



REPUBLIQUE DU SENEGAL

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

SECRETARIAT D'ETAT A LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

INSTITUT SENEGALAIS
DE RECHERCHES AGRICOLES

CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES
AGRONOMIQUES
BAMBEY

Collection : **ÉTUDES TECHNIQUES** DU C.N.R.A.

(FG / ID)

DOCUMENT N. 1982/107

NOVEMBRE 82

CN0100864
P350
6AN

*FUMURE PHOSPHATEE ET BILAN AZOTE
DANS UN AGROSYSTEME SOJA-SOL SABLEUX AU SENEGAL
ETUDE AU MOYEN DE 15N*

PAR

F. GANRY -- J. WEY

INGENIEUR IRAT DETACHE A L'ISRA
INGENIEUR EM COOPERATION TECHNIQUE AUPRES DE L'ISRA

COLLABORATION TECHNIQUE
YOUSSOUPH NDIAYE

Ce travail a été réalisé dans le cadre du "Programme de Recherche coordonné sur l'utilisation des Isotopes dans les études de fixation de l'azote" mené sous l'égide de l'Agence Internationale Atomique (A.I.E.A.) de VIENNE - Contrat N° DI-SEN 2375.

-- R E S U M E --
-- - - - - -

Le but de la présente expérience réalisée en sol sableux à Séfa (Sud Sénégal, isohyète 1300 m) est d'étudier in situ d'une part l'alimentation azotée et phosphatée du soja et d'autre Part de quantifier l'input N-fixe dans l'agrosystème. Pour ce faire, le soja a été : soit inoculé avec Rhizobium japonicum, soit fertilisé avec du sulfate d'ammonium, en présence ou absence de Phosphate. Au cours des 3 principaux stades de développement : floraison, remplissage des gousses et maturité, l'azote, le phosphore et la matière sèche ont été quantifiés. En ce qui concerne l'azote, grâce à l'azote 15, les 3 sources d'azote ont pu être distinguées à savoir : l'N-fixé, l'N-sol et l'N-engrais.

Les résultats obtenus concernent les cinétiques d'absorption N et P et d'élaboration du rendement,

a) La mobilisation du phosphore est réalisée durant la phase végétative entre 55 % et 75 % de la mobilisation totale, alors que la mobilisation de l'azote et la production végétale sont réalisées surtout dans la phase reproductive.

b) La fumure azotée, par rapport à l'inoculation, favorise le soja dans sa période végétative, mais dans la période reproductive, ce phénomène s'inverse en faveur de l'inoculation qui permet d'obtenir, à la maturité, un rendement en N significativement supérieur.

c) En condition d'alimentation hydrique sub-optimale (déficitaire pour la symbiose) dans la période de remplissage des gousses, la fourniture d'azote d'origine symbiotique est fortement réduite mais compensée par une fourniture d'origine du sol.

Cette étude débouche sur des recommandations pratiques visant à accroître la capacité du soja à tolérer la sécheresse et par voie de conséquence à économiser l'azote du sol.

Quelques définitions de termes
utilisés dans le texte

- BROADCASTING** : Terme anglais pour désigner l'épandage d'engrais à la volée, non suivi d'un labour dans le cas de la présente expérience.
- EFFECTIVITE** : (ou efficacité). Aptitude d'une souche à fixer l'azote dans le nodule. Il existe divers degrés dans l'effectivité, une souche de Rhizobium peut être ineffective, peu effective, effective ou très effective.
- FIXATION D'AZOTE** : Il s'agit de la fixation symbiotique de l'azote de l'air ; celle-ci est évaluée quantitativement soit en pourcentage de l'azote total de la Plante, soit en kg N-fixé/ha dans la plante.
- INDICE DE RENDEMENT** : poids, P-total ou N-total des grains exprimés par rapport au poids, au p-total ou au N-total de la plante entière.
- PERFORMANCES SYMBIOTIQUES** : Ensemble des deux principaux caractères du système fixateur symbiotique, à savoir l'aptitude à noduler et l'aptitude à fixer l'azote atmosphérique.
- PLUIE UTILE** : La première pluie utile est celle dont l'importance et la date permettent de situer le démarrage effectif de la saison pluvieuse et culturale ; une pluie utile est celle qui procure la plus grande probabilité d'une bonne levée après un semis,
- VALEUR "A"** : Elle représente la quantité d'N disponible dans une source (air, sol ou engrais) exprimée en unités équivalentes du ¹⁵N-engrais apporté pour la mesurer. Exemple : dans une culture de soja non nodulant, on a apporté 120 kg d'N sous forme de sulfate enrichi en ¹⁵N ; à la récolte, la culture a mobilisé 118 kg N/ha et 31,5 kg/ha N-engrais, Quelle est la quantité d'azote du sol prospecté par la plante, exprimée en unités équivalentes de N-sulfate ? On écrit la relation suivante :

$$\frac{31,5}{120} = \frac{118 - 31,5}{\text{"A" Sol}}$$

"A" sol = 330 kg unités équivalentes de N-sulfate par ha.

I - INTRODUCTION

L'acide phosphorique est généralement considéré comme facteur essentiel d'amélioration des terres arables tropicales. Le fait est particulièrement vrai pour les sols sableux du sud Sénégal pour lesquels, des 1950, la Recherche agronomique préconisait pour les régions du Rip et de la Casamance, des formules plus riches en P_2O_5 -et moins riches en K_2O - que pour les autres zones. La fumure phosphatée du soja, culture d'introduction récente dont l'extension géographique sera limitée à la zone méridionale du Sénégal, revêt donc un intérêt primordial.

Au nord-Nigéria dans des zones édaphiques et climatiques semblables, d'importantes augmentations de rendement du soja ont été mises en évidence par apport de P jusqu'à 17 kg P/ha (1). Mais en plus du rendement, notre objectif dans cette étude en objet est l'accroissement de la symbiose fixatrice de N_2 . A ce sujet, des travaux antérieurs menés sur le soja, ont montré que les besoins en P pour une nodulation et pour une fixation N_2 optimales étaient supérieures aux besoins optimaux de la plante hôte (2).

En raison des exportations d'azote élevées du soja, l'alimentation phosphatée jouerait donc un rôle primordial dans le maintien de la fertilité azotée du sol en accroissant l'input N-fixe, ou, ce qui en est le corollaire, en réduisant les pertes N-sol.

Dans la présente expérience, on étudie en conditions de culture pluviale de plein champ, l'action d'une fumure phosphatée—appliquée à une dose couvrant largement les exportations de P-sur une culture de soja, fertilisée en N ou inoculée par Rhizobium japonicum.

Le but recherche est de quantifier la fourniture d'azote au soja à partir des 3 sources d'azote possibles : air, sol et engrais dans des conditions de culture et des conditions pluviométriques données (en l'occurrence, conditions de culture intensives et de pluviométrie déficitaire).

Mots clefs : Soja - Alimentation azotée - Alimentation phosphatée. - Alimentation hydrique. Fixation N_2 - Bilan azoté - Fertilité azotée - Techniques culturales.

II - MATERIEL ET METHODES

21 - L'expérience

L'expérience a été conduite au champ 3 la station de recherche agronomique de Séfa, dans le sud du Sénégal, en 1980. Le sol est un sol ferrugineux tropical lessive (tableau 1)(3) dans lequel le soja n'a jamais été cultivé. Le dispositif expérimental est de type Blocs de Fisher avec 6 répétitions. Les différents traitements sont les suivants :

- 1 - inoculation avec Rhizobium japonicum (souche USDA 138) avec N-starter à la dose de 17 kg N/ha, sans apport de P ;
- 2 - la même inoculation avec N-starter, avec apport de P sous forme de supertriple à la dose de 22 kg P/ha ;
- 3 - fertilisation azotée à la dose de 120 kg N/ha sans apport de P ;
- 4 - la même dose d'N-engrais avec apport de p à la dose de 22 kg de P/ha.

Le phosphate est apporté en surface sans enfouissement par une façon culturale. Chaque parcelle élémentaire (28 m²) est constituée d'une parcelle de "rendement" (6,25 m²) et d'une parcelle "¹⁵N" (11,25 m²), elle-même divisée en 3 sous-parcelles (1,5 m² chacune) destinées, aux 3 récoltes effectuées en cours de cycle : la première au stade floraison, la deuxième au stade remplissage des gousses et la troisième au stade maturité. A cet égard, nous considérons que les stades reproductifs R₁ et R₂ sont basés sur la floraison, R₃ et R₄ sur le développement des gousses, R₅ et R₆ sur le développement des graines, et R₇ et R₈ sur la maturation (4).

Toutes les parcelles élémentaires reçoivent une application d'engrais potassique (90 kg K/ha) sous forme de KCl appliqué au semis et au début de la floraison. L'engrais azoté est appliqué sous forme de solution de (¹⁵NH₄)₂SO₄ marqué à 4,85 % d'excès isotopique pour la dose de 17 kg N/ha et 0,760 % pour la dose de 120 kg N/ha.

La variété de soja cultivée est la ISRA-IRAT-44/A/73 obtenue au CNRA (Centre National de Recherches Agronomiques), Bambey (Sénégal). L'inoculum de Rhizobium (souche USDA 138) dont le support est la tourbe et qui contient 3.10⁸ bactéries par g, est appliqué au semis dans le lit de semence à la dose de 220 g par parcelle de 28 m².

La pluviométrie totale avant le semis (juin au 19 juillet) a été de 153 mm ; pendant le cycle végétatif (19 juillet au 15 octobre) elle a été de 504 mm en 90 jours. La distribution pluviométrique fait apparaître une période de sécheresse du 10 septembre au 1 octobre, coïncident avec la période de remplissage des gousses.

22 - Analyses de plantes

Après récolte, les échantillons sont séchés à 65-70°C pendant 24h, pesés, et broyés finement. Le phosphore est analysé selon la méthode au vanadomolybdophosphate (5) et l'azote total selon la méthode Kjeldahl.

L'azote 15 est analysé au laboratoire de Seibersdorf (AIEA) selon la méthode de DUMAS (dans cette technique la combustion du végétal transforme l'azote total directement en N_2) et la spectrométrie d'émission.

23 - Evaluation de la quantité d'azote fixé par le soja

La méthode de la valeur "A" utilisée pour la détermination de l'azote fixe, définie par FRIED et BROESHART (6), peut être résumée de la façon suivante :

1 - L'azote disponible dans une source est désignée par "A", qui est un concept.

2 - La valeur "A" est exprimée en unités équivalentes N kg/ha d'N-engrais appliqué (sulfate d'ammonium dans l'expérience présente).

3 - La fourniture d'azote à la légumineuse est réalisée à partir de 3 sources d'azote :

a - N-sol

b - N-engrais

c - N provenant de fixation de N_2 dans les nodules.

4 - La culture de référence, d'une plante non nodulante ayant le même cycle végétatif, est nécessaire pour la détermination de la valeur A "sol".

5 - A partir de la légumineuse nodulante, on détermine (utilisant l'engrais marqué à ^{15}N) la valeur A "sol + fixation".

6 - Dans notre expérience, nous sommes dans la situation où la légumineuse nodulante et la plante de référence sont en présence de la même quantité de N-sol disponible mais reçoivent des quantités différentes de N-engrais.

$$7 \quad A \text{ "Fix."} = A \text{ "sol t fix."} - A \text{ "sol"}$$

Si :

A "engrais" = dose d'engrais apportée (17 N)

$\% \text{ Ndff}$ = $\% \text{ N}$ dérivé de l'engrais ($\% \text{ N derived from fertilizer}$)

$\% \text{ Ndf fixation}$ = $\% \text{ N}$ dérivé de la fixation

$\% \text{ Ndf sol}$ = $\% \text{ N}$ dérivé du sol

Nous pouvons écrire :

$$\frac{\% \text{ Ndff}}{A \text{ engrais}} = \frac{\% \text{ Ndf fixation}}{A \text{ fixation}} = \frac{\% \text{ Ndf sol}}{A \text{ sol}}$$

$$8 \quad N \text{ fixé (kg N/ha)} = \% \text{ Ndf fixation} \times N \text{ total (kg N/ha)}.$$

Dans notre expérience, la plante de référence non nod. est la même variété, non inoculée, que la plante nodulante.

Tableau 1 : principales caractéristiques physico-chimiques du sol

	0-20 cm	20-40 cm
<u>Texture</u>		
Sable (200-2000 μm) (%)	29.9	27.8
Sable (50-200 μm) %	43.4	41.9
Sable (20-50 μm) %	9.0	8.4
Limon (2-20 μm) %	5.7	7.2
Argile (< 2 μm) %	12.2	15.3
pH H_2O (1/2, 5)	5.9	5.8
pH KCl (1/2, 5)	5.0	4.7
C. Orgânic (%)	0.481	0.408
N. Organic (%)	0.046	0.041
<u>Cations échangeables</u>		
Ca (meq/100 g)	1.37	1.39
Mg (meq/100 g)	0.54	0.47
Na (meq/100 g)	0.037	0.040
K (meq/100 g)	0.059	0.037
S	2.01	1.94
T	2.74	2.93
V = S/T x 100	73	66
P ₂ O ₅ Total, ppm	217	216
P ₂ O ₅ assimilable (Truony), ppm	5.4	2.9

III - RESULTATS ET DISCUSSIONS

31 - Absorption de P et N, et élaboration du rendement

La fumure phosphatée accroît significativement les rendements M.S, P et N (tableau 2). Ce résultat n'est pas surprenant en raison de la faible teneur en P du sol, d'environ 5 ppm de P_{205} assimilable (tableau 1).

311 - Etude cinétique de l'absorption de P. (tableau 4 ; fig. 1)

En début de floraison, le soja a absorbé 60 à 70 % de son P total.

On peut remarquer également que l'azote minéral favorise la précocité de l'absorption de P. Ainsi, de la levée au début de la floraison, le soja fortement fertilisé en azote a absorbé 71 % de son P total, alors que le soja avec N-starter et inoculation, a tendance à étaler son absorption de P puisqu'il n'aura mobilisé que 57 % de son P total au début de la floraison. Une valeur semblable (56 %) avait été obtenus dans les mêmes conditions de culture (LARCHER, communication personnelle).

312 - Etude cinétique de l'absorption de N. (tableau 4 ; fig. 1)

L'absorption d'azote est plus progressive. Au début de la floraison, le soja a absorbé de 40 à 55 % de son N-total. Dans le cas du soja fertilisé en N, on observe (fig. 1) un fléchissement de l'absorption de l'azote à partir du stade remplissage des gousses par rapport au soja inoculé qui bénéficie, quant à lui, de la fixation dans la période post-floraison. A l'inverse, en début de cycle, ce soja inoculé semble moins vigoureux. Cette déficience en période végétative a déjà été signalée sur d'autres légumineuses pour lesquelles le recours à une faible fumure azotée au semis (N starter) a été préconisé afin d'augmenter la capacité de fixation de N_2 et le rendement ('7).

Mais, dans nos conditions de culture, l'apport d'azote-starter n'est pas suffisant pour remédier à cette carence azotée ; ceci est d'ailleurs corroboré par les résultats de diagnostic foliaire qui ont déjà mis en évidence, dans les mêmes conditions de cultures, un déséquilibre dans la nutrition azotée en début de cycle (6) et par l'observation visuelle : celle-ci montre généralement que le soja inoculé, dans la phase végétative de V_1 à R_1 est moins développé et moins vert que le soja recevant l'engrais azoté et que ce phénomène s'inverse en fin de cycle.

Tableau 2 - Action des engrais azoté et phosphaté sur la matière sèche, le N-total et le P-total
du soja au stade maturité

Traitements			RENDEMENT PLANTE ENTIERE kg/ha								
			Matière sèche			N-total			P-total		
			Grain	Paille	Total	Grain	Paille	Total	Grain	Paille	Total
N kg/ha	P kg/ha	Inoculation									
17	0	+	1280	2872	4152	84	25	109	4,7	1,0	5,7
17	22	+	1600	3452	5052	99	43	142	8,0	2,9	10,9
120	0	0	1150	2727	3877	73	21	94	4,9	1,0	5,9
120	22	0	1448	3474	4922	88	27	115	7,8	2,3	10,1
C.V. %			11	13	12	14	16	13	13	23	14
P.P.d.s.			191	515	684	14,4	5,7	18,8	1,0	0,5	1,4

Tableau 3 - Action des engrais azoté et phosphaté sur la matière sèche, le N-total et le P-total du soja
aux trois principaux stades végétatifs

Traitements			RENDEMENT PLANTE ENTIERE kg/ha								
			Matière sèche			N-total			P-total		
N kg/ha	P kg/ha	Inoculation	Floraison	Remplissage des gousses	Maturité	Floraison	Rempl. des gousses ^{gous.}	Maturité	Flor.	Rempl. gous.	Maturité
17	0	+	1872	2733	4152	47	75	709	3,6	4,5	5,7
17	22	+	2293	3945	5052	57	106	142	6,2	9,3	10,9
120	0	0	2145	3288	3877	49	83	94	4,1	5,6	5,9
120	22	0	2694	4423	4922	65	106	115	7,2	9,8	10,1
C.V. %			18	18	12	16	19	13	28	24	14
p.p.d.s.			502	793	684	10,8	21,6	18,8	1,8	2,1	1,4

Tableau 4 - Pourcentage du P total, N total mobilisés et de la matière sèche (M.S.) produite au cours des 3 principales périodes du cycle du soja

Traitements			Levée (V ₁)	floraison (R ₁)		Floraison (R ₁)	remplissage gousses (R ₅)		Remplissage gousses (R ₅)	maturité (R ₈)	
N kg/ha	P kg/ha	Inocu- lation	% P	% N	% M.S.	% P	% N	% M.S.	% P	% N	% M.S.
17	0	+	62	43	45	16	26	zz	zz	31	33
17	22	+	57	40	45	28	35	33	15	25	22
120	0	0	70	52	55	25	36	29	5	12	15
120	zz	0	71	56	55	26	25	35	z	8	10

V₁, R₁ Stades végétatifs

R₁, R₅, R₈ Stades reproductifs

32 - Symbiose Pixatrice de N₂ et fourniture d'N au soja

321 - Nodulation (tableau 5)

La fumure phosphatée accroît significativement le nombre et le poids des nodosités dès le stade début floraison. A ce stade, le phosphate augmente proportionnellement plus la nodulation (+ 92 %) que le rendement (+ 22 %).

Cette action spécifique du phosphate sur l'intensité de la nodulation a été déjà soulignée par de Mooy et al. (2) et sur la précocité de la nodulation, par KEYA (9).

En absence d'inoculation, la nodulation est très faible (entre 5 et 10 nodules par plante).

322 - Estimation de la fixation de N₂ et bilan azoté

La méthode d'estimation de la fixation de N₂ a été exposée au chapitre II.

A maturité, le part de l'azote total provenant de la fixation est de 26 % (soit 37 kg N/ha) pour le soja avec phosphate, et de 55 % (soit 62 kg N/ha) pour le soja sans phosphate (tableau 8).

La valeur de 55 % est similaire à celles déjà trouvées pour le soja cultivé dans la même zone (10) ; la valeur de 26 % est, quant à elle, anormalement basse, ce que nous allons tenter d'expliquer dans le paragraphe suivant.

3221 - Variation de la fixation quantitative nette de N₂ aux stades floraison (R₁), remplissage des gousses (R₅) et maturité (R₈)

Aux stades R₁ et R₅, la fumure phosphatée a accru significativement la valeur A "sol + fixation" (c'est-à-dire la source d'azote "sol + atmosphère"). Au stade maturité (R₈), la fumure phosphatée, en revanche, a diminué significativement la valeur A "sol + fixation" (tableaux 6, 7 et 8).

Les mêmes observations demeurent en ce qui concerne la fixation de N₂, qui en est le corollaire. A la fig. 2, les courbes N-total (N° 1) et N-fixé (N° 3) illustrent bien, dans la période allant du stade R₅ au stade R₈, par leur divergence, cette décroissance de l'N-fixé dans l'N-total de la plante ayant reçu du phosphate ; par contre, on remarque le parallélisme des courbes N-total (N° 2) et N-fixé (N° 4) de la plante n'ayant pas reçu du phosphate.

Les résultats de nodulation (§ 321) et de fixation du N_2 seraient donc apparemment en contradiction en ce qui concerne l'effet du phosphate sur la Fixation. Sinon, on doit admettre que le système nodulaire, pourtant actif, n'a pas fonctionné à partir du stade remplissage des gousses.

L'hypothèse explicative avancée est schématisée à la fig. 3. Ces résultats laissent présager qu'en conditions d'alimentation hydrique optimale, l'effectivité du système fixateur étant alors normale, la quantité d'azote fixé aurait vraisemblablement dépassé 55 % de l'azote total sous l'action du phosphate, compte-tenu de l'effet positif de celui-ci sur la nodulation.

3222 - Conséquences sur le bilan azoté

La fig. 4 montre l'importance de la contribution du sol à la fourniture d'azote au soja (elle atteint 100 kg N/ha) particulièrement à partir du stade remplissage des gousses. On notera que ce stade correspond, paradoxalement, à la deuxième phase de la dynamique du l'N-minéral mise en évidence dans ce type de sol par BLONDEL (11) durant laquelle la quantité d'N-minéralisé de l'horizon 0-35 cm est négligeable.

Le rendement en azote total du soja est augmenté significativement dans 2 cas (tableau 3) :

- par l'apport de phosphate sur le soja inoculé ;
- en substituant l'inoculation à la fumure azotée sur soja ayant reçu du phosphate.

Dans le premier cas, en raison du déficit de fixation observée (-25 kg N/ha), cet accroissement de rendement ne peut résulter que d'une absorption accrue d'azote sol. En d'autres termes, grâce à l'azote-sol, le déficit de fixation est compensé et le rendement en azote augmenté.

Dans le deuxième cas, la contribution de l'inoculation 37 kg N/ha, permet de compenser la contribution de la fumure azotée minérale 32 kg N/ha (estimée à 27 kg N/ha si on enlève la part due à l'azote starter) mais ne permet pas de satisfaire la demande accrue du soja en azote, induite par l'inoculation elle-même ; c'est encore le sol qui fournit cette quantité d'azote supplémentaire.

Tableau 5 - Nombre et poids ~~des~~ nodosités au cours des 2 prélèvements (R₁ et R₅) en cours de cycle.

Traitements			Premier prélèvement (stade R ₁)		Deuxième prélèvement (stade R ₅)	
N kg/ha	P kg/ha	Inoculation	Nombre/plante	Poids sec (mg/plante)	Nombre/plante	Poids sec (mg/plante)
17	0	+	38 b	141 b	30 b	198 c
17	22	+	56 c	271 c	46 c	306 d
120	0		5 a	19 a	5 a	27 a
120	22	0	11 a	57 a	7 a	74 b
C.V. %			42	61	20	27

*L'analyse de variance prend en compte 2 répétitions internes par répétition du fait des 2 mesures (1 mesure par ligne) réalisées par prélèvement parcellaire. Les valeurs affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement à P 0,05 (test de Keuls).

Tableau 6 - Sources d'azote et valeur "A" du soja au stade floraison

Traitements			N-Fixé		N-Sol		N-engrais		Valeur "A" kg N/ha
N kg/ha	P kg/ha	Inoculation	% Nt	kg/ha	% Nt	kg/ha	% Nt	kg/ha	
17	0	+	36	17	37	27	7,0	3,3	237
17	22	+	54	33	41	25	5,4	3,3	309
120	0	0	0	0	50	24	50,6	25,1	150
120	22	0	0	0	51	33	49,2	31,8	141

Analyse de variance

(N-engrais kg/ha : - pour les traitements 17 N : C.V. = 16 % ; p.p.d.s = 0,92 kg N/ha
 (- pour les traitements 120 N : C.V. = 17 % ; p.p.d.s = 9,3 kg N/ha
 (Valeur "A" : C.V. = 20 % ; p.p.d.s = 67 kg N/ha

Tableau 7 - Sources d'azote et valeur "A" du soja au stade remplissage des gousses

Traitements			N-Fixé		N-sol		N-engrais		Valeur "A"
N kg/ha	P kg/ha	Inoculation	% Nt	kg/ha	% Nt	kg/ha	% Nt	kg/ha	kg/ha
17	0	+	28	21	66	50	5,8	4,4	276
17	22	+	41	45	55	62	4,8	5,4	351
120	0	0	0	0	62	48	39,0	29,6	194
120	22	0	0	0	62	67	38,0	40,8	199

Analyse de variance {

- N-engrais kg/ha : pour les traitements 17 N : C.V. = 25 % ; p.p.d.s = 2,2 kg N/ha
pour les traitements 120 N : C.V. = 15 % ; p.p.d.s = 12,1 kg N/ha
- Valeur "A" : C.V. = 20 % ; p.p.d.s = 67 kg N/ha.

Tableau 8 - Sources d'azote et valeur "A" du soja au stade maturité

Traitements			N-Fixé		N-Sol		N-engrais		Valeur "A"
N kg/ha	P kg/ha	Inoculation	% Nt	kg/ha	% Nt	kg/ha	% Nt	kg/ha	kg/N/ha
17	0	+	55	62	42	48	2,8	3,2	592
17	22	+	26	37	70	100	3,7	5,3	449
120	0	0	0	0	68	64	31,6	30,4	263
120	22	0	0	0	72	83	26,8	31,7	331

Analyse de variance {
 { - N-engrais kg/ha pour les traitements 17 N : C.V. = 14 % ; p.p.d.s = 1,0 kg N/ha
 { pour les traitements 120 N : C.V. = 19 % ; p.p.d.s = 10,2 kg N/ha
 {
 { - Valeur "A" C.V. = 15 % ; p.p.d.s = 87 kg N/ha.

IV - SYNTHESE ET CONCLUSIONS

Les résultats de la présente expérience doivent être interprétés à la lumière de 2 facteurs essentiels ayant trait à la culture du soja, objet de cette étude :

- l'épandage en surface du phosphate, correspondant à la pratique agricole sénégalaise traditionnelle mais pouvant facilement être modifiée dans la zone de culture du soja ;

- la sécheresse post-floraison, imprévisible, mais dont on sait quelle est fréquente, même sous l'isohyète 1300 mm.

Ces facteurs pédoclimatiques pris en considération, les enseignements découlant de cette expérience portent sur l'alimentation phosphatée et azotée et ses conséquences sur le bilan azoté sol-plante.

1 - Sur l'alimentation phospho-azotée en période végétative (V₁ à R₁)

Chez le soja, la mobilisation du phosphore est réalisée principalement durant la phase végétative entre 55 et 75 % de la mobilisation totale, alors que la mobilisation de l'azote et la production végétale sont réalisées surtout durant la période reproductive.

En période végétative, d'une part le phosphatage augmente proportionnellement plus la nodulation que le rendement et d'autre part, grâce à une alimentation azotée optimale, la plante peut emmagasiner 70 % de son phosphore.

La précocité et l'intensité de l'alimentation phosphatée, Essentielles dans le démarrage de la nodulation, serait donc liées à une fourniture optimale et concomitante d'azote.

La difficulté est d'assurer cette alimentation azotée optimale en phase végétative : 3 sources d'azote peuvent y concourir : l'azote minéralisé (l'azote-sol), l'azote-engrais et l'azote fixé symbiotiquement. La source d'azote "sol" s'avère insuffisante car la période végétative du soja coïncide généralement avec la phase de décroissance de la minéralisation nette de l'azote du sol. La source d'azote "fumure azotée" défavorise le système fixateur soja-rhizobium, donc le soja dans sa phase reproductive ; de plus, elle est irrationnelle pour une légumineuse. La source d'azote "fixation" est la seule apte à remédier au déclin de l'azote minéral du sol, en absence de fumure azotée, dans la mesure où elle est précoce ; malheureusement, la fixation précoce ne semble pas être le fait des systèmes soja-Rhizobium actuellement cultivés.

Ces résultats nous permettent d'appréhender qu'elle pourrait être la potentialité de rendement d'un soja qui exprimerait sa potentialité en période végétative à l'instar du soja fortement fertilisé en N, et en période reproductive à l'instar du soja inoculé ! C'est vers ce système fixateur soja-Rhizobium, que doivent tendre les efforts d'amélioration des systèmes fixateurs actuels afin de les rendre le plus indépendant possible, en période végétative, de l'azote minéral exogène.

2 - Sur l'alimentation azotée en période reproductive (R₁ à R₈)

- En conditions d'alimentation hydrique optimales.

Des mesures de fixation de N₂ quantitatives faites sur le soja qui a le mieux toléré la sécheresse (du fait d'un développement moindre conséquence de la carence en P) il ressort que la courbe de mobilisation de l'azote total suit grosso-modo celle de l'azote fixé, dès le stade début remplissage des gousses. (En effet, à partir de ce stade, le stock d'N-sol de ce soja reste invariable : environ 50 kg N/ha, ce qui montre que l'absorption nette d'N-sol devient alors négligeable). En conséquence, en conditions d'alimentation hydrique optimales du soja dans sa phase reproductive, la demande supplémentaire d'azote liée à son développement végétatif serait assurée par la fixation de N₂.

- En conditions d'alimentation hydrique sub-optimales

Lorsque le sol se dessèche, on sait qu'en dessous d'un certain taux d'humidité, variable suivant les types de sols, la fixation de N₂ est nulle ou négligeable (12, 13). En sol sableux tropicaux, cette humidité est de 4,5 % pour le système "sol dior-arachide" (14). On peut donc admettre qu'il existe un gradient d'humidité du sol entre ce point de fixation nulle et le point de flétrissement*, qui permette le développement du soja devenu, alors, non fixateur. C'est le cas du soja avec P dont l'apport de cet élément a accru le développement végétatif. En conséquence, en conditions d'alimentation hydriques sub-optimales du soja, dans sa phase reproductive, toute demande supplémentaire en azote liée à son développement végétatif, serait assurée par le sol.

3 - Sur le bilan azoté sol-plante

Le soja viendrait alors en tête des plantes pour leur capacité d'extraction de l'azote du sol : en l'occurrence 100 kg N/ha, soit environ 3 fois plus qu'une culture de mil intensive, soit environ 7 % des réserves

* Le point de flétrissement des plantas en sol sableux dior se situe vers 1,5 - 2 % d'humidité pondérale ; dans le sol de Séfa, plus riche en argile, il se situe vers 5 % (3).

Tableau V : Rendement d'un soja non inoculé, succédant à un soja inoculé
 ayant poussé ou en conditions sub-optimales : celles de l'année
 80 ou en conditions ~~sub~~ ptimalos : celles de l'année 1981 - (Résul-
 tats de l'expérience "Survie du Rhizobium").

	Année *			
	Succession 1		Succession II	
	1980 (inoculé)	1981 (non inoculé)	1981 (inoculé)	1982 (non inoculé)
Rendement grain kg/ha	2000	160	2060	1615
N-Sol kg/ha** (plante entière)	125	13	45	

* 1980 pluviométrie défavorable
 1981 pluviométrie favorable

** Valeurs estimées à partir des résultats % N-sol
 dans Nt plante de 70 % en 1980 (tableau 8) et 25 % en 1981 (18).

d'N-soluble** sur 30 cm ! Dans ces conditions (alimentation hydrique déficitaire pour La symbiose), l'épuisement des réserves d'azote minéralisables du sol est prévisible. C'est vraisemblablement l'explication des résultats du tableau 9 où l'on remarque les très faibles rendements (160 kg/ha) du soja cultivé en 1981 qui a succédé à un soja cultivé en 1980 de façon identique à celui dont il est question ici (année, sol, et techniques culturales) dont la production avait été de 2000 kg M.S. grain/ha. A l'inverse, la succession 1981-1982 montre qu'après une symbiose optimale en 1981, les rendements de 1982 ont été corrects.

Recommandations pratiques

La capacité du soja inoculé à satisfaire sa demande en azote par le moyen de la fixation de N₂ semble dépendre étroitement de sa capacité à tolérer la sécheresse. L'alimentation hydrique dépend de la réserve en eau du sol et de l'enracinement qui prospecte cette réserve ; elle est donc fonction du système racinaire de la variété (16), mais aussi de certaines techniques culturales telles que le travail du sol, l'enfouissement des phosphates et la date de semis, ce que nous avons résumé ci-après (tableau 10).

Tableau 10 : Effet des principales techniques de culture sur les facteurs sol-plante régissant l'économie de l'eau (les nombres entre parenthèses renvoient à la bibliographie).

Techniques / Paramètres	Labour x phosphatage	Date de semis après 2 ou 3ème pluie utile (17)	Engrais N au semis (18)	Mycorhization (19)
Sol	- Porosité (3) - phosphate terre-profondeur	- Porosité (3) - Pic de minéralisation (11)	- Azote starter	
Plante	- Profondeur d'enracinement (9,20)	- Vigueur végétative en début de cycle	- Azote minéral en début de cycle	- Volume racinaire - Indice de rendement (19)

** N soluble à l'hydrolyse acide selon DECAU (15)

----- REFERENCES -----

JOFFHY and HEATHCOTE (1964) - Fertilizer trials with soybeans in northern Nigeria - Emp. J. Exp. Agric., 32 ; 257-262.

EMBOU (C.J.), PESEK (J.) and SPALDON (E.), 1973 - Cited by EDWARDS (D.G.) in "Biological Nitrogen fixation in farming systems of the tropics" p. 194. Edited by A. AYANABA and P.J. DART. John Wiley and sons New-York.

ARRIAU (C.) et NICOU (R), 1971 - L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest africaine et ses incidences agronomiques.
Bulletin Agronomique n° 23
Extraits de l'Agron. Trop. N°s 2, 5, 9 et 11.

W.R.), CAVINESS (D.E.), BURMODO (D.T.) and PENNINGTON (J.S.), 1971. Stage of development descriptions for soybeans, Glycine Max (L.) Merrill. Crop Science, Vol 11. 929-930.

ATA (M.) et DEWAELE (M.), 1972 - Etalons végétaux pour l'analyse foliaire. IIIème colloque européen et méditerranéen sur le contrôle de l'alimentation des plantes cultivées. Comité Inter-Institut d'étude des techniques analytiques du diagnostic foliaire (C.I.I.). Budapest-1972.

9 FROLO (M.) and BROESHART (H.), 1975 - An independent measurement of the amount of nitrogen fixed by a legume crop. Plant and Soil, 43 (3); 707-711.

PERDENSEN (F.J.), 1975 - Factors controlling Nitrogen Fixation by Rhizobia In "Biological Nitrogen Fixation in Farming systems of the Tropics" Edited by AYANABA (A.) and DART (P.J.) - JOHN WILEY and SONS. (New-York)

4ROHER (J.), Cisse Limamoulaye et OLIVER (R.), - 1982 - Indice S.I.D.R. et diagnostic foliaire du soja. Glycine max. Agron. Trop. (Sous presse).

- GA (S.G.), 1975 - Nodulation and Nitrogen Fixation in Legume in West Africa. In "Biological Nitrogen Fixation in Farming systems of the use of the Tropics". Edited by AYANABA (A.) and DART (P.). - JOHN WILEY and SONS (New-York). p. 240.
- IRY (P.) and WEY (J.), 1974 - Inoculation par Rhizobium japonicum fumure phosphatée et azotée du soja au Sénégal - Report on the FAO/AIEA coordinated Research Programs on the use of Isotope in fertilizer efficiency studies on grain legumes Research contract n° RC/1296-SEV. AIEA-VIENNE.
- MONDEL (D.), 1978 - Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote en sol ferrugineux tropical à Séré (Sénégal). Agron. Trop. Vol XXVI, N° 12, 1334-1353
- SPRENT (J.B.), 1972 - Nitrogen fixation by legume subjected to water and high stresses. In : "Symbiotic nitrogen fixation in plants" (P. Nutman Ed.). Cambridge University Press, 395-405.
- WALKERST (C.E.) and SPRENT (J.B.), 1975 - Effects of water stress on the respiratory and nitrogen-fixing activity of soybean root nodules - Journal of experimental botany, 26, 287-304.
- YOUSSEF (P.), 1978 - Synthèse des travaux effectués sur la nodulisation de la fixation d'azote d'une culture d'arachide au Sénégal - Années 1976-1977. Doc. Année - INRA (Bamako) Sénégal - 43 p.
- FOAU (J.), 1968 - Contribution à l'étude de l'influence des conditions de milieu sur la répartition de l'azote dans le sol. Principales formes d'azote obtenues par hydrolyse. Ann. Agron. 19 (6). 653-83
- SAINT-MACARY (P.), BEUNARD (P.) et PICHOT (J.), 1981 - Nodulation et fixation d'azote de cinq variétés de soja en culture sur brouillard. Agron. Trop. XXXVI, N° 1, 42-53.

INFORMATIONS - L'enracinement du soja au Sénégal. Les besoins en N
du soja, au sud du Sénégal.

N° 13 - Janvier-juin 1980

Ed. IRAT, 110 - Rue de l'Université 75 340 PARIS CEDEX.

GANRY (F.) and MEY (J.), 1981 - Action de l'inoculation et de la fumure
sur le rendement et la fixation symbiotique de cinq variétés :
Report on the FAO/AIEA coordinated Research Programme on the use
of Isotopes in studies on Biological Dinitrogen Fixation.
Contract N° D1/SEN 2375. IAEA, VIENNE.

9 GANRY (F.), DIEM (H.G.) and DOMMERGUES (Y.), 1982 - Effect of inoculation
with Glomus mosseae upon nitrogen fixation by field grown soybean.
Doc. Ronéo - CNRA (Pamby) Sénégal - 15 p. Plant and Soil (à paraître).

20 CHOPART (J.L.), 1975 - Influence du labour et de la localisation de l'engrais
en profondeur sur l'adaptation à la sécheresse de différentes cul-
tures pluviales au Sénégal - Doc. mult. ISRA-CNRA Sambe (Sénégal),
172 p.

21 CHOPART (J.L.), 1980 - Etude au champ des systèmes racinaires des principales
cultures pluviales au Sénégal (Arachide - Mil - Sorgho - Riz d'été)
Thèse Doctorat de l'Inst. Nat. Polytechnique de Toulouse - soutenue
le 19.01.1980 - Doc. N° 10 - 160 p.

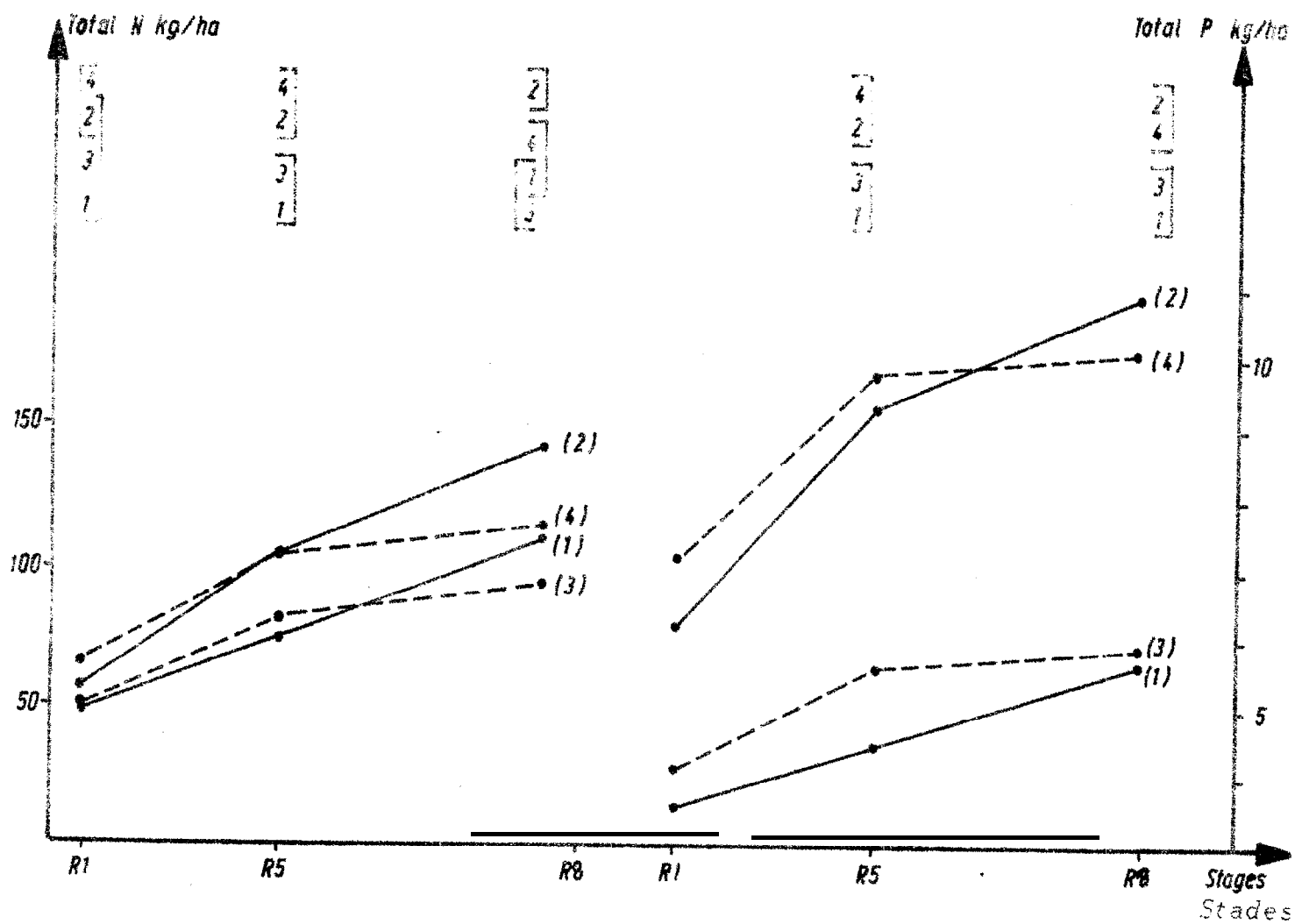
2 MEYER (J.), GERMANI (G.), DREYFUS (B.), SAINT-MACARY (H.), GANRY (F.) et
DOMMERGUES (Y.), 1982 - Estimation de l'effet de deux facteurs limi-
tants sur la fixation de l'azote (C_2H_2) par l'arachide et le soja
Oléagineux. Vol. 37, N° 3 ; 93-158.

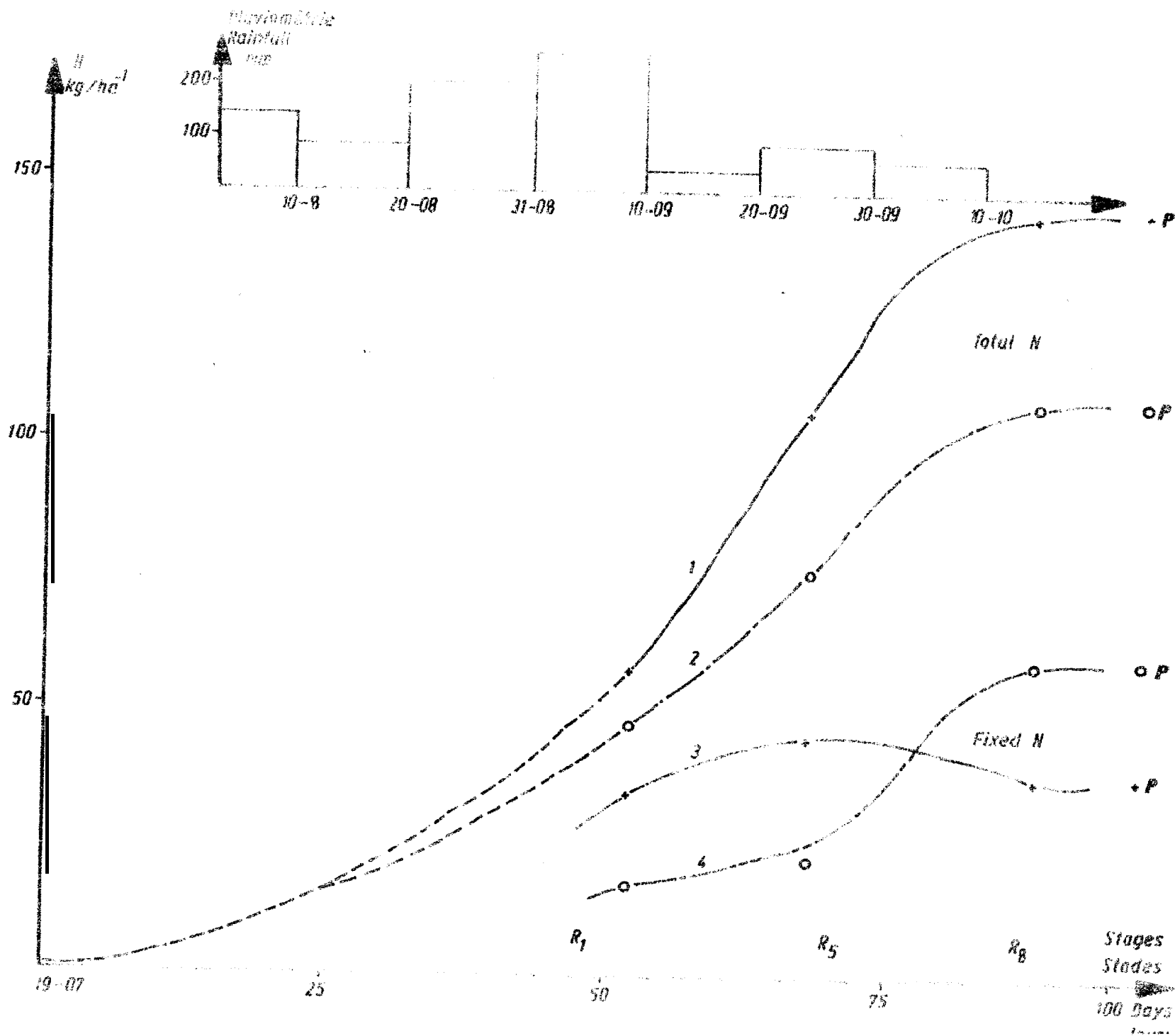
-- LISTE DES FIGURES --

- Fig. 1 - Mobilisations de N et de P aux stades végétatifs début floraison (R_1) remplissage des gousses (R_5) et maturité (R_8).
- Fig. 2 - Courbes de mobilisation de l'azote total et de l'azote fixé.
- Fig. 3 - Schéma d'interprétation des effets de la fumure phosphatée en surface (broadcasting), ou de la non fumure phosphatée (l'une évaluée par rapport à l'autre), sur les performances symbiotiques d'un soja affecté par une sécheresse post-floraison.
- Fig. 4 - Importance de la contribution des 3 sources d'azote (air, sol et engrais) aux trois principaux stades végétatifs.

Fig 1

- (1) 17N , 0P, inoculation
- (2) 17N , 22P, inoculation
- (3) 120N , 0P
- (4) 120N , 22P

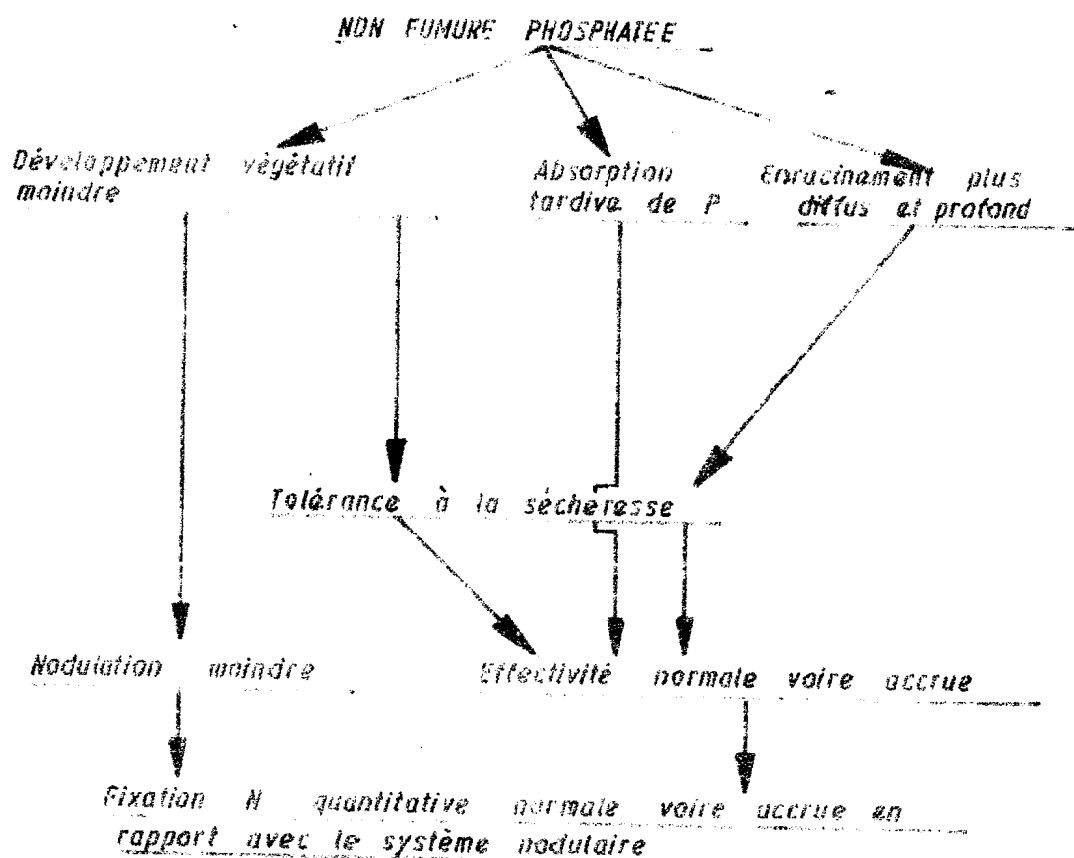
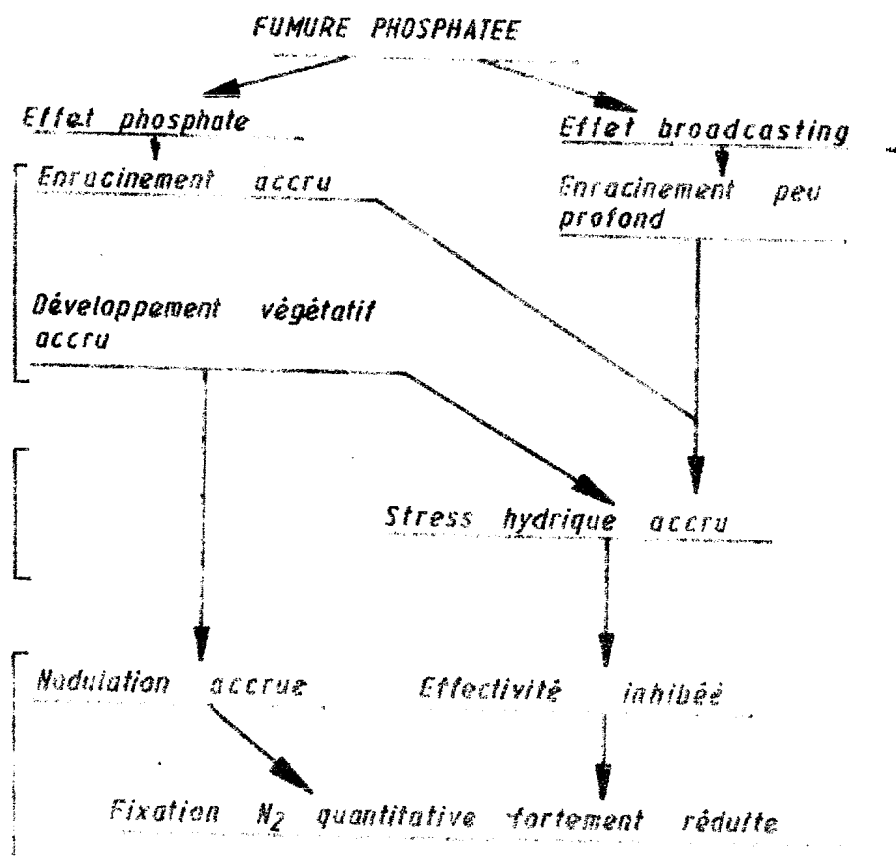


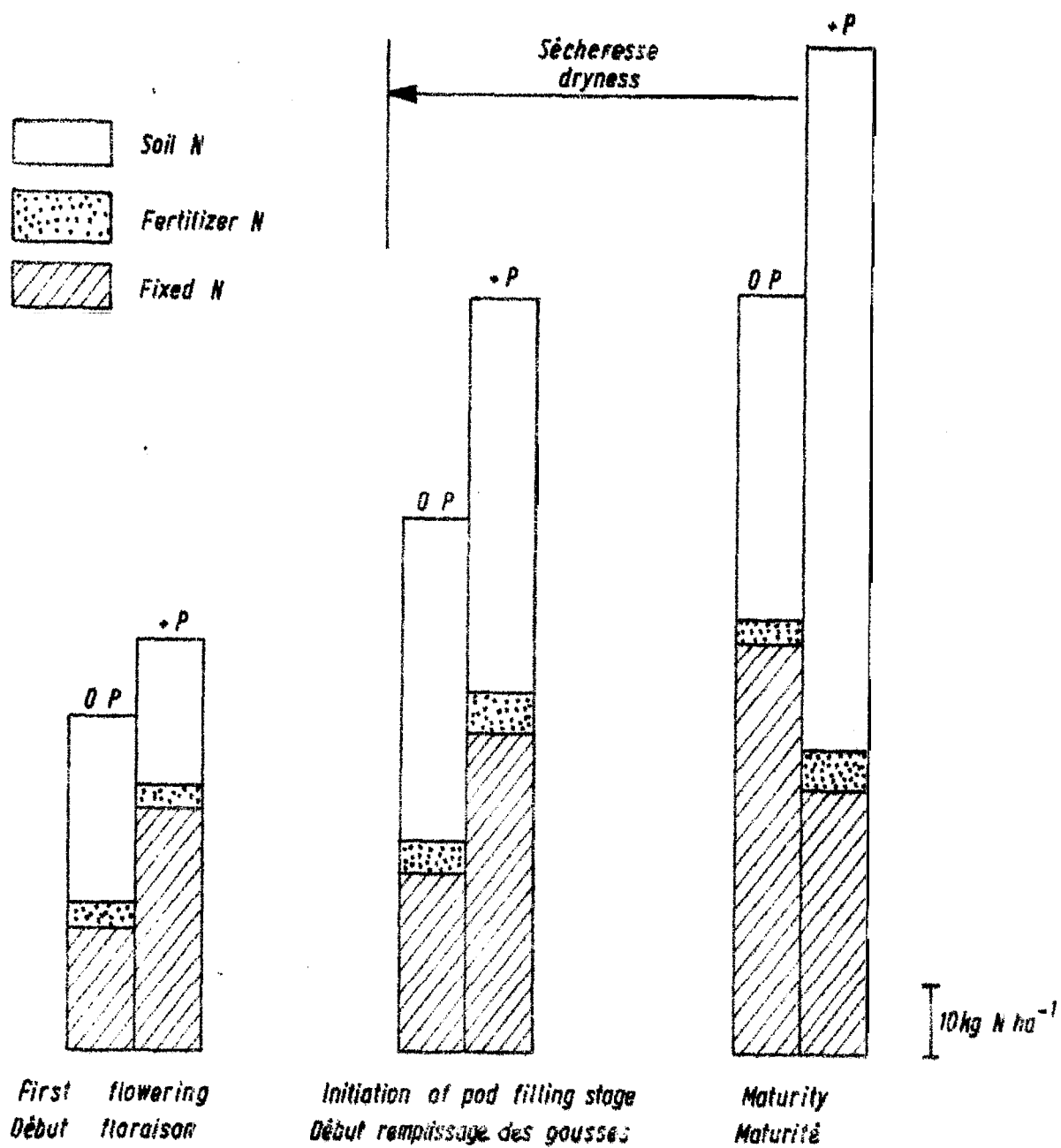


te
20)

tion
que
21)

rmances
otiques
13, 14





SEPARATE HARVESTS AT DIFFERENT STAGES

RECOLTES A TROIS STADES DIFFERENTS