

SR/Asc



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
BAMBÉY

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

CN 0100871
F611
LAR

(JL - LC - RO / MS)

DOCUMENT N. 115/82

DECEMBRE 82

INDICES S. I. D. R. ET DIAGNOSTIC FOLIAIRE DU SOJA
(*Glycine max* L. Merrill)

par

J. LARCHER - L. CISSE - R. OLIVER

ingénieur de recherche IRAT détaché à l'ISRA

ingénieur de recherche à l'ISRA

ingénieur de recherche IRAT détaché à l'ISRA

INTRODUCTION

L'analyse chimique de la plante entière permet parfois de mieux comprendre le processus de la nutrition minérale mais surtout d'apprécier les quantités d'éléments essentiels exportées par la culture, à condition toutefois de faire un échantillonnage soigné avant l'analyse, ce qui s'avère très difficile dès que l'espèce concernée atteint un certain développement végétatif. Cette méthode a aussi l'inconvénient de nécessiter la destruction de la plante et de ne donner des résultats qu'à posteriori sans que l'agronome puisse intervenir pour modifier éventuellement la fertilisation en cours de végétation.

LAGATU et MAUME ont montré que le diagnostic foliaire permettait d'établir une "biopsie de la plante" (DEMOLON) en analysant une feuille de situation définie à un moment précis du cycle de la plante. En comparant les résultats de l'analyse à des "niveaux critiques de nutrition" définie par un ensemble d'essais aux champs et en laboratoire, il est alors possible d'établir un diagnostic de la nutrition minérale durant le cycle de la plante.

La situation et le nombre de feuilles à prélever, l'époque du prélèvement et les niveaux critiques de nutrition ont ainsi été déterminés pour de nombreuses plantes cultivées comme la canne à sucre, le riz, l'arachide, le palmier à huile etc...

Ainsi pour le soja CHAPMAN préconise de prélever 50 à 100 limbes de feuilles supérieures au stade R4. L'EMBRAPA au Brésil conseille de prélever la 4^{ème} feuille supérieure (limbe et pétiole) au stade R2 et 50 feuilles par répétition. Aux USA on préconise de prélever 20 à 30 feuilles supérieures par répétition au stade R4.

Par ailleurs les niveaux critiques et optima de nutrition du soja ont été établis par JONES J.B. (1966-68), OHLROGGE (1960), NELSON et BARBER (1964), MELSTED et AL, (1969), DE MOOY et PESEK (1970).

Si ce type de diagnostic foliaire permet d'intervenir au cours de végétation, il est limité dans son utilisation car il doit être réalisé à un stade végétatif précis et "ne tient pas compte de façon satisfaisante de la variation des teneurs en éléments nutritifs en fonction de l'âge" (SUMNER 1937) et de l'aspect variétal.

Le **Système Intégré du Diagnostic et de Recommandation (SIDR)**, mis au point par BEAUFILS pour le maïs et la canne à sucre et adapté au soja par SUMNER, permet de diagnostiquer si N, P ou K est l'élément nutritif qui limite le plus la production du soja dans un cas particulier. Ce diagnostic peut être effectué quelque soient la variété et l'âge de la feuille prélevée.

L'objet de notre étude a été de vérifier l'intérêt des indices SIDR appliqués à une culture de soja au Sénégal.

II - MATERIEL ET METHODE EXPERIMENTALE

21 - Indices SIDR

A partir d'une banque de données, 1245 séries d'analyses foliaires N, P et K réparties en deux sous-populations (A et B), SUMNER a calculé la valeur

moyenne de N/P, N/K, K/P ainsi que leur coefficient de variation (CV). Les indices SIDR représentant "des évaluations quantitatives du degré relatif de déséquilibre entre les éléments nutritifs étudiés" (SUMNER) ont été calculés à l'aide des équations suivantes :

$$\text{Indice N} = + \frac{f(N/P) + f(N/K)}{2}$$

$$\text{Indice P} = - \frac{f(N/P) + f(K/P)}{2}$$

$$\text{Indice K} = + \frac{f(K/P) - f(N/K)}{2}$$

$$\text{où } f(N/P) = 100 \left(\frac{N/P}{13,77} - 1 \right) \frac{10}{CV} \quad \text{lorsque } N/P > 13,77$$

$$f(N/P) = 100 \left(1 - \frac{13,77}{N/P} \right) \frac{10}{CV} \quad \text{lorsque } N/P < 13,77$$

(13,77 représentant la valeur moyenne N/P et CV = 20 le coefficient de variation de la sous-population B).

Les autres termes f(N/K) et f(K/P) sont obtenus de la même façon en utilisant pour f(N/K) la moyenne 2,43 et cv = 21, pour f(K/P) la moyenne de 5,97 et CV = 25.

22 - Expérimentation

Deux essais (I et II) ont été réalisés en 1981 à la station de Séfa (moyenne Casamance) sur sols ferrallitiques moyennement désaturés (essai I) et sur sols ferrugineux tropicaux à taches et concrétions (essai II).

221 - Essai 1

Traitements

- Blocs de Fisher, 13 traitements, 6 répétitions
- Rotation maïs/soja avec enfouissement (AP), sans enfouissement (SP) des pailles de maïs ou inoculation (IN).

Tableau n°1 : Traitements (kg/ha) de l'essai 1

Traitements	Enfouissement pailles	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Inoculation
(1) N - P - K ₀ - SP	sans	100*	45	0	sans
(2) N - P - K ₄₀ - SP	sans	100*	45	40	sans
(3) N - P - K ₈₀ - SP	sans	100*	45	80	sans
(4) N - P - K ₁₂₀ - SP	sans	100*	45	120	sans
(5) N - P - K ₀ - AP	avec	100*	45	0	sans
(6) N - P - K ₄₀ - AP	avec	100*	45	40	sans
(7) N - P - K ₈₀ - AP	avec	100*	45	80	sans
(8) N - P - K ₁₂₀ - AP	avec	100*	45	120	sans
(9) N - P - K ₀ - IN	sans	15**	45	0	avec
(10) N - P - K ₄₀ - IN	sans	15**	45	40	avec
(11) N - P - K ₈₀ - IN	sans	15**	45	80	avec
(12) N - P - K ₁₂₀ - IN	sans	15**	45	120	avec
(13) T.A. (témoin absolu)	sans	0	0	0	sans

* 15 kg au semis, 40 kg au stade R1, 45 kg au stade R3

** 15 kg au semis.

Conditions de réalisation

- écartement entre lignes : 0,60 m
- densité de peuplement : 333000 pieds/ha
- dimensions et superficie utiles des parcelles élémentaires : 3,00 x 11,40 m = 34,20 m²
- cultivar : ISRA-IRAT 44A/73
- inoculum : (souche USDA 136 + tourbe) 25 kg/ha

Tableau n°2 : traitement (kg/ha) de l'essai II

/Traitements	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0 - 0 - 0	0	0	0
IN -- 0 -- 0	Inoculation	0	200
IN -- 0 -- 200	Inoculation	0	200
IN -- 100 -- 0	Inoculation	100	0
IN -- 100 -- 200	Inoculation	200	200
200 -- 100 -- 200	200"	100	200

* 1/5 au labour, 2/5 au stade R1, 2/5 au stade R2

- Conditions de réalisation

- . Blocs de Fisher, 6 traitements, 6 répétitions
- . Précédent cultural : maïs
- . Ecartement entre lignes 0,60 m
- . Densité de peuplement : 333.000 pieds/ha
- . Dimensions et superficie utiles des parcelles élémentaires :
1,80 x 4,00 = 7,20 m²
- . Cultivar ISRA-IRAT 44 A/73
- . Inoculum (souche USDA 138 + tourbe) 25 kg/ha
- . Fumure : les engrais ont été épandus manuellement et enfouis superficiellement au rateau avant le semis.

23 - Prélèvement des échantillons

- Stades végétatifs :
 - . essai I : R2, R3, R4, R5 et R6
 - . essai II : R2
- Situation de la feuille : limbe de la deuxième feuille supérieure ayant les folioles complètement déroulées
- Nombre de feuilles par parcelle : 25
- Séchage des échantillons à l'étuve à 60°C

24 - Méthodes d'analyses

L'azote total a été déterminé par colorimétrie automatique au dichloro-isocyanurate de sodium, après attaque Kjeldahl de 530 mg de poudre végétale à la température contrôlée de 350°C pendant 3 heures (B.D.20 Technicon).

Le phosphore et le potassium ont été dosés par colorimétrie automatique au réactif de MISSON et émission de flamme, après minéralisation selon la technique du C.I.I.

III - RESULTATS ET DISCUSSION

31 - Essai 1

Tableau n°3 : Teneurs (%) des feuilles au stade R2, Indices SIDR, N,P et K; Rendements grains (kg/ha).

Traitements	Teneurs			Indices			Ordre des besoins en élément nutritif	Grains kg/ha à 13 % H.
	N	P	K	N	P	K		
(1) N-P-K ₀ - SP	4,29	0,495	0,818	13	67	80	K > N > P	977 c
(2) N-P-K ₄₀ - SP	4,15	0,454	1,600	11	27	15	K > N > P	1835 b
(3) N-P-K ₈₀ - SP	4,20	0,469	1,968	17	21	5	N > K > P	2186 a
(4) N-P-K ₁₂₀ - SP	4,40	0,479	2,173	17	19	1	N > K > P	2225 a
(5) N-P-K ₀ - AP	4,30	0,493	1,443	9	35	26	K > N > P	1149 c
(6) N-P-K ₄₀ - AP	4,26	0,477	1,895	15	24	8	N > K > P	1830 b
(7) N-P-K ₈₀ - AP	4,29	0,488	1,380	17	24	7	N > K > P	2385 a
(8) N-P-K ₁₂₀ - AP	4,19	0,477	2,195	21	20	1	N > K > P	2334 a
(9) N-P-K ₀ - IN	4,19	0,441	1,015	5	43	49	K > N > P	1135 c
(10) N-P-K ₄₀ - IN	4,32	0,455	1,835	12	21	9	N > K > P	1959 b
(11) N-P-K ₈₀ - IN	4,32	0,437	2,125	15	14	1	N > K > P	2035 b
(12) N-P-K ₁₂₀ - IN	4,50	0,450	2,190	14	14	0	N > K > P	2081 b
(13) T.A	3,70	0,400	0,998	0	40	40	K > N > P	711

* Les rendements affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents à P = 0,05 (test de KEULS).

Les teneurs en azote, à l'exception de TA, sont justes satisfaisantes. Pour le phosphore les teneurs sont très bonnes même pour le témoin ce qui tend à prouver l'absence de toute carence phosphorique dans ce sol du fait d'une fertilisation appropriée et qui reste efficace dans le temps. Par contre les teneurs en potasse sont faibles pour les traitements 1,2,3,5,6,7,9,10 et TA, satisfaisantes pour les autres.

En l'absence de fumure potassique (traitements 1.5.9 et TA). 1a

En apportant 40 kg de K₂O (traitements 2,6 et 10) on constate une augmentation significative des rendements. Cependant les besoins en potasse du soja ne sont pas encore satisfaits puisque l'indice K reste le plus faible (traitement 2) ou occupe la deuxième place derrière l'azote (traitements 6 et 10) qui devient alors l'élément le plus limitant. Ceci s'explique par le fait qu'une partie de l'azote engrais du traitement 6 a été utilisée pour la décomposition des pailles et que la symbiose bactérienne du traitement 10 n'a pas été suffisamment efficace.

80 kg de K₂O semblent satisfaire les besoins en potasse du soja. En effet les rendements augmentent significativement (traitements 3 et 7) et l'indice K passe en deuxième rang derrière l'azote qui lui devient le principal élément limitant. Pour le traitement 11, la mauvaise efficacité de la symbiose Rhizobium japonicum/soja déjà mentionnée se confirme et renforce le caractère limitant et la non-augmentation du rendement en grains.

120 kg de K₂O ne modifient plus la hiérarchie des indices (N K P) et les rendements. L'azote est alors l'élément limitant principal. A ce stade, toute augmentation de rendement ne peut être obtenue que par la fourniture au soja d'azote supplémentaire.

Comme le montrent ces résultats, les indices SIDR permettent de mieux comprendre le rendement et surtout de diagnostiquer le ou les éléments limitants.

32 - Essai II

Pour les traitements sans apport de K₂O (0-0-0, IN - 0-0 et IN-100-0), il est logique que la potasse apparaisse comme l'élément limitant; les mobilités du soja étant de l'ordre de 90 kg/ha de K₂O (J. LARCHER) chiffre par ailleurs confirmé par les résultats de l'essai 1.

Bien que les indices K des traitements IN-0-200, IN-100-200 et 200-100-200 soient algébriquement supérieurs à ceux des trois premiers traitements, il est anormal qu'avec 200 kg/ha de K₂O, la potasse soit encore l'élément limitant. L'examen du tableau n°4 montre que les teneurs en azote des limbes, au stade R₂, sont toutes supérieures à 5 %, les normes habituellement utilisées aux USA situant l'optimum entre 4,25 et 5 %. Par ailleurs les teneurs en potasse sont normales, sauf pour le traitement 0-0-0.

Tableau n°4 : Indices SIDR et rendements en grains (kg/ha)

Traitements	Stades	Teneurs (%)			Indices			Ordre des besoins en éléments limitants	Grains* kg/ha à 13 % H
		N	P	K	N	P	K		
0-0-0	R2	5,144	0,400	1,771	3	9	- 12	K > N > P	1220 b
	R3	4,907	0,291	1,315	18	1	- 19	K > P > N	
	R4	4,367	0,250	1,096	22	1	- 22	K > P > N	
	R5	4,026	0,236	0,971	23	3	- 26	K > P > N	
	R6	3,520	0,204	1,096	14	- 4	- 10	K > P > N	
IN-0-0	R2	5,378	0,492	2,060	5	15	- 10	K > N > P	1640 ab
	R3	5,023	0,335	1,481	12	5	- 16	K > P > N	
	R4	4,715	0,300	1,432	12	1	- 13	K > P > N	
	R5	4,063	0,260	1,179	13	3	- 16	K > P > N	
	R6	3,652	0,239	1,199	9	1	- 10	K > P > N	
IN-0-200	R2	5,262	0,434	2,084	3	8	- 6	K > N > P	1854 ab
	R3	5,212	0,304	1,668	13	- 4	- 9	K > P > N	
	R4	4,847	0,263	1,461	17	- 7	- 10	K > P > N	
	R5	4,432	0,245	1,435	14	- 7	- 7	K = P > N	
	R6	4,011	0,209	1,224	18	- 9	- 9	K = P > N	
IN-100-0	R2	5,256	0,481	2,026	5	15	- 10	K > N > P	1618 ab
	R3	5,222	0,347	1,409	15	7	- 22	K > P > N	
	R4	4,669	0,327	1,237	14	11	- 25	K > P > N	
	R5	4,168	0,268	0,996	20	9	- 29	K > P > N	
	R6	3,533	0,254	1,075	9	8	- 17	K > P > N	
IN-100-200	R2	5,575	0,482	2,227	4	11	- 7	K > N > P	1984 a
	R3	5,247	0,362	1,816	6	2	- 8	K > P > N	
	R4	4,784	0,312	1,550	9	1	- 10	K > P > N	
	R5	4,394	0,281	1,414	10	0	- 10	K > P > N	
	R6	4,112	0,288	1,492	4	2	- 6	K > P > N	
200-100-200	R2	5,941	0,520	2,228	3	14	- 11	K > N > P	1916 ab
	R3	5,999	0,406	1,943	8	3	- 11	K > P > N	
	R4	5,298	0,355	1,630	10	4	- 14	K > P > N	
	R5	4,647	0,298	1,469	10	1	- 11	K > P > N	
	R6	3,949	0,256	1,424	6	- 2	- 5	K > P > N	

* Les rendements affectés de la même lettre ne sont pas significativement différents à $f = 0,05$ (test de KEULS).

Il semble donc, dans le cas de cet essai que d'une part il y a eu une faible absorption de la potasse (conséquence, peut-être, des inondations partielles de début de cycle qui ont entraîné une partie de l'engrais superficiellement enfoui), d'autre part à un déséquilibre N/K dû aux fortes teneurs en azote des limbes.

En recalculant les indices SIDR à partir d'une teneur en azote arbitraire mais considérée comme normale, 4,50 % ; et sans modifier les vrais valeurs de P et K (tableau n°5) on constate alors que la potasse n'est plus l'élément limitant.

Tableau n°5 : Indices SIDR au stade R2 pour une valeur N = 4,50 %

Traitements	Teneurs (%)			Indices			Ordre des besoins
	N	P	K	N	P	K	
0 -- 0 -- 0	4,50	0,400	1,771	-5	13	-8	K > N > P
IN -- 0 -- 0	4,50	0,492	2,060	-15	21	-6	N > K > P
IN -- 0 -- 200	4,50	0,434	2,084	-11	13	-2	N > K > P
If? -100 -- 0	4,50	0,481	2,026	-14	20	-6	N > K > P
IN -100 -- 200	4,50	0,482	2,227	-17	18	-1	N > K > P
200-100 -- 200	4,50	0,529	2,228	-20	24	-4	N > K > P

D'une manière générale on observe que, pour chaque traitement, la hiérarchie des éléments limitants est identique à tous les stades végétatifs. Ces résultats semblent donc confirmer le fait que les indices SIDR peuvent être utilisés à tout moment du cycle du soja.

IV - CONCLUSION

Avec les indices SIDR, l'agronome est en mesure d'établir, plus précocement ainsi qu'à tous moments du cycle du soja, un diagnostic pratique de la nutrition minérale.

Pour SUMNER, la position de la feuille ne modifie pas la hiérarchie des indices. Cependant, dans le but de faciliter et uniformiser le travail des opérateurs, nous recommandons d'utiliser la deuxième feuille supérieure développée plus facile à prélever.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement les responsables et le personnel des laboratoires du CNRA de Bamboey et du GERDAT de Montpellier qui ont assuré les analyses des échantillons.

BIBLIOGRAPHIE

- CHAPMAN H.D. * Techniques proposées pour le prélèvement et la manutention des échantillons foliaires en vue de déterminer l'état nutritif de quelques productions agricoles, horticoles et arbustives. *Fruits*, 1984, Vol 19, n°7, PP.367-377.
- DEMOLON A. * Croissance des végétaux cultivée, 1956, Edit. Dunod., P. 161.
- JONES J.B. * Methods of interpreting plant analyses for agronomic crops. 1966, Proc. Plant Workshop for Industry, O'Hare Inn, des Plaines, Ill, PP. 5-10.
- JONES J.B. * Plant analysis Newsletter, 1968, vol 1. (1) Ohio Agr. Res. Devel. Ctr., Wooster, Ohio.
- LAGATU et MAUME- Ann, Sci. Agr., 1930, n°5, pp. 596-653
- LAGATU et MAUME- Ann, Agr., 1932, n°3, pp. 306-362.
- LAGATU et MAUME- Ann. Agr. , 1933, n°1, pp , 1-52.
- LARCHER J. , VELY J. * Mobilisations et fumure minérales du soja au Sénégal A.T.
- MELSTED S. W., MOTTOM L., PECK T.R. Critical plant nutrient composition values uscful in interpreting plant analysis data.1969, *Agron. J.*, 61, pp. 17-20.
- DE MOUY C.J. -- Differential responses of soybean varieties to application of phosphorus, potassium and calcium and calcium carbonate materials with respect to leaf composition and yield. 1965, Ph. D. dissertation, Iowa State Univ. Ames, Iowa.
- NELSON W.L. , BARBER S.A. * Nutrient deficiencies in legumes for grain and forage. 1964, pp. 143-130, in H.B. Spragne (cd) Hunger signs in crops. David Mckay Co., New York.
- OHLOROGGE A. J. * Mineral nutrition of soybeans. 1960 * *Advanca Agron.* , 12, pp . 229-263.
- SUMNER H.E. , * Normes préliminaires du diagnostic foliaire pour N, P et II chez le soja. *Revue de la Potasse*, 3978, section 5, n°1/1978, pp. 1-9 - *Agron. J.*, Vol 69, n°2 mars-avril 1977 . pp . 226-230.

RESUME /

Sur deux essais soja (cv. ISRA-IRAT 44A/73) conduits au Sénégal en 1981, le diagnostic foliaire a été pratiqué du stade R2 au stade R6 afin de vérifier l'intérêt des indices SIDR pour le soja.

En permettant de mieux comprendre les rendements, les indices SIDR se sont révélés d'un usage facile car ils ont l'avantage. :

- d'établir un ordre relatif des éléments limitants
- d'être utilisés à pratiquement n'importe quel âge de la plante ,
- d'offrir la possibilité à l'agronome d'apporter éventuellement une fertilisation complémentaire si besoin est.

Bien que n'importe quelle feuille développée du soja puisse être analysée, les auteurs, dans le souci de faciliter et uniformiser le travail des opérateurs, préconisent de prélever la deuxième feuille supérieure développée./-
