Efficacité pollinisatrice de *Megachile rotundata* F. (Hym., Megachilidae) utilisée sur luzerne (*Medicago sativa* L.)

Jean-Noël Tasei, Alain Delaude, Serge Carré, François de La Condamine,
Jacques Aletru, Louis Nardi, Joaquim Le Menaheze

► To cite this version:

Jean-Noël Tasei, Alain Delaude, Serge Carré, François de La Condamine, Jacques Aletru, et al..
Efficacité pollinisatrice de *Megachile rotundata* F. (Hym., Megachilidae) utilisée sur luzerne (*Medicago
sativa* L.). *Agronomie*, 1984, 4 (7), pp.653-662. hal-00884683

HAL Id: hal-00884683

<https://hal.science/hal-00884683>

Submitted on 1 Jan 1984

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Efficacité pollinisatrice de *Megachile rotundata* F. (Hym., Megachilidae) utilisée sur luzerne (*Medicago sativa* L.).

Jean-Noël TASEI & Alain DELAUDE (*)

avec la collaboration technique de Serge CARRÉ, François de la CONDAMINE (*), Jacques ALETRU (*), Louis NARDI (*) & Joaquim Le MENAHEZE (*)

I.N.R.A., Laboratoire de Zoologie, F 86600 Lusignan

(*) F.N.A.M.S., 9, rue des Fleurs, F 49000 Angers

RÉSUMÉ

Sur une trentaine de luzernières à graines, dans les conditions actuelles de culture en France, les effets de l'élevage de mégachiles (*Megachile rotundata*) sont mesurés à l'aide de différents critères. L'implantation de nichoirs peuplés par 500 à 3 000 femelles permet des accroissements du taux de déclenchement (taux des fleurs pollinisées) jusqu'à 100 m du site de nidification. C'est dans un rayon de 20 m que la densité de mégachiles et les taux de déclenchement sont les plus élevés. La répartition des femelles de mégachiles autour des

nichoirs peut s'exprimer selon la formule $Y = a + \frac{b}{X}$ où Y est la densité de femelles sur les fleurs et

et X la distance de l'abri.

Lorsque le sous-sol des champs est homogène, le rendement grainier s'exprime en fonction du logarithme du nombre total d'insectes pollinisateurs. Un meilleur ajustement est donné par la régression multiple évaluant le rendement en fonction des variables : nombre d'abeilles sauvages, de mégachiles, note de floraison ou de verse.

Deux mille femelles de mégachiles élevées sur un hectare, font prévoir une augmentation de rendement comprise entre 200 et 400 kg/ha selon l'action de la faune pollinisatrice indigène et les potentialités des plantes.

Mots clés additionnels : Répartition spatiale, pollinisation, essai en conditions naturelles, rendement grainier.

SUMMARY

Efficiency of Megachile rotundata F. (Hym., Megachilidae) in pollinating lucerne (*Medicago sativa* L.).

The authors measured the effect of leaf-cutting bees (*Megachile rotundata*) on about thirty lucerne fields grown for seed in normal conditions. Several methods were utilized. Releasing 500 to 3 000 females in nesting shelters resulted in an increase of tripping rate (rate of flower pollination) within a 100 m radius. The highest bee densities and tripping rates were observed within a 20 m radius. The dispersal of females around

the nesting shelter fitted the equation : $Y = a + \frac{b}{X}$ (Y = density of females on flowers, X = distance from the shelter).

On homogeneous soils, seed yields were estimated with the equation : $y = a + b (\log X)$ (X = density of pollinators). A better fit was obtained by multiple regression of yield on the variables : number of wild bees, number of *M. rotundata* released, flowering score, lodging score.

When 2 000 female leafcutting bees are reared per hectare, one can expect a seed-yield increase ranging from 200 to 400 kg/ha according to the level of native bee density and the yield potential of the fields.

Additional key words : Spatial distribution, pollination, field trial, seed yield

I. INTRODUCTION

La luzerne est une plante allogame dans les conditions naturelles. La colonne sexuelle (pistil + étamines) est maintenue sous tension dans la carène. La libération de la colonne, soit spontanée, soit provo-

quée par la pression qu'exerce un insecte recherchant du pollen, s'appelle « déclenchement ». Ce phénomène assuré par certains insectes pollinisateurs qui apportent sur le stigmate du pollen produit par d'autres pieds de luzerne est indispensable à la mise à graine.

Le potentiel grainier théorique de la luzerne est compris entre 2 000 et 4 000 kg/ha. Or, en France la moyenne nationale des rendements grainiers sur 25 000 à 30 000 ha oscille entre 200 et 300 kg/ha avec des variations d'un champ à l'autre allant de 100 à 1 000 kg/ha (AUDY, 1979). Ces dernières peuvent être liées à l'intensité de la pollinisation (BOHART, 1957), aux conditions du semis : écartement des lignes, densité des plantes sur la ligne, âge de la culture, qualité du désherbage (AUDY, 1979), à l'alimentation en eau des plantes (PEYREMORETE, 1974 ; GOLDMAN & DOVRAT, 1980) ou bien aux pertes dues aux insectes ravageurs (BOURNOVILLE & BOURDONCLE, 1978). Enfin, soulignons que la plante est le siège d'une autorégulation de la grenaison, le taux de formation des gousses étant d'autant plus faible que l'intensité de la pollinisation est plus élevée (BOHART, 1957).

Parmi tous ces facteurs du rendement grainier, les insectes pollinisateurs sont depuis des années un sujet d'intérêt. L'abeille domestique ne donne pas satisfaction dans la plupart des conditions où la luzerne est cultivée pour la graine. Les ouvrières préfèrent récolter le pollen sur d'autres plantes (Crucifères, autres Papilionacées, etc...) et le taux de déclenchement moyen de 1 p. 100 des fleurs visitées est bien faible par rapport au nombre de fleurs à polliniser, 25 000-50 000/m², d'autant que l'on observe rarement plus d'une abeille domestique par m². En Europe, les meilleurs auxiliaires du producteur grainier sont des apoïdes sauvages, terricoles pour la plupart. En France, leurs populations naturelles dépassent rarement 1 000 individus/ha sur la luzerne en fleurs (TASEI, 1978). Bien que l'efficacité de ces insectes soit 50 à 100 fois supérieure à celle des abeilles domestiques, la densité des populations d'apoïdes habituellement présentes n'assure le plus souvent que des taux de pollinisation inférieurs à 20 p. 100 des fleurs épanouies.

Ces constatations nous ont conduits dès 1972 à entreprendre des recherches sur l'élevage d'une abeille solitaire, *Megachile rotundata* F., dont la domestication avait commencé vers les années 60 en Amérique du Nord. La multiplication de cette espèce est à présent possible dans la moitié Sud de la France (TASEI, 1975, 1977, 1982 ; TASEI & CARRÉ, 1982).

Contre toute attente, les recommandations d'utilisation des mégachiles en Amérique du Nord sont empiriques et très variables (KLOSTERMEYER, 1964 ; HOBBS, 1973 ; MADSEN, 1980 ; EVES, 1980). Quelques travaux témoignent d'efforts accomplis pour mesurer, de façon précise et dans les conditions de culture, l'effet des mégachiles sur la luzerne porte-graines (ROBERTSON, 1966, au Canada ; ARRETZ & ARACENA, 1975a et b, au Chili ; PTACEK, 1981, en Tchécoslovaquie ; DOTCHKOVA, 1982, en Bulgarie ; RICHARDS, 1983, au Canada). Ces auteurs ont évalué soit la variation du rendement grainier, soit celle du taux de déclenchement en fonction de la distance des plantes aux nichoirs à mégachiles.

Nos recherches ont pour objectif d'étudier, dans nos conditions de culture, les variations du taux de déclenchement et du rendement selon la distance des nichoirs à mégachiles et les relations entre la densité de mégachiles butineuses et le rendement, selon le niveau de population de la faune pollinisatrice autochtone.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

A. Biologie et élevage des mégachiles

Les mégachiles sont des abeilles non sociales, beaucoup plus petites que les abeilles domestiques. A l'état sauvage, elles nidifient de juillet à septembre. Les mâles, 2 fois plus nombreux que les femelles, apparaissent quelques jours avant elles. Après l'accouplement, la femelle recherche une cavité naturelle (trou dans le bois mort) dont elle tapisse les parois avec des morceaux de feuilles découpés sur diverses espèces de plantes. Elle confectionne alors une provision de pollen humecté de nectar, au prix de 4 à 5 h de butinage au cours duquel la femelle déclenche 3 à 4 000 fleurs de luzerne. Après la ponte d'un œuf sur la pâte pollinique, la mégachile ferme la cellule d'élevage avec des découpures circulaires de feuille de 5 à 6 mm de diamètre puis entreprend la construction d'une autre cellule à la suite de la précédente. Au cours de sa vie, qui peut durer 15 à 30 j, une femelle aménage ainsi 10 à 20 cellules contenant chacune 1 œuf.

L'élevage industriel s'effectue à partir de cellules contenant des larves du dernier stade, en diapause. Après une hibernation d'au moins 3 mois à 5-10 °C, on fait incuber les cellules à 30 °C. Au bout de 3 semaines, les premières abeilles émergent et on peut alors les apporter dans les champs de luzerne en début de floraison. Le dispositif qui permet la multiplication de cette espèce sur un site déterminé est constitué de nichoirs protégés par un abri en polyane transparent (de 2,40 × 0,80 × 1,50 m) orienté au Sud. Les nichoirs sont fabriqués en empilant des plaques cannelées en bois ou en polystyrène expansé moulé. Ils offrent ainsi plusieurs centaines de conduits tubulaires de 8 cm de long et 5 mm de diamètre dont l'extrémité postérieure est obstruée par une feuille de métal ou d'une autre matière opaque. A la fin du vol estival des mégachiles, on retire les nichoirs, on les démonte, on décolle les cellules et on les stocke dans un local d'hibernation.

B. Les champs expérimentaux et les différentes observations

De 1977 à 1980, nous avons évalué les taux de déclenchement des fleurs à différentes distances des nichoirs à mégachiles et mesuré le rendement grainier dans une zone proche du site de nidification et dans une zone témoin éloignée. En 1981, quelques établissements multiplicateurs de semences nous ont fourni leurs propres résultats.

De 1981 à 1982, les populations d'apoïdes autochtones et des mégachiles introduits ont été évaluées sur des parcelles de 30 m² dans chaque champ et les graines produites par ces parcelles ont été pesées.

1. Méthode d'évaluation du déclenchement

Durant les 4 années 1977 à 1980, nous avons introduit une population de mégachiles d'élevage en bordure de 15 luzernières de 4 à 7 ha situées dans les départements du Tarn, de la Drôme, du Gers et de l'Aude. Le nombre de femelles en activité dans chacun des 15 sites a varié de 240 à 2 580.

Les comptages de fleurs déclenchées s'opéraient 2 à 3 fois au cours de la floraison à 20, 50, 100, 150 m des nichoirs sur 4 emplacements par distance (fig. 1). A chaque site de comptage, on dénombrait les fleurs déclenchées sur 30 inflorescences de taille approximativement identique. Le taux de déclenchement était donc calculé, pour une distance et un jour donnés, sur 120 inflorescences, soit environ 3 000 fleurs. La signification des différences entre les taux moyens de déclenchement était estimée par l'analyse de variance de type Criss-Cross.

2. Récolte de graines selon 2 zones (essais de 1977 à 1981)

A maturité, la récolte de graines a été effectuée à la moissonneuse-batteuse et l'on a calculé le rendement à l'hectare de 2 zones dans chaque champ : l'une de 50 × 30 m, contiguë aux nichoirs, l'autre de 50 × 50 m à 100 m des nichoirs, dite zone témoin sans mégachiles (fig. 1).

3. Estimation de la densité moyenne d'insectes pollinisateurs dans des parcelles-échantillons

En 1981 et 1982, on a travaillé au total sur 6 champs d'au moins 4 ha sur lesquels avait été délimitée une trentaine de parcelles-échantillons de 10 × 3 m, disposées (fig. 2) à des distances variant de 10 à 180 m de l'abri à mégachiles toujours implanté en bordure de champ. Les populations de femelles en activité dans les abris ont varié de 166 à 1 080. Le champ dans lequel la population se limitait à 166 femelles (échec de l'élevage) a été placé hors expérimentation.

Les comptages d'insectes ont été effectués en marchant lentement autour de chacune des parcelles. Nous avons dénombré ainsi les abeilles effectuant des déclenchements mais également les abeilles domestiques, sur une bande périphérique de 1 m de large soit sur 22 m² par parcelle et par comptage. Ces comptages étaient renouvelés 3 fois par semaine. On a totalisé ainsi entre 7 et 23 comptages par champ selon le lieu. Les observateurs ne travaillaient que l'après-midi, en inversant d'une fois à l'autre, l'ordre des parcelles. Les insectes dénombrés ont été classés selon 4 catégories : abeilles domestiques, bourdons, abeilles solitaires et mégachiles introduites.

4. Récolte de graines sur les parcelles de 30 m² (essais 1981-1982)

La récolte a été effectuée parcelle par parcelle avec une petite moissonneuse-batteuse HÈGE. Les lignes de bordure n'ont pas été récoltées. Les poids nets des lots de graines ont été déterminés après micronettoyage en laboratoire.

5. Autres observations

Au cours des 6 années d'essais, nous avons compté chaque semaine les nids construits par les mégachiles ainsi que les inflorescences/m² ayant au moins une fleur épanouie, afin de vérifier la bonne concordance du vol des mégachiles et de la floraison.

Figure 1

Dispositif pour évaluer les taux de déclenchement des fleurs et les rendements grainiers de luzerne en fonction de la distance de l'abri à mégachiles.

■ = emplacement de comptage des fleurs,
 ※ = zone de récolte des graines.

Design for estimating flower tripping rates and lucerne seed yields according to the distance from the Megachile shelter.

■ = place of flower counts,
 ※ = seed harvesting areas.

Figure 2

Dispositif pour évaluer les rendements grainiers en fonction de la densité des mégachiles.

※ = parcelle échantillon.

Design for estimating seed yields according to the density of *M. rotundata*.

※ = sample plot.

Sur les essais parcellaires, nous avons attribué une note de densité de floraison (0 à 5) à chaque parcelle, afin de détecter les hétérogénéités de végétation.

En fin de nidification, les cellules d'élevage des nichoirs ont été extraites et comptées. Leur nombre est sensiblement proportionnel à celui des femelles en activité, une femelle construisant en moyenne 15 cellules au cours de sa vie.

III. RÉSULTATS

A. Taux de déclenchement des fleurs en fonction de la distance de l'abri à mégachiles

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau 1 : dans tous les cas, le taux de déclenchement décroît en s'éloignant des nichoirs. Même à 100 m de ces derniers, dans 10 cas sur 15, les taux sont plus élevés qu'à 150 m. Cependant, en raison de notre échantillonnage et de la variabilité des données, les différences entre taux de déclenchement observés sur les fleurs proches de l'abri et les fleurs éloignées sont significatives seulement dans 9 cas sur 15 au seuil de probabilité 5 p. 100. La signification des différences entre taux à 100 m et taux à 150 m n'apparaît jamais.

En estimant que les inflorescences sont constituées en moyenne de 25 fleurs, on peut calculer le taux de déclenchement en valeur absolue. Le tableau 1 montre que ces taux varient de 6 à 47 p. 100 dans la « zone témoin » à 150 m. La totalisation des résultats des 15 champs (tabl. 2) indique le gradient moyen du taux de déclenchement qui passe de 23,7 à 31,7 p. 100 quand on considère respectivement les distances 150 m de l'abri et 20 m. Les mégachiles introduites ont donc permis, à 20 m de leurs nichoirs, de déclencher 2 fleurs de plus par inflorescence que dans la zone témoin à 150 m.

B. Calcul de l'accroissement de rendement grainier théorique à partir de l'accroissement du taux de déclenchement

Les résultats précédents ont été obtenus alors que la floraison moyenne des champs était de 307 inflorescences/m² à l'époque d'activité maximale des femelles de mégachiles. Par ailleurs, on estime qu'au bout de 4 j, une fleur déclenchée peut donner une gousse portant 4 graines et que l'activité des femelles dure environ 20 j.

Nous avons là tous les éléments du calcul théorique du gain de rendement grainier moyen à la distance de 20 m des abris :

— l'accroissement moyen du nombre de fleurs déclenchées par m² à 20 m serait :

$$2 \times 307 \times \frac{20}{4} \times 4 = 12280$$

— étant donné que le poids de 1 000 graines est de 2 g, l'accroissement théorique de rendement serait de 246 kg/ha, mais plutôt de 123 kg/ha en admettant qu'une fleur sur deux donne une gousse.

C. Mesure de l'accroissement de rendement grainier par la récolte de deux zones

Nous avons collecté les rendements de 25 champs, sur 5 ans, dans la zone de 1 500 m² contiguë aux nichoirs à mégachiles (zone de 0 à 30 m de distance) et

TABLEAU 1

Déclenchement des fleurs en fonction de la distance de l'abri à mégachiles dans 15 luzernières à graines.
Distance from the Megachile shelter as a tripping factor in 15 lucerne fields.

Numéro d'ordre	Département	Année	Taux de déclenchement en pourcentage du témoin à 150 m				Valeur du témoin		Signification (analyse de variance Criss - Cross)
			20 m (1)	50 m (2)	100 m (3)	150 m (4)	Nb de fleurs déclenchées/ 120 inflorescences	Taux de déclenchement en %	
1	Tarn	1977	125,3		109,7	100	746	(25)	N.S.
2	Drôme	1977	162,0		116,0	100	1 422	(47)	**
3	Gers	1977	160,8		105,7	100	330	(11)	*
4	Aude	1977	208,2		110,2	100	182	(6)	*
5	Tarn	1978		144,2	120,1	100	708	(28)	*
6	Drôme	1978		119,4	104,1	100	1 094	(44)	**
7	Gers	1978		118,3	109,7	100	822	(33)	
8	Tarn	1979	115,0	105,0	93,0	100	734	(44)	N.S. (8 %, 1,2,3, ≠ 4)
9	Drôme	1979	169,0	144,0	127,0	100	667	(42)	*
10	Drôme	1979	150,0	134,0	128,0	100	555	(35)	N.S.
11	Gers	1979	163,0	127,0	99,8	100	730	(39)	**
12	Gers	1979	114,0	113,0	99,0	100	1 070	(51)	N.S.
13	Gers	1980	171	128	97	100	596	(33)	*
14	Tarn	1980	107	89	90	100	238	(7)	N.S.
15	Tarn	1980	143	139	108	100	290	(7)	*

* = significatif. P = 0,05.

** = hautement significatif. P = 0,01.

TABLEAU 2

Calcul de la moyenne des taux de déclenchement des fleurs selon l'éloignement de l'abri à mégachiles pour 15 luzernières à graines.

Mean tripping rate according to the distance from the Megachile shelter in 15 lucerne seed fields.

Distance	20 m	50 m	100 m	150 m
Nombre d'inflorescences observées	3 360	3 000	4 440	4 440
Nombre total de fleurs déclenchées	26 641	22 414	28 647	26 353
Nombre de fleurs déclenchées par inflor.	7,93	7,47	6,45	5,93
Taux de déclenchement en % (1)	31,7	29,9	25,8	23,7

(1) On estime que les inflorescences possèdent 25 fleurs en moyenne.

dans la zone témoin de 2 500 m² éloignée des nichoirs (zone de 100 à 150 m de distance). Les rendements en zone témoin sont très variables (15 à 1 138 kg/ha) et les accroissements de rendement ne sont perceptibles que dans 18 champs sur 25 (tabl. 3). Dans 7 champs, le rendement de la zone à mégachiles est inférieur ou égal à celui de la zone témoin. Le cas du champ n° 9, présentant une différence de 315 kg/ha, est aberrant en raison d'un « effet terrain » excessivement marqué (souffrance des plantes dans la zone à mégachiles). La droite de régression qui apprécie le rendement « Y » dans la zone (0-30 m) en fonction du rendement « X » dans la zone témoin (100-150 m) est représentée dans la figure 3. Les 2 types de données sont naturellement très dépendants l'un de l'autre ($r = 0,96$).

Nous avons calculé les intervalles de confiance de $\bar{Y}$ pour 3 valeurs de X. D'après la formule de la droite $Y = 0,94 X + 96,3$ les augmentations moyennes de rendement prévisibles dans la zone 0-30 m sont respectivement en kg/ha, 91 ± 49 , 70 ± 31 , 42 ± 60 pour des niveaux de rendements en zone témoin de 100, 440 et 900 kg/ha (tabl. 4).

Il faut souligner la tendance à une moindre augmentation des rendements sous l'effet des mégachiles au fur et à mesure que le niveau de rendement augmente lui-même. Ce phénomène est à rapprocher des constatations de BOHART (1957) et de HOLM (1972) respectivement sur luzerne et trèfle violet. Par ailleurs l'accroissement théorique du rendement calculé à 20 m des nichoirs (123 kg/ha) est du même ordre que celui qui est mesuré dans la zone 0-30 m pour un niveau de rendement de 100 kg/ha.

D. Echantillonnage parcellaire et répartition des femelles de mégachiles et des autres aploïdes pollinisateurs dans le champ

La sommation des résultats des comptages de femelles de mégachiles sur chaque parcelle montre que la relation existant entre la densité de ces insectes et la distance du lieu de comptage à l'abri d'élevage est sensiblement la même quel que soit le champ considéré. Les densités maximales sont observées dans les

TABLEAU 3

Effet de l'activité de populations de mégachiles libérées dans les cultures sur le rendement grainier de 25 luzernières.

Effect of *M. rotundata* reared in 25 lucerne fields on seed yields.

Numéro d'ordre	Département	Année	Nombre de femelles en activité dans l'abri (1)	Rendement dans la zone témoin 100-150 m	Augmentation du rendement dans la zone à mégachiles 0-30 m	
					(en kg/ha)	
1	Tarn	1977	780	181	—	30
2	Drôme	1977	700	113	+ 139	
3	Gers	1977	990	102	+ 137	
4	Aude	1977	930	161	+ 148	
5	Tarn	1978	1 630	15	+ 116	
6	Drôme	1978	1 610	884	+ 147	
7	Gers	1978	2 580	585	—	7
8	Tarn	1979	1 314	719	+ 98	
9	Drôme	1979	1 100	1 138	—	315
10	Drôme	1979	1 460	978	+ 65	
11	Gers	1979	840	533	+ 119	
12	Gers	1979	900	645	+ 34	
13	Gers	1980	240	660	0	
14	Tarn	1980	560	305	+ 63	
15	Tarn	1980	840	430	—	97
16	Vendée (2)	1980	1 770	73	+ 149	
17	Vendée	1980	2 130	160	+ 129	
18	Vienne	1980	1 680	620	+ 67	
19	Vienne	1980	1 680	275	+ 112	
20	Char. Mar.	1981	2 800	600	+ 190	
21	Char. Mar.	1981	2 426	580	—	5
22	Char. Mar.	1981	3 360	562	+ 163	
23	Char. Mar.	1981	2 890	198	+ 86	
24	M. et Loire	1981	446	877	+ 16	
25	Vienne	1981	1 126	315	—	48

N.B. (1) Le nombre de femelles en activité est estimé en fonction du nombre de cellules construites (1 femelle = 15 cellules).

(2) Les données 16 à 25 ont été aimablement fournies par des établissements privés.

Figure 3

Liaison dans 25 champs, entre le rendement grainier de la zone à mégachiles (0-30 m de l'abri) = y et celui de la zone témoin (100-150 m de l'abri) = x.

I intervalle de confiance ($P = 0,05$),
--- bissectrice.

Relationships in 25 fields, between seed yield of the Megachile area (0-30 m from the shelter) = y and that of the control area (100-150 m from the shelter) = x.

I confidence interval ($P = 0.05$),
--- bisectrix.

TABLEAU 4

Rendement grainier en fonction de la distance à l'abri de mégachiles sur 24 champs (1977-1981).

Seed yield according to the distance from the Megachile shelter in 24 fields (1977-1981).

Rendement dans la zone témoin 100-150 m en kg/ha	Rendement dans la zone à mégachiles 0-30 m en kg/ha	Augmentation de rendement due aux mégachiles
100	191 ± 49	91 ± 49
440	510 ± 31	70 ± 31
900	942 ± 60	42 ± 60

parcelles éloignées de 10 m ; à 20 m de l'abri, la densité est moitié moindre. Au-delà de 20 m, on note jusqu'à 100 m une décroissance de densité, allant en s'atténuant ; au-delà, les mégachiles sont extrêmement rares (fig. 4).

La densité des mégachiles est fonction de l'inverse de la distance, l'ajustement mathématique étant du

type $Y = a + \frac{b}{X}$. Les répartitions sont en accord

avec ce modèle puisque les coefficients de corrélation varient seulement de 0,85 à 0,97 (tabl. 5). Le calcul des coefficients de corrélation (r_2) et (r_3) permet de vérifier que la répartition des apoïdes sauvages autochtones et des abeilles domestiques sur des cultures n'est pas affecté par l'introduction des mégachiles (tabl. 5).

E. Relation entre la densité des mégachiles, celle des autres apoïdes et le rendement grainier parcellaire par le calcul de régression

1. Observations générales

Dans nos 6 champs expérimentaux, la densité des abeilles domestiques n'atteint pas 1 ouvrière/m². Les densités moyennes parcellaires des bourdons et abeilles

Figure 4

Répartition des mégachiles dans un champ (Gers 1981).

y = densité des femelles,

x = distance de l'abri,

n = nombre de comptages.

Dispersion figure of *M. rotundata* in a field (Gers 1981).

y = density of females,

x = distance from the shelter,

n = number of counts.

TABLEAU 5

Relation entre la densité des mégachiles (r_1), des autres abeilles sauvages (r_2), des abeilles domestiques (r_3), sur les fleurs et l'inverse de la distance des nichoirs.

Relationships between the density of *M. rotundata* (r_1), other wild bees (r_2), honey bees (r_3), on flowers and 1/distance from the shelters.

Lieu	Année	r_1	r_2	r_3
Aude	1981	+ 0,85** (1)	- 0,30	- 0,39
Gers	1981	+ 0,97** (2)	+ 0,06	- 0,40
Aude	1982	+ 0,92** (1)	- 0,02	- 0,25
Tarn	1982	+ 0,88** (2)	- 0,36	- 0,16
Gers	1982	+ 0,89** (2)	+ 0,35	- 0,16

(1) Pour $n = 28$ parcelles.

(2) Pour $n = 30$ parcelles.

** = T.H. significatif.

les solitaires indigènes oscillent entre 250 et 1 300 individus femelles/ha.

Leur vol le plus intense a lieu au moment de la pleine floraison, sauf dans l'Aude, en 1982, où seule la 2^e moitié de la floraison a bénéficié de la visite de ces insectes.

2. Commentaires sur les calculs effectués

La faible activité de déclenchement des abeilles domestiques, environ 100 fois inférieure à celle des abeilles solitaires ou des mégachiles (TASEI, 1978), leur population toujours réduite ($< 0,8/m^2$) ainsi que leur répartition homogène sur les champs d'expérience nous ont incités à ne pas les prendre en compte dans les calculs qui suivent. D'autre part, comme les observateurs n'ont pas identifié les espèces d'abeilles solitaires, nous avons considéré que tous les apoïdes déclencheurs des fleurs avaient la même valeur pollinisateurice.

Nous avons calculé les coefficients de corrélation entre les rendements grainiers parcellaires et les densités d'insectes pollinisateurs (mégachiles + abeilles solitaires et bourdons indigènes). L'ajustement mathématique le plus proche de la réalité biologique est du type $Y = a + b \log X$, où Y est le rendement et X la densité d'insectes. Les coefficients obtenus (tabl. 6) sont significatifs dans 3 des 6 champs ($P = 0,01$). Pour les 3 autres champs, il faut noter que, dans l'un d'eux (Tarn, 1981), la population de mégachiles trop faible n'a pu induire un gradient de pollinisation suffisant, tandis que dans les 2 autres (Aude, 1981 et Gers, 1982) la partie de champ où était installé l'abri à mégachiles (pollinisation additionnelle) s'est trouvée défavorisée par un « effet terrain » entraînant la couleure des fleurs pollinisées. Ainsi, dans le Gers, dans un même champ en pente, la partie haute à pollinisation intense a été favorisée durant l'été humide de 1981 (verse faible) et défavorisée durant l'été sec de 1982 (mauvaise alimentation en eau).

Les droites de régression des figures 5, 6 et 7 concernent les 3 champs à population de mégachiles satisfaisante et ne présentant pas « d'effets terrain » considérable. Dans les 3 nuages de points, aucune donnée aberrante n'a été détectée par le test du « t de GRUBBS ».

TABLEAU 6

Etat général des 6 champs où l'on étudie le rendement grainier en fonction de la densité d'abeilles (1981-1982).

Various data concerning 6 fields where seed yields were studied in relation to bee density (1981-1982).

Département	Année	Nbre max. d'inflorescences/m ²	Faune d'apoïdes indigènes (♀/ha)			Nbre de ♀ ⁽¹⁾ de mégachiles dans l'abri	Rendement parcellaire moyen (kg/ha)	Coefficient de corrélation Rdt/log densité pollinisateurs	Effet « terrain » en zone de pollinisation additionnelle
			ab. dom.	bourdons	ab. sol.				
Tarn	1981	700	7 692	37	109	166	526 ± 46	- 0,05	-----
Gers		750	5 158	32	367	500	589 ± 98	+ 0,80*	positif
Aude		950	2 118	42	376	513	381 ± 72	- 0,17	-----
Tarn	1982	580	1 868	131	1 177	973	1 132 ± 47	+ 0,65*	-----
Gers (2)		800	1 279	32	216	853	589 ± 60	- 0,20	négatif
Aude		480	7 709	46	445	1 080	1 000 ± 70	+ 0,60*	-----

(1) Estimation en fonction du nombre de cellules construites, une femelle bâtissant 15 cellules dans sa vie.

(2) Même champ qu'en 1981.

* Significatif avec P = 0,001.

Figure 5

Relation entre la densité d'abeilles sauvages (indigènes + mégachiles) et le rendement grainier dans le champ : Gers 1981.

I. Intervalle de confiance (P = 0,05).

Relationships between the density of native and leaf cutting bees and seed yield in the field : Gers 1981.

I. Confidence interval (P = 0.05).

Afin d'évaluer les potentialités d'augmentation de rendement en fonction d'un apport connu de mégachiles dans nos conditions expérimentales, nous calculons successivement les données suivantes :

1. La densité parcellaire moyenne $\bar{X}B$ des apoïdes indigènes (bourdons et abeilles solitaires).

2. Le rendement grainier parcellaire moyen $\bar{Y}B$ selon l'équation de la droite de régression pour la valeur $\bar{X}B$ de la densité d'abeilles sauvages.

3. Le rendement grainier $\bar{Y}M$ selon l'équation de la droite de régression pour la valeur X_M de la densité d'insectes ; X_M étant égal à $\bar{X}B$ + densité maximale de mégachiles observée.

4. L'intervalle de confiance de $\bar{Y}$ pour les valeurs $\bar{X}B$ et X_M de la variable explicative. Ceci nous permet alors d'estimer les valeurs minima et maxima de l'augmentation prévisible du rendement lorsque le surcroît de pollinisation est assuré par les densités maxima de mégachiles.

Figure 6

Relation entre la densité d'abeilles sauvages (indigènes + mégachiles) et le rendement grainier dans le champ : Aude 1982.

I. Intervalle de confiance (P = 0,05).

Relationships between the density of native and leaf cutting bees and seed yield in the field : Aude 1982.

I. Confidence interval (P = 0.05).

Figure 7

Relation entre la densité d'abeilles sauvages (indigènes + mégachiles) et le rendement grainier dans le champ : Tarn 1982.

I. Intervalle de confiance (P = 0,05).

Relationships between the density of native and leaf cutting bees and seed yield in the field : Tarn 1982.

I. Confidence interval (P = 0.05).

TABLEAU 7

Mesure de l'augmentation du rendement grainier due à des peuplements connus de mégachiles (1981-1982).
Seed yield increase due to various densities of *M. rotundata* foragers (1981-1982).

Département	Année	Zone sans mégachiles		Zone à densité maximale de mégachiles		Prévision de l'augmentation moyenne du rendement due aux mégachiles $\bar{Y}M - \bar{Y}B$ (kg/ha)
		Densité moyenne parcellaire d'apoïdes/ha = $\bar{X}B$	Rendement moyen parcellaire de base (kg/ha) = $\bar{Y}B$	Densité maximale de mégachiles/ha + $\bar{X}B$ = $\bar{X}M$	Rendement moyen parcellaire (kg/ha) = $\bar{Y}M$	
Gers	1981	399 ± 34	427 ± 76	1 446	1 078 ± 166	410 - 846
Aude	1982	491 ± 86	923 ± 81	1 595	1 189 ± 121	63 - 469
Tarn	1982	1 307 ± 84	1 011 ± 47	2 095	1 300 ± 87	155 - 423

(1) D'après les comptages parcellaires.

(2) $\bar{Y}B$ et $\bar{Y}M$ sont déterminés à partir des valeurs de $\bar{X}B$ et $\bar{X}M$ selon l'équation de la droite de régression.

Il est alors visible (tabl. 7) que :

1. Les marges d'incertitude des prévisions varient de 268 (Tarn 82) à 436 kg/ha (Gers 81).

2. L'augmentation prévisible minimale est la plus forte pour le Gers 81, soit 410 kg/ha et la plus faible dans l'Aude, soit 63 kg/ha, ces 2 résultats étant obtenus avec des quantités d'insectes assez sensiblement égales.

L'incertitude de nos prévisions vient du fait que nous avons raisonné avec un seul facteur explicatif : la densité globale d'insectes pollinisateurs. Aussi, pour tenter une approche plus fine, nous analysons toutes les données brutes relevées sur les parcelles par la méthode de régression ascendante progressive où le maximum de facteurs explicatifs mesurés est pris en compte.

Nous obtenons pour chacun des 3 champs un modèle mathématique de la forme

$$Y = a X_1 + b X_2 + c X_3 \dots + e$$

où Y est le rendement grainier, X_1 la variable qui explique la plus grande part du rendement, tandis que X_2 , X_3 etc... sont les variables explicatives de moins en moins influentes. Dans les 3 cas de modèle (tabl. 8), les variables de niveau 3 ont été éliminées en raison de leur faible pouvoir réducteur des résidus. Les variables explicatives fournies à l'ordinateur, au nombre de 21 à 29 selon le cas, concernent les densités d'insectes, l'éloignement de nichoirs à mégachiles, la floraison et la verse.

Nous voyons (tabl. 8) que les augmentations de rendement sont expliquées :

1. Dans le Gers en 1981, surtout par les densités de mégachiles ayant butiné du 6 juillet au 3 août et secondairement par les abeilles sauvages indigènes ayant butiné du 6 juillet au 26 août.

2. Dans le Tarn en 1982, surtout par les abeilles sauvages ayant butiné du 16 au 19 juillet et secondairement par la distance, c'est-à-dire par les mégachiles (r « mégachiles/distance » = - 0,79).

3. Dans l'Aude en 1982, surtout par la distance, c'est-à-dire par les mégachiles (r « mégachiles/distance » = - 0,64) et secondairement par les abeilles sauvages indigènes présentes le 25 juin.

TABLEAU 8

Modèles mathématiques expliquant les rendements en fonction de 2 variables dans 3 champs.

Mathematical models where seed yield depends on 2 variables in 3 fields.

Gers 1981	Rendement = 59,0 M. (6/7 - 3/8) + 39,3 A.S.T. + 55,0 $r = 0,82^{**}$
Tarn 1982	Rendement = 23,6 A.S. (16/7 - 19/7) - 2,2 D. + 1 140,5 $r = 0,57^{**}$
Aude 1982	Rendement = - 3,4 D. + 33,3 A.S. (25/6) + 1 204,8 $r = 0,89^{**}$

M. (dates) = Nombre de mégachiles comptées pendant la période indiquée.

A.S.T. = Nombre d'abeilles sauvages indigènes totales.

A.S. (dates) = Nombre d'abeilles sauvages indigènes pendant période indiquée.

D. = Distance des abris à mégachiles.

r = Coefficient de corrélation multiple.

Pour $P = 0,001$

r table = 0,57 à 27 ddl (Gers, Tarn).

r table = 0,60 à 25 ddl (Aude).

Pour chaque champ, à partir des données de base, nous calculons une série de 8 rendements selon les modèles mathématiques du tableau 8. Quatre des rendements correspondent à une zone où les mégachiles sont absentes, les 4 autres à une zone où elles sont les plus nombreuses. Nous faisons ensuite la différence des moyennes de ces 2 séries, puis nous retranchons la part de rendement expliquée par les abeilles sauvages. Les augmentations moyennes de rendement prévisibles dues aux mégachiles, sont ainsi 448, 206, 377 kg/ha respectivement pour le Gers 1981, le Tarn 1982, l'Aude 1982. Ces valeurs confirment celles du tableau 7.

IV. DISCUSSION

A. Le taux de déclenchement des fleurs

C'est le premier moyen de mesurer l'action des mégachiles sur la culture. D'après DELAUDE (1973), il y a une bonne corrélation entre le taux de déclenche-

ment et le nombre d'insectes par inflorescence. Nos évaluations nous permettent de dire que la totalité des fleurs n'est jamais déclenchée aux abords des abris, les femelles se dispersant dans un rayon de 100 m et même au-delà, du moins dans nos conditions expérimentales. L'accroissement moyen du taux de déclenchement à 20 m des nichoirs, par rapport à la zone sans mégachiles, est peu élevé, 8 p. 100, soit à peu près 2 fleurs par inflorescence. Des augmentations plus spectaculaires ont été obtenues par ARRETZ & ARACENA (1975a) qui ont utilisé des populations 10 à 30 fois plus fortes. Malgré cela, les taux les plus élevés qu'ils observent dans la zone 10-30 m de l'abri ne dépassent pas 80 p. 100 des fleurs.

B. Répartition des mégachiles sur les cultures

La technique d'évaluation utilisée pendant 2 ans pour compter les abeilles de tous genres sur les parcelles est considérée comme la plus précise (LECOMTE, 1962). Elle a été utilisée comparativement par DYLEWSKA (1973) et a servi à divers auteurs. Malgré des risques de sous-estimation, cette méthode donne une meilleure approche de la réalité que les captures au filet réalisées par PACKER (1971). Un auteur tchèque PTACEK (1981) est le seul à rendre compte d'évaluations de densités de mégachiles par la même méthode que la nôtre. Mais son modèle mathématique, estimant la densité en fonction de la distance $y = a(e^{-bx})$, est différent. Cet auteur met en évidence que cet ajustement convient mieux à la répartition des mâles que des femelles. En comparant ses résultats aux nôtres, nous constatons que si la densité des femelles diminue de moitié entre les distances 10 et 20 m de l'abri, celle des mâles diminue de moitié seulement à 40 m. Dans tous les cas, qu'il s'agisse de mâles ou de femelles, le nombre de mégachiles est infime au-delà de 100 m.

Notre modèle mathématique, de la forme $y = a + \frac{b}{X}$

convient parfaitement à l'étude de la répartition des femelles puisque les coefficients de corrélation des données transformées sont tous supérieurs à 0,85 (S^{**} à $P = 0,001$). Par ailleurs, le dénombrement des autres abeilles, sauvages et domestiques, prouve que leur répartition est assez homogène.

C. Relations entre densité d'insectes pollinisateurs et rendements

L'étude explicative des rendements par l'observation continue de 30 parcelles par champ permet une meilleure approche : en effet, notre technique de récolte réduit les pertes au minimum et nous prenons en compte non seulement les agents déclencheurs en les dénombant, mais aussi l'intensité de la floraison et les développements excessifs de la plante (verse). D'après TYSDAL (1946), les plantes versées produisent 2 à 5 fois moins de graines que les autres. D'une parcelle à l'autre, nous ne tenons pas compte des variations de l'alimentation en eau dues aux hétérogénéités de terrain non détectées qui produisent des effets considérables sur la physiologie florale et la coulture après fécondation. Ainsi, PEYREMORTE (1974) a montré que des déficits hydriques de 40, 50, 60 p. 100 en cours de

floraison entraînent respectivement des pertes de rendement grainier de 200, 410, 690 kg/ha, alors qu'un déficit de 20 p. 100 n'a aucun effet. GOPLEN *et al.* (1982) soulignent que les luzernières canadiennes produisent 150 à 300 kg/ha sans irrigation contre 300 à 900 kg/ha en champ irrigué. Cette grande sensibilité de la luzerne aux déficits hydriques estivaux et les variations de structure de sol sur un même champ peuvent expliquer l'absence de corrélation entre rendements et densités d'insectes pollinisateurs dans les cas où les abris à mégachiles sont placés à notre insu dans des zones à forte coulture. De même, les fortes variations de rendement au sein d'un groupe de parcelles pollinisées avec la même intensité sont l'indice de l'action probable du facteur eau.

Il ne faut donc pas s'étonner des difficultés rencontrées par les auteurs pour expliquer les rendements grainiers par la seule visite des insectes pollinisateurs, même si ces derniers jouent un rôle prépondérant (PEDERSEN, 1953 ; LEVIN *et al.*, 1960 ; KROPACOVA & HASLBACHOVA, 1966 ; TASEI, 1971 et 1978).

Malgré cette cause d'incertitude, nos ajustements mathématiques comportant une ou plusieurs variables permettent de prévoir les accroissements de rendement selon les densités de mégachiles. Dans nos conditions expérimentales, des populations de 800 à 1 100 femelles/ha comptées sur les fleurs, soit 1 600 à 2 200 ayant fondé un nid, induisent des accroissements de 206, 377, 448 kg/ha respectivement dans 3 champs. Ces chiffres sont à comparer avec les estimations provenant d'expérimentations étrangères. ROBERTSON (1966) trouve, à proximité de ses abris, une augmentation de rendement de 200 kg/ha, ARRETZ & ARACENA (1975b) de 140 à 403 kg/ha, PTACEK (1981) de 145 à 227 kg/ha, DOTCHKOVA (1982) de 50 à 250 kg/ha. Par ailleurs, DONOVAN (1975) cite un calcul théorique de KLOSTERMEYER & GERBER d'après lequel chaque femelle peut induire la formation de 500 g de graines, soit en excluant toute cause de perte, 500 kg de graines pour un élevage de 1 000 femelles. Néanmoins, dans la pratique, KLOSTERMEYER (1964) recommande 4 fois plus de femelles pour atteindre ce niveau de rendement, soit 16 000 cocons/ha.

V. CONCLUSIONS

Des modèles mathématiques peuvent expliquer, champ par champ, les rendements grainiers de la luzerne en fonction seulement des densités de mégachiles ou d'abeilles sauvages. Cependant, la sensibilité de cette plante aux déficits hydriques et aux hétérogénéités des sols perturbe les expérimentations dans les champs, car ces variables ne sont pas mesurées. L'effet des mégachiles est manifeste lorsque la culture présente en tous lieux la même tendance à la coulture physiologique. L'effet de la pollinisation additionnelle est d'autant plus marqué que le taux de déclenchement des fleurs est plus bas. Même des champs à rendement élevé (900-1 000 kg/ha) ont vu leur production augmentée par un apport de mégachiles.

L'effet des mégachiles sur le déclenchement, facteur aisément mesurable, permet de confirmer que des populations de 1 000 à 3 000 femelles se dispersent jusqu'à des distances de 100 m de leurs nichoirs. Si l'on utilise dans un même champ plusieurs abris peu-

plés de 15 à 30 000 abeilles solitaires, il convient de ne pas les espacer de plus de 150 m les uns des autres afin que la pollinisation de la culture soit homogène.

Si rien ne contrarie la physiologie florale et l'alimentation des graines après fécondation, des populations d'environ 2 000 femelles/ha sont susceptibles d'accroître le rendement grainier de 200 à 400 kg/ha. Un tel peuplement sera assuré par l'introduction sous abri d'environ 15 000 cellules d'abeilles incubées.

Ni le producteur grainier, ni l'éleveur de mégachiles n'ont intérêt à atteindre le déclenchement total des fleurs, car d'une part les derniers pourcentages de fleurs déclenchées sont systématiquement voués à la coulure et d'autre part les mégachiles ne peuvent nidifier correctement sur des surfaces cultivées où les fleurs à butiner se raréfient.

L'intérêt pratique des mégachiles est d'autant plus évident que les besoins de la culture porte-graines, autres que la pollinisation, sont mieux assurés : pro-

tection sanitaire, désherbage, densité de semis, climat sec au printemps avant floraison et alimentation hydrique satisfaisante en cours de floraison.

Le bilan financier de la pollinisation par mégachiles sera d'autant meilleur que l'on réduira plus le coût de leur élevage grâce à l'utilisation de souches d'insectes plus performantes.

Reçu le 24 janvier 1983.

Accepté le 21 mars 1984.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier J. HACQUET (FNAMS, Lusignan) pour avoir accepté de discuter sur les résultats, J. LERIN (I.N.R.A., Lusignan) pour ses conseils statistiques, Mme BEAUX (ITCF, Boigneville) pour son aide précieuse lors du traitement de nos données.

Nous remercions également les Etablissements grainiers JOUFFRAY-DRILAUD, LEDUC & LUBOT & THOMAS pour la communication de certains résultats expérimentaux.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Audy J. M.**, 1979. Influence de quelques techniques de production sur le rendement. In : Journées d'Information sur la production de semences de luzerne. *Bull. FNAMS Suppl.*, **66**, 25-32.
- Arretz P., Aracena D.**, 1975a. Efecto de la densidad poblacional de *Megachile rotundata* F. en la polinización de alfalfa. *Inv. Agric. Chile*, **1**, 39-47.
- Arretz P., Aracena D.**, 1975b. Utilización de *Megachile rotundata* F. en la polinización de la alfalfa. *Bol. Tech. Agric. Univ. Chile*, **40**, 15-37.
- Bohart G. E.**, 1957. Pollination of alfalfa and red clover. *Annu. Rev. Entomol.*, **2**, 355-380.
- Bournoville R., Bourdoncle B.**, 1978. Les populations d'insectes ravageurs de la luzerne porte-graines dans le Tarn. Publ. I.N.R.A., 33140 Pont de la Maye, 30 p.
- Delaude A.**, 1973. Influence de quelques facteurs externes sur la coulure des fleurs et la production de graines de luzerne. *Zesz. Probl. Post. Nauk*, **131**, 33-42.
- Donovan B. J.**, 1975. Introduction of new bee species for pollinating lucerne. *Proc. N. Z. Grassl. Assoc.*, **36**, 123-128.
- Dotchkova B.**, 1982. Alfalfa leaf-cutting bee *Megachile rotundata* F. (= *pacifica* Pz) (Hymenoptera, Megachilidae). II. Building and pollination activity. *Plant Sci.*, **19**, 112-118.
- Dylewska M.**, 1973. Etudes sur les méthodes de la détermination quantitative d'apoidea sur les cultures porte-graines de la luzerne. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, **131**, 153-158.
- Eves J. D.**, 1980. Productivity of leaf cutting bees in alfalfa seed fields in Washington. *11th Ann. Interstate Alfalfa Seed Growers School, Idaho*, 18-19.
- Goldman A., Dovrat A.**, 1980. Irrigation regime and honey bee activity as related to seed yield in alfalfa. *Agron. J.*, **72**, 961-965.
- Goplen B. P., Baenziger H., Bailey L. D., Gross A. T. H., Hanna M. R., Richards K. W., Michaud R., Waddington J.**, 1982. Culture et régie de la luzerne au Canada. *Agric. Can. Publ.* 1705.
- Hobbs G. A.**, 1973. Alfalfa leafcutter bees for pollinating alfalfa in western Canada. *Publ. 1495, Can. Dep. Agric.*, 30 p.
- Holm S. N.**, 1972. Seed yields in red clover in relation to the number of pollinating bees as influenced by a growth regulator. *Kgl. Vet. Landbohojsk. Arsskr.*, 127-141.
- Klostermeyer E. C.**, 1964. Using Alkali and leaf cutting bees to pollinate alfalfa. *Wash. Agric. Exp. Stn. Circ.*, **442**, 8 p.
- Kropacova S., Haslbachova H.**, 1966. Quelques variétés de la luzerne et le travail de l'abeille domestique. *Acta Univ. Brno*, **543**, 407-416.
- Lecomte J.**, 1962. Techniques d'études des populations d'insectes pollinisateurs, *Ann. Abeille*, **5**, 201-213.
- Levin M. D., Bohart G. E., Nye W. P.**, 1960. Distance from the apiary as a factor in alfalfa pollination. *J. Econ. Entomol.*, **53**, 56-60.
- Madsen B.**, 1980. Productivity in alfalfa leaf cutting bees in alfalfa seed fields in Montana. *11th Ann. Interstate Alfalfa Seed Growers School, Idaho*, **17**.
- Packer J. S.**, 1971. *The flight and foraging behavior of the Alkali bee (Nomia melanderi Ckll) and the alfalfa leaf cutter bee (Megachile rotundata F.)*. Utah State Univ. Ph. D., 119 p.
- Pedersen M. W.**, 1953. Environmental factors affecting nectar secretion and seed production in alfalfa. *Agron. J.*, **45**, 359-361.
- Peyremorte P.**, 1974. L'alimentation en eau des cultures de luzerne destinées à la production de graines. *Bull. FNAMS*, **2**, 37-41.
- Ptacek V.**, 1981. Effective flying range of alfalfa leaf cutter bee *Megachile rotundata* F. (Hymenoptera, Megachilidae) and its influence on yield of lucerne seed. *Sbornik Vedeckych Praci*, **7**, 95-100.
- Richards K. W.**, 1983. Relationship of leafcutter bee cell productivity to alfalfa seed yield. *V Int. Symp. on Pollination*, 27-29 sept., Versailles.
- Robertson D. R.**, 1966. Observations on the alfalfa leaf-cutter bee, *Megachile rotundata* at Hodgson, Manitoba in 1966. *Proc. Entomol. Soc. Manitoba*, **22**, 34-36.
- Tasei J. N.**, 1971. Influence de la date de la précoupe de la luzerne (*Medicago sativa* L.) sur sa pollinisation. *Apidologie*, **2**, 173-195.
- Tasei J. N.**, 1975. Le problème de l'adaptation de *Megachile (Eutricharaea) pacifica* Panz. (Megachilidae) américain en France. *Apidologie*, **6**, 1-57.
- Tasei J. N.**, 1977. Possibilité de multiplication du pollinisateur de la luzerne *Megachile pacifica* Panz. en France. *Apidologie*, **8**, 61-82.
- Tasei J. N.**, 1978. Les insectes pollinisateurs de la luzerne (*Medicago sativa* L.) en France. *Apidologie*, **9**, 175-194.
- Tasei J. N.**, 1982. Status of *Megachile rotundata* F. in France. *Proc. 1st Int. Symp. Alfalfa Leafcutting Bee Manage. Sask*, 239-246.
- Tasei J. N., Carré S.**, 1982. Native enemies of *Megachile rotundata* F. in France. *Proc. 1st Int. Symp. Alfalfa Leafcutting Bee Manage. Sask.*, 60-64.
- Tysdal H. M.**, 1946. Influence of tripping, soil moisture, plant spacing, and lodging on alfalfa seed production. *J. Am. Soc. Agron.*, **38**, 515-535.