



HAL
open science

Effets de l'inoculation par Rhizobium et de la fertilisation azotée sur les rendements et la teneur en azote des graines de lupin (*Lupinus albus*, *L. mutabilis*, *L. luteus*)

Noëlle Amarger, Claude Duthion, Christine Devroe, Guy Sixdenier

► **To cite this version:**

Noëlle Amarger, Claude Duthion, Christine Devroe, Guy Sixdenier. Effets de l'inoculation par Rhizobium et de la fertilisation azotée sur les rendements et la teneur en azote des graines de lupin (*Lupinus albus*, *L. mutabilis*, *L. luteus*). *Agronomie*, 1983, 3 (10), pp.995-1000. <hal-00884470>

HAL Id: hal-00884470

<https://hal.science/hal-00884470v1>

Submitted on 11 May 2020

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.



HAL Authorization

Effets de l'inoculation par *Rhizobium* et de la fertilisation azotée sur les rendements et la teneur en azote des graines de lupin (*Lupinus albus*, *L. mutabilis*, *L. luteus*)

Noëlle AMARGER & Claude DUTHION (*)

avec la collaboration technique de Christine DEVROE & Guy SIXDENIER

I.N.R.A., Laboratoire de microbiologie des sols,

(*) Laboratoire d'Agronomie, 17, rue Sully, F 21034 Dijon Cedex

RÉSUMÉ

Les effets, d'une part, de l'inoculation des graines par une souche de *Rhizobium lupini*, d'autre part, de l'apport d'engrais azoté à 3 doses d'azote (40, 80, 160 kg/ha) ont été expérimentés au champ pendant 3 années successives sur 3 espèces de lupin : *Lupinus albus*, *luteus* et *mutabilis*. Les sols étaient des sols de pH neutre ou légèrement alcalin dans lesquels les *R. lupini* étaient présents en faible nombre ou absents. L'inoculation a entraîné, dans 7 des 9 cas étudiés, une augmentation du rendement en grain variant de 10 à 210 p. 100 selon l'espèce et l'année. L'augmentation de rendement obtenue par l'apport de 160 kg/ha d'azote sous forme d'ammonitrate est toujours inférieure à celle obtenue par inoculation, elle varie pour les mêmes traitements de 0 à 130 p. 100. Dans tous les cas où, au cours des 3 années d'expérimentation, l'inoculation a entraîné une augmentation de rendement, il y a une augmentation de la teneur en azote des graines plus ou moins importante, mais pouvant atteindre 28 p. 100 de la teneur des graines provenant de plantes non inoculées. Par contre, l'apport d'azote n'a pas modifié la teneur en azote des graines. Dans les sols neutres ou légèrement alcalins, l'inoculation des graines des 3 espèces de lupin étudiées est donc un facteur important qui permet, dans certains cas, de doubler la quantité d'azote contenu dans la récolte en graines d'un hectare.

Mots clés additionnels : *Rhizobium lupini*, fixation d'azote, symbiose.

SUMMARY

The effects of Rhizobium inoculation and nitrogen fertilizer on grain yield and on seed nitrogen content of lupin : (Lupinus albus, L. mutabilis, L. luteus).

The value of seed inoculation with a strain of *Rhizobium lupini* and of nitrogen fertilization at three levels (40, 80, 160 kg/ha) were investigated in field experiments over three years on three species of lupin : *Lupinus albus*, *L. luteus*, *L. mutabilis*. The soils used had pH near neutrality or slightly alkaline, and contained few or no indigenous *R. lupini*. In seven out of the nine cases studied, seed inoculation increased the grain yield by 10 to 210 % according to the species and year. The increase in grain yield given by the addition of 160 kg/ha nitrogen fertilizer (ammonitrate) was always lower than the effect of inoculation, varying from 0 to 130 %. In all experiments, each time seed inoculation raised the seed yield, an increase in the seed nitrogen content was also observed. This increase was more or less marked but could reach 28 % of the nitrogen content of the non-inoculated seed yield. In contrast, nitrogen fertilization did not modify seed nitrogen content. In neutral or slightly alkaline soils, seed inoculation was thus an important factor for the three species studied ; it could allow a doubling of the total nitrogen contained in a one hectare grain yield.

Additional key words : *Rhizobium lupini*, nitrogen fixation, symbiosis.

I. INTRODUCTION

La culture des lupins, qui en est encore à un stade expérimental dans notre pays, est susceptible de se développer dans les prochaines années (GIRARD & LENOBLE, 1979). Les lupins sont en effet des légumineuses ; ils en possèdent les principales caractéristiques, richesse en protéines et capacité à former avec des bactéries du genre *Rhizobium* une symbiose fixatrice d'azote atmosphérique,

et leurs rendements sous nos climats doivent les faire considérer comme des protéagineux intéressants pour l'alimentation animale (LENOBLE & PICARD, 1980).

Il est nécessaire, pour que ces plantes puissent fixer l'azote de l'air, qu'elles rencontrent dans les sols, au cours de leur croissance, les rhizobiums spécifiques de leur genre, *Rhizobium lupini*. Dans une 1^{re} enquête réalisée sur 28 échantillons, LAGACHERIE *et al.* (1976) avaient montré que les *R. lupini* n'étaient pas présents dans tous les sols de

culture. Une étude plus détaillée menée sur 150 terres (résultats non publiés) a confirmé ces premiers résultats et a montré que la présence de *R. lupini* était corrélée au pH de ces terres. Les *R. lupini*, toujours en nombre supérieur ou égal à $10^2/g$ de terre dans les sols de pH < 6, sont présents seulement en faible nombre (< $10^2/g$) ou absents dans les sols dont le pH est compris entre 6 et 7 et presque toujours absents, sinon présents en très petit nombre, dans les sols de pH > 7.

Or, les sols dont le pH est voisin de 7 ou légèrement supérieur représentent en France des surfaces importantes sur lesquelles il pourrait être intéressant d'encourager aussi la culture du lupin. Nous avons donc tenté d'apprécier les effets de l'apport, dans ces sols, de *R. lupini* par inoculation des semences, sur les rendements en graines et les teneurs en azote des récoltes. Nous les avons comparés, dans des essais de type factoriel, aux conséquences d'une fertilisation azotée à différents niveaux.

Trois espèces ont été retenues : le lupin blanc, *Lupinus albus*, le plus productif sous nos climats, le lupin jaune, *L. luteus*, plus riche en protéines, moins productif mais pouvant pousser en sols pauvres, enfin le lupin changeant, *L. mutabilis*, aux potentialités intéressantes mais non encore adapté à nos climats.

II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

A. Protocole expérimental

Durant 3 années consécutives, de 1979 à 1981, un essai de type factoriel en blocs avec 4 répétitions a été mis en place sur le domaine expérimental d'Epoisses à Bretenière (Côte d'Or). Les 2 facteurs étudiés sont :

— inoculation par *R. lupini* : avec (I) ou sans (NI) inoculation,

— fumure azotée minérale à 4 niveaux (0, 40, 80 et 160 kg/ha d'N) sous forme d'ammonitrate.

L'expérimentation a porté sur les 3 espèces *L. albus* cv « Kali », *L. luteus* cv « Sulfa », *L. mutabilis* cv « LM 13 ».

Un essai de même type a été conduit, en 1981, sur le domaine SAD de Mirecourt (Vosges) portant sur la seule espèce *L. albus*, cv « Kali ».

B. Conditions des essais

1. *Les sols* : les sols sont, dans les 2 situations, des sols bruns argileux, dont quelques caractéristiques, pH, teneurs

en calcaire et azote, nombre de *R. lupini* présents au moment du semis, sont données dans le tableau 1. Les parcelles expérimentales retenues n'avaient jamais porté de lupin.

2. *Les conditions climatiques* : les températures moyennes mensuelles et la pluviométrie durant la période de végétation sont présentées dans le tableau 2.

TABLEAU 2

Conditions climatiques pendant les 3 saisons d'expérimentation, à Epoisses.
Climatic conditions during experiments at Epoisses.

	A	M	J	J	A
Température moyenne mensuelle °C					
1979	8,0	12,7	16,8	18,4	16,5
1980	7,7	11,7	15,2	16,5	18,9
1981	10,1	12,2	15,4	17,8	18,4
Moyenne 1961/1980	8,8	12,9	16,2	18,4	18,0
Pluviométrie en mm					
1979	48,0	101,7	77,8	11,9	88,4
1980	13,8	67,2	67,0	41,9	56,1
1981	19,3	70,2	124,0	70,6	95,5
Moyenne 1961/1980	43,8	70,6	59,6	47,7	71,3

3. *Mise en place et conduite des essais* : Chaque parcelle expérimentale comporte 6 rangs de 7,50 m de long, écartés de 0,30 m.

Le semis est effectué à l'aide d'un semoir pneumatique. Les densités de semis ont été respectivement de 100 graines/m² pour le lupin blanc en 1979 et pour le lupin jaune en 1979 et 1980, 80 graines/m² pour le lupin blanc en 1980 et 1981 et le lupin jaune en 1981, 75 et 60 graines/m² pour le lupin changeant en 1979 et 1980.

L'inoculation a été réalisée au semis sous forme liquide par 20 ml de suspension bactérienne par m², correspondant à environ 10^6 *R. lupini* par graine. L'azote minéral a été épandu sous forme d'ammonitrate 7 à 10 j après le semis.

Un traitement désherbant a été appliqué en prélevée : chlortoluron, à raison de 2 400 g de matière active/ha en 1979, et méthabenzthiazuron, à raison de 2 800 g de matière active/ha les années suivantes. La propreté des cultures a été maintenue ensuite manuellement.

Les dates de semis, levée, début floraison et récolte sont données dans le tableau 3.

TABLEAU 1

pH, teneurs en calcaire, en azote et en *Rhizobium lupini* des différentes parcelles d'essai.
pH, lime, nitrogen and *Rhizobium lupini* content of the different experimental plots.

Lieu	Epoisses				Mirecourt
	1979	1980	1981		1981
Année	3 espèces	3 espèces	<i>L. albus</i>	<i>L. luteus</i>	<i>L. albus</i>
pH	7,1	6,7	—	7,0	7,8
Calcaire %	0,1	0	2,2	0	0
N %	2,20	2,00	1,87	1,45	2,0
Nombre de <i>R. lupini</i> par 100 g de sol	10 à 50	3 à 30	< 0,1	10 à 50	< 0,1

TABLEAU 3

Dates de semis, levée, début floraison et récolte des 3 espèces de lupin dans les différents essais.
 Dates of sowing, emergence, flowering and harvest for 3 species of lupin, in different trials.

		Semis	Levée	Floraison	Récolte
Epoisses 1979	<i>L. albus</i> cv « Kali »	8.3	28.3	29.5	22.8
	<i>L. luteus</i> cv « Sulfa »	8.3	4.4	4.6	30.7
	<i>L. mutabilis</i> cv « LM13 »	8.3	24.3	10.6	4.9
Epoisses 1980	<i>L. albus</i> cv « Kali »	18.3	8.4	27.5	15.9
	<i>L. luteus</i> cv « Sulfa »	18.3	9.4	10.6	21.8
	<i>L. mutabilis</i> cv « LM13 »	18.3	3.4	15.6	1.10
Epoisses 1981	<i>L. albus</i> cv « Kali »	27.2	20.3	14.5	26.8
	<i>L. luteus</i> cv « Sulfa »	23.3	10.4	17.6	17.8
Mirecourt 1981	<i>L. albus</i> cv « Kali »	8.4	21.4	7.6	5.9

C. Récolte

La récolte a été effectuée à la moissonneuse-batteuse sur les 4 rangs du milieu de chaque parcelle après élimination de 0,50 m aux 2 extrémités de celle-ci, soit sur une surface de 7,80 m².

La date de récolte est fonction des conditions météorologiques. Elle peut être plus ou moins rapprochée de la date de maturité selon les années.

La détermination de la teneur en matière sèche des grains récoltés sur chaque parcelle a été faite sur un échantillon représentatif de 500 g, séché à l'étuve à 80 °C pendant 48 h.

Le dosage de l'azote total dans les grains a été réalisé par la méthode de Kjeldahl.

III. RÉSULTATS

A. Rendements en grains secs

Les rendements en t/ha de grains secs sont donnés dans le tableau 4. En 1979, l'analyse de variance des résultats montre un effet inoculation significatif ($P < 0,01$) pour les 3 espèces de lupin étudiées, un effet azote significatif pour le lupin blanc ($P < 0,01$) et pour le lupin jaune ($P < 0,05$). L'interaction entre le traitement inoculation et le traitement azote est significative ($P < 0,05$) pour les lupins blanc et jaune. En effet, pour ces 2 espèces, alors que le rendement augmente avec les doses croissantes d'azote lorsque les plantes ne sont pas inoculées, il reste constant pour le lupin

TABLEAU 4

Rendements en t/ha de grains secs.
 Grain yield in t/ha.

Année	Lieu	Espèce de Lupin	Inoculation des graines	Azote apporté en kg/ha				Coefficient de variation	Signification des traitements (a)		
				0	40	80	160		I ^(b)	N ^(b)	I × N ^(b)
1979	Epoisses	<i>L. albus</i> cv Kali	-	3,51	4,01	4,26	4,35	4,6 %	H.S.	H.S.	S
1979	Epoisses	<i>L. albus</i> cv Kali	+	4,15	4,37	4,37	4,34				
1979	Epoisses	<i>L. mutabilis</i> cv LM13	-	1,64	1,65	1,69	1,75	8,1 %	H.S.	N.S.	N.S.
1979	Epoisses	<i>L. mutabilis</i> cv LM13	+	1,82	1,85	1,88	1,80				
1979	Epoisses	<i>L. luteus</i> cv Sulfa	-	0,52	1,46	0,90	1,20	21,4 %	H.S.	S	S
1979	Epoisses	<i>L. luteus</i> cv Sulfa	+	1,63	1,57	1,76	1,58				
1980	Epoisses	<i>L. albus</i> cv Kali	-	3,28	3,35	3,38	3,31	5,8 %	N.S.	N.S.	N.S.
1980	Epoisses	<i>L. albus</i> cv Kali	+	3,30	3,36	3,38	3,41				
1980	Epoisses	<i>L. mutabilis</i> cv LM13	-	1,49	1,44	1,61	1,55	8,2 %	N.S.	N.S.	N.S.
1980	Epoisses	<i>L. mutabilis</i> cv LM13	+	1,59	1,59	1,52	1,58				
1980	Epoisses	<i>L. luteus</i> cv Sulfa	-	1,70	1,76	1,81	1,92	11,1 %	H.S.	N.S.	N.S.
1980	Epoisses	<i>L. luteus</i> cv Sulfa	+	2,23	2,19	2,27	2,11				
1981	Epoisses	<i>L. albus</i> cv Kali	-	2,19	2,44	3,01	3,54	7,4 %	H.S.	H.S.	H.S.
1981	Epoisses	<i>L. albus</i> cv Kali	+	4,17	3,85	3,95	3,78				
1981	Epoisses	<i>L. luteus</i> cv Sulfa	-	1,15	1,42	1,78	1,88	10,1 %	H.S.	H.S.	H.S.
1981	Epoisses	<i>L. luteus</i> cv Sulfa	+	2,19	2,06	2,04	2,27				
1981	Mirecourt	<i>L. albus</i> cv Kali	-	1,69	1,71	2,00	2,67	10,7 %	H.S.	H.S.	H.S.
1981	Mirecourt	<i>L. albus</i> cv Kali	+	3,13	3,17	2,96	2,83				

(a) H.S. : significatif au seuil $P < 0,01$; S : significatif au seuil $P < 0,05$; N.S. : non significatif au seuil $P < 0,05$.

(b) I : traitement inoculation ; N : traitement azote ; I × N : interaction inoculation × azote.

jaune et n'augmente, pour le lupin blanc, qu'avec le plus faible apport d'azote lorsque les plantes sont inoculées.

Le rendement maximum du lupin blanc (4,35 t/ha) est obtenu avec une fertilisation azotée de 160 kg/ha pour les plantes non inoculées et de 40 kg/ha pour les plantes inoculées. Ceci représente une augmentation de 23 p. 100 du rendement des plantes témoins.

Les rendements du lupin changeant sont identiques quelles que soient les doses d'azote, pour les plantes inoculées comme pour les plantes non inoculées, mais les premières ont un rendement supérieur de 9 p. 100 à celui des secondes.

En 1980, l'effet inoculation n'est significatif que pour le lupin jaune ($P < 0,01$) ; les rendements sont augmentés de 21 p. 100 en moyenne lorsque les graines sont inoculées. L'apport d'azote n'influence les rendements d'aucune des 3 espèces.

En 1981, les effets principaux ainsi que l'interaction entre ces effets sont significatifs ($P < 0,01$) pour les 2 espèces, blanc et jaune, étudiées à Epoisses, ainsi que pour le lupin blanc à Mirecourt. Les rendements des plantes non inoculées augmentent régulièrement en fonction des doses d'azote ; l'augmentation de rendement des plantes ayant reçu 160 unités d'azote au semis représente 63 p. 100 du rendement des plantes non fertilisées pour les 2 espèces cultivées à Epoisses et 58 p. 100 pour les lupins blancs cultivés à Mirecourt.

L'apport d'azote aux plantes inoculées entraîne une légère décroissance du rendement des lupins blancs dans les 2 lieux d'essai et pas de modification du rendement du lupin jaune.

L'inoculation des graines augmente les rendements des plantes n'ayant pas reçu d'azote de 90 p. 100 à Epoisses et de 85 p. 100 à Mirecourt. Cette augmentation est supérieure à celle donnée par l'apport de 160 unités d'azote au semis.

B. Teneurs en azote des grains

Les teneurs en azote des grains récoltés sont données dans le tableau 5.

En 1979, l'inoculation entraîne une augmentation, significative au seuil de 0,1 p. 100, de la teneur en azote des grains ; cette augmentation représente en moyenne 2 p. 100 de la teneur des grains non inoculés pour les lupins changeants, 10 p. 100 pour les lupins blancs et 20 p. 100 pour les lupins jaunes. L'apport d'azote au semis n'a aucun effet significatif.

En 1980, l'effet inoculation n'est significatif ($P < 0,05$) que pour les lupins blancs et jaunes. L'augmentation, par l'inoculation, de la teneur en azote des grains est de 2 p. 100 pour les lupins blancs et de 5 p. 100 pour les jaunes. Cette teneur n'est pas significativement différente, quel que soit l'apport d'azote au semis, aussi bien pour les plantes inoculées que pour les non inoculées.

En 1981, l'effet de l'inoculation est significatif ($P < 0,01$) dans tous les cas. Par contre, l'apport d'engrais azoté ne modifie pas la teneur en azote du grain des lupins blancs qu'ils soient inoculés ou non. La teneur moyenne des lupins blancs d'Epoisses est de 4,44 p. 100 lorsqu'ils ne sont pas inoculés alors qu'elle est de 6 p. 100 lorsqu'ils sont inoculés, soit une augmentation de 35 p. 100. De même, à Mirecourt, la teneur passe de 4,54 à 5,81 p. 100, soit une augmentation de 28 p. 100. Les lupins jaunes d'Epoisses cultivés sur un sol différent voient leur teneur en azote du grain augmenter de 5,48 à 6,88 p. 100 lorsqu'ils sont inoculés, ce qui correspond à une augmentation de 26 p. 100. La teneur en azote des plantes non inoculées augmente de 5,48 à 5,99 p. 100 lorsque la quantité d'engrais azoté apportée au semis varie de 0 à 160 kg/ha. Elle reste cependant toujours inférieure à celle des plantes inoculées.

TABLEAU 5

Teneur en azote des grains à la récolte (en % de la matière sèche).
Nitrogen content of the grain (% of dry matter).

Année	Lieu	Espèce de Lupin	Inoculation des graines	Azote apporté en kg/ha				Coefficient de variation	Signification des traitements (a)		
				0	40	80	160		I ^(b)	N ^(b)	I × N ^(b)
1979	Epoisses	<i>L. albus</i> cv Kali	-	5,76	5,75	5,71	5,76	2,4 %	H.S.	N.S.	N.S.
1979	Epoisses	<i>L. albus</i> cv Kali	+	6,27	6,19	6,38	6,11				
1979	Epoisses	<i>L. mutabilis</i> cv LM13	-	7,51	7,70	7,66	7,73	1,1 %	H.S.	N.S.	N.S.
1979	Epoisses	<i>L. mutabilis</i> cv LM13	+	7,83	7,91	7,86	7,80				
1979	Epoisses	<i>L. luteus</i> cv Sulfa	-	5,57	5,32	5,31	5,71	3,3 %	H.S.	N.S.	N.S.
1979	Epoisses	<i>L. luteus</i> cv Sulfa	+	7,01	7,12	7,07	6,96				
1980	Epoisses	<i>L. albus</i> cv Kali	-	6,66	6,67	6,57	6,58	1,6 %	S	N.S.	N.S.
1980	Epoisses	<i>L. albus</i> cv Kali	+	6,72	6,71	6,74	6,70				
1980	Epoisses	<i>L. mutabilis</i> cv LM13	-	7,85	7,88	7,85	7,98	2,4 %	N.S.	N.S.	N.S.
1980	Epoisses	<i>L. mutabilis</i> cv LM13	+	8,04	8,48	8,01	7,95				
1980	Epoisses	<i>L. luteus</i> cv Sulfa	-	6,95	6,55	6,74	6,61	5,2 %	S	N.S.	N.S.
1980	Epoisses	<i>L. luteus</i> cv Sulfa	+	6,98	7,01	6,96	7,30				
1981	Epoisses	<i>L. albus</i> cv Kali	-	4,62	4,41	4,28	4,45	3,2 %	H.S.	N.S.	N.S.
1981	Epoisses	<i>L. albus</i> cv Kali	+	5,92	6,06	5,91	6,13				
1981	Epoisses	<i>L. luteus</i> cv Sulfa	-	5,48	5,34	5,60	5,99	4,2 %	H.S.	H.S.	S
1981	Epoisses	<i>L. luteus</i> cv Sulfa	+	6,88	6,80	6,68	6,92				
1981	Mirecourt	<i>L. albus</i> cv Kali	-	4,78	4,44	4,48	4,46	5,2 %	H.S.	N.S.	N.S.
1981	Mirecourt	<i>L. albus</i> cv Kali	+	5,81	5,75	5,78	5,88				

(a) H.S. : significatif au seuil $P < 0,01$; S : significatif au seuil $P < 0,05$; N.S. : non significatif au seuil $P < 0,05$.

(b) I : traitement inoculation ; N : traitement azote ; I × N : interaction inoculation × traitement.

C. Quantité totale d'azote contenue dans les grains

Les quantités totales d'azote contenues dans les grains à la récolte et calculées à partir des résultats précédents sont représentées dans la figure 1 en fonction des quantités d'azote apportées au semis pour les 3 espèces et les 3 années d'expérimentation.

On retrouve l'effet de l'inoculation, observé sur les rendements, amplifié par l'effet sur la teneur en azote des grains pour les espèces de lupin cultivées en 1979 et 1981. En 1980, seules les quantités d'azote contenues dans les grains des lupins jaunes inoculés sont supérieures à celles des lupins jaunes non inoculés.

Les quantités d'azote exportées par les grains varient selon les années entre 210 et 250 kg/ha pour le lupin blanc inoculé ; elles sont moitié moindres pour le lupin changeant et varient de 120 à 140 kg/ha pour le lupin jaune.

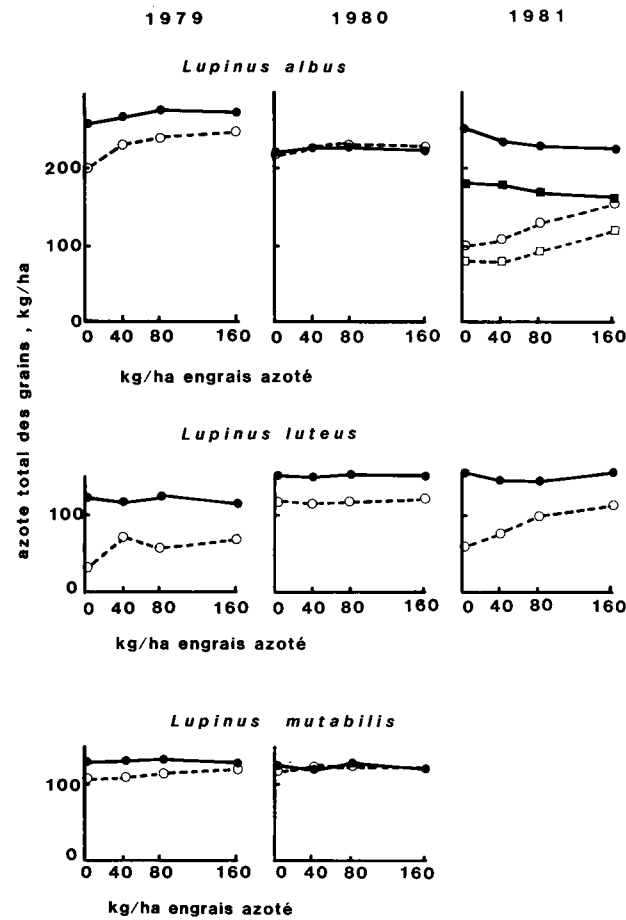


Figure 1
Quantité totale d'azote contenue dans les grains à la récolte.
— Parcelles inoculées, ----- parcelles non inoculées ; o Epiesses, □ Mirecourt.
Total amount of nitrogen of the grain at harvest. — Inoculated plots, ----- non-inoculated plots ; o Epiesses, □ Mirecourt.

IV. DISCUSSION

Les conséquences de l'inoculation et de l'apport d'engrais azoté sont très différentes selon les années. Le nombre de *R. lupini* présents semble le facteur important qui permet de distinguer les sols sur lesquels étaient implantés les essais en 1979 et 1980 de ceux qui, à Epiesses et à Mirecourt, ont été

utilisés en 1981 pour la culture du lupin blanc : inférieur en 1981 à 1 par kg de terre, il varie de quelques dizaines à quelques centaines par kg de terre pour les autres sols. Cette différence s'est traduite au niveau de la nodulation. En 1981, les parcelles non inoculées et sans azote avaient une coloration tendant uniformément vers le jaune en début de végétation ; à Epiesses, quelques plantes ont verdi par la suite ; elle portaient quelques grosses nodosités, mais la majorité des plantes n'en portaient aucune au moment de la formation des gousses, tout au moins sur les 30 premiers cm du système racinaire. Par contre, en 1979 et 1980, la quasi-totalité des plantes dans les parcelles non inoculées portaient des nodosités. Ces nodosités étaient en nombre inférieur à une douzaine par plante et réparties sur tout le système racinaire pour le lupin blanc et le lupin changeant ; elles étaient encore moins nombreuses pour le lupin jaune pour lequel le pourcentage de plantes non nodulées était d'ailleurs beaucoup plus important.

Le très faible nombre de *R. lupini* dans le sol d'Epiesses et leur absence à Mirecourt explique que les effets, aussi bien de l'inoculation que de l'apport d'engrais azoté pour les plantes non nodulées, aient été beaucoup plus marqués pour le lupin blanc en 1981 que lors des 2 autres années d'expérimentation.

En 1979, le nombre de *Rhizobium* indigènes a permis une bonne nodulation des plantes non inoculées. Cependant, l'inoculation, en provoquant une nodulation plus précoce et un nombre de nodosités plus important, a dû permettre une meilleure utilisation de l'azote de l'air et, par là-même, une augmentation de rendement. Les mêmes différences n'ont pas entraîné les mêmes conséquences en 1980 au niveau du rendement. En début de végétation, on a cependant observé un effet de l'inoculation et un effet de l'apport d'engrais azoté pour les parcelles non inoculées, sur la couleur et la taille des plantes, effet qui s'est estompé en début de formation des gousses. Il semblerait qu'un facteur limitant, peut-être climatique, ait causé le plafonnement des rendements, à moins que ce ne soit au contraire un facteur qui ait permis soit une meilleure expression de la nodulation et de la fixation symbiotique par les rhizobium indigènes, soit une plus grande libération d'azote minéral dans le sol, soit les deux. Quoi qu'il en soit, la nutrition azotée des lupins blancs et changeants non inoculés et n'ayant pas reçu d'engrais azoté n'était pas limitante.

Par contre, pour le lupin jaune, alors que l'apport d'engrais azoté en 1980 n'entraîne pas d'augmentation de rendement des plantes non inoculées, l'inoculation permet une augmentation uniforme de rendement de 20 p. 100. Cette différence de comportement du lupin jaune est à rapprocher de celle observée l'année précédente où les lupins des parcelles non inoculées et n'ayant pas reçu d'engrais azoté portaient très peu de nodosités, beaucoup moins que les 2 autres espèces. Il semble donc que le lupin jaune, par ailleurs plus sensible au calcaire que les lupins blancs et changeants, soit moins apte que les 2 autres espèces à utiliser une faible population de *R. lupini* indigènes pour la nodulation et pour la fixation d'azote atmosphérique. Il serait donc d'autant plus sensible à l'effet de l'inoculation.

Il est important de noter que l'inoculation des lupins a entraîné non seulement une augmentation de rendement dans 7 des 9 cas étudiés, mais également une augmentation de la teneur en azote des grains récoltés dans 8 des 9 cas. Les fortes teneurs en azote, égales ou supérieures à 6 p. 100 pour le lupin blanc, voisines de 7 p. 100 pour le lupin jaune et de 8 p. 100 pour le lupin changeant, ne sont obtenues que lorsqu'il y a fixation symbiotique d'azote.

On peut constater que l'apport d'azote aux plantes inoculées, quelle que soit la dose, n'a pas permis une augmentation significative du rendement ni de la teneur en azote des grains. Une fumure azotée starter ne serait donc d'aucune utilité dans des conditions de culture similaires à celles de nos essais.

L'apport d'engrais azoté augmente les rendements en grain lorsque le nombre de *R. lupini* des sols est insuffisant pour assurer une bonne nutrition azotée ; mais l'apport au semis de quantités allant jusqu'à 160 kg/ha d'azote n'augmente pas les teneurs en azote des grains, sauf pour le lupin jaune en 1981. Lorsque la fixation symbiotique est peu importante, comme c'était le cas pour les lupins blancs en 1981, l'apport de 160 kg/ha d'azote a permis de réaliser des gains de rendement en grains voisins des 2/3 de ceux réalisés par l'inoculation. Cet apport n'a pas augmenté la teneur en azote des grains qui est restée 1/3 inférieure à celle des gains du traitement inoculé. Il en résulte, au niveau de la quantité totale d'azote dans les grains, un effet inférieur à la moitié de l'effet de l'inoculation.

La teneur en azote des grains de lupin semble donc dépendre de l'origine de cet azote, l'accumulation étant plus grande lorsqu'il est d'origine atmosphérique que lorsqu'il est d'origine minérale.

Quoi qu'il en soit, l'apport d'engrais azoté, même s'il permet d'avoir des rendements corrects en matière sèche, ne permet pas d'atteindre les mêmes teneurs en azote de cette matière sèche que celles qui sont atteintes lorsque la

plante est en bonnes conditions pour fixer l'azote moléculaire.

Ces résultats confirment ceux qui ont été obtenus par BONNIER *et al.* (1964) avec *L. luteus* et par NEL (1962) avec *L. luteus* et *L. angustifolius*. Ces auteurs ont en effet trouvé des rendements en matière sèche et des teneurs en azote plus élevées pour les plantes inoculées que pour les plantes non inoculées.

L'augmentation des rendements par la pratique de l'inoculation des graines de légumineuses dans les sols contenant peu ou pas de *Rhizobium* spécifiques est un phénomène commun à toutes les espèces étudiées, mais l'augmentation dans les proportions observées de la teneur en azote des grains semble spécifique du genre *Lupinus*. Il serait intéressant de voir si cette augmentation s'accompagne ou non d'un changement qualitatif dans la composition des protéines, ce que nous nous proposons de faire.

Reçu le 14 février 1983.
Accepté le 24 juin 1983.

REMERCIEMENTS

L'étude a été réalisée avec l'aide financière de la CEE sous le numéro de contrat n° 404.

Nous tenons à remercier G. DUREY (Amélioration des Plantes, Dijon) ainsi que E. DE VAUBERNIER et J. BARLIER (SAD Mirecourt) pour la mise en place, dans de bonnes conditions, des différents essais.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bonnier C., Laloux R., Lebrun F., Weickmans L., 1964. Inoculation bactérienne des graines de lupin jaune doux (*Lupinus luteus*). *Bull. Inst. agron. et St. Rech. Gembloux*, **22**, 163-170.
- Girard C., Lenoble M., 1979. Bientôt un protéagineux : le lupin. *Perspect. agric.*, **31**, 24-29.
- Lagacherie B., Ginies P., Amarger N., 1976. L'inoculation du lupin, essais préliminaires. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, **62**, 987-994.

- Lenoble M., Picard J., 1980. Lupin : où en est-on ? *Cultivar*, avril 1980, 38-40.
- Nel F. C., 1962. The inoculation of lupines on Elsenburg soils with special reference to the effectiveness of different wetting media. *S. Afr. J. Agric. Sci.*, **5**, 537-546.