn de <i>Beta vulgaris</i> (2003)										
	T	HR	Lum	L.me	L.ma	L.la				
T	1,00	-0,94	-0,78	-0,64	-0,43	-0,76				
HR	-0,94***	1,00	0,78	0,56	0,38	0,63				
Lum	-0,78**	0,78	1,00	0,69	0,77	0,66				
L.me	-0,64	0,56	0,69*	1,00	0,53	0,94				
L.ma	-0,43	0,38	0,77**	0,53	1,00	0,58				
L.la	-0,76**	0,63	0,66	0,94	0,58	1,00				
ddl = 5 ; ***p<0,01 ; **p<0,05 ; *p<0,1										

Le nombre de visites (fig.44 a et b) de l'halictidae *L. mediterraneum* semble généralement proportionnel à l'humidité relative de l'air et à la luminosité, mais il est inversement proportionnel à la température.

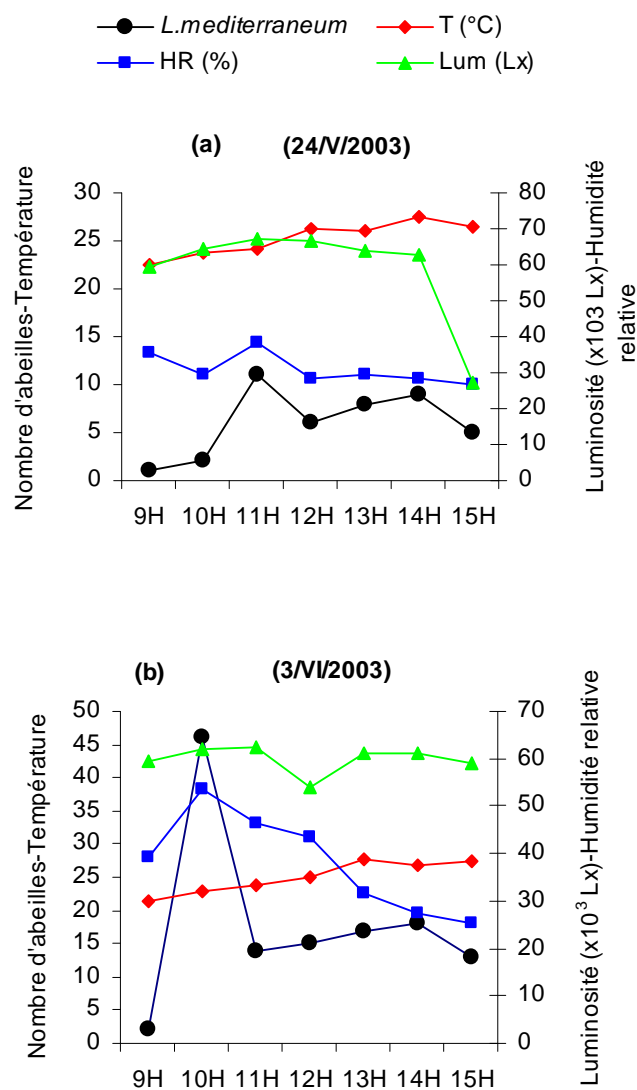


Figure 44 (a et b). Activité journalière de *L. mediterraneum* en relation avec les facteurs climatiques (floraison de *Beta vulgaris* en 2003)

En effet, les coefficients de corrélation (tab.34) indiquent que l'humidité relative et la luminosité favorisent mais pas significativement l'activité de l'abeille, alors que la température n'affecte pas son activité.

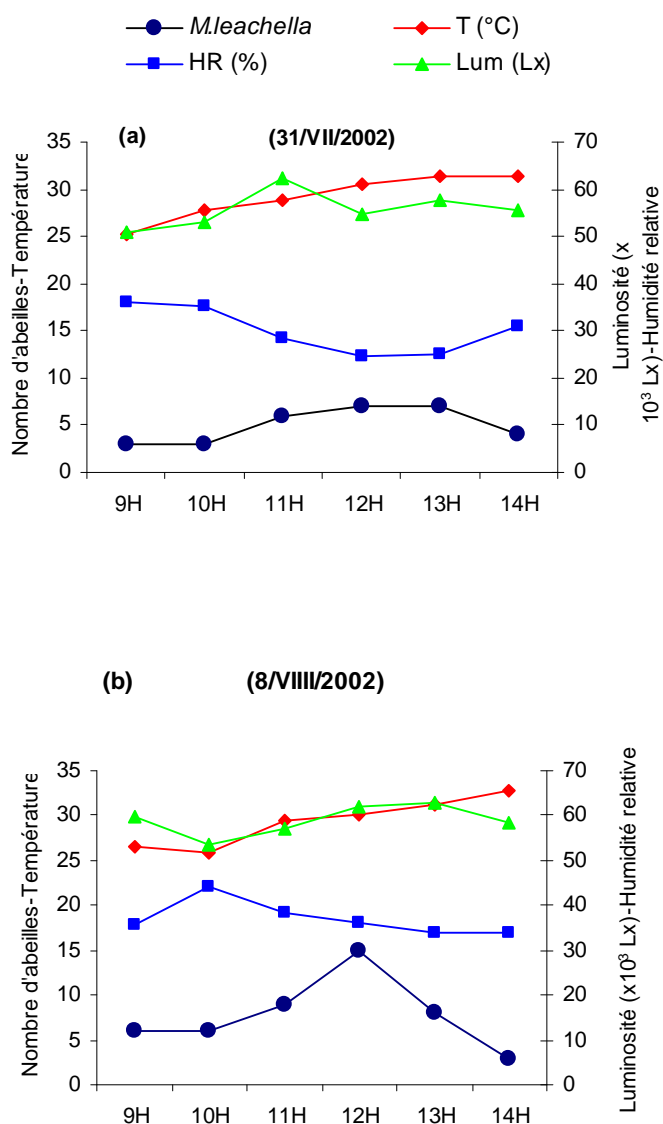


Figure 45 (a et b). Activité journalière de *M.leachella* en relation avec les facteurs climatiques (floraison de *Cucumis sativus* en 2002)

La figure 45 (a et b) montre que le nombre de visite de *M.leachella* est inversement proportionnel à l'humidité relative de l'air, son activité augmente plus ou moins avec la température et semble, par contre, favorisée par la luminosité. Les valeurs du coefficient de corrélation (tab.34) montrent que l'abeille est très faiblement et négativement corrélée à l'humidité relative et à la température. Son activité est, cependant, corrélée positivement et très significativement avec la luminosité.

L'analyse, toujours par le coefficient de corrélation linéaire (r) (tab.34) de l'influence de ces trois variables climatiques sur l'activité quotidienne des autres espèces d'apoïdes, montre que l'Apidae *Ceratina cucurbitina* est négativement mais faiblement corrélée à la température, elle est aussi très faiblement liée à l'humidité relative de l'air. La luminosité, par contre, affecte positivement et très significativement son activité ($r = 0,80$; $p < 0,02$). La température et la luminosité agissent positivement sur *Megachile pilidens*, mais la liaison avec ces deux facteurs climatiques n'est pas significative. L'humidité relative de l'air agit négativement mais pas significativement sur l'activité de l'abeille. La température est corrélée négativement avec les trois autres Halictidae à savoir *L. pauxillum*, *L. malachurum* et *L. lativentre*. Pour cette dernière espèce, la corrélation est significative ($r = -0,76$; $p < 0,05$). Les trois espèces sont corrélées positivement à l'humidité relative de l'air mais pas significativement. La luminosité favorise significativement l'activité de *L. malachurum* ($r = 0,77$; $p < 0,05$) et un peu moins significativement celle de *L. pauxillum* ($r = 0,70$; $p < 0,1$) ; alors qu'elle affecte peu l'activité de *L. lativentre*.

Il faut, cependant, noter qu'un coefficient de corrélation peut ne pas indiquer l'influence réelle qu'exerce une variable sur une autre. Il est évident d'après le tableau qu'il existe une colinéarité entre les facteurs climatiques, c'est-à-dire que les différents facteurs climatiques interagissent. Par exemple, la température est corrélée négativement à l'humidité relative de l'air. Par conséquent, les corrélations observées peuvent être le résultat de plusieurs facteurs qui agissent les uns sur les autres. Certains peuvent agir directement, d'autres peuvent influencer l'activité des abeilles indirectement à travers d'autres facteurs.

Nous avons donc procédé à une analyse par la régression linéaire afin d'expliquer l'influence de ces variables sur l'activité des abeilles. Comme nous disposons de trois variables climatiques, nous les avons intégrées ensemble dans une seule analyse, c'est-à-dire par la réalisation d'une régression linéaire multiple, plutôt que d'avoir recours à une série de régression simple. La régression linéaire multiple permet de mesurer l'effet ou l'influence combinée de ces trois variables climatiques (indépendantes ou explicatives) sur la variable dépendante ou expliquée (nombre d'abeilles), et de tester globalement cet effet à l'aide de la statistique de Fisher.

Par ailleurs, et pour éviter le problème de colinéarité des variables, nous avons utilisé dans la régression la méthode dite par étapes ou " pas à pas " (Stepwise regression) qui permet d'affiner l'analyse de la régression, soit en recherchant les variables qui influencent significativement la variable dépendante (méthode ascendante ou forward) ou en recherchant

les variables significatives, une fois qu'on a écarté du modèle celles qui ne l'étaient pas (méthode descendante ou backward).

Concernant l'abeille domestique, les résultats de l'analyse de la régression multiple (tab.35) montrent, après exclusion de l'humidité relative, que la température est la variable qui influence le plus l'activité de l'abeille. Cette influence n'est, cependant, pas significative car la probabilité attachée au test t est supérieure à 0,1. Par ailleurs, la température et la luminosité n'expliquent par le coefficient de détermination (R^2) que 52% de la variation de l'activité de l'abeille pour une valeur du test de Fisher (F) égale à 2,75 (ddl : 2 -5) et à laquelle est associée une probabilité (p) <0,16. Le pourcentage qui reste (48%) correspond à tout ce qui n'est pas expliqué par ces deux variables et qui n'a pas été entré dans le modèle, tels que d'autres variables non mesurées (autres variables climatiques ou disponibilité des ressources florales).

Tableau 35. Régression linéaire multiple entre les facteurs climatiques et le nombre d'abeilles
 β = Coefficient de régression standardisé ; t = test de Student ; ddl = degré de liberté ; p = seuil de probabilité ; NS = non significatif.

Espèces	Facteurs climatiques	β	t	ddl	P	
<i>A.mellifera</i>	Température	0,53	1,71	5	0,15	NS
	Luminosité	0,45	1,44		0,21	NS
<i>E.numida</i>	Température	0,78	7,82	5	0,0005	S
	Luminosité	-0,67	-6,80		0,001	S
<i>C.cucurbitina</i>	Température	-0,51	-1,87	4	0,13	NS
	Humidité relative	-0,74	-2,97		0,04	S
	Luminosité	0,80	3,99		0,02	S
<i>M.leachella</i>	Humidité relative	0,35	4,11	3	0,03	S
	Luminosité	1,07	12,4		0,001	S
<i>M.pilidens</i>	Température	1,84	1,31	2	0,32	NS
	Humidité relative	1,56	1,06		0,40	NS
	Luminosité	0,84	1,94		0,19	NS
<i>L.mediterraneum</i>	Température	-0,81	-0,67	3	0,55	NS
	Humidité relative	-0,62	-0,51		0,64	NS
	Luminosité	0,54	0,85		0,46	NS
<i>L.malachurum</i>	Humidité relative	-0,55	-1,28	4	0,27	NS
	Luminosité	1,19	2,79		0,05	S
<i>L.lativentre</i>	Température	-1,39	-1,34	3	0,27	NS
	Humidité relative	-0,89	-0,87		0,45	NS
	Luminosité	0,27	0,50		0,65	NS
<i>L.pauxillum</i>	Température	-0,75	-1,59	3	0,21	NS
	Humidité relative	-0,49	-1,04		0,37	NS
	Luminosité	0,58	1,72		0,18	NS

Concernant *E. numida*, les résultats montrent que la température est la variable la plus influente sur l'abeille avec un coefficient de régression (β) très significatif ($p = 0,0005$). Ce dernier signifie que la température exerce un effet direct ou réel sur l'abeille sachant que les effets des autres variables climatiques ont été contrôlés ou sont maintenus constants. Le coefficient de corrélation (tab.34) montre que l'abeille est liée négativement et significativement à l'humidité relative de l'air. L'analyse de la régression multiple montre, au contraire, que cette liaison est positive ($\beta = 0,60$) mais non significative ($p = 0,45$) (tab.35). Ceci est simplement dû au fait que la température et l'humidité relative de l'air soient inversement proportionnelles. L'influence négative de la luminosité sur l'abeille devient très significative ($p < 0,001$).

La suppression de l'humidité relative améliore très significativement le modèle ($F = 49,66$; ddl = 2-5 ; $p < 0,0005$) et le coefficient de détermination explique 95% de la variation du nombre d'abeilles.

La température semble aussi, selon les données du tableau 35, ne pas affecter l'activité du troisième Apidae à savoir *C. cucurbitina*. Par contre, sa liaison négative avec l'humidité relative de l'air devient significative ($p = 0,04$). La luminosité apparaît comme la variable qui exerce la plus grande influence sur l'abeille avec un β très significatif ($p = 0,02$). Le modèle global reste très significatif, c'est-à-dire que l'ensemble des trois variables influence significativement l'activité de l'abeille ($F = 10,69$; ddl = 3-4 ; $p < 0,02$; $R^2 = 89\%$).

Concernant le Megachilidae, *M. leachella*, les coefficients de corrélation (tab.34) ont montré l'existence d'une très faible liaison négative de l'abeille avec la température et l'humidité relative de l'air. Cela suppose que cette liaison n'est simplement pas linéaire. Les résultats de la régression multiple (tab.35) montrent que la température affecte positivement mais pas significativement l'activité de l'abeille ($p = 0,71$). Cette dernière est éliminée puisqu'elle n'améliore pas le modèle. L'humidité relative, quant à elle, devient aussi liée positivement mais significativement à l'abeille ($t = 4,11$; $p = 0,03$). Cependant, l'activité de l'abeille semble essentiellement dépendre de la luminosité ($\beta = 1,07$; $p = 0,001$). Les variations de ces deux variables prédisent par le coefficient de détermination 98% de la variation d'abondance de l'abeille avec une Fisher égale à 77,11 (ddl : 2-3) et à laquelle est attachée une très faible probabilité ($p < 0,003$).

Les trois variables climatiques favorisent l'activité de *M. pilidens*, mais pas significativement. ($F = 2,05$; ddl = 3-2 ; $p = 0,31$). Ces trois facteurs expliquent seulement 39% de la variation de l'activité chez cette espèce.

Concernant les halictides, les données du tableau 34 montrent que les quatre espèces sont corrélées positivement mais non significativement à l'humidité relative de l'air, elles sont corrélées négativement à la température mais seule la liaison de *L. lativentre* est significative. Les quatre espèces sont corrélées positivement avec la luminosité et seule la liaison de *L. malachurum* est significative. L'analyse de la régression multiple (tab.35) indique, en effet, que les quatre Halictidae sont négativement liés à la température mais le sont tous de façon non significative. Ils sont, par contre, liés négativement et non significativement à l'humidité relative. La luminosité n'agit pas significativement sur leur activité. Seul *L. malachurum* semble influencer par ce facteur. L'ensemble des trois variables climatiques explique par le coefficient de détermination respectivement 9%, 34% et 44% de la variation de *L. mediterraneum*, *L. lativentre* et *L. pauxillum* pour des valeurs de Fisher respectives de 1,19 (ddl : 3-3 ; $p < 0,44$) ; 2,02 (ddl : 3-3 ; $p < 0,29$) et 2,60 (ddl : 3-3 ; $p < 0,23$).

Le retrait de la température améliore significativement le modèle de *L. malachurum* ($F = 4,87$; ddl : 2-4 ; $p < 0,08$). La luminosité est la variable qui influence le plus l'activité de l'abeille ($\beta = 1,19$; $p = 0,05$). Les deux variables climatiques (humidité relative et luminosité) expliquent, cependant, 56% seulement de la variation de l'activité de l'abeille.

Discussion

Il est évident que les facteurs climatiques exercent une influence importante sur l'activité quotidienne des abeilles. Les différentes espèces d'abeilles ne réagissent pas cependant de la même manière à ces facteurs. La température de l'air est généralement une des variables climatiques les plus influentes sur l'activité des abeilles. Nos observations montrent que seule l'Apidae *Eucera numida* semble affectée positivement par ce facteur. Vicens & Bosch (2000) constatent aussi que l'activité de l'abeille domestique dépend significativement de la température de l'air. Heard & Hendrikz (1993) constatent également chez l'Apidae *Trigona carbonaria* Smith 1854 que la température de l'air est l'un des facteurs qui affecte le plus l'activité de vol de l'abeille.

Par contre, chez certaines espèces tels que *Apis dorsata* Fabricius 1793, *Megachile nana* Bingham 1802 et *M. flavipes* Spinola 1838 (Abrol 1988, 1991), *Megachile rotundata* Fabricius 1787 (Lerer et al. 1982), la température exerce un effet direct négligeable et n'influence donc l'activité de ces abeilles qu'indirectement à travers d'autres facteurs climatiques. La température de l'air détermine surtout le seuil minimum du début de l'activité de vol des abeilles (Lerer et al. 1982 ; Abrol & Kapil 1986 ; Abrol 1988 ; Louadi & Doumandji 1998 a

et b). Par ailleurs, il faut noter que la température de la surface du sol influence aussi l'activité des abeilles solitaires (Abrol 1991 ; Pouvreau 2004).

L'humidité relative de l'air agit significativement sur l'activité de *Ceratina cucurbitina* et de *Megachile leachella*, alors qu'elle est sans effet sur les autres espèces. Heard & Hendrikz (1993) constatent aussi que l'humidité relative n'exerce pas un effet significatif sur l'activité de vol de *Trigona carbonaria*. Szabo (1980) constate aussi que ce facteur est sans effet sur l'abeille domestique.

L'intensité lumineuse apparaît comme le facteur climatique qui contrôle le plus l'activité des abeilles. Elle agit toujours positivement sur leur activité et son effet peut être, selon les espèces, plus ou moins significatif. Seule *E. numida* est liée négativement à ce facteur. Les observations montrent, en effet, que tant que la température de l'air reste suffisamment élevée, l'abeille peut intensifier son activité même si la luminosité diminue fortement. Par temps couvert, l'abeille domestique peut aussi poursuivre son butinage. Selon Pouvreau (2004), l'activité de l'abeille reste normale tant que l'intensité lumineuse dépasse 500 Lx.

Nos observations ont montré que, par temps pluvieux (une pluie fine), l'abeille domestique et l'eucère poursuivent leur activité sur les fleurs.

Les autres abeilles paraissent plus actives par temps ensoleillé et ont tendance à réduire leur activité par temps couvert. Plateaux-Quénu (1972) et Pouvreau (2004) constatent que les Halictidae, qui sont des abeilles primitives, sont surtout influencées par la lumière. Ces abeilles recherchent généralement le soleil et leur activité est ralentie par les nuages. Les espèces qui ont une activité estivale, comme *Ceratina cucurbitina* et *Megachile leachella* semblent aussi plus affectées par la luminosité.

Plusieurs auteurs constatent, en effet, que l'intensité lumineuse ou les radiations solaires (ces deux facteurs étant des mesures du même paramètre de base, le premier est responsable du réchauffement de la biosphère et le second de l'illumination) sont les variables qui affectent le plus l'activité de vol des abeilles (Lerer *et al.* 1982 ; Abrol 1988,1991 ; Heard & Hendrikz 1993 ; Vicens & Bosch 2000). A l'inverse de la température, la luminosité détermine l'arrêt de l'activité des abeilles, mais cet arrêt peut être aussi dû à une diminution des ressources florales (Lerer *et al.* 1982 ; Abrol & Kapil 1986 ; Abrol 1988). Par ailleurs, il est important de souligner que les effets des facteurs climatiques sont masqués par ces ressources florales qui conditionnent aussi les rythmes de l'activité journalière des abeilles particulièrement ceux des espèces endothermiques (Corbet *et al.* 1979 ; Willmer 1983 ; Stone *et al.* 1998).

Enfin, il faut noter que l'activité des abeilles peut aussi dépendre d'autres facteurs climatiques tels que la vitesse du vent (Louadi 1999 a ; Vicens & Bosch 2000), la pluviosité et la pression atmosphérique (Louadi 1999 a).

DISCUSSION GENERALE

1. Composition de la faune apidienne, comportement de butinage et efficacité pollinisatrice des abeilles sur les plantes étudiées

Les observations menées sur 9 plantes maraîchères durant 4 années successives (2000-2004) dans la région de Constantine ont permis d'établir un inventaire des principaux insectes pollinisateurs de ces plantes.

Sur *Vicia faba* L., les pollinisateurs les plus communs rencontrés durant les floraisons de 2000, 2001 et 2002 sont *Eucera numida* et *Apis mellifera*. *Eucera numida* est le pollinisateur le plus abondant sur la plante. Dans la même région, des résultats similaires sont obtenus par Aguib (2006), alors qu'à Khenchela (est algérien) et dans la localité de Tamza (1084 m d'altitude), les seuls visiteurs de la plante sont *Bombus terrestris* L. et *Bombus vestalis* Fourcoy 1785 (Maghni 2006).

Au sud de l'Espagne, c'est aussi *Eucera numida* Lepeletier 1841 qui est le principal pollinisateur de la plante (Cartujo *et al.* 1998 ; Pierre *et al.* 1999).

Dans d'autres pays, tels que l'Égypte (El Berry *et al.* 1974), la France (Tasei 1976 ; Pierre *et al.* 1997, 1999), la Finlande (Varis 1996), la Pologne (Koltowski 1996) et le Danemark (Svendsen & Brødsgaard 1997), la pollinisation de la plante est principalement assurée par les abeilles domestiques et les bourdons. Dans d'autres régions, comme en Angleterre et au Moyen-Orient, des espèces d'abeilles sauvages (*Andrena* spp., *Anthophora* spp. (Andrenidae), *Eucera* spp., *Tetralonia* spp., *Xylocopa* spp. (Apidae) peuvent être d'importants pollinisateurs en étant localement plus nombreuses que l'abeille domestique (El Berry *et al.* 1974 ; Knott *et al.* 1994). A Cambridge (Angleterre), le principal pollinisateur est *Anthophora plumipes* Pallas 1772 (Bond & Kirby 1999).

Sur la deuxième légumineuse, *Pisum sativum* L., c'est également *Eucera numida* qui est le pollinisateur le plus fréquent (92% des visites observées).

Cette eucère semble bien adaptée à la morphologie de la fleur des légumineuses. Sur la fève, son aptitude à déclencher la fleur est plus grande que celle de l'abeille domestique (Benachour *et al.* 2007). En Tunisie (Sonnet & Jacob-Remacle 1987) et en Italie (Satta *et al.*

2000) ont aussi constaté qu'*Eucera numida* est bien adaptée à la fleur de la légumineuse fourragère *Hedysarum coronarium* L. en comparaison avec l'abeille domestique.

Sur les deux Cucurbitaceae, *Cucurbita pepo* L. et *Cucumis sativus* L., l'abeille domestique est le pollinisateur le plus abondant avec respectivement 97% et 30% des visites observées. Sur le concombre, l'Apidae sauvage, *Ceratina cucurbitina* et les mégachiles (*Megachile leachella* et *Megachile pilidens*) sont aussi, avec l'abeille domestique, les visiteurs les plus fréquents observés sur les fleurs avec respectivement 28% et 25% du total des visites enregistrées sur la plante.

De nombreux travaux ont montré l'importance de l'abeille domestique dans la pollinisation des Cucurbitaceae tels que le concombre (Seyman *et al.* 1969 ; Connor & Martin 1969 a et b ; Collison & Martin 1979 ; Woyke & Broni 1983 ; Free 1993 ; Nogueira-Couto & Calmona 1993 ; Philippe 1991 ; Gingras *et al.* 1997) et le melon (*Cucumis melo* L.) (Vaissière *et al.* 1992)

En Caroline du nord (USA), les bourdons se sont aussi révélés des pollinisateurs efficaces sur le concombre (Stanghellini *et al.* 1997). Les fleurs visitées par les bourdons (*Bombus impatiens* Cresson 1863) ont un taux d'avortement plus bas en comparaison avec celui de l'abeille domestique pour un nombre égal de visites. Aux Philippines, ce sont *Xylocopa chlorina* Cockerell, *X. philippinensis* Smith, *Megachile atrata* Smith et *Apis dorsata* Fabricius 1793 qui sont les visiteurs les plus fréquents de la plante (Cervancia & Bergonia 1991). En Turquie, *Bombus terrestris* L. est un pollinisateur efficace sur le melon (Daşcan *et al.* 1997).

L'abeille domestique est également le visiteur le plus fréquent observé sur *Brassica rapa* L. avec 86% des visites observées. Les Halictidae avec en tête *Lasioglossum mediterraneum* ne constituent que 10% des visites observées et les Andrenidae, représentés par plus d'une dizaine d'espèces, ne constituent que 4% du total des visites observées.

Les faibles proportions de visites observées chez ces espèces peuvent s'expliquer par les conditions climatiques peu favorables ($T^{\circ} = 18,2^{\circ} \pm 1,3$ °C et Lum = 42100 \pm 2784 Lx) qui ont caractérisé les journées de floraison de la plante. Ces espèces d'abeilles entrent généralement en activité avec l'apparition du printemps mais tant que la température et la luminosité ne sont pas suffisamment élevées, leur activité reste limitée (Plateaux-Quénu 1972).

Sur la deuxième Brassicaceae, *Raphanus sativus*, c'est *Ceratina cucurbitina* qui est le visiteur le plus abondant avec plus de la moitié (55%) des visites observées. Elle est suivie par *L. mediterraneum* qui constitue 20% des visites observées. Les Halictidae appartenant au genre *Lasioglossum* avec en tête *Lasioglossum mediterraneum* sont les principaux visiteurs de

Beta vulgaris. Les espèces rencontrées sur la plante sont de petite taille (5 à 11 millimètres) ce qui leur permet probablement de butiner les fleurs minuscules de cette Chenopodiaceae.

Les observations réalisées sur *Lycopersicon esculentum* Mill. et *Solanum tuberosum* L. ont montré l'absence totale d'abeilles sur les fleurs de ces deux Solanaceae. Dans la région de la Mitidja (Alger), Bendifallah-Tazerouti (2002) note l'absence totale d'abeilles sur les fleurs de la tomate. Maghni (2006) note aussi l'absence de visites d'abeilles sur les fleurs de la pomme de terre dans la région de Khenchela. Les deux plantes produisent peu de pollen, ne sécrètent pas de nectar et sont généralement peu attractives pour les abeilles (Free 1993).

La plupart des études faites sur les exigences en pollinisation de la tomate ont été réalisées sous abris dans les pays tempérés. Bien que la plante soit autofertile, la présence d'insectes pollinisateurs est indispensable pour la production de semences hybrides. Les fleurs doivent être secouées afin de libérer le pollen. La pollinisation peut s'effectuer par vibration manuelle ou électrique mais aussi grâce aux abeilles et ce sont les bourdons qui se sont révélés les pollinisateurs les plus efficaces. Leur efficacité peut être supérieure à la pollinisation par vibration ou encore à certains traitements utilisés pour améliorer le rendement de la plante telles que des substances de croissance (Banda & Paxton 1991 cités par Free 1993 ; de Ruijter 1999 ; Daşcan *et al.* 2004). En Europe, et depuis plusieurs années, l'élevage en masse en conditions contrôlées est entrepris avec *Bombus terrestris* L. pour assurer la pollinisation sous serre de la tomate mais aussi d'autres cultures tels que le concombre. Les bourdons s'adaptent mieux aux conditions microclimatiques de la serre et sont très actifs lorsqu'à l'extérieur la situation climatique ne permet pas aux abeilles domestiques de voler (Pouvreau 2004).

Cependant, certaines abeilles sauvages tels que l'Halictidae *Augochloropsis ignita* Smith 1861 au Mexique (Richardson & Alvarez 1957 cités par Free 1993), *Halictus* spp. et l'abeille domestique, *Apis florea* Fabricius 1793 en Inde (Choudhury *et al.* 1973 cités par Free 1993) sont d'importants pollinisateurs des cultures de tomate en plein champ. Des espèces appartenant aux genres *Bombus*, *Halictus*, *Andrena*, *Xylocopa*, *Anthophora* et l'abeille domestique, *Apis mellifera*, sont aussi rencontrées sur les fleurs de cette plante en Italie (Bin & Soressi 1973 cités par Free 1993).

La pollinisation croisée de la pomme de terre se fait essentiellement par le vent (Free 1993). Certaines abeilles tels que l'abeille domestique et les bourdons sont souvent observés sur les fleurs (Stevenson & Clark 1973 cités par Free 1993). Dans le Wisconsin (Etats-Unis), Sanford & Hannemann (1981) cités par Free (1993) ont observé la présence sur les fleurs de la pomme de terre en plein champ le bourdon *Bombus impatiens* mais pas celle de l'abeille domestique.

De nombreux travaux ont montré que l'activité de butinage des apoïdes sur les plantes est synchronisée avec la production de pollen et/ou la sécrétion de nectar par les fleurs (Martinez Del Rio & Eguiarte 1987 ; de Grandi-Hoffman *et al.* 1991 ; Bosch 1992 ; Bosch *et al.* 1997 ; Stone *et al.* 1998 ; Pouvreau 2004). Les caractéristiques du nectar telles que la concentration et la composition en sucres ou encore la viscosité peuvent aussi déterminer les relations entre la plante et son pollinisateur (Kingslover & Daniel 1983 cités par Perret *et al.* 2001 ; Tasei 1990 ; Free 1993 ; Kumar & Kumar Gupta 1993 ; Proctor *et al.* 1996 cités par Perret *et al.* 2001 ; Rust *et al.* 2003 ; Pouvreau 2004).

Eucera numida a récolté principalement le nectar sur *Vicia faba*. Selon Pouvreau (2004), le nectar des fleurs à corolle profonde est plus riche en saccharose qu'en fructose et glucose et il est recherché par les abeilles à langue longue. A l'inverse, l'abeille domestique bien que sa langue soit longue a récolté principalement le pollen et n'a prélevé le nectar que sur les corolles dont la base a été percée de trous au préalable par les bourdons.

Le nombre de fleurs visitées par minute et la position de l'insecte sur la fleur déterminent son efficacité pollinisatrice. L'efficacité pollinisatrice de l'eucère sur *V. faba* est supérieure à celle de l'abeille domestique car toutes ses visites sont frontales et donc potentiellement fécondantes. Chez l'abeille domestique, les prélèvements de nectar correspondent toujours à un butinage non fécondant.

Le comportement de butinage de l'eucère sur *Pisum sativum* L. est le même que celui observé sur *Vicia faba* L.

Sur les deux Cucurbitaceae, les abeilles ont prélevé essentiellement le nectar qui est sécrété en grande quantité par les fleurs. Elles recherchent aussi un nectar plus concentré. Ainsi, les fleurs mâles qui sécrètent moins de nectar que les fleurs pistillées (Collison 1973 ; Nepi & Pacini 1993 ; Pouvreau 2004) ont reçu le plus grand nombre de visites en raison de la concentration plus élevée en sucres de leur nectar (Collison 1973 ; Tepedino 1981). Les abeilles ont par contre dépensé plus de temps sur les fleurs pistillées. Des proportions élevées de visites sur les fleurs mâles peuvent affecter l'efficacité des pollinisateurs mais elles restent importantes pour assurer le succès de la pollinisation de la plante.

Sur les Brassicaceae *Brassica rapa* L. et *Raphanus sativus* L., le nectar est le produit le plus récolté par les abeilles. Beaucoup d'espèces cultivées de Brassicaceae, notamment celles du genre *Brassica*, constituent une bonne source de nectar pour les abeilles (Free 1993).

Sur *Brassica rapa*, le butinage de l'abeille domestique peut être fécondant dans 100% des visites. Sur *Raphanus sativus*, les visites de *Ceratina cucurbitina* peuvent être également toutes pollinisantes. Cependant, et pour prélever le nectar, les halictides les plus abondants

rencontrés sur cette plante adoptent deux comportements différents. Ils effectuent soit une visite frontale, soit une visite latérale en insérant la langue entre les filets des étamines sans entrer en contact avec le stigmate. En moyenne 25% de leurs visites correspondent à un butinage négatif.

Les visites des Halictidae sur *Beta vulgaris* correspondent presque exclusivement à la collecte de pollen et sont toutes potentiellement fécondantes.

Par ailleurs, la présence des abeilles sur les différentes plantes coïncide avec leur période de vol et dépend aussi de leurs préférences florales.

Parmi les Apidae, l'abeille domestique est le seul pollinisateur observé sur les 7 plantes, mais elle a surtout concentré ses visites sur la fève, la courgette, le concombre et le navet. A côté de ces plantes, elle a visité de nombreuses plantes spontanées.

L'Apidae *Eucera numida* a seulement visité la fève et le petit pois. La floraison des deux plantes s'est déroulée durant le mois de mars et elle s'est poursuivie jusqu'en avril pour le petit pois. L'eucère semble avoir une activité de vol courte et limitée au mois de mars. Ses visites sur le petit pois se sont arrêtées au début du mois d'avril alors que la floraison de la plante s'est achevée vers la fin du mois. Louadi (1999a) signale en effet la présence de cette espèce au cours du mois de mars. Toutefois, l'auteur note également sa présence au mois de juin.

Ceratina cucurbitina est observée sur le radis et sur le concombre. La floraison estivale de ces deux plantes coïncide avec l'activité de vol des femelles de cette espèce

Les Megachilidae *Megachile leachella* et *M. pilidens* qui sont des espèces estivales ont été observées seulement sur le concombre. Les Halictidae avec en tête *L. mediterraneum* ont visité essentiellement la betterave. Leurs visites sont moins abondantes sur le navet, le radis et le concombre. Ces abeilles ont une langue courte et recherchent donc des fleurs à nectar facilement accessible comme celui des Brassicaceae ou encore celui des Asteraceae (Jacob-Remacle 1989 ; Bendifallah-Tazerouti 2000 ; Louadi *et al.* 2007a).

Les Andrenidae représentés essentiellement par les espèces du genre *Andrena* ne sont observés que sur les deux Brassicaceae dont la floraison coïncide avec l'entrée en activité de plusieurs d'entre elles (Plateaux-Quénu 1972 ; Louadi 1999a). Comme les Halictidae, ces abeilles primitives à langue également courte recherchent les fleurs à corolle peu profonde pour récolter le nectar. Bendifallah-Tazerouti (2000) constate que la famille des Brassicaceae est la plus appréciée par les Andrenidae. En effet, et parallèlement à ces deux cultures, quelques Andrenidae ont visité les plantes spontanées *Sinapis arvensis* L. (Brassicaceae) et

Scolymus hispanicus L.(Asteraceae). Cette dernière famille botanique est très appréciée par les Andrenidae (Jacob-Remacle 1989b ; Maatallah 2003 ; Louadi *et al.* 2007a).

2. Influence des facteurs climatiques sur l'activité des apoïdes

L'activité des abeilles sur les plantes ne dépend pas seulement des ressources florales (pollen et nectar) offertes par la plante à son pollinisateur, mais elle est aussi conditionnée par les facteurs climatiques.

A l'instar de la température ambiante et de l'humidité relative de l'air, la luminosité est apparue comme étant le facteur qui affecte le plus l'activité des abeilles. La température et l'humidité relative de l'air ne semblent pas exercer une grande influence sur leur activité.

Les travaux de certains auteurs (Abrol 1988, 1991 ; Heard & Hendrikz 1993 ; Louadi et Doumandji 1998 a ; Vicens & Bosch 2000) ont, en effet, montré que la luminosité influence significativement l'activité de vol des abeilles et que l'humidité relative semble être sans effet sur leur activité (Heard & Hendrikz 1993).

La température semble beaucoup plus exercer un effet indirect que direct sur l'activité des abeilles et ceci à travers d'autres variables climatiques (Lerer *et al.*1982 ; Abrol 1988, 1991). Ce facteur déterminerait surtout le seuil minimum du début de l'activité des abeilles (Abrol 1988). Selon certains auteurs (Heard & Hendrikz 1993 ; Vicens & Bosch 2000), l'activité des abeilles dépend significativement de la température de l'air.

3. Effet de la pollinisation entomophile sur le rendement des plantes

La présence d'insectes pollinisateurs contribue grandement à l'amélioration du rendement des plantes. Les rendements grainiers sont significativement plus élevés en présence qu'en absence de pollinisateurs chez la fève, le petit pois, le navet. Sur le radis, le rendement en graines est presque identique sur les plants libres et encagés mais la différence est significative. Le rendement de la courgette et du concombre est pratiquement nul en absence d'insectes.

Ces résultats montrent l'importance de la pollinisation par les insectes, notamment les abeilles, pour l'obtention de rendements élevés.

La durée de floraison de la fève, du petit pois, du navet et du radis est courte mais la maturation des gousses et des siliques est plus rapide dans les quadrats libres que dans les quadrats encagés (sans abeilles). Nos observations corroborent celles de Wafa & Ibrahim (1960), Free (1966) et Hebblethwaite *et al* (1984) faites sur *V. faba*. Ces auteurs ont constaté

que les plants des parcelles encagées sans abeilles achèvent leur floraison plus tardivement que ceux des parcelles encagées avec abeilles, et ont un nombre plus élevé de gousses immatures. L'effet bénéfique de la pollinisation croisée est également observé sur les graines. Scriven *et al* (1961) ont montré que les plants de *V. faba* issus de graines obtenues par fécondation croisée sont plus résistants à la gelée et survivent mieux l'hiver que ceux provenant de graines autofécondées.

Il faut cependant souligner que l'effet de l'encagement peut se traduire par une réduction de la luminosité (effet ombrageux) et de la vitesse du vent (réduction d'une pollinisation anémophile). Ceci peut être préjudiciable à la croissance des plantes. Cependant, les effets bénéfiques de la pollinisation par les abeilles sont probablement plus importants (Free 1993). Sur certaines plantes, l'encagement peut être sans effet. Varis & Brax (1990) constatent sur des plants encagés de *Vicia faba* que l'effet ombrageux des cages n'affecte pas le rendement grainier de la plante. Jefferies-*et al.* (1982) ont aussi remarqué que l'encagement a peu d'effet sur le rendement de la groseille à maquereau (*Ribes uva-crispa* L.)

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les observations menées dans la région de Constantine sur 9 plantes maraîchères à savoir la fève, le petit pois, la courgette, le concombre, le navet, le radis, la betterave, la tomate et la pomme de terre, ont montré que l'abeille domestique est le principal pollinisateur de la courgette et du navet. Elle est aussi le principal visiteur avec *Ceratina cucurbitina*, *Megachile leachella* et *M. pilidens* du concombre. L'Apidae sauvage *Ceratina cucurbitina* semble être le principal pollinisateur du radis. Les deux légumineuses, la fève et le petit pois, sont essentiellement pollinisées par un autre Apidae : *Eucera numida*. L'Halictidae *Lasioglossum mediterraneum* est le visiteur le plus fréquent de la betterave. Enfin, aucune visite d'abeilles n'est enregistrée sur la tomate et la pomme de terre.

L'étude de l'effet de la pollinisation entomophile sur la production des plantes a montré que la présence d'insectes pollinisateurs améliore significativement le rendement des plantes. Seul le rendement du radis est légèrement amélioré en présence de pollinisateurs.

L'étude de l'influence des variables climatiques sur l'activité des abeilles a montré que la température et surtout la luminosité sont les facteurs qui contrôlent le plus cette activité.

Concernant la distribution par famille des abeilles sur l'ensemble des 7 plantes, les Apidae, avec en moyenne 72% des visites observées, sont les apoïdes les plus abondants. L'abeille domestique est la seule espèce commune à toutes ces plantes. Elle est, en effet, considérée comme le pollinisateur le plus important de nombreuses plantes cultivées (Mc Gregor 1976 ; Payette & de Oliveira 1989 ; Robinson *et al.* 1989 ; Free 1993). Son aménagement ou sa domestication est réalisé depuis très longtemps surtout pour la production de miel et de cire que pour n'importe quelles aptitudes supérieures de pollinisation (Batra 1995). Son utilisation en tant que pollinisatrice de cultures a commencé lorsque les populations des autres abeilles (abeilles à pollen) et les rendements des cultures ont décliné à cause de l'hostilité des nouveaux impacts agronomiques et environnementaux (Kevan *et al.* 1990 ; Batra 1995 ; Müller *et al.* 2006 ; Pouvreau 2006).

Malheureusement, sur certaines cultures et dans certaines conditions, l'abeille domestique n'est pas efficace (Batra 1995). Un exemple illustrant clairement l'inefficacité pollinisatrice de l'abeille domestique est celui de la légumineuse fourragère, *Medicago sativa* L. De

nombreux auteurs dont Piper *et al.*(1914), Akerberg & Lesins (1949) ; Stephen (1955) et Semmens *et al.*(1993) ont constaté que l'abeille prélève du nectar sans déclencher la fleur ou ne participe que dans une très faible mesure à la pollinisation (taux de déclenchement des butineuses de nectar de 1% seulement) (Tasei 1978). Ce sont spécialement des mégachiles notamment *Megachile rotundata* qui, en déclenchant les fleurs, réalisent une pollinisation adéquate (Piper *et al.* 1914 ; Stapel 1943 ; Linsley 1946 ; Akerberg & Lesins 1949). Il en est de même sur certaines Rosaceae fruitières où les premiers observateurs ont rapporté, avant l'introduction d'insecticides, une pollinisation adéquate de ces plantes par les seules abeilles indigènes. Ce sont en effet, les espèces d'osmies dont *Osmia cornifrons* qui assurent efficacement la pollinisation de ces plantes. Actuellement cette abeille est élevée pour polliniser le tiers des pommiers japonais (Sekita & Yamada 1993). L'efficacité pollinisatrice de ces espèces est due à leur comportement de butinage (fidélité à la plante hôte, butinage rapide, zone de butinage peu étendue, collecte et distribution de pollen efficaces). Les bourdons, meilleurs pollinisateurs que l'abeille domestique, sont utilisés pour polliniser les cultures en plein champ de la myrtille et de la canneberge (Kevan *et al.* 1983, Parker *et al.* 1987). Ces derniers sont actuellement largement utilisés dans les serres pour polliniser d'autres cultures telles que la tomate. Pour de meilleurs rendements, cette culture exige une pollinisation par vibration laquelle ne peut être accomplie par l'abeille domestique.

Le comportement de butinage de l'Apidae sauvage *Eucera numida* sur *Vicia faba* illustre aussi la supériorité pollinisatrice de cette espèce sur l'abeille domestique (Benachour *et al.*2007). Par ailleurs, l'abeille domestique supporte moins bien les conditions météorologiques défavorables (températures et luminosité basses) en comparaison avec certaines espèces de bourdons (Pouvreau 2004) et d'osmies (Vicens & Bosch 2000). Elle s'adapte aussi moins bien aux conditions de la serre que les bourdons et a tendance à se détourner de la culture qu'elle butine au profit d'une source de nourriture plus rémunératrice (Pouvreau 2004).

Il apparaît donc clairement que les abeilles sauvages sont d'importants auxiliaires jouant un rôle complémentaire à celui de l'abeille domestique. Malheureusement, les populations de ces espèces subissent d'année en année des fluctuations plus ou moins importantes. Les observations effectuées en certaines régions indiquent que si certaines espèces se maintiennent à un niveau stable, d'autres subissent des raréfactions, des régressions et voir même des disparitions (Pouvreau 2004). La diminution des populations d'abeilles (domestiques et sauvages) entraînerait un appauvrissement de la biodiversité végétale mais aussi animale. De cette biodiversité dépend notre agriculture et donc notre

sécurité alimentaire. « Si les abeilles devaient disparaître, les jours de l'humanité sont comptés » dirait Albert Einstein.

Une multitude de facteurs agissent sur le nombre de ses populations et parmi lesquels nous citons les facteurs biotiques (prédation, et parasitisme), les facteurs abiotiques (climat) et les facteurs pathologiques (maladies). N'oublions pas l'action de l'homme sur l'environnement à savoir l'utilisation de pesticides (insecticides et herbicides) qui représentent un danger réel pour les insectes pollinisateurs et dont l'existence dépend des ressources florales. L'intoxication par ces produits peut entraîner la mort des adultes ou des larves par contamination. Les effets nocifs des insecticides sont plus ressentis par les abeilles solitaires. D'autres facteurs tout aussi importants contribuent au déclin des pollinisateurs sauvages comme l'intensification de l'agriculture (récupération des terrains en friche, des haies, des jachères), la monoculture céréalière sur de grandes surfaces, la transformation de prairies et de zones humides (riches en fleurs) en monocultures céréalières, le défrichement de parcelles marginales, le fauchage des talus, des bords de routes et des terrains publics. Tout ceci contribue à diminuer les ressources florales nécessaires aux insectes pollinisateurs et à détruire leurs sites de nidification. L'intensification de l'urbanisation, la création de zones industrielles et le feu de forêts sont aussi les causes de la disparition de nombreux biotopes qui offrent habitat et nourriture aux insectes pollinisateurs.

La régression de ces populations d'insectes pollinisateurs (abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires) peut avoir des effets plus ou moins graves pour la survie d'espèces végétales indigènes qui exigent la pollinisation entomophile entraînant des conséquences économiques fâcheuses. Des mesures de protection, bien que contraignantes pour l'agriculteur car elles vont à contre courant des pratiques modernes, doivent être prises.

Parmi ces mesures, nous citons la restriction de l'utilisation de produits herbicides, une réglementation sévère de l'utilisation des insecticides, l'opposition à certaines pratiques visant au remembrement des parcelles, plantation d'arbres, d'arbustes et de plantes que les abeilles butinent pour fabriquer le miel (plantes mellifères), création de haies buissonnantes dans les parcs et les jardins, préservation de la flore des prairies en réduisant les travaux de fauchage. Il faut aussi limiter ou empêcher la destruction systématique des «mauvaises herbes», entretenir les jachères avec un couvert végétal adapté à l'habitat et à l'approvisionnement en nourriture des insectes pollinisateurs, par exemple avec trèfles, luzerne, vesces, lupin, etc. (Fabaceae), ou avec moutardes, navette (Brassicaceae). Ces plantes, lorsque les conditions climatiques sont favorables, produisent de véritables miellées (Pouvreau 2004).

Il est aussi recommandé de conserver des parcelles non cultivées à l'intérieur ou à proximité des terres cultivées, ces bandes non cultivées n'offrent pas seulement un habitat aux insectes auxiliaires (pollinisateurs ou prédateurs d'insectes nuisibles) mais peuvent entraîner l'augmentation du nombre de ces insectes sur les cultures d'où l'augmentation des rendements (Francis *et al.* 2003 ; Morandin & Winston 2006).

Une autre mesure de protection des pollinisateurs sauvages, mais aussi un moyen d'augmenter leurs populations, est de sélectionner et d'élever les espèces les mieux adaptées à polliniser le plus efficacement les fleurs des plantes cultivées (Torchio 1990 ; Corbet *et al.* 1991 ; Batra 1995).

L'élevage d'espèces d'abeilles sauvages endémiques à l'Algérie dont *Megachile spp.* (Megachilidae) et *Nomia spp.* (Halictidae) (pollinisatrices de la luzerne), des osmies pollinisatrices de certains arbres fruitiers, des bourdons pollinisateurs de cultures sous serre et en plein champ pourrait être réalisé comme c'est le cas depuis plusieurs années en Europe et en Amérique du Nord pour répondre au besoin de pollinisation des plantes qui ne sont pas pollinisées par l'abeille domestique

En conclusion, les observations que nous avons réalisées dans la région de Constantine sur quelques plantes maraîchères montrent l'importance des abeilles sauvages dans la pollinisation de ces cultures. Il apparaît dès lors nécessaire de préserver les pollinisateurs sauvages locaux pour subvenir au besoin de pollinisation des plantes cultivées. Pour ce faire des mesures de protection de cette faune, comme celles citées plus haut, doivent être prises.

Il faut également entreprendre un programme de sensibilisation des agriculteurs quant au rôle joué par les abeilles domestiques et sauvages dans la pollinisation des cultures pour l'amélioration des rendements. Beaucoup de cultivateurs, comme bon nombre de personnes, connaissent l'existence de l'abeille domestique et la production de miel et de cire mais pas le rôle joué par ces abeilles dans la pollinisation.

Des contrats de pollinisation, qui sont réalisés à présent dans de nombreux pays surtout aux Etats-Unis, pourraient être organisés entre cultivateurs et apiculteurs. L'installation dans les champs et les vergers en floraison d'un nombre suffisant de colonies d'abeilles pour assurer une pollinisation adéquate des cultures permet non seulement l'augmentation des rendements de ces cultures mais aussi l'augmentation des rendements en miel.

Par ailleurs, il devient nécessaire d'étudier notre faune apidienne. Des études ont déjà été réalisées dans plusieurs régions de l'est et aussi du centre, et d'autres sont en cours de réalisation. Ces travaux doivent être étendus à toutes les régions du pays et porter aussi sur la

flore cultivée afin de mieux connaître la faune pollinisatrice de nos cultures. L'observation du comportement de butinage de ces espèces sauvages, ainsi que la connaissance de leur biologie et de leur comportement de nidification permettra de sélectionner les espèces les mieux adaptées à polliniser efficacement nos cultures et à entreprendre leur élevage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abel C.A., Wilson R.L., Luhman R.L. 2003. Pollinating Efficacy of *Osmia Cornifrons* and *Osmia Lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae) on Three Brassicaceae Spp. Grown under Field Cages. *Journal of the Kansas Entomological Society* **38**: 545-552.

Abrol D.P. 1988. Effect of climatic factors on pollination activity of alfalfa-pollinating subtropical bees *Megachile nana* Bingh and *Megachile flavipes* Spinola (Hymenoptera: Megachilidae). *Acta Oecologica. Oecologia Generalis* **9** (4):371-377.

Abrol D.P. 1991. Path analysis of environmental factors influencing daily flight activity of *Apis dorsata* F. *Acta Oecologica* **12** (6): 819-824.

Abrol D.P., Kapil R.P. 1986. Factors affecting pollination activity in *Megachile lanata*, p.757-769, in: *Proceedings of the Indian Academy of Sciences (Anim.Sci.)* **95**.

Adegas J.E.B., Nogueira Couto RH. 1992. Entomophilous pollination in rape (*Brassica napus* L. var oleifera) in Brazil. *Apidologie* **23**: 203-209.

Aguib S. 2006. *Etude bioécologique et systématique des Hyménoptères Apoidea dans les milieux naturels et cultivés de la région de Constantine.* Thèse de Magistère en Entomologie, Univ. Mentouri, Constantine: 161p.

Akerberg E., Lesins K. 1949. Insects pollinating alfalfa in central Sweden. *Annales de la revue d'Agriculture (Sweden)* **16**: 630-643.

Aleksyuk S.A. 1981. "Sugar beet and Honey bees" *Pchelovodstvo Moskova* **11**: 16.

Alfken J.D. 1914. Beitrag zur kenntnis der bienenfauna von Algerien. *Mémoire de la Société entomologique de Belgique* **22** (5-IV): 185-237.

Amiet F., Herrmann M., Müller A. 2001. *Fauna Helvetica* 6, *Apidae* 3, 205p.

Amrar S. 1997. "La production maraîchère en Algérie". Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles, Staoueli. Ministère de l'Agriculture, 11p.

Anonyme 1999. *La Biologie de Brassica rapa L.* Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA), 16p.

Archimowitsch A. 1949. Control of pollination in sugar beets. *Revue de Botanique* **15**: 613-628.

Arige S. 2004. *L'entomofaune des Hyménoptères Apoidea dans la région saharienne d'El Oued (Djamaâ).* Thèse de Magistère en Entomologie, Univ. Mentouri, Constantine: 102p.

Atwal A.S. 1970. *Biology, ecology and utilization of insects other than honey bees in the pollination of crops.* Final Research Report (1965-1970), Ludhiana Punjab Agric.Univ: 116p.

Avila C.J., Martinho M.R., Campos J.P. De. 1989. Pollination and pollinators in the production of fruits and hybrid seeds of squash (*Cucurbita pepo* var.melopepo). *Annales de la Société entomologique du Brésil* **18** (1): 13-19.

Banaszak J., Romasenko L. 1998. *Megachilid Bees of Europe.* Pedagogical University, Bydgoszcz, 237pp.

Banda H.J., Paxton R.J. 1990. Pollination of greenhouse tomatoes by bees [*Apis mellifera*, *Bombus* spp.], p.194-198 in: *The Sixth International Symposium on Pollination, August 27-31, Tilburg, Netherlands.*

Barbier E. 1986. *La pollinisation des cultures. Pourquoi ? Comment ?* Ed Borione, Avignon, 480 p.

Barbier E., Nadir M. 1976. Pollinisation du carthame (*Cartamus tinctorius*), ses effets sur la formation et la germination des semences. *Apidologie* **7**: 85-105.

Batra S.W.T. 1977. Bees of India (Apoidea), their Behaviour, management and the key to the genera. *Oriental insects* **11** (3) : 289-324

Batra S.W.T. 1984. Les abeilles solitaires. *Pour la Science* **78** : 58-68.

Batra S.W.T. 1995. Bees and pollination in our changing environment. *Apidologie* **26** : 361-370.

Benachour K., Louadi K., Terzo M. 2007. Rôle des abeilles sauvages et domestiques (Hymenoptera : Apoidea) dans la pollinisation de la fève (*Vicia faba* L. var. *major*) (Fabaceae) en région de Constantine (Algérie). *Annales de la Société entomologique de France (n.s.)* **43** (2) : 213-219.

Benarfa N. 2004. *Inventaire de la faune apoïdienne dans la région de Tébessa.* Thèse de Magistère en Entomologie, Univ. Mentouri, Constantine: 123p.

Bendifallah-Tazerouti L. 2002. *Biosystématique des Apoidea (abeilles domestiques et sauvages) dans quelques stations de la région orientale de la Mitidja.* Thèse de Magistère en Sciences agronomiques, INA d'Alger : 208 p.

Benedek P., Gaal E. 1972. The effect of insectpollination on seed onion, with observations on the behaviour of honey bees on the crop. *Journal of Apicultural Research* **11** (3) : 175-180

Beniston NT. WS. 1984. *Fleurs d'Algérie.* Entreprise nationale du livre (ed.), Alger, 335 p.

Benoist R. 1949. Hyménoptères récoltés par une mission suisse au Maroc (1947). Apidae, genre *Andrena*. *Bulletin de la Société des Sciences Natrelles du Maroc* **9** : 253-258.

Benoist R. 1950. Apides recueillis Par MM. L Bertrand et J. Panouze dans le sud marocain en 1947. *Bulletin de la Société des Sciences Natrelles du Maroc* **30** : 37-48.

Benoist R. 1961. Hyménoptères Apides recueillis au Hogar par A. Giordani Soika. *Bollettino del Museo Civico di Storia Naturale di Venezia* **14**: 43-53.

Bogdanova V.S., Berdnikov V.A. 2000. A study of potential ability for cross-pollination in pea originating from different parts of the world. *Pisum Genetics, Research Papers* **32**: 16-17.

Bond D.A., Kirby E.J.M. 1999. *Anthophora plumipes* (Hymenoptera: Anthophoridae) as a pollinator of broad bean (*Vicia faba major*). *Journal of Apicultural Research* **38** (3-4): 199-203.

Bosch J. 1992. Floral biology and pollinators of three co-occurring *Cistus* species (Cistaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* **109**: 39-55.

Bosch J. 1994. *Osmia cornuta* Latr. (Hym., Megachilidae) as a potential pollinator in almond orchards. Releasing methods and nest-hole length. *Journal of Applied Entomology* **117**: 151-157.

Bosch J., Kemp W.P. 1999. Exceptional cherry production in a orchard pollinated with blue orchard bees. *Bee World* **80**: 163-173.

Bosch J., Kemp W.P. 2002. Developing and establishing bee species as crop pollinators : the example of *Osmia* spp. (Hymenoptera : Megachilidae) and fruit trees. *Bulletin of the Entomological Research* **92**: 3-16.

Bosch J., Retana J., Cerdá X. 1997. Flowering phenology, floral traits and pollinitor composition in a herbaceous Mediterranean plant community. *Oecologia* **109**: 583-591.

Bosch J., Kemp W.P., Peterson S.S. 2000. Management of *Osmia lignaria* (Hymenoptera : Megachilidae) populations for Almond Pollination : Methods to Advance Bee Emergence. *Environmental Entomology*. **29** (5) : 874-883.

Carré S., Badenhauser I., Tasei J.N., Mesquida J. 1994. Pollen deposition by *Bombus terrestris* L., between male-fertile and male-sterile plants in *Vicia faba* L. *Apidologie* **25**: 338-349.

Cartujo F., Suzo M.J., Pierre J., Moreno M.T., Le Guen J. 1998. Faba bean pollinating insects in South Spain: daily variance in abundance, p. 49-50 in: *Eucarpia, International Symposium on Breeding of Protein and Oil crops*. April 1-4, Pontevedra, Spain.

Cenci I. 1991. *Clef de détermination des insectes de la partie européenne d'URSS, Tome III. Hyménoptères. Première partie. Extrait: Superfamille Apoidea (apoïdes). Megachilidae.* Mémoire de fin d'études, Univ.Mons-Hainaut E.I.I.: 100 p.

Cervancia C.R., Bergonia E.A. 1991. Insect pollination of Cucumber (*Cucumis sativus* L) in the Philippines, p.278-282, in : *6th Pollination Symposium, Acta Horticulturae*.

Chbouki S., Shipley B., Bamouh A. 2005. Path models for the abscission of reproductive structures in three contrasting cultivars of faba bean (*Vicia faba*). *Canadian Journal of Botany* **83** (3): 264-271.

Cîrnu I., Dumitrache V., Hociota E. 1975. La pollinisation du tournesol (*Helianthus annuus* L.) à l'aide des abeilles, un facteur important pour l'augmentation de la production, p.695-700, in: *Comptes Rendus de la Sixième Conférence Internationale sur le Tournesol*, Bucarest

Coleman V.R. 1979. Demonstrated commercial value of cucumber pollination by honey bees, *Apis mellifera*, p.189-190, in: *Proceedings of the 4th International Symposium on Pollination*, Maryland.

Collison C.H. 1973. Nectar secretion and how it affects the activity of honey bees in the pollination of hybrid pickling cucumbers, *Cucumis sativus* L. *MSc Thesis, Univ of the Michigan State*.

Collison C.H. 1976. The interrelationships of honey bee activity, foraging behavior, climatic conditions and flowering in the pollination of pickling cucumbers, *Cucumis sativus* L. *Ph. D. Dissertation, Univ of the Michigan State*: 268p.

Collison C.H., Martin E.C. 1979. Behavior of honey be foraging on male and female flowers of *Cucumis sativus*. *Journal of Apicultural Research* **18** (3): 184-190.

Connor L.J. 1969. Honey bee pollination requirements of hybrid cucumbers, *Cucumis sativus* L. *MSc Thesis, Univ of the Michigan State* (résumé in: *American Bee Journal* **114** (12): 457).

Connor L.J. Martin E.C. 1969a. Honey bee pollination of cucumbers. *American Bee Journal* **109**:389.

Connor L.J. Martin E.C. 1969b. Honey bee pollination of cucumbers. *Pickle Pak* **29**: 3.

Connor L.J., Martin E.C. 1970. The effect of delayed pollination on yield cucumbers grown for machine harvests. *Journal of the American Society of Horticultural Science* **95** (4): 456-458.

Corbet S.A., Unwin D.M., Prys-Jones O.E. 1979. Humidity, nectar and insect visits to flowers, with special reference to *Crataegus*, *Tilia* and *Echium*. *Ecological Entomology* **4**: 9-22.

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* **72** (2): 47-57.

Couto R.H.N., Peirera J.M.S., Couto L.A. 1990. Effects of pollination in *Cucurbita pepo* (summer squash). *Cientifica* **18** (1): 21-27.

Daly H.V. 1983. Taxonomy and ecology of Ceratinini of North Africa and the Iberian Peninsula (Hymenoptera : Apoidea). *Systematical Entomology* **8**: 29-62.

Daşcan H.Y., Özdoğan A.O., Abak K., Kaftanoğlu O. 1997. Comparison of honey bees (*Apis mellifera* L) and bumble bees (*Bombus terrestris*) as pollinators for melons (*Cucumis melo* L.) grown in greenhouses, in : *1st International ISHS Symposium on Cucurbits, 20-23 May*. Adana, Turkey.

Daşcan H.Y., Özdoğan A.O., Kaftanoğlu O., Abak K. 2004. Effectiveness of Bumblebee Pollination in Anti-Frost Heated Tomato Greenhouses in the Mediterranean Basin. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **28**: 73-82.

Delaplane K.S., Mayer D.F. 2000. *Crop pollination by bees*. CABI Publishing, Wallingford, UK and New York, 352p.

Delbrassinne S., Rasmont P. 1988. Contribution to the study of pollination of rape, *Brassica napus* var. *oleifera* in Belgium. *Bulletin de la Recherche Agronomique de Gembloux* **23**: 123-152.

Dobrynin N.D. 1998. *Alfalfa pollinators in the Central black-soil region of Russia and ecological bases of their protection, management, and utilization*. PhD thesis, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Donovan B.J., Read P.E.C. 1990. Efficacy of honey bees as pollinators of kiwifruit, p.220-224, in: *The Sixth International Symposium on Pollination*, August 27-31, Tilburg, Netherlands.

Downey R.K., Bolton J. L. 1961. Production of [polish and argentine] rape in western Canada. *Research Branch, Canada Department of Agriculture, Pub 1021*: 19 p.

Dresher W., Engel G. 1976. Effect of pollination of sour cherry trees by honey bees. *Erwerbsolstaban* **18** (2) : 17-20 (en allemand, résumé en anglais dans *Apicultural abstracts*).

Downey R.K., Pawlowski S.H., Mcansh J. 1970. Rapeseed - Canada's "cinderella", *Crop. Ed. 2. Publication of the Rapeseed Association of Canada* **8**: 40 p.

DSASI 2001. Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information, Ministère de l'Agriculture, Série B (2001), 43 P.

El-Berry A.A., Moustafa M.A., Abdel-Gawad A.A., El-Bialek S. 1974. Pollinators other than honey bees visiting certain vegetable plants in Egypt. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* **77**: 106-110.

FAO 1995. Pollination of cultivated plants in the tropics. *Bulletin of Agricultural Service. FAO* **118**: 21-33.

Francis F., Colignon P., Haubruge E. 2003. Cultures maraîchères et insectes utiles. *Le canard déchaîné de Kawwberg* **48**: 17-19.

Free J.B. 1966. The pollination requirements of broad beans and field beans (*Vicia faba*). *Journal of Agricultural Science* **66**: 395-398

Free J.B. 1993. *Insect pollination of crops*. 2nd ed. Academic Press. London, 152 p.

Free J.B., Fergusson A.W. 1983. Foraging behavior of honeybees on oilseed rape. *Bee World* **62**: 22-24.

Free J.B., Nuttall P. M. 1968. The pollination of oilseed rape (*Brassica napus*) and the behaviour of bees on the crop. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* **71**: 91-94.

Free J.B., Spencer-Booth Y. 1963. The pollination of mustard by honey bees. *Journal of Apicultural Research* **2**: 69-70

Free J.B., Williams I.H., Longden P.C., Johnson M.G. 1975. Insect pollination of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seed crops. *Annales of Applied Biology* **81**: 127-134.

Fries I., Stark J. 1983. Measuring the importance of honey bees in rape seed production. *Journal of Apicultural Research* **22** (4): 272-276.

Gingras D., Gingras J., Olivera D. DE. 1996. Honey bee and the production of cucumbers in Quebec (Canada), p.395-399, in: *Proceedings of the 7th International Symposium on pollination, 23-28 June, Lethbridge, Alberta, Canada.*

Grandi-Hoffman G. de, Thorp R., Loper G., Eisikowitch D. 1991. The influence of nectar and pollen availability and blossom density of the attractiveness of almond cultivars to honey bees, p.299-302, in: *The sixth International Symposium on Pollination, 27-31 August, Tilburg, Netherlands*

Greatti M., Zoratti M.I., Trouillier J. 1997. Une autre ressource pour l'apiculteur: l'aide à la pollinisation. *L'abeille de France*: 832.

Gubin A.F. 1945. Bee training for pollination of cucumbers. *Bee World* **26**: 34-35.

Guiglia D. 1942. Gli imenotteri della Libia (Sphecidae, Pompilidae, Scoliidae, Vespidae, Apidae). *Annali del Museo Libico di Storia Naturale* **20** (3) : 228-250.

Guiglia D. 1972. *Les guêpes sociales (Hymenoptera, Vespidae) d'Europe occidentale et septentrionale.* Ed Masson & Cie, Paris, 186p.

Gusenleitner F. Schwartz M. 2002. « Weltweite Checkliste der Bienen gattung *Andrena* » mit Bemerkungen und Ergänzungen zu paläarktischen Arten (Hymenoptera, Apidae, Andrenidae, *Andrena*), 1221p.

Hammer O. 1966. Some problems of competition between summer rape and clover, in relation to pollination, p. 99-106 in: *2d International Symposium on Pollination*, London, 1964. *Bee World* **47**

Haskell G. 1943. Spatial isolation of seed crops. *Nature* **152**: 591-592 (London).

Heard T.A., Hendrikz J.K. 1993. Factors influencing Flight Activity of Colonies of the Stingless Bee *Trigona carbonaria* (Hymenoptera : Apidae). *Australian Journal of Zoology* **41**: 343-353.

Hebblethwaite P.D., Scott R.K., Krogbe J.O.S. 1984. The effet of irrigation and bees on the yield and yield components of *Vicia faba* L. p.71-93, in: Hebblethwaite P.D. Dawkins T.C.K., Heath M.C. and Lockwood G. (eds.) *Vicia faba: Agronomy, Physiology and Breeding.* The Hague: Martinus Nijhoff.

Heemert C. van., Ruijter A. de., Eijnde J. van den., Steen J. van den. 1990. Year-round production of bumble bee colonies for crop pollination. *Bee World* **71** (2): 54-56.

Hurd P. D. Jr. 1966. The pollination of pumpkins, gourds and squashes (genus *cucurbita*), p. 97-98, in: *2d International Symposium on Pollination*. London, 1964. *Bee World* **47**.

Hussein M.H., Abdel-Aal S.A. 1982. Wild and honey bees as pollinators of 10 plants species in Assiut area, Egypt. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* **93**: 342-346.

Iselin W.A., Jensen M.H., Spangler H.G. 1974. The pollination of melons in air inflated greenhouses by honey bees. *Environmental Entomology* **3** (4) : 664-666.

Jacob-Remacle A. 1989a. Comportement de butinage de l'abeille domestique et des abeilles sauvages dans des vergers de pommiers en Belgique. *Apidologie* **20**: 271-285.

Jacob-Remacle A. 1989b. Relation plantes-abeilles solitaires en milieu urbain : l'exemple de la ville de Liège, p.387-394, in : *Comptes rendus du Symposium "Invertébrés de Belgique"*

Jacob-Remacle A. 1990. *Les abeilles sauvages et pollinisation. Unité de Zoologie Générale et Appliquée. Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux*, 40 p.

Jefferies C.J., Atwood J. G., Williams R. R. 1982. Crop failure in gooseberry due to poor pollination. *Scientia Horticulturae* **16**: 147-153

Johansen C.A., Mayer D.F., Stanford A., Kiouss C. 1982. Alkali bees : their biology and management for alfalfa seed production in the Pacific Northwest. *Bulletin of the Cooperative Extension of the Pacific Northwest*: 155.

Kaziev I.P., Seidova S.S. 1965. The nectar yield of flowers of some Cucurbitaceae under Azerbaidjan conditions, p.364-366, in: *XX International Beekeeping Congress*. Bucharest.

Kevan P.G., Eisikowitch D. 1990. The effects of insect pollination on Canola (*Brassica napus* L. cv. O.A.C. Triton) seed germination. *Euphytica* **45**: 39-41.

Kevan P.G., Gadawski R.M., Kevan S.D., Gadawski S.E. 1983. Pollination of cranberries, *Vaccinium macrocarpon*, on cultivated marshes in Ontario, p. 45-53, in: *Proceedings of the Entomological Society* **114**, Ontario.

Kevan P.G., Clark E.A., Thomas V.G. 1990. Pollination: A crucial ecological and mutualistic link in agroforestry and sustainable agriculture, p.43-48, in: *Proceedings of the Entomological Society* **121**.

Knott C.M., Biddle A.J., Mckeown B.M. 1994. *The field bean handbook*. PGRO, Peterborough.

Koltowski Z. 1996. Foraging by pollinating insects on several field bean cultivars (*Vicia faba* L. spp. *minor* Harz). *Pszczelnicze Zeszyty Naukowe* **40** (1): 77-93.

Koutensky J. 1958. "The results of the pollinating work of bees" *Vcelarstvi* **11**(5): 72-73.

Kremer J.C. 1945. Influence of honey bee habits on radish seed yield. *Bulletin of the Michigan Agricultural Exp Stn* **27**: 413-420.

Kristjansson K., Rasmussen K. 1990. Pollination of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) with the solitary bee *Osmia cornifrons* (Radoszkowski), p.173-179 in: *The Sixth international Symposium on Pollination*, August 27-31, Tilburg, Netherlands.

Kumar J., Kumar Gupta J. 1993. Nectar sugar production and honeybee foraging activity in 3 species of onion (*Allium* species). *Apidologie* **24** : 391-396.

Kut R. 1993. *Clef de détermination des Insectes de la partie européenne d'URSS (Hyménoptères) Tome III – Famille des Andrenidae*. Licence de traduction. Univ. Mons-Hainaut. Belgique, 94 p.

Ladurner E., Maccagnani B., Santi F., Felicioli A. 1999. Preliminary investigations on *Osmia cornuta* Latr. (Hymenoptera Megachilidae) for controlled pollination in hybrid seed production of selected Brassicaceae (Red Cabbage), p. 203-207, in: Heemert C. van. , Ruijter A. de (eds.). *Insect Pollination in Greenhouses*.

Latif A., Qayyum A., Abbas M. 1960. The role of *Apis indica* in the pollination of oil seeds "Torja" and "Sarson" (*Brassica campestris* var. *Torja* and *Dichotoma*). *Bee World* **41**: 283-286.

Le Guen J., Mesquida J., Pierre J.S., Morin G., Tasei J.N., Carré S. 1993. Efficacité pollinisatrice de différents traitements sur 2 lignées de féverole de printemps (*Vicia faba* L. var. *equina* Steudel), à des niveaux d'autofertilité différents, avec utilisation de diverses espèces de *Bombus* Latr. (Hymenoptera : Apidae). *Apidologie* **24** (2): 129-145.

Lemasson M. 1987. Interêt de l'abeille mellifère (*Apis mellifera*) dans la pollinisation de cultures en serre de cornichon (*Cucumis sativus* L), de melon (*Cucumis melo*) et de tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Revue d'Agriculture* **40** (4): 915-924.

Lerer H.W.G., Mills P.F., Pankiw P. 1982. Pollination activity of *Megachile rotundata* (Hymenoptera : Apoidea). *Environmental Entomology* **11**: 997-1000.

Linsley E.G. 1946. Insects pollination of alfalfa in California. *Journal of Economic Entomology* **39** : 18-29.

Louadi K. 1999a. *Systématique, Eco-éthologie des abeilles (Hymenoptera, Apoidea) et leurs relations avec l'agrocénose dans la région de Constantine*. Thèse de doctorat d'état en Entomologie, Univ. Mentouri, Constantine : 168 p.

Louadi K. 1999b. Contribution à la connaissance des genres *Halictus* et *Lasioglossum* de la région de Constantine (Algérie) (Hymenoptera, Apoidea, Halictidae). *Bulletin de la Société entomologique de France* **104** (2) : 141-144.

Louadi K., Doumandji S. 1998a. Diversité et activité de butinage des abeilles (Hymenoptera, Apoidea) dans une pelouse à Thérophytes de Constantine (Algérie). *The Canadian Entomologist* **103** (5) : 691-702.

Louadi K., Doumandji S. 1998b. Note d'information sur l'activité des abeilles (domestiques et sauvages) et l'influence des facteurs climatiques sur les populations. *Sciences & Technologies* (9) : 83-87. Univ. Mentouri. Constantine.

Louadi K., Benachour K., Berchi S. 2007a. Floral visitation patterns of bees during spring in Constantine, Algeria. *African Entomology* **15** (1) : 209-213.

Louadi K., Maghni N., Benachour K., Berchi S., Aguib S. 2007b. Présence de *Dasypoda maura* Pérez 1895 en Algérie (Hym., Apoidea, Melittidae). *Bulletin de la Société entomologique de France* **112** (2) : 252.

Maatallah R. 2003. *Inventaire de la faune apoidienne dans la région de Skikda*. Thèse de Magistère en Entomologie, Univ. Mentouri, Constantine : 172p.

Maghni N. 2006. *Contribution à la connaissance des abeilles sauvages (Hymenoptera : Apoidea) dans les milieux naturels et cultivés de la région de kenchela*. Thèse de Magistère en Entomologie, Univ. Mentouri, Constantine : 127 p.

Marletto F. 1978. Rôle de l'abeille dans la pollinisation de l'actinidia. *Incontro Frutticolo, SOI, Actinidia* : 19-27.

Márquez J., Bosch J., Vicens N. 1994. Pollens collected by wild and managed populations of the potential pollinator *Osmia cornuta* Latreille. *Journal of Applied Entomology* **117**: 353-359.

Martin E.C. 1970. The use of honey bees in the production of hybrid cucumbers for mechanical harvest. *Rep. IX Poll. Conf. Ark*: 106-109.

Martinez Del Rio C. Eguiarte L.E. 1987. The effect of nectar availability on the foraging behavior of the stingless bee *Trigona testacea*. *Southwestern Naturalist* **32** (3): 313-319.

Martynov P.L. 1976. Economic effectiveness of bees as pollinators of entomophilous crops in field rotations in Irkutsk district, p.139-143, in: *Melnickenko A.N (ed.) Pollination of Entomophilous Agricultural Crops by Bees*, Gor'kü, University.

Mc Gregor S.E. 1976. *Insect pollination of cultivated crops plants*. US Department of Agriculture, Agriculture Handbook No 496, Washington, 411 p.

Michelbacher A.E., Smith R.F., Hurd P.D. Jr. 1964. Bees are essential. Pollination of squashes, gourds and pumpkins. *Californian Agriculture* **18**: 2-4.

Michener C.D. 2000. *The Bees of the World*. The Johns Hopkins University Press, 807p.

Michez D., Terzo M., Rasmont P. 2004a. Révision des espèces ouest-paléarctiques du genre *Dasypoda* Latreille 1802 (Hymenoptera, Apoidea, Melittidae). *Linzer biologische Beitrage* **36** (2) : 847-900.

Michez D., Terzo M., Rasmont P. 2004b. Phylogénie, biogéographie et choix floraux des abeilles oligolectiques du genre *Dasypoda* Latreille, 1802 (Hymenoptera : Apoidea : Melittidae). *Annales de la Société entomologique de France* **40** : 421-435.

Mikitenko A.S. 1959. Bees increase the seed crop of sugar beet. *Pchelovodstvo Moskova* **36** (5): 28-29.

Mishra R.C., Kumar J., Gupta J.K. 1988. The effect of mode of pollination on yield and oil potential of *Brassica campestris* L var. *sarson* with observations on insect pollinators. *Journal of Apicultural Research* **27** (3): 186-189.

Mohr N.A., Jay S.C. 1990. Nectar production of selected cultivars of *Brassica campestris* L. and *Brassica napus* L. *Journal of Apicultural Research* **29** (2): 95-100.

Morandin L.A., Winston M.L. 2004. Wild bee abundance and seed production in conventional, organic, and genetically modified canola. *Ecologie Appliquée* **15** (3): 871–881.

Morandin L.A., Winston. M. L., 2006. Pollinators provide economic incentive to preserve natural land in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **116** (3-4): 289-292.

Morison N., Vaissière B.E., Martin F., Pécaut P., Cambo G. 2000. Pollinisation de l'artichaut (*Cyanara scolymus* L.) par l'abeille domestique (*Apis mellifera* L.) en production de semences hybrides sous abris grillagés. *Apidologie* **31**: 115-128.

Morse R.A., Calderone N.W. 2000. The value of honey bees as pollinators of US crops in 2000. *Bee Culture* **128** (3): 16p.

Muhammad S., Goudal A., Manzoor-ul-haq. 1973. Studies on the role of *Apis indica* F. in the pollination of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* Linn) and radish (*Raphanus sativus* Linn). *SU Research Journal (Science Service)* **7**: 87-93.

Müller A., Diener S., Schnyder S., Stutz K., Sedivy C., Dorn S. 2006. Quantitative pollen requirements of solitary bees: Implications for bee conservation and the evolution of bee flower relationships. *Biological Conservation* **130** (4): 604-615

Neiswander R.B. 1956. Pollination of greenhouse tomatoes by honey bees. *Journal of Economic Entomology* **49**: 436-437.

Nemirovich-Dachenko E.N. 1964. Concerning the nectar yield and floral biology of cucumbers. *Izv. tomosk. Otd. vses. bot. Obshch* **5**: 127-132.

Nepi M., Pacini E. 1993. Pollination, Pollen Viability and Pistil Receptivity in *Cucurbita pepo*. *Annals of Botany* **72**: 527-536.

Nepi M., Guarnieri M., Pacini E. 2001. Nectar secretion, Reabsorption, and Sugar composition in Male and Female Flowers of *Cucurbita pepo*. *International Journal of plant Science* **162**: 353-358.

Newton S.D., Hill G.D. 1983. Robbing of field bean flowers by the short-tongued bumblebee *Bombus terrestris*. *Journal of Apicultural Research* **22**: 124-129.

Nikitina A.I. 1950. Honeybees raise seed yields of turnips and rutabaga. *Pchelovodst* **27** (5): 271-274.

Nogueira-Couto R.H., Calmona R.C. 1993. Insect pollination of cucumber (*Cucumis sativus* var. Aodai Melhorada). *Naturalia* (São Paulo) **18**: 77-82.

Parker F.D., Batra S.W.T., Tepedino V.J. 1987. New pollinators for our crops. *Agricultural Zoology Reviews* **2** : 279-304.

Patiny S. 2001. *Monographie des Panurginae de l'ancien monde (Hymenoptera : Apoidea, Andrenidae)*. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques et Ingénierie biologique, 206p.

Payette A., Oliveira D. de. 1989. Diversité et abondance des apoïdes (Hymenoptera : Apoidea) dans l'agroécosystème de Saint-Hyacinthe, Québec. *Naturalist Canadian* **116** : 155-165.

Perret M., Chautems A., Spichiger R., Peixoto M., Savolainen V. 2001. Nectar sugar composition in relation to pollination syndromes in Sinningieae (Gesneriaceae). *Annals of Botany* **87**: 267-273.

Phillipe J.M. 1991. *La pollinisation par les abeilles*. Edisud, 172 p.

Pierre J., Le Guen J., Esnault R., Debbagh S., Sadiki M. 1997. Méthode d'étude de la fréquentation de diverses féveroles par les insectes pollinisateurs, p.199-206 in : **INRA (ed.)**, *les légumineuses alimentaires méditerranéennes*, Rennes (France), 20-22 février, les Colloques 88, INRA, Paris.

Pierre J., Suzo M.J., Moreno M.T., Esnault R., Le Guen J. 1999. Diversité et efficacité de l'entomofaune pollinisatrice (Hymenoptera: Apidae) de la féverole (*Vicia faba* L.) sur deux sites, en France et en Espagne. *Annales de la Société entomologique de France (n.s.)* **35** (suppl.): 312-318.

Pinzauti M., Frediani D., 1979. Effetto dell'impollinazione entomofila sulla produttività del favino (*Vicia faba minor*). *Apicoltore Moderno*: 107-113.

Piper C.V., Evans M.W., Mckee R., Morse W.J. 1914. Alfalfa seed production, pollination studies. *Bulletin of US Department of Agriculture* **75** : 1-32.

Plateaux-Quénu C. 1972. *La biologie des abeilles primitives*. Masson & Cie. Paris, 197p.

Poole C.F. 1937. Improving the root vegetables. *US Department of Agriculture. Yearbook* 1937: 300-325.

Popov V.V. 1952. Apidae pollinators of Chenopodiaceae (in Russian). *Zoologicheskij Zhurnal* **31**: 494-503.

Porter J., Dibbens R. 1977. Blowflies and pollination. *Horticulture Industry* **9**: 633-634.

Poulsen M.H. 1973. The frequency and foraging behaviour of honeybees and bumble bees on field beans in Denmark. *Journal of Apicultural Research* **12** : 75-80.

Pouvreau A. 2004. *Les insectes pollinisateurs*. Delachaux & Niestlé, 157 p.

Prabucki J., Chuda-Mickiewicz J.B., Woyke H. 1987. The influence of bees on the crop of broad bean seeds (*Vicia faba* L. var. *major*), P. 403-409 in: *Proceedings of the XXXI st Congress of Apiculture, August 19-25, Warsaw*.

Pritsch G. 1965. "Increasing the yield of oil plants by using honey bees". *Ved. Prace Vyzkam. Ustav. Vcelar CSAZV* **4**: 157-163.

Pritsch G. 1971. Recherche sur le rôle que joue l'abeille dans la pollinisation de la fève (*Vicia faba*), p. 529-530 in : *CR 23^e Congrès international d'Apiculture, Apimondia, Moscou, Bucarest*.

Radchenko T.G. 1966. Role of honey bees as pollinators in increasing the seed crop from cabbage and radish. *Bdzhil'nitstvo* (2) 72-75.

Rahmlov H.J. 1970. Cucumbers need the honey bee. *Glean. Bee Culture* **89** (10): 585-587.

Raw A., Free J.B. 1977. The pollination of coffee (*Coffea arabica*) by honey bees. *Tropical Agriculture* **54** (4): 365-370.

Robinson W.S., Nowogrodzki R., Morse R.A. 1989. The value of honey bees as pollinators of U.S. crops. Part II. *American Bee Journal* **129** (8): 477-487.

Ruijter A. de. 1999. Insect pollination in greenhouses, experiences in the Netherlands, p.181-185; in: Heemert C. van. , Ruijter A. de (eds.). *Insect Pollination in Greenhouses*.

Rust R.W., Vaissière B.E., Westrich P. 2003. Pollinator biodiversity and floral resource use in *Ecballium elaterium* (Cucurbitaceae), a mediterranean endemic. *Apidologie* **34**: 29-42.

Satta A., Foris L., Acciaro M. 2000. Observations on the insects pollinating *Hedysarum coronarium* L. In Sardinia (Italy). *Insect Social Life* **3**: 161-166.

Saunders E. 1908. Hymenoptera Aculeata collected in Algeria. Part III – Anthophila. *Transactions of the Entomological Society of London* **2**: 177-273.

Saxena M.C. 1991. Status and scope for production of faba bean in the Mediterranean countries. *Options Méditerranéennes. Série Séminaires* **10**: 15-20.

Scheuchl E. 1995. *Illustrierte Bestimmungstabellen der Wildbienen Deutschlands und Österreichs*. Band I- Anthophoridae, 150p.

Schulthess A. de. 1924. Contribution à la connaissance de la faune des Hyménoptères de l'Afrique du Nord. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord* **15** (6) : 293-320.

Scott R.K., Longden P.C. 1970. Pollen release by diploid and tetraploid sugar beet plants. *Annals of Applied Biology* **66**: 129-135.

Scriven W.A., Cooper B.A., Allen H. 1961. Pollination of field beans. *Outlook on Agriculture* **3**: 69-75.

Seaton H.L., Hutson R. Muncie J.H. 1936. The production of cucumbers for pickling purposes. *Bulletin of the Agricultural Expt Sta Spec, Michigan* **273**: 131p.

Sedgley M., Scholefield P.B. 1980. Stigma secretion in the watermelon before and after pollination. *Botanical Gaz* **141** (4): 428-434.

Sekita N., Yamada M. 1993. Use of *Osmia cornifrons* for pollination of apples in Aomori prefecture, Japan. *Japan Agricultural Research Quart* **26**: 264-270.

Semmens T.D., Tumer E., Buttermore R. 1993. *Bombus terrestris* (L) (Hymenoptera : Apidae) now established in Tasmania. *Journal of the Australian Entomological Society* **32**: 346.

Seyman W.S., Barnett W.W., Thorp R.W., Stanger W., Payne P.B. 1969. Pollination of pickling cucumbers. *Californian Agriculture* **23** (1): 12-14.

Sharma P.L., Sharma B.R. 1968. Role of insects in the pollination of *Daucus carota* (carrots) and *Beta vulgaris* (sugar beet). *Indian journal of Horticulture* **25** (3/4): 216.

Sihag R.C. 1986. Insect pollination increases seed production in cruciferous and umbelliferous crops. *Journal of Apicultural Research* **25**: 121-126.

Singh H.B., Kapila J.K., Sharma J.K., Lata S. 1996. Effect of Insect Pollination on Seed Yield and its Quality in Turnip (*Brassica rapa* L.). *Seed Research*. **24** (1): 48-50.

Sinha S.N., Chakrabarti A.K. 1985. Studies on pollination by honey bees on early cauliflower and its effect on seed yield and quality. *Seed Research* **13** : 115-119.

Skinner J.A., Lovett G. 1992. Is one visit enough? Squash pollination in Tennessee. *American Bee Journal* **132** (12): 815.

Sonnet M., Jacob-Remacle A. 1987. Pollinisation de la légumineuse fourragère *Hedysarum coronarium* L. en Tunisie. *Bulletin de la Recherche Agronomique de Gembloux* **22** (1): 19-32.

Stanghellini M.S., Ambrose J.T., Schultheis J.R. 1997. The effects of Honey Bee and Bumble Bee Pollination on Fruits Set and Abortion of Cucumber and Watermelon. *American Bee Journal*: 386-391.

Stapel C. 1943. Über die Befruchtung der Luzerne durch Insekten in Dänemark. *Entomologische Meddelelser* **23**: 224-239.

Stephen W.P. 1955. Alfalfa pollination in Manitoba. *Journal of Economic Entomology* **48**: 543-548.

Stephenson A.G. 1980. Fruit set, herbivory, fruit reduction, and the fruiting strategy of *Catalpa speciosa* (Bignoniaceae). *Ecology* **61**: 57-64.

Stephenson A.G. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. *Annales de la Revue d' Ecologie systématique* **12**: 253-279.

Stoddard F.L., Bond D.A. 1987. The pollination requirements of the faba bean. *Bee World* **68** (3):144-152.

Stone G.N., Willmer P., Rowe J.A. 1998. Partitioning of pollinators during flowering in an african acacia community. *Ecology* **79** (8) : 2808-2827.

Suzo M.J., Pierre J., Moreno M.T., Esnault R., Le Guen J. 2001. Variation in outcrossing levels in faba bean cultivars: role of ecological factors. *Journal of Agricultural Science in Cambridge* **136**: 399-405.

Svendsen O.S., Brødsgaard C.J. 1997. The importance of bee pollination in two cultivars of field (*Vicia faba* L). *SP Rapport-Statens Planteavlfsforsøg* **5**: 1-18.

Szabo T.I. 1980. Effect of weather factors on honey bee flight activity and colony weight gains. *Journal of Apicultural Research* **19**: 164-171.

Tamas I.A., Wallace D.H., Ludford P.M., Ozbun J.L. 1979. Effect of older fruits on abortion and abscisic acid concentration of younger fruits in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiology* **64**: 620-622.

Tarta E. 1979. Research of economic effects of controlled bee pollination of entomophilous crops in Romania, p.14-20, in: *Proceedings of the XVII International Congress of Apiculture*, Athens.

Tasei J.N. 1976. Les insectes pollinisateurs de la féverole d'hiver (*Vicia faba equina* L.) et la pollinisation des plantes mâles-stériles en production de semence hybride. *Apidologie* **7**: 1-38.

Tasei J.N. 1978. Les insectes polinisateurs de la luzerne (*Medicago sativa* L.) en France. *Apidologie* **9** (3) : 175-194.

Tasei J.N. 1990. Agents pollinisateurs et techniques de pollinisation avec l'abeille domestique, p.33-45 in: Ctifl – INRA (eds.), *Pollinisation Poirier Pommier*, 98p.

Tchuenguem Fohouo F.N., Messi J., Pauly A. 2002. L'activité de butinage des Apoïdes sauvages (Hymenoptera Apoïdea) sur les fleurs de maïs à Yaoundé (Cameroun) et réflexions sur la pollinisation des graminées tropicales. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* **6** (12): 87-98

Tepedino V.J. 1981. The pollination efficiency of the squash bee (*Peponapis pruinosa*) and the honey bee (*Apis mellifera*) on summer squash (*cucurbita pepo*). *Journal of the Kansas Entomological Society* **54** (2): 359-377.

Terzo M. 2000. *Classification phylogénétique des Cératines du monde et monographie des espèces de la région ouest-paléarctique et de l'Asie centrale (Hymenoptera, Apoïdea, Xylocopinae : Ceratina Latreille)*. Thèse de Doctorat en Sciences biologiques, Univ. Mons-Hainaut, Belgique, 251p.

Timmons A.M., O'Brien E.T., Charters Y.M., Dubbles S.J., Wilkinson M.J. 1995. Assessing the risks of wind pollination from fields of genetically modified *Brassica napus* ssp.oleifera. *Euphytica* **85**: 417-423.

Torchio P.F. 1966. *A survey of alfalfa pollinators and pollination in in the San Joaquin valley of California with emphasis on the establishment of the alkali bee.* MS thesis, Oregon State University, Corvallis.

Torchio P.F. 1987. Use of non-honey bee species as pollinators of crops, p.111-124 in: *Proceedings of the Entomological Society of Ontario.*

Torchio P.F. 1990. Diversification of pollination strategies for U.S. crops. *Environmental Entomology* **19** (6): 1649-1656.

Treherne R.C. 1923. The relation of insects to vegetable seed production. *Report of the Quebec Society for the Protection of plants* **15**: 47-59.

Vaissière B. 2002. Abeilles et pollinisation. *Le courrier de la Nature* **196**, Spécial Abeilles : 24-27.

Vaissière B., Malaboef F., Torre Grossa JP., Rodet G. Cousi M. 1992. Comportement de butinage et efficacité pollinisatrice de l'abeille domestique (*Apis mellifera* L) sur le melon Cantaloup (*Cucumis melo* L) Cultivé sous abri, p. 477-479, in : *Seminar on pollination : Report of the Meeting. Apidologie* **23** (5).

Varis A. L. 1996. "Abundance, species composition and daily pattern of bees visiting field bean, goat's rue and turnip rape in Southern Finland". *Journal of Agricultural Science in Finland* **4** (5/6): 473-478.

Varis A.L., Brax R. 1990. Effect of bee pollination on yield components of field bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Agricultural Science in Finland* **62**: 45-49.

Verdieva M. G., Ismailova M. K. 1960. The influence of bee pollination on the increase of the crop from feed squash. *Pchelovodstvo* **37** (9): 40-41.

Vicens N., Bosch J. 2000. Weather-Dependent Pollinator Activity in an Apple Orchard, with Special Reference to *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera : Megachilidae and Apidae). *Environmental Entomology* **29** (3): 413-420.

Wadlow R. V. 1970. Pollination of crops in Florida, p. 61-63, in : *The Indispensable Pollinators, Publications of the Michigan Agricultural Extension service* **127**

Wafa A. K., Ibrahim S.H. 1960. The effect of the honey bee as a pollinating agent on the yield of broad bean. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Cairo Univ* **205**: 36 p.

Williams I.H. 1978. The pollination requirements of swede rape (*Brassica napus* L) and turnip rape (*Brassica campestris* L). *Journal of Agricultural Science in Cambridge* **91**: 343-348.

Williams I.H., Free J. B. 1974. The pollination of onion (*Allium cepa* L.) to produce hybrid seed. *Journal of applied Ecology* **11**: 409-418.

Williams I.H., Martin A.P., White R.P. 1987. The effect of insect pollination on plant development and seed production in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **109**:135-139.

Willmer P.G. 1983. Thermal constraints on activity patterns in nectar-feeding insects. *Ecological Entomology* **8**: 455-469.

Wills D.A., Wearing A.H. 1993. The effect of honeybee pollination on yield and fruit quality in zucchini (*Cucurbita pepo* L). *Australasian Postharvest Conference*: 373.

Woyke H.W., Bronikowska K. 1983. The influence of honey bee population on pickling cucumber yield, p. 323-327, in: *Proceedings of the 5th International Symposium on Pollination*, Versailles.

Zanden G. van der. 1991. Neue oder wenig bekannte Arten der Osmiini aus dem paläarktischen Gebiet (Insecta, Hymenoptera, Apoidea, Megachilidae). *Reichenbachia* **31**: 163-172.

Zanden G. van der. 1994. Neue Arten der Paläarktischen Osmiini (Insecta, Hymenoptera, Apoidea, Megachilidae). *Linzer biologische Beiträge* **26** (2): 1113-1124.

Zanden G. van der. 1996. Neue Arten und Synonyme bei paläarktischen Bausammlern (Hymenoptera Aculeata, Apoidea, Megachilidae). *Linzer biologische Beiträge* **28** (2): 883-895.

Zaghouane O. 1991. The situation of faba bean (*Vicia faba* L.) in Algeria. *Options Méditerranéennes. Série Séminaires* **10**: 123-125.

ANNEXES

Annexe 1. Besoins en pollinisation de quelques cultures pollinisées par les insectes (d'après Pouvreau 2004).

Cultures fruitières		Besoins en pollinisation
Pommier	<i>Malus pumila</i> (Rosaceae)	+++
Poirier	<i>Pyrus communis</i> (Rosaceae)	+++
Pêcher	<i>Prunus persica</i> (Rosaceae)	+ à +++
Prunier	<i>Prunus domestica</i> (Rosaceae)	+++
Abricotier	<i>Prunus armeniaca</i> (Rosaceae)	++
Cerisier	<i>Prunus avium</i> (Rosaceae)	+++
Amandier	<i>Prunus amygdalus</i> (Rosaceae)	+++
Actinidia	<i>Actinidia chinensis</i> (Actinidiaceae)	+++
Groseillier à grappes	<i>Ribes</i> sp. (Saxifragaceae)	+
Groseillier épineux	<i>Ribes grossularia</i> (Saxifragacées)	++
Cassissier	<i>Ribes nigrum</i> (Saxifragaceae)	++
Fraisier	<i>Fragaria</i> sp. (Rosaceae)	++
Framboisier	<i>Rubus idaeus</i> (Rosaceae)	++
Myrtille	<i>Vaccinium myrtilloides</i> (Ericacées)	++
Production de semences et de graines		
Luzerne	<i>Medicago sativa</i> (Fabaceae)	+++
Trêfle violet	<i>Trifolium pratense</i> (Fabaceae)	+++
Trêfle blanc	<i>Trifolium repens</i> (Fabaceae)	+++
Trêfle incarnat	<i>T. incarnatum</i> (Fabaceae)	+++
Trêfle hybride	<i>T. hybridum</i> (Fabaceae)	+++
Sainfoin	<i>Onobrychis sativa</i> (Fabaceae)	+++
Lotier	<i>Lotus coniculatus</i> (Fabaceae)	+++
Mélilot	<i>Melilotus alba</i> (Fabaceae)	+++
Vesce	<i>Vicia</i> sp. (Fabaceae)	+++
Féverole	<i>Vicia faba</i> (Fabaceae)	++
Lupin	<i>Lupinus</i> sp. (Fabaceae)	+
Colsa	<i>Brassica napus oleifera</i> (Brassicaceae)	+
Moutarde blanche	<i>B. alba</i> (Brassicaceae)	+++
Moutarde noire	<i>B. nigra</i> (Brassicaceae)	+++
Tournesol	<i>Helianthus annuus</i> (Asteraceae)	+++
Sarrasin	<i>Fagopyrum esculentum</i> (Polygonaceae)	++
Productions potagères		
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>	++

	(Solanaceae)	
Poivron	<i>Capsicum annuum</i> (Solanaceae)	+
Aubergine	<i>Solanum melongena</i> (Solanaceae)	++
Melon	<i>Cucumis melo</i> (Cucurbitaceae)	+++
Concombre	<i>C. sativus</i> (Cucurbitaceae)	+++
Courge	<i>Cucurbita sp.</i> (Cucurbitaceae)	+++
Production de semences potagères		
Chou	<i>Brassica oleracea</i> (Brassicaceae)	++
Navet	<i>Brassica rapa</i> (Brassicaceae)	++
Radis	<i>Raphanus sativus</i> (Brassicaceae)	++
Carotte	<i>Daucus carota</i> (Apiaceae)	++
Céleri	<i>Apium graveolens</i> (Apiaceae)	++
Oignon	<i>Allium cepa</i> (Liliaceae)	++
Poireau	<i>A. porum</i> (Liliaceae)	++
Asperge	<i>Asparagus officinalis</i> (Liliaceae)	++
Chicorée	<i>Chicorium sp.</i> (Asteraceae)	++
Artichaut	<i>Cynara scolymus</i> (Asteraceae)	++

Annexe 2. Production annuelle de maraîchage (en quintaux) des principales wilayas productrices en Algérie (DSASI 2001).

Wilayas	Surface plantée (ha)	Production (qx)
Boumerdes	19.032	2.638.770
Ain Defla	15.141	2.296.780
Biskra	12.884	2.132.660
Mascara	16.800	1.827.260
Mostaganem	15.901	1.719.190
Alger	11.468	1.674.360
Skikda	14.407	1.400.130
Tipaza	8513	1.347.070
M'sila	10.212	1.235.960
Tiaret	7.247	1.233.020
Tmemcen	12.387	1.176.860
Chlef	5.706	1.077.970
El Taref	7.891	1.031.400

Annexe 3. Production moyenne (2000-2004) en quintaux des principales cultures maraîchères dans la wilaya de Constantine (donnés de la direction des services agricoles de Constantine).

Cultures	Production (qx)	Cultures	Production (qx)
Pomme de terre	67137,5	Concombre	882,5
Melon	33837,75	Navet	848,75
Fève verte	17274,75	Piment	725,5
Petit pois	9249,25	Poivron	662,25
Oignon	2332,5	Aubergine	327,5
Courgette	2263,5	Salade	185
Tomate	2115	Harricot vert	96,5
Pastèque	1360	Divers (Radis, carotte, etc.)	101,25
Ail	973,75		

Annexe 4. Données climatiques mensuelles de la wilaya de Constantine (période 2000-2004) (données de l'office météorologique de Constantine)

Températures moyennes (°C)												
Années	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
2000	4,6	8,2	11,2	14,7	20,1	22,3	26,9	26,4	21,9	15,9	12,3	9,1
2001	8,0	7,4	14,3	12,4	17,2	23,8	27,1	26,3	21,6	20,2	10,9	6,6
2002	6,4	8,6	11,1	14,0	18,7	24,8	25,6	25,0	21,3	17,9	12,3	9,2
2003	7,0	8,3	10,5	14,0	17,7	25,3	28,4	27,4	20,9	18,6	12,0	6,8
2004	7,2	8,8	10,6	11,9	15,1	21,4	26,8	28,2	23,5	19,1	9,9	7,9
Humidités relatives moyennes (%)												
2000	85	75	68	61	65	61	47	47	59	71	68	72
2001	76	70	59	70	67	45	46	49	70	67	79	80
2002	76	76	70	64	56	45	52	58	62	60	75	80
2003	80	79	73	76	70	51	42	43	69	68	75	84
2004	82	75	78	79	77	67	43	41	62	65	85	84
Insolations totales (heures entières)												
2000	181	219	232	264	266	322	356	317	246	228	190	187
2001	173	207	258	253	277	353	324	294	254	254	154	160
2002	190	203	249	252	287	334	305	258	250	248	137	157
2003	119	148	232	228	296	324	327	304	206	170	171	142
2004	159	204	212	232	245	305	328	312	226	187	139	100
Précipitations (mm)												
2000	17,4	36,0	14,4	32,9	84,4	43,6	0,0	15,7	18,4	38,3	31,7	57,7
2001	123,4	44,7	17,6	38,3	52,9	0,0	0,2	10,4	79,2	48,3	28,5	20,0
2002	23,5	53,3	18,2	31,8	17,0	4,5	19,4	24,0	22,3	26,8	134,7	109,7

2003	231,2	50,2	31,7	120,1	44,4	1,2	2,4	11,1	61,5	46,0	19,8	148,0
2004	87,2	11,5	66,4	47,5	66,2	29,7	1,6	13,5	31,6	43,3	142,9	181,2
Vent moyen (m/s)												
2000	1,0	2,4	2,1	3,7	3,0	2,5	2,9	2,4	2,6	3,3	3,2	2,8
2001	3,2	2,9	2,9	2,6	2,5	2,4	2,6	2,2	1,9	1,4	2,0	1,8
2002	1,8	2,1	2,7	3,5	2,8	2,5	2,8	2,7	2,1	2,1	4,1	3,1
2003	4,5	3,0	2,1	2,6	2,1	2,1	2,8	2,6	1,9	2,5	2,1	3,2
2004	2,6	2,5	2,3	2,9	2,9	2,1	2,4	2,2	2,4	2,3	2,0	2,3

Diversity and pollinating activity of bees (Hymenoptera: Apoidea) on the cultivated plants

Abstract:

In order to determine the social and solitary pollinating Apoid (Hymenoptera, Apoidea) and their pollination efficiency, a study was conducted on 9 market garden plants in the region of Constantine (36°20'N 06°35'E, 660m in altitude) over a period extending from 2000 to 2004. Observations were made during the flowering of each plant which allowed the identification of the pollinating Apoidea of these plants. Wild bee *Eucera numida* L. and the honey bee *Apis mellifera* (Apidae) are the main pollinators of the broad bean (*Vicia faba* L.) (Fabaceae). *Eucera numida* is the most prolific pollinator, and has a higher pollinating efficiency than the honey bee. This species, in addition, exhibits a higher faithfulness to the plant. The second leguminous plant, *Pisum sativum* L., is very rarely visited by bees, and only *Eucera numida* paid some visits to these flowers. The honey bee is the main pollinator of the squash (*Cucurbita pepo* L.) (Cucurbitaceae). It is also one of the main pollinators of the cucumber (*Cucumis sativus* L.), together with *Ceratina cucurbitina* (Apidae), *Megachile leachella*, and *M. pilidens* (Megachilidae). With a shorter time spent of the female flowers, the honey bee is the most efficient pollinator of this plant. On the two Brassicaceae, the turnip (*Brassica rapa* L.) and the radish (*Raphanus sativus* L.), we found respectively the honey bee and *C. cucurbitina* as main pollinators. Their foraging on the flowers may be fertilizing in 100% of the visits. On the beet (*Beta vulgaris* L.), it is a halictid, *Lasioglossum mediterraneum*, who is the most frequent visitor with 66% of the observed visits. Finally, on the two Solonaceae, the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and the potato (*Solanum tuberosum* L.), no visit by any bee was observed on the flowers.

The comparison of the yield in the presence of pollinators (free plots) and in their absence (caged plots) showed that cross-pollination improves significantly the yield of the plants. Only the yield of the radish showed small improvement in the presence of pollinating insects. The multiple linear regression-study of the influence of three climatic factors (temperature, relative humidity, and luminosity) on the activity of the bees showed that temperature and luminosity are the factors regulating their activity.

Keywords: honey bees, wild bees, market garden plants, pollination, foraging behaviour, yield, climatic factors.

(Hymenoptera : Apoidea)

من أجل معرفة النحل الاجتماعي و البري (Hymenoptera : Apoidea) و دراسة فعالية التلقيح لديه، أجريت تحريات على تسع نباتات من الخضروات في منطقة قسنطينة خلال الفترة الممتدة من 2000 إلى 2004.

الملاحظات التي تمت خلال إزهار كل نبتة أظهرت النحل الملقح لهذه النباتات. فوق نبات الفول (*Vicia faba L.*) (عائلة البقوليات)، النحل البري *Eucera numida L.* و نحل العسل *Apis mellifera L.* هما أهم نحل ملقح لهذا النبات، النحل البري *E. numida* سجل أكبر عدد من الزيارات على الأزهار و فعاليته في التلقيح أكبر من فعالية نحل العسل. زيارات النحل لثاني نبات من العائلة البقولية، البازلاء، (*Pisum sativum L.*) محدودة جدا، و قد سجلت فقط بعض الزيارات للنحل البري *E. numida*. نحل العسل هو أهم ملقح لنبات الكوسة (*Cucurbita pepo L.*)، كما هو الحال مع نبات الخيار (*Cucumis sativus L.*) إضافة لـ *Ceratina cucurbitina R.* (Apidae) و *Megachile leachella C.* و *M. pilidens A.* (Megachilidae). بتسجيل أقل وقت فوق الأزهار الأنثوية، يعد نحل العسل أفضل ملقح لهذا النبات. فيما يخص العائلة الصليبية، نجد نحل العسل و نوع *Ceratina cucurbitina* بالتتالي فوق الخردل (*Brassica rapa L.*) و الفجل (*Raphanus sativus L.* حيث تعد زيارتهما مخصصة 100 %.

فوق نبات البنجر (*Beta vulgaris L.*) (Chenopodiaceae) ، النحل البري *Lasioglossum mediterraneum B.* هو أكبر ملقح للأزهار. أخيرا لم تشاهد أي زيارات فوق أزهار الطماطم (*Lycopersicon esculentum Mill.*) و البطاطا (*Solanum tuberosum L.*) مقارنة مردودية النباتات و ذلك بوجود و عدم وجود النحل (تغطية النبات خلال الإزهار) أظهر أن التلقيح عن طريق النحل يحسن بنسبة كبيرة مردودية النباتات ما عد نبات الفجل حيث لوحظ أن التلقيح بوجود النحل يحسن بنسبة بسيطة مردودية النبات.

دراسة تأثير ثلاث عوامل مناخية (الحرارة، الرطوبة النسبية و عامل الإضاءة) أوضح أن الحرارة و عامل الإضاءة هما أكثر عاملين يتحكمان في نشاط النحل.

نحل العسل، النحل البري، الخضروات، تلقيح، مردودية، عوامل مناخية.

APIDAE



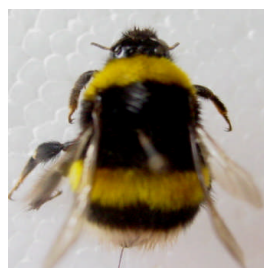
Apis mellifera ♀
(11-13mm)



Xylocopa violacea ♀
(17-24 mm)



Eucera numida ♀
(15-17 mm)



Bombus terrestris ♀
(18 mm)



Ceratina cucurbitina ♀
(9-11mm)



C.albosticata ♀
(7mm)



C.saundersi ♀
(7-9 mm)



C.mocsaryi ♀
(9 mm)

ANDRENIDAE



Andrena flavipes ♀ (10-15 mm)



A.lagopus ♀ (11-13 mm)



A.sardoa ♀ (7-9 mm)



Andrena nigroaenea ♀ (10-13 mm)

Andrena discor (16 mm)

MEGACHILIDAE



Megachile leachella ♀ (10-12 mm) *M.pilidens* ♂ (10-13 mm) *M.apicalis* ♀ (12-14 mm)



Heriades crenulatus ♀ (7-9 mm) *H.truncurum* ♀ (7-10 mm)

HALICTIDAE



Lasioglossum mediterraneum
(♀: 8-11 mm) (♂: 8 mm)

L.lativentre ♀
(8-9 mm)

L.pauxillum ♀
(7 mm)



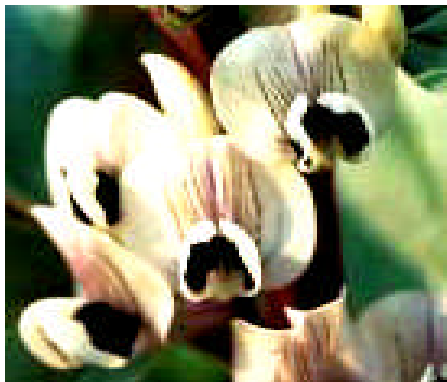
L.interruptum ♀
(9-11 mm)



Halictus fulvipes ♂
(13 mm)



L.discum egyptiellum ♀
(11-13 mm)



Fleurs de *Vicia faba* L.

(www.en.wikipedia.org/wiki/Vicia_faba)



Fleurs de *Pisum sativum* L.

(www.en.wikipedia.org/wiki/Pisum)



Fleurs de *Brassica rapa* L.

Fleurs de *Raphanus sativus* L.

(www.bayimages.net/flowers/brassica/)

(www.flickr.com/photos/themarmot/166945749/)

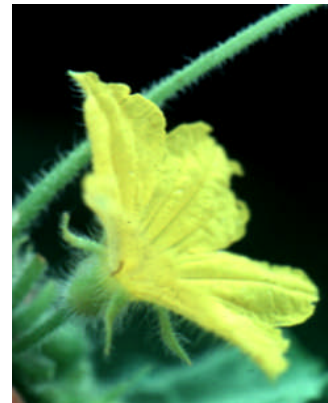


Fleurs de *Cucurbita pepo* L.

Fleur ♂

Fleur ♀

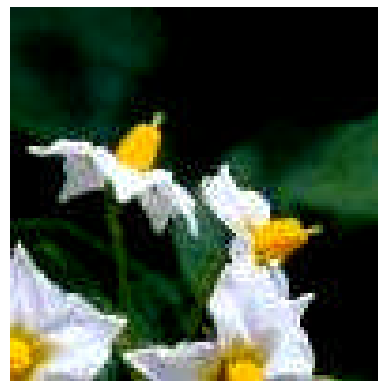
(www.en.wikipedia.org/wiki/Zucchini)



Fleur ♀ de *Cucumis sativus* L.

Fleur ♂ de *Cucumis sativus* L.

(www.csd1.tamu.edu/FLORA/ftc/dft/imatxcuc.)



Fleurs de *Lycopersicon esculentum* Mill.

Fleurs de *Solanum tuberosum* L.

(www.lalex.org/hac/fruit.htm)

(www.hort.net/gallery/view/sol/soltu/)



Fleurs de *Beta vulgaris* L.

(www.floralimages.co.uk/pbetavulgasma.htm.)

