

C N 0101546
F011
B05

INSTITUT SUPERIEUR D'AGRICULTURE
LILLE

MEMOIRE PRESENTE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR AGRICOLE

LE SO3A AU SENEGAL

par

Y. OSSEBOEUF
C.M. LA SADE

Novembre 1973

Centre National de Recherches Agronomiques
de Bamby

INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
(I. S. R. A.)

A V A N T - P R O P O S

Cette étude nous a été confiée par l'I.S.R.A. (Institut Sénégalais de Recherches Agricoles) en tant que stagiaires de l'I.S.A. (Institut Supérieur d'Agriculture de Lille). Nous avons été affectés au CNRA de Bamboye (Centre National de Recherches Agronomiques) et plus particulièrement aux services phytotechnie du soja et rhizobiologie pour y poursuivre une étude sur la culture du soja au Sénégal. Cette étude fait l'objet du présent mémoire.

Avant d'exposer les résultats de nos recherches nous tenons à souligner que nous avons trouvé au Sénégal, du fait de l'implantation du CNRA, un environnement particulièrement favorable à la réalisation de ce travail.

Nous exprimons nos sentiments de profonde gratitude à M. SAUGER, ^{de nos} Directeur de l'ISRA, à M. BEYE, Directeur du CNRA, ainsi qu'à M. SAGNA, Directeur de la station expérimentale de Séfa. Nous remercions plus particulièrement MM. LARCHER, WEY et GANRY qui nous ont permis la réalisation de ce travail.

Nous tenons aussi à assurer de notre reconnaissance MM. DIATTA, SIBAND, CHOPART et HERNANDEZ pour leurs conseils et critiques très avisés.

Nous remercions également M. TOURE, aide laboratoire qui a particulièrement contribué à la réalisation de ce travail.

R E S U M E

Le Sénégal connaît une agriculture insuffisamment diversifiée de fait de la prédominance de l'arachide. En raison du déficit vivrier global important (300 000 tonnes de céréales), la population rurale connaît une malnutrition protéique, particulièrement chez les enfants. Il serait dans ce cas intéressant d'introduire la culture du soja au Sénégal. En effet cette légumineuse, capable de produire des protéines en quantité importante et de bonne qualité, serait une solution efficace pour combattre le déficit protéique. L'excédent de la production pourrait être exporté très facilement vers l'Europe qui cherche à diversifier ses sources d'approvisionnement de protéines.

La recherche depuis une dizaine d'années étudie les possibilités d'introduction ^{de la culture} du soja au Sénégal. Un programme de sélection important a permis d'obtenir des variétés adaptées aux conditions écologiques du Sénégal. D'autres expérimentations démontrent la nécessité du labour et de l'inoculation pour un bon développement du soja et l'obtention de rendements élevés.

Actuellement on peut préconiser les techniques suivantes pour une culture de soja au Sénégal :

- Labour avec enfouissement de matière organique, fumure phospho-potassique (100-120)
- Semis mécanique avec variété 44/A/73
- Inoculation du sol
- Entretien: deux binages au début du cycle de la plante ou emploi d'herbicides
- Récolte manuelle avec éventuellement battage mécanique (batteuse à riz).

S O M M A I R E

	Pages
Introduction	
Chap. I. Le Milieu et la plante	
1- Climat	3
2- sol	
3- Milieu agricole et humain	4
4- La plante	6
41- Quelques caractéristiques de culture	
42- Cycle du soja	
43- La symbiose Rhizobium-Légumineuse	7
431. Genèse des nodosités	8
432. Biochimie de la fixation	
Chap. II. Etude économique et alimentaire du soja	
1- Situation mondiale	9
11- Production	
12- Consommation	
13- Commerce international	
14- Tendances prévisibles	10
2- Caractéristiques alimentaires du soja	11
21- Valeur nutritionnelle du soja	
22- Technofogio de la graine de soja	12
23- Acceptabilité de la protéine de soja par l'homme	13
3- Le problème alimentaire au Sénégal	
31- Le déficit vivrier	
32- Bilan alimentaire	14
4- Possibilités d'utilisation du soja	15
41- Utilisation du soja en alimentation animale	
42- Utilisation du soja en alimentation humaine	17
421. Préparation sans déshuilage de la graine	
422. Préparation après déshuilage de la graine	
5- Perspectives d'introduction du soja auprès de la population	17

Chap. III. Objectifs de la recherche et situation actuelle	20
1- Amélioration variétale	
11- Objectif	
12- Situation actuelle	
2- L'inoculation bactérienne	21
21- Objectif	
22- Situation actuelle	
3- Phytotechnie du soja	23
31- Objectif	
32- Situation actuelle	
Chap. IV. La campagne 1978	
1- Essai de techniques culturales	25
11- Dispositif expérimental	
12- Observations, mesures à réaliser	26
121. sous parcelle A	
122. sous parcelle B	27
13- Résultats	
131. Profils racinaires	
132. Densités racinaires par sondage aux cylindres	28
133. Prélèvements racinaires globaux	29
134. Relations entre enracinement et parties aériennes	30
135. Mesures de fin de cycle, rendements	31
14- Discussion - Conclusion	32
2- Essai d'inoculation	35
21- Dispositif expérimental	
22- Observations à réaliser	
23- Résultats - Discussion	
231. Etude de l'évolution de la nodulation et de la fixation	
232. Effet de la dose d'inoculum sur la nodulation et le rendement	37
233. Comparaison de l'effet de différents inoculum sur la nodulation	38
234. Effet des différents inoculum et de la matière organique sur le rendement en grains du soja	
Conclusions	41

I N T R O D U C t I O N

Dans le Tiers-Monde le développement de la production agricole s'effectue à un rythme à peine égal au taux de croissance moyen de la population et ne permet, au mieux, que le maintien de la situation alimentaire existante. Or cette situation est déjà inacceptable tout particulièrement en ce qui concerne la consommation en protéines. Le déficit protéique allant en s'accroissant, il est nécessaire d'augmenter la production et la consommation directe de protéines végétales par l'homme. En effet la transformation des protéines végétales en protéines animales a un rendement très faible, ce qui ne fait que contribuer à accentuer la malnutrition des hommes dans le Tiers-Monde.

Le soja (Glycine max L. MERILL) est une plante protéagineuse originaire d'Asie qui a été adaptée depuis 75 ans aux régions tempérées chaudes des Etats-Unis et d'Europe méditerranéenne. Sa productivité en protéines est exceptionnelle (9,1 kg/jour/ha; source: Proceedings, 1978) et sa forte teneur en acides aminés indispensables en fait un aliment de choix pour la consommation animale et humaine. Actuellement on observe un effort particulier d'adaptation et de développement de cette culture dans plusieurs pays africains, gros producteurs potentiels (Nigeria, Zaïre, Côte d'Ivoire, Haute-Volta, Sénégal, Cameroun, Rwanda...). Dans ces pays, le soja serait en mesure de combattre efficacement la malnutrition. De plus, les excédents de la production sont assurés d'un débouché sur le marché international qui est en constante expansion. Les Etats-Unis occupant une position de quasi-monopole, les pays importateurs et en particulier ceux d'Europe souhaiteraient diminuer leur dépendance par l'ouverture d'un marché africain.

L'économie sénégalaise est fortement dépendante de la production d'arachide qui constitue la principale source d'exportation. Or les barrières sanitaires établies à l'entrée de l'Europe, peuvent être un obstacle important à l'exportation des tourteaux d'arachide à cause de leur teneur en aflatoxine. Cela milite en faveur d'une diversification de la culture des légumineuses au Sénégal. Par ailleurs, ce pays bénéficie de

huit années de recherches sur la culture du soja et son potentiel de production est évalué à 100.000 tonnes.

L'Institut de Recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières (IRAT) puis ultérieurement l'Institut sénégalais de Recherches agricoles (ISRA) ont étudié les possibilités d'introduction de cette culture au Sénégal. Les recherches qui ont principalement été orientées vers la sélection variétale, les techniques culturales et la symbiose Rhizobium-soja ont montré que cette culture était possible.

Ru cours du stage que nous avons effectué à l'ISRA, nous avons pu approfondir les trois aspects suivants qui constituent le sujet de notre mémoire

- aspects économiques et alimentaires du soja (étude bibliographique)
- comparaison de trois niveaux d'intensification combinant l'effet des techniques culturales et de la fumure minérale.
- incidence de divers inoculum et de la matière organique sur la nodulation, la fixation de l'azote atmosphérique et le rendement en grains du soja.

Au préalable nous ferons une présentation du milieu et de le plant 0 afin de situer le sujet dans son contexte.

CHAPITRE I

LE MILIEU ET LA PLANTE

MOYENNE PLUVIOMETRIQUE ANNUELLE (1931-1960)

ZONE DE CULTURE DU SOJA

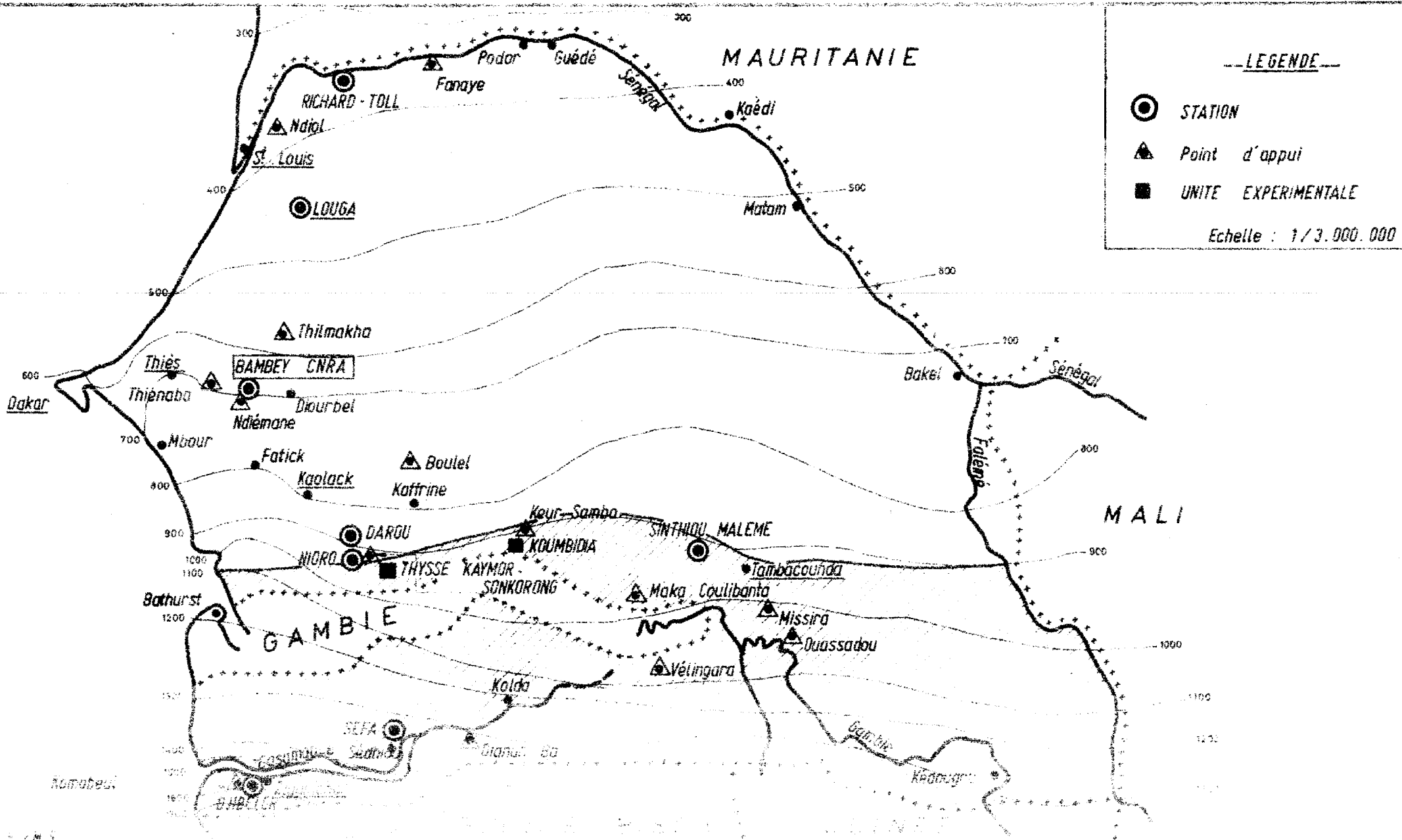


Tableau n° 1: Caractéristiques physico-chimiques des principaux sols du Sénégal (CHOPART, NICOU, 1976; horizon 0-20 cm)

		Sol Dior	Sol Dek	Sol beige	Sol rouge
Granulo- métrie (%)	Argile	3,1	7,6	8,8	11,7
	Limon fins	1,5	3,0	4,9	5,5
	Limon grossiers	4,7	4,8	9,9	8,5
	Sables fins	69,7	65,1	41,6	42,5
	Sables grossiers	20,8	18,9	34,9	31,3
Y %	2,5	4,2	5,1	7,0	
N %	0,2	0,39	0,35	0,55	
Complexe absorbant (meq/100g)	Bases échangeables	0,85	4,0	1,3	1,66
	Capacité d'échange	2,05	6,0	3,2	3,6

Ces SOLS sont caractérisés par une texture sablonneuse ou sable-argileuse dans l'horizon superficiel et par une nette prédominance de la kaolinite dans la fraction argileuse du sol, ce qui se traduit par l'absence ou le peu d'importance des phénomènes de gonflement et de retrait du sol consécutifs aux variations d'humidité.

La structure d'origine est donc continue, la porosité faible. En hivernage, les pluies produisent des effets de tassement, de battance et de dégradation de la structure. Pendant la saison sèche il se produit consécutivement au dessèchement du profil une augmentation très forte de la cohésion, une véritable pelote en masse. On constate qu'aucun facteur naturel ne joue dans un sens favorable au développement de la structure.

3 - MILIEU AGRICOLE ET HUMAIN (BOUVIER *et al.*, 1972)

Une des caractéristiques importantes de l'agriculture sénégalaise est la non intégration de l'élevage dans l'agriculture. Traditionnellement les agriculteurs sédentaires font garder leur troupeau par des peuls ou des toucouleurs, populations d'éleveurs nomades. L'intégration de l'élevage à l'agriculture apparaît cependant comme un but primordial de la vulgarisation pour développer la culture attelée et systématiser la fumure organique des champs.

La culture traditionnelle est une culture itinérante sur brûlis avec jachères. Celles-ci ont tendance à disparaître sous la poussée démographique. Les paysans pratiquent le plus souvent la culture à plat sans grattage ni intervention culturale avant le semis. Le semis se fait le plus souvent à la main ainsi que les binages sur arachide et mil.

Dans ce cas les rendements sur arachide sont de l'ordre de 500 kg gousses/ha et sur mil de l'ordre de 500 kg grains/ha.

Afin d'améliorer ces rendements la recherche propose différents thèmes d'intensification:

- le thème léger
 - . introduction de la culture attelée (traction équine et asinc)
 - . emploi d'une fumure minérale légère (150 kg de 0-10-27 sur arachide, 150 kg de 14-7-7 sur céréales);
 - . semis mécanique
 - . désherbage mécanique (houe occidentale; houe sine)
- le thème lourd
 - . traction bovine
 - . enfouissement de matière organique, phosphatage du fond
 - . fumure forte (fumure légère + 100kg d'urée sur céréales)
 - . emploi de charrue, semois et polyculteur à grand rendement.

L'exploitation sénégalaise appelée couramment carré est un ensemble de sous-exploitations indépendantes liées à une même autorité, celle du chef de carré. Un même carré regroupe en général :

- chefs de ménage
- femmes et enfant-;
- membres familiaux non mariés : sourgas
- main d'oeuvre temporaire : sourgas navétanes
(ce qui peut représenter jusqu'à 20 personnes)

Le chef de carré et les chefs de ménage cultivent en plus de la parcelle de culture de rente (arachide) les céréales (0,25 ha/habitant) pour la nourriture de l'ensemble de l'exploitation.

En général le chef de carré fournit la terre, prête traction, matériel et engrais, en contrepartie du travail de la part des sourgas, femmes et enfants. En effet le chef de carré dispose des revenus les plus importants, il est inscrit à la coopérative et procède seul en général aux achats de produits et de matériel.

En ce qui concerne la situation de l'exploitation dans l'espace rural, à l'origine il existe deux catégories de champs :
le Tol keur (champ à proximité du carré)
le Tol gor (champ de brousse).

Le chef de carré cultive les meilleures terres, les mieux desséchées, les plus fumées (pacage) à proximité immédiate du carré. Les autres personnes du carré se répartissent le restant de la surface de l'exploitation. Les rendements obtenus sur un même carré sont de niveaux très différents selon la personne et le type de champ (Tol keur ou Tol gor) comme l'explique le schéma n° 1 qui montre la représentation des terres et rendements dans une exploitation du Sud Sine-Saloum.

Malgré le faible niveau d'intensification, le paysan sénégalais pratique couramment des rotations culturales entre les céréales et les légumineuses.

On distingue comme principales rotations dans le cas d'une exploitation du Sine-Saloum :

Schema N°1

REPARTITION DES CULTURES ET RENDEMENTS-

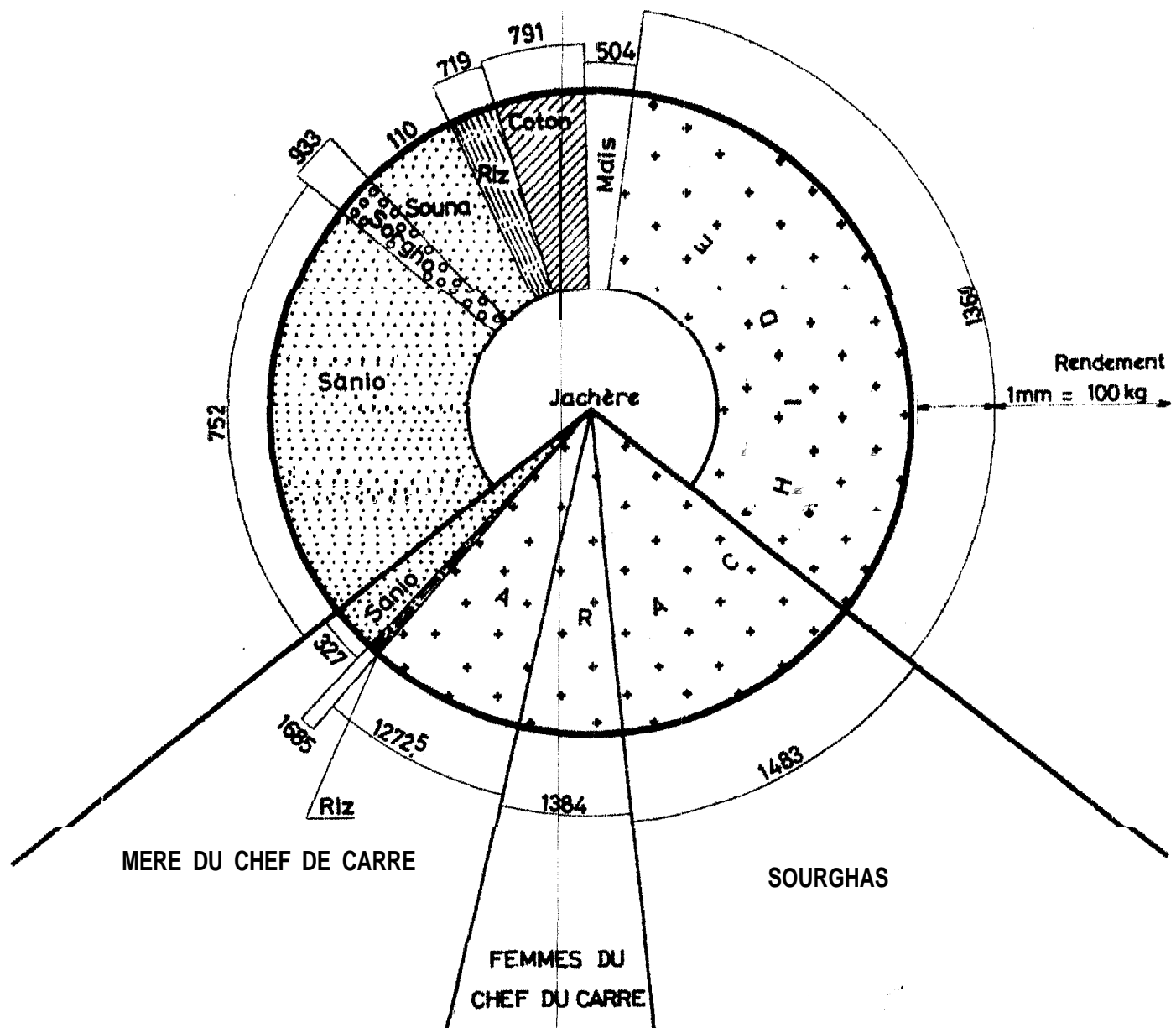
-1971-

— Exploitant : Mamour M'BAYE —

— Village de Keur Samba Kalla —

— Surface : 25,20ha —

CHEF DE CARRE



- Tol keur : céréale-céréale (maïs-mil-sorgho)
- Limite Tol keur Tol gor: Jachère-Arachide-Mil-Arachide
ou Jachère-Arachide-Mil
ou Jachère-Sorgho-Arachide
- Tol gor : Jachère-Arachide.

Les cultures nouvellement introduites (maïs et sorgho sélectionnés) se rencontrent en général dans le Tol keur. Quand elles sont pratiquées toutes les deux, la rotation 13 plus évoluée est maïs-arachide-sorgho-arachide. En ce qui concerne les surfaces d'exploitation, nous pouvons donner les estimations suivantes: dans le bassin arachidier et le Sine-Saloum 60% des exploitations ont entre 8 et 12 ha; en Casamance et au Sénégal Oriental la superficie moyenne est presque toujours inférieure à 8 ha.

4 - LA PLANTE

Le soja (Glycine max L. MERRILL) appartient à la famille des légumineuses papilionacées. C'est une plante herbacée annuelle qui peut atteindre de 0,3 à 2m de hauteur selon qu'il s'agit d'une variété précoce ou tardive. Les deux premières feuilles sont de type simple, opposées sur le premier noeud. Les vraies feuilles suivantes sont alternées et trifoliées. Les fleurs sont petites (6-7 mm) violettes ou blanches. La fécondation est de type autogame. Le fruit est une gousse verte avant maturité devenant ensuite jaune ou noire selon les variétés. Les gousses longues de 3 à 11 cm contiennent de 2 à 3 graines de forme et couleur très variables selon les espèces (Mémento de l'Agronome).

41- Quelques caractéristiques

- Somme de T° pour un cycle 2000° - 2100°
- Durée du cycle végétatif ~~105 jours~~ 80 à 170 jours
- Préfère sols légèrement acides pH \leq 6
- Besoins totaux en eau: 200 kg d'eau/kg M.S.
- les plus grands besoins en eau se font sentir en début de floraison et en début de fructification.
- Besoins totaux en azote: 30-3 kg N/ha pour 40 quintaux de grains/ha
- Le soja absorbe 60% de l'azote total entre la floraison et 13 formation des grains (40e - 70e jour).

42- Cycle du soja (cf annexes 1)

0	5	40	70	100	105	jours du cycle
Levée	Période végétative	Floraison	Formation des gousses	Maturité de récolte	Maturité physiologique	

- SEFA 1978 : Variété 44 A 75

- Germination, levée

La germination du soja ne commence que lorsque la graine atteint 50% d'humidité. Sa germination est de type hypogée. Les racines secondaires se développent 4 à 5 jours après le semis. La racine principale est de type pivotant.

Les cotylédons fournissent la majorité des éléments nécessaires à la jeune plantule pendant deux semaines environ.

- Période végétative

Elle dure de 6 à 8 semaines.

Entre le 20^e et le 30^e jour on note souvent un certain jaunissement de la plante; ceci correspond à la phase transitoire entre l'alimentation azotée ~~des~~ ^{et} cotylédons et celle de la fixation symbiotique.

- Floraison

La période de floraison qui dure de 3 à 4 semaines marque la fin de la croissance végétative on ce qui concerne la variété 44A/73. Les fleurs sont disposées en grappes à l'aisselle des feuilles.

Le passage au stade reproducteur dépend beaucoup du photopériodisme. Des variétés à jours courts s'avèrent donc nécessaires en climat tropical.

- Formation des gousses

Les premières gousses apparaissent 10 à 15 jours après les premières fleurs.

Ce stade physiologique se traduit par un flux très actif d'éléments nutritifs des feuilles vers les graines. Il est très sensible à toute perturbation venant du milieu extérieur, en particulier à un déficit hydrique.

- Maturité

A la maturité physiologique s'achève la mise en réserve des éléments dans la graine. Celle-ci contient alors près de 90% d'eau. Ce taux va descendre jusqu'à 11-15% au même temps que s'effectuera la chute des feuilles. A la maturité de récolte il ne reste sur pied que les tiges et les gousses.

43- La symbiose Rhizobium-Légumineuse

Le soja est une légumineuse qui forme des nodosités sur son système racinaire. Les nodosités ont la propriété de fixer l'azote atmosphérique grâce à une bactérie aérobie, le Rhizobium. Le soja est très spécifique vis-à-vis du Rhizobium contrairement à d'autres légumineuses, et ne nodule qu'avec des souches appartenant au groupe R. japonicum (ou voisins de ce groupe).

431. Génèse des nodosités

L'infection du système racinaire par les Rhizobium japonicum se fait dès les premiers stades de développement de la racine du soja (10-15e jour). Les Rhizobium pénètrent dans la racine par les poils absorbants; et forment aussitôt un cordon d'infection. Atteignant la zone des cellules corticales de la racine, celui-ci libère les bactéries. Une zone méristématique apicale se différencie de la zone infectée donnant naissance à la nodosité. La date d'apparition des nodules se situe vers le 20e jour.

La genèse de la nodosité est suivie d'une phase de maturation au cours de laquelle est synthétisée la leghémoglobine (régulateur d'oxygène) qui donne la coloration rose à l'intérieur de la nodosité. A ce stade les nodules sont capables de fixer l'azote atmosphérique.

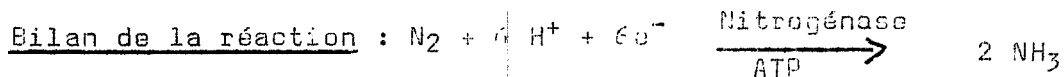
La durée de vie d'une nodosité est de l'ordre de 2 à 3 semaines, ce qui nécessite la succession de plusieurs générations de nodosités la fixation s'effectuant de la 3e semaine à la 13e semaine environ.

En fin d'activité les nodules dégèrent et libèrent les Rhizobium dans la rhizosphère; ceux-ci peuvent à leur tour former de nouvelles nodosités.

La fixation symbiotique en cours de cycle évolue selon une courbe en cloche avec un maximum au 60e jour suivi d'une décroissance rapide (GANRY, WEY et NICOU, 1974). D'autre part il existe une dépendance étroite entre la fixation et les besoins azotés de la plante.

432. Biochimie de la fixation

L'azote atmosphérique est réduit en NH_3 grâce à la nitrogénase, enzyme située à l'intérieur du bactéroïde.



Les produits de la photosynthèse sont à l'origine des substrats nécessaires à la biosynthèse de l'azote. Ceux-ci fournissent :

- le pouvoir réducteur pour la formation de NH_3
- l'énergie nécessaire (ATP) obtenue au niveau des phosphorylations
- des acides organiques provenant du cycle de Krebs permettant l'incorporation de NH_3 formé.

L'enzyme nitrogénasique est constituée par 2 protéines; l'une de faible poids moléculaire contient du fer, l'autre de poids moléculaire plus élevé contient du fer et du Molybdène. La réduction de l'azote n'a lieu qu'en la présence de ces deux composantes.

La leghémoglobine, chromoprotéine synthétisée par la plante et entourant le bactéroïde, accélère la diffusion de l' O_2 aux basses tensions existant dans le nodule. Cet oxygène est nécessaire aux réactions métaboliques, à la respiration des bactéroïdes et à la régénération de l'ATP.

NH_3 est fixé sur les acides organiques du cycle de Krebs pour former des acides aminés entraînés qui sont ensuite entraînés par la sève. Il se forme des protéines dans les feuilles et plus dans les gousses et les grains.

CHAPITRE II

ETUDE ECONOMIQUE ET ALIMENTAIRE DU SOJA

1 - SITUATION MONDIALE

11 - Production

La production totale a été estimée à 61 millions de tonnes de graines en 1976. Les trois principaux pays producteurs sont :

	1976	% du total	
U S A	35,0 mt	57,4	
Chine	9,0 mt	14,7	
Brésil	12,0 mt	19,7	(Blue Book, juin 1978)

Ils réalisent à eux trois la quasi-totalité de la production mondiale (91,8%).

12 - Consommation

Il n'y a pas de surproduction mondiale. En 1975 les principaux pays consommateurs sont: (millions de tonnes d'équivalents-grains)

U S A	17,7 mt	
Europe de l'Ouest	15,4 mt	
Chine	11,2 mt	
Japon	3,2 mt	
Brésil	3,6 mt	
Pays de l'Est	2,0 mt	(FAO 1977)

Deux des principaux consommateurs, l'Europe et le Japon doivent importer la quasi-totalité de leurs besoins; la France bien que privilégiant la consommation de tourteaux d'arachide par rapport à ses partenaires européens, utilise de grosses quantités de tourteaux de soja (2,1 mt contre 0,5 mt pour l'arachide en 1976) importés essentiellement des USA.

L'huile de soja représente 30% de la valeur monétaire de la graine contre 65% pour le tourteau. Sa consommation s'est fortement accrue aux USA au lendemain de la deuxième guerre mondiale à la suite d'une campagne diététique défavorable à l'utilisation des viandes animales. Dans le commerce international d'huiles alimentaires, le soja dépasse largement les 50% du tonnage total.

13 - Commerce international

Les deux seuls pays exportateurs à une échelle significative sont les USA (3/4 du soja commercialisé) et le Brésil. Les exportations sont faites principalement vers l'Europe, le Japon et les pays de l'Est.

La production potentielle sénégalaise a été estimée à 100.000 t. de grains. En supposant qu'une partie des excédents soit exportée, il ne semble pas que cela puisse peser lourdement sur le marché mondial. Cette production potentielle aurait représenté :

- 0,015 % de la production mondiale en 1976
- 0,024 % de la production des USA en 1974
- 0,04 % de la consommation française en 1974.

Cependant, en raison des risques d'embargo ou de calamité agricole aux USA, l'Europe désire diversifier ses sources d'approvisionnement en soja, notamment par une ouverture vers les pays africains qui sont de gros producteurs potentiels. Plusieurs d'entre eux (Nigeria, Zaïre, Cameroun, Rwanda) en produisent déjà mais il est difficile de prévoir l'incidence de cette production sur le commerce international du fait de l'augmentation de la consommation locale.

14- Tendances prévisibles

pour le Brésil et l'Argentine les valeurs sont données comme des ordres de grandeur seulement (en millions de tonnes).

Tableau n° 2: Prévision des tonnages de soja disponibles à l'exportation pour les principaux pays producteurs

	1978/79	1979/80	1980/81
<u>U S A:</u>			
- Production nette	39,2	39,5	40,1
- Disponible pour exportation	22	22,1	22,5
<u>BRESIL + ARGENTINE</u>			
- Production nette	13	13,1	14
- Disponible pour exportation	2	2,6	2,6

(CMC 1977)

Aux USA, la consommation locale stagne et le soja disponible à l'exportation plafonne à 22,5 mt. Au Brésil (+Argentine) il semble que la production devrait s'accroître sensiblement et plus rapidement que la consommation locale. Si l'on estime globalement à 4% l'accroissement moyen annuel de consommation des principaux pays importateurs (Europe + Japon + Pays de l'Est), la situation du marché international avec les pays gros exportateurs s'établit comme suit (millions de tonnes).

Tableau n° 3: Evolution de l'offre et de la demande de soja sur le marché international (CMC, 1977)

	1976/79	1979/80	1980/81
<u>Disponible pour exportation</u>			
USA + Brésil + Argentine	30,2	30,7	31,1
<u>Importations :</u>			
Europe, Japon, Pays de l'Est	24	24	26
<u>Solde</u> (Indication relative)	6,2	5,7	5,1

L'augmentation prévisible de la demande de 1979 à 1981 est relativement plus importante que celle de l'offre (solde en diminution). Bien qu'il faille considérer ces valeurs avec beaucoup de circonspection, il ne semble pas que pour les prochaines années il y ait risque de surproduction mondiale de soja.

2 - CARACTERISTIQUES ALIMENTAIRES DU SOJA

21- Valeur nutritionnelle du soja

En alimentation humaine, la majorité des protéines sont fournies par les produits d'origine animale, les céréales en contenant peu. Or le rendement de la transformation des protéines végétales en protéines animales est faible: 12 à 13% pour le porc, 20 à 22% pour le poulet, 4 à 8% pour le bœuf. On peut en tirer deux conséquences :

- coût trop élevé des protéines animales
- difficulté pour la production animale à couvrir les besoins de la population, dans les prochaines décennies.

Comme le montre le tableau n° 4 la graine de soja se par sa richesse en protéines apparaît comme l'une des sources de protéines végétales les plus intéressantes.

Tableau n° 4 : Teneur en protéines de différents aliments (EMC 1977)

Aliment	Teneur en protéines brutes
Viande	18,0 %
Lait de vache	3,5 %
Poisson	25 %
Oeuf frais	13 %
Blé (grain)	11-12 %
Riz (grain)	8-10 %
Maïs (grain)	8-11 %
Manioc	1,2 %
Mil	10,0 %
Soja	37-40 %

De plus l'apport calorique apporté par la graine de soja n'est pas négligeable comme le montre le tableau n°5.

Tableau n° 5 : Composition de la graine de soja (WOLF, 1972)

Eléments	% de matière fraîche
Eau	10-14 %
Protides	37-40 %
Lipides	16-20 %
Glucides	10-12 %
Matière minérale	4-5 %

En outre les protéines de soja sont une bonne source d'acides aminés indispensables (cf. tableau 6)

La haute teneur en lysine fait des protéines du soja un très bon complément aux farines de céréales. Un mélange concentré de soja-farine de blé est très supérieur du point de vue nutritionnel à n'importe quelle autre source de protéines seule. (WOLF, 1972).

Tableau n° 6: Composition en acides aminés de la graine de soja
mg/lgr de protéines (APC 1976)

Acides aminés	mg/lgr protéines
Cystine	17
Méthionine	14
Isoleucine	47,5
Leucine	77,5
Lysine	66
Phénylalanine	45,5
Tyrosine	35,5
Tryptophane	17
Valine	46
Histidine	27

22- Technologie de la graine de soja (ENC 1977 et Schéma n° 2)

La graine de soja, avant d'être utilisée en alimentation humaine ou animale doit subir un certain nombre de transformations aboutissant à différentes formes de produits. Ces différents produits sont :

- Farine entière (40-44% protéines brutes)

La graine est d'abord nettoyée puis décortiquée, elle est ensuite cuite et broyée, la cuisson permet d'éliminer l'odeur et le goût amer du soja ainsi que de détruire les facteurs antitrypsiques.

- Farine et semoule déshuilées (50% de protéines brutes)

Dans ce cas la graine nettoyée et décortiquée est ensuite triturée pour extraire l'huile à l'hexane. Le tourteau déshuilé obtenu est cuit à 105-110°C (toasting), puis refroidi et broyé selon la granulation désirée.

- Protéines texturées (50% de protéines brutes)

Le tourteau est dans ce cas extrudé et expansé.

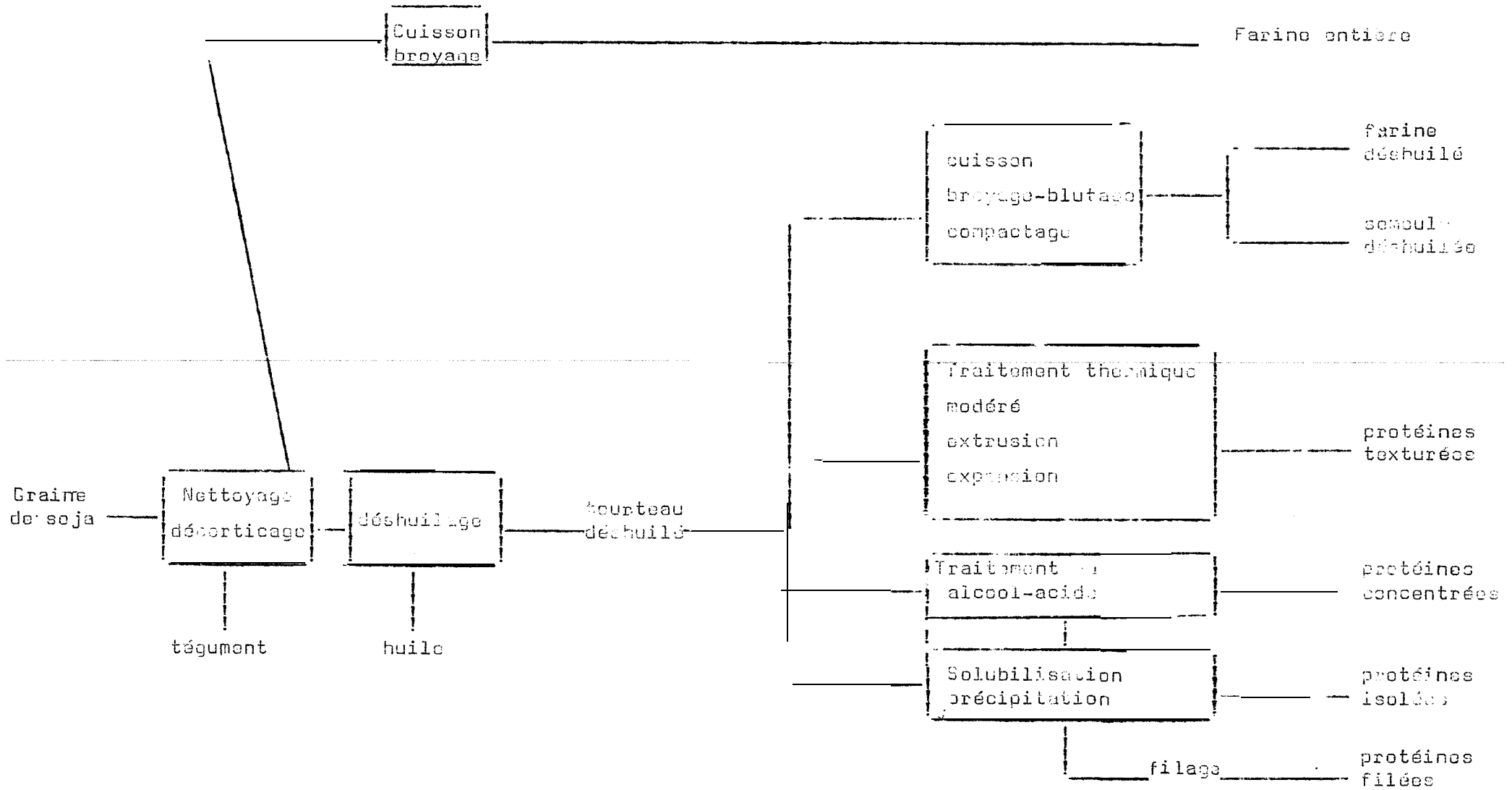
- Protéines concentrées : concentrats (70% protéines brutes)

Les concentrats s'obtiennent en traitant le tourteau déshuilé par l'eau, l'alcool et l'acide pour en extraire les sucres.

- Isolats et protéines filées (95% protéines brutes)

Les isolats et les protéines filées sont obtenues par dissolution des tourteaux déshuilés par une solution diluée alcaline de soude suivie d'une précipitation en milieu acide. Le précipité est neutralisé, lavé et séché. L'adjonction d'adjuvant lui donne une structure analogue à celle de la viande.

SCHEMA N° 2 TRAITEMENT LA GRAINE DE SOJA



(E.M.C. 1977)

23- Acceptabilité de la protéine de soja par l'homme

Plusieurs études ont été menées sur l'acceptabilité de la protéine de soja par l'homme.

Citons celle de DEBRY, DOULAIN et BLEYER portant sur les protéines TMP (textured végétale product). Ils étudièrent, chez des enfants, l'acceptabilité à moyen terme (3 semaines) de recettes incluant 40g de protéines déshydratées. L'acceptabilité se révèle bonne quand les recettes étaient bien préparées. Cette étude a permis de confirmer que le remplacement, dans une alimentation normale, de la moitié des protéines animales par des protéines texturées de soja, n'affecte pas le métabolisme azoté.

La tolérance du soja est dans l'ensemble très bonne. Il convient de signaler cependant de rares accidents provoqués par le lait de soja chez les nourrissons (déshydratation aiguë par diarrhée et vomissements: SALL, communication personnelle).

Les premiers résultats des études de Dr. SALL à l'hôpital le Dantec, service pédiatrie de Dakar démontre que le soja :

- est à même de traiter la malnutrition
- peut remplacer favorablement le régime à base d'hyperprotidine, habituellement employé dans le traitement du kwashiorkor (maladie du sevrage) très fréquent dans les pays en voie de développement,
- peut être employé comme aliment de sevrage en prévention de l'apparition des maladies de carence protéique.

3 - LE PROBLEME ALIMENTAIRE AU SENEGAL

31- Le déficit vivrier

Le Sénégal avec une superficie de 201.000 km², une population de 5.100.000 habitants et un taux de croissance de 2,6% connaît une agriculture insuffisamment diversifiée avec une prédominance de l'arachide et du mil. Le déficit vivrier global atteint en moyenne 100.000 tonnes de céréales dont les 2/3 en riz; le coût d'importation de céréales intervient pour 50% du déficit de la balance commerciale du Sénégal. Il faut observer que les deux céréales majeures (blé et riz) connaissent des taux de progression de la consommation supérieurs à la croissance de la population, ce qui traduit une évolution des habitudes de consommation en faveur des produits les plus onéreux et les plus difficiles à produire localement (Ministère du Développement rural, 1978).

Pour améliorer la situation nutritionnelle de la population et devenir moins tributaire des importations une politique volontariste en matière alimentaire et nutritionnelle s'impose. Le Plan Alimentaire national (1977-1985) en est un ébauche.

Son objectif principal est d'augmenter la production locale de céréales mil, riz, sorgho, maïs. Le soja figure aussi dans ce plan, en tant que plante de diversification possible et source intéressante de protéines.

32- Bilan alimentaire (rapport CANAS, 1976)321. Niveau énergétique de la ration

L'effet de la saison sur la disponibilité alimentaire est très marqué par le phénomène de la "sècheresse". Les apports énergétiques moyens adéquats pendant les premiers mois de l'année, diminuent progressivement jusqu'à la période des récoltes pour augmenter de nouveau en fin d'année. L'apport alimentaire en saison des pluies, période d'activité agricole intense est très en dessous du besoin. Le tableau n°7 nous montre le phénomène.

Tableau n° 7: Apport calorique/tête/jour

Régions	Apport en Kcal/tête/jour			Couverture en % des besoins		
	Janv/mars	Mai/juil.	AOût/Oct.	Janv/mars	Mai/juil.	AOût/Oct.
Triès	2044	1880	1528	97	90	75
Sine-Saloum	2193	1942	1848	104	92	88

(On considère que le besoin national par tête et par jour est de 2100 Kcal.)

De plus il existe des catégories plus vulnérables que d'autres; ainsi le tableau n°8 nous montre que les enfants de moins de six ans sont plus particulièrement touchés. En effet quand les besoins physiologiques sont élevés un apport énergétique trop bas compromet la santé générale ainsi que le développement de l'enfant. La croissance et le développement ne peuvent se poursuivre normalement, si l'apport énergétique ne satisfait que 70% des besoins.

Tableau n° 8 : Etude par tranche d'âge.

Enquête 1970 dans deux villages près de Niénaba

Age	Ration Kcal/tête/j.	Besoins Kcal/tête/j.	Couverture en % des besoins
1 - 3 ans	848	1150	72
4 - 6 ans	1101	1575	70
Femme enceinte	2012	2280	88
Femmes allaitante	2107	2900	72

Du point de vue énergétique on peut donc conclure à une malnutrition générale saisonnière et à l'insuffisance de la ration alimentaire pour certaines catégories vulnérables surtout en milieu rural.

322. Bilan protéique

Consommation/tête/jour de protéines:

70,1g dont (23,8 g protéines d'origine animale
 (3,5 g " " " céréalière
 (3,9 g " " provenant de l'arachide-niébé.

On obtient un pourcentage protéines/calories qui se situe à 10-15% et qui pourrait sembler satisfaisant, mais il est imprudent de tirer des conclusions d'une moyenne. Les différences sont grandes entre milieu urbain et milieu rural. En brousse, à l'intérieur du pays, les protéines d'origine animale sont très rares: un peu de poisson séché. La viande est consommée presque uniquement les jours de fêtes. Le bilan protéique est dans ce cas nettement insuffisant.

Il est à remarquer également qu'une catégorie de la population est particulièrement touchée par cette malnutrition protéique: ce sont les enfants à l'époque du sevrage; or on connaît l'importance de l'apport protéique et de sa qualité pour le développement et la croissance de l'enfant. Des maladies de carence protéique telles que 10 hwashiorokor (précédemment citée) apparaissent. Ceci peut expliquer les données suivantes recueillies par le Dr. KRIKAWA en 1974 en milieu rural.

- données anthropométriques
 - poids-âge : 85% des standards en milieu rural
 - le développement est surtout ralenti entre 1 et 3 ans;
- mortalité infantile
 - 0-1 an : 20%
 - 1-4 ans > 35%

Sur ce plan, le Sénégal ne se situe pas dans une bonne position par rapport, à d'autres P.V.D. (Pays en voie de Développement).

L'étude de l'apport calorique et de la ration et du bilan protéique nous montre l'intérêt d'une source végétale de protéines telle que le soja, capable de résoudre la malnutrition protéique et aussi de combler une partie du déficit calorique. L'intérêt de la culture de soja réside dans son coût inférieur à n'importe quelle source de protéines animales.

4 - POSSIBILITES D'UTILISATION DU SOJA

Le soja est cultivé principalement pour ses graines qui trouvent de multiples utilisations en alimentation animale et humaine.

4.1 - Utilisation du soja en alimentation animale

Le tourteau de soja constitue une source de protéines d'excellente qualité notamment pour les monogastriques (volailles et porcs). Son intérêt vient principalement :

- de sa teneur élevée en lysine et en acides aminés soufrés: méthionine et cystine
- de l'absence d'aflatoxine
- de sa richesse en vitamines B1, B2 et PP;
- de sa bonne acceptabilité et de sa digestibilité élevée.

Cependant l'élimination des facteurs antinutritionnels (facteurs antitrypsiques) est nécessaire par toastage de la graine entière eu par cuisson à l'occasion de l'extraction de l'huile. Le tableau ci-après donne les caractéristiques nutritionnelles principales d'un tourteau moyen de soja comparativement à un tourteau d'arachide et à une farine de poisson riche.

Tableau n° 9: Valeur alimentaire comparative d'un tourteau de soja 48, d'un tourteau d'arachide Sénégal et d'une farine de Poisson (EMC, 1977)

	Protéines %	Lysine %	Méthionine + Cystine %	Energie métaboli- sable volaille Kcal/kg d'aliment	Energie métaboli- sable porcs Kcal/kg d'alim.
Tourteau de soja 48	47,9	3,1	1,4	2500	3281
Tourteau arachide Sénégal	50,1	1,8	1,3	2750	3350
Farine de poisson	65	5,0	2,4	2980	3385

Remarque: La Productivité potentielle en protéines exprimée en kg/3/ha est de 2,7 pour l'arachide contre 9,1 pour le soja (Proceedings, 1975).

Les taux d'incorporation moyens de tourteau de soja dans les principales catégories d'aliments sont les suivants (E.M.C., 1977)

Poussin démarrage	33 %
Poulet finition	26 %
Pouls ponduse	15 %
Dindonnaou démarrage	15 %
Dindonnaou finition	25 %
Porcelet	25 %
Porc finition	15 %

On peut noter une très bonne association du tourteau de soja avec 10 maïs qui, très pauvre en protéines (10 %) fournit l'énergie de base de bonne qualité.

Au Sénégal il peut être envisagé la création d'ateliers de production semi-industriels (volailles) capables d'approvisionner les grandes villes et de dégager un surplus important.

La transformation par l'animal permet une excellente valorisation du soja. Une étude de marché préalable sera nécessaire autant sur le marché intérieur pour déterminer les besoins (importance de la production locale de "poulet de brousse") que sur le marché extérieur.

Il est à noter que les unités existantes de trituration de l'arachide sont adaptables pour le soja. Ce dernier ne contenant que 18% d'huile (contre 57% pour l'arachide) n'aura pas à subir l'opération de pré-pressage. Seul un nettoyage de l'ensemble de l'appareillage est nécessaire pour passer d'un produit à l'autre.

très fait

Sans aller jusqu'au stade agro-industriel, l'utilisation du soja graine pour l'alimentation de petits élevages est possible sous réserve de créer de petites installations pour le toastage du soja après décorticage et sa transformation en farine.

42- Utilisation du soja en alimentation humaine

Les principaux obstacles à une consommation directe du soja pour les populations africaines semblent être :

- la difficulté de cuire la graine de soja avec les méthodes traditionnelles.
- le goût souvent jugé inattraitif pour les populations.
- l'absence d'industrie de transformation.

Il existe plusieurs voies d'utilisation :

421. Préparation sans déshuilage de la graine

- Germes de soja (Mémoire de l'Agronome)

Ils s'obtiennent en faisant tremper les graines pendant 24 heures environ, dans l'eau, puis en les étalant en couche mince sur un tissu humide à l'abri de la lumière solaire. Le goût est agréable et la richesse en protéines est proche de 15%.

- Lait de soja

Les opérations se succèdent comme suit

- . lavage et trempage dans l'eau pendant 12 heures
- . broyage des graines trempées dans un broyeur, en présence de l'eau de trempage, jusqu'à ce que l'on obtienne une crème écumeuse
- . cuisson de la crème écumeuse dans un récipient clos sur feux doux et pendant 20 minutes environ, jusqu'à ce qu'il se forme une légère couche de crème sur la surface.
- . filtrage à travers un linge et mise en bouteilles du lait ainsi obtenu.

Le lait a un léger goût de haricot. Il peut être consommé en tant que tel, parfumé au chocolat ou bien vitaminé et stérilisé pour être consommé comme une boisson fraîche. Le lait de soja peut être également transformé en yoghourts ou en fromage.

- Farines entières do regga

Elles sont obtenues artisanalement après cuisson et décorticage par broyage dans un moulin à marteaux (moulin à mil). Ce pilage est assez difficile. La farine est utilisée essentiellement en alimentation animale mais elle peut également être utilisée en alimentation humaine mélangée avec de la farine de maïs et de la farine de maïs comme dans le cas du bitia (bouillie couramment consommée au Zaïre) ou en remplacement de l'arachide dans certains plats traditionnels ce qui perturbe peu les habitudes alimentaires.

422. Préparation après déshuilage de la graine

- L'huile de soja

L'huile de soja sert à préparer des margarines et des graisses végétales. Elle convient parfaitement pour les assaisonnements. Au Sénégal, la consommation d'huile de soja permettrait d'accroître le surplus exportable d'arachide dont la consommation locale est très importante.

- Farines et semoules (SCPA, 1970)

La consommation de pain se développant considérablement en Afrique l'incorporation de farine de soja (5 à 10% dans la farine panifiable: USA, Brésil, Israël) revêt outre les avantages d'ordre nutritionnel, un intérêt économique du fait que le blé est importé.

L'addition aux farines de blé d'un mélange de farine déshuilée de soja et de farine de manioc (jusqu'à 40% du mélange) a été expérimentée avec succès au Nigéria: bonne appétance et pas d'incidence sur le prix du pain.

- Les farines déshuilées peuvent être incorporées dans les aliments infantiles après sevrage au taux moyen de 10%. Certaines populations (Nigeria) utilisent largement comme aliment de sevrage un produit fabriqué avec du maïs fermenté, aliment très déficient en protéines. On peut lui incorporer 1/3 de soja dépelliculé et cuit. Cet aliment additionné de sucre vitamines et sels minéraux puis stérilisé constitue un aliment complet de sevrage bien toléré.

- Les semoules de soja déshuilées peuvent être mélangées aux semoules de blé dur (5% environ) pour la fabrication des pâtes alimentaires.

- Farines et semoules de soja, complet ou plus souvent déshuilé peuvent être incorporées dans : beignets, galettes, bouillies, crèmes, soupes, croquettes, biscuits... ceci est l'affaire de petites industries qui verront un profit possible dans la réalisation de sojaliments adaptés aux goûts et aux moyens des populations. On peut citer l'exemple de l'E.T.S.A. (Ecole Technique Supérieure d'Agriculture) de Tshibashi au Zaïre qui possède une petite unité de production de farine de soja, celle-ci étant incorporée dans des biscuits.

- L'Institut de Technologie Alimentaire (Dakar) prépare des biscuits dont les premiers tests d'acceptabilité sont extrêmement satisfaisants.

Composition du biscuit :

. 63 %	farine de mil
. 27 %	farine VMR
. 10 %	farine de blé.

La farine VMR est une farine de soja d'importation américaine renfermant 65% de protéines.

- Les techniques d'extrusion permettant de transformer les farines ou tourteaux de soja, en produits texturés qui peuvent être mélangés aux viandes hachées ou à certains produits de charcuterie (jusqu'à 30% environ), on peut éventuellement leur conférer les goûts de : bœuf, porc, mouton, poulet ou poisson.

Ce n'est qu'à un stade ultérieur que l'industrie africaine pourra aborder la fabrication de concentrés et de chocolats. Dans une première étape, seule méritent d'être considérés les produits les plus simples et les plus économiques.

5 - PERSPECTIVES D'INTRODUCTION DU SOJA AUPRES DE LA POPULATION

Le problème majeur est de trouver la manière d'utiliser le soja dans les recettes traditionnelles afin de ne pas bouleverser les habitudes alimentaires. Les différentes préparations culinaires sont étudiées dans le cadre de l'ITA (Institut de Technologie Alimentaire) ainsi que dans le service pédiatrie de l'hôpital Le Dantec à Dakar.

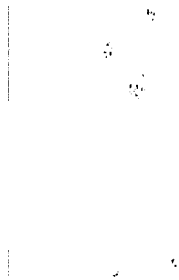
Une diffusion large de ces préparations auprès de la population pourrait être assurée par l'intermédiaire des PPNS (Programme Pour la Nutrition et la Santé), institution sanitaire et sociale où les femmes constituées en association reçoivent des conseils d'ordre sanitaire et alimentaire. Les PPNS reçoivent l'aide financière des organismes internationaux. Il existe actuellement un peu moins d'un PPNS par communauté rurale, chaque communauté ayant un rayon moyen de desserte de 10 km.

D'autre part une information et une formation des mères de famille peut être assurée dans les centres ménagers au niveau de la commune. Mais actuellement les monitrices chargées d'encadrer la commune en matière de promotion (nutrition, alphabétisation, élevage...) sont en très petit nombre. De plus elles sont placées uniquement dans les régions où la réforme administrative a été appliquée, ce qui n'est pas le cas de la Casamance, du Fleuve ni du Sénégal oriental.

Enfin des séminaires de formations pour les cuisiniers des cantines scolaires peuvent être organisés.

CHAPITRE III

OBJECTIFS DE LA RECHERCHE
ET SITUATION ACTUELLE



Les objectifs généraux à atteindre pour permettre l'introduction de la culture du soja sont les suivants :

- obtention de variétés à cycle de 105 jours
- rendement potentiel de 4 tonnes de graines par hectare
- satisfaction des besoins azotés de la plante pour la symbiose Rhizobium-soja.

Le CNRA a tout d'abord porté ses efforts sur la création de variétés bien adaptées ainsi que sur les problèmes de l'inoculation. Cette année débute un programme d'étude concernant la fumure minérale, les techniques culturales et la détermination d'une date de semis bien adaptée à chaque zone de sojaculture.

1 - AMELIORATION VARIETALE

11- objectif

Obtenir des variétés ayant les caractéristiques suivantes :

- pourcentage de levée > 70 %
- résistance à la bactériose bactériale pustule due à Xanthomonas phaseoli, variété sojensis
- hauteur 70 à 80 cm
- résistance à la verse
- résistance à la déhiscence des gousses (10 jours minimum après la maturité de récolte);
- résistance ou bonne tolérance à Peronospora kikuchii
- niveau d'insertion des premiers étages fructifères relativement haut afin de faciliter les récoltes mécaniques
- poids de 1000 graines = 150 grammes
- pourcentage de protéine = 40%.

12- Situation actuelle

Parmi les nombreuses variétés introduites et testées quelques variétés s'avèrent compatibles avec les conditions climatiques locales. Parmi celles-ci on peut citer :

Improved Pelican USA
 S EL Colombie
 Mandarin Madagascar
 Geduld Afrique du Sud
 Jupiter USA

Cependant ces variétés présentent certains inconvénients :

- levée difficile
- déhiscence des gousses trop rapide
- verse à forte densité de peuplement
- rendements insuffisants.

Les premières hybridations eurent lieu à partir de 71 entre des variétés précoces et moyennes d'origine américaine et des variétés tardives d'origine tanzanienne.

Parmi les hybrides testés, les résultats obtenus à Séfa en 1977 à partir des lignées F4 de la série 1974, font apparaître que 24 lignées ont un potentiel de rendement supérieur à 40 q/ha (grains à 13% d'humidité; fumure 116-54-81); 43 lignées sont :

- résistantes à la déhiscence des gousses pendant 10 jours minimum après maturité de récolte
- résistantes à la verse
- tolérance à la bactériose.

Les quatre lignées les plus productives présentent les caractéristiques suivantes :

Tableau n° 10: Caractéristiques de quelques lignées F4 de la série 1974

N° Bambo	% levée	Floraison (jours)	Cycle (jours)	Hauteur (cm)	Rend. potent. (q/ha)	Sensib. Cercospor.	Rend. témoin Jupiter	Poids de 100 grains (en g)
14/74	71	43	104	75	58,96	0	181	13
101/74	78	50	116	47	57,79	0	177	14
12/74	51	46	117	61	56,13	0	173	13
1/74	39	47	116	46	55,15	0	169	13

Le CNRA possède actuellement du matériel végétal qui semble répondre aux objectifs fixés par les sélectionneurs. Les différentes lignées nécessitent encore des purifications et des tests complémentaires avant de passer au stade de précommercialisation.

En attendant, pour la campagne expérimentale 197 nous avons utilisé la variété 14/A/73 (Héloc X 9/H/55) x Seduid également née à Bambo, et qui jusqu'à présent a donné satisfaction.

2 - L'INOCULATION BACTÉRIENNE

Elle conditionne l'inséparabilité de la culture du soja puisqu'elle permet un apport important d'azote gratuit, estimé à 100 kg N/ha (GANRY-WEY, 1973).

21- Objectif

L'introduction artificielle de souches infectives et efficaces est impérative du fait qu'il n'existe pas ou en nombre insuffisant de souches de Rhizobium spécifiques au soja dans les sols sénégalais. Actuellement la fixation contribue seulement à 50% de la mobilisation totale d'azote à la plante alors que 80% de l'azote total est exporté par les grains (GANRY-WEY, 1973). L'objectif est d'augmenter la capacité de fixation de l'azote du soja jusqu'à un minimum de 80% de ses besoins azotés totaux.

22- Situation actuelle

Jusqu'en 1973, l'inoculation a été réalisée sur les grains.

Tableau n° 110 Etude de l'inoculation et de la fumure organique sur le soja à Séfa (1373) Variété Guduit, Souche G3 (WEY, 1970).

	Témoin	Mat. org.	Inoculation	Fumier + inoculation	Test F	C.V. %
Nombre de pieds à la récolte	354.000a	342.000a	337.000b	238.000b	H.S.	5,8
Poids sec nodosités au 60e j. (mg/plante)	57 c	76 c	294 a	204 a	H.S.	29,0
Nombre de nodosités/plante au 60e jour	4,75 c	3,22 c	24,90b	19,72b	H.S.	21,0
Poids grains/plante (g)	6,94 a	9,16 a	12,68 b	14,1 b	H.S.	18,2
Rendement grain (kg/ha)	2.016 a	2.574 b	2.541 ab	2.629 b	S	16,3

(1) Inoculation des graines: malaxage des graines avec de la tourbe ensemencée en bactéries avant le semis

(2) les chiffres affectés de la même lettre se sont pas significativement différents (à $P = 0,01$ H.S.).

On constate que l'inoculation des graines a un effet positif significatif sur le nombre et le poids sec des nodosités par plante ainsi que sur le poids de grains par plante. Par contre il n'y a pas de différence significative sur le rendement à l'hectare ceci étant dû à une mauvaise levée provoquée par la technique d'inoculation.

On constate aussi l'effet positif de la matière organique sur l'inoculation.

La technique d'inoculation des graines a été ensuite abandonnée, on procède actuellement à l'inoculation du sol avec des souches de Rhizobium japonicum d'origine américaine (G3, G2 GP).

Tableau 12 : Etude de l'inoculation liquide du sol à Séfa (1975) Variété Jupiter - souche G3 (WEY, 1973)

	Témoin	Inoculation	Test F	C.V. %
Nombre de pieds/ha	386.000	373.000	N.S.	5,1
P.F. nodosités au 60e jour (mg/plante)	685 a	1583 b	H.S.	59
Nbre nodosités au 60e jour	236 a	1971 b	H.S.	73
Rend. graines (kg/ha)	685 a	1583 b	H.S.	23

(1) Le coefficient de variation est très fort pour le nombre et le poids frais des nodosités. Ceci peut être attribué au fait que la distribution statistique des données n'est pas normale.

On constate de nouveau l'effet positif de l'inoculation sur le nombre et le poids frais des nodosités ainsi que sur le rendement en grains par hectare, la levée n'ayant pas été influencée par la technique d'inoculation (inoculation liquide du sol et aspersion du sol par une suspension liquide de bactéries à raison de 50 l/ha).

On peut donc conclure au bon comportement de la souche G3 (ou d'autres équivalentes) dans le sol sénégalais et à la supériorité de l'inoculation du sol par rapport à l'inoculation des graines.

Ces premiers résultats confirment l'intérêt de l'inoculation pour améliorer la nutrition azotée de la plante et pour accroître les rendements.

Les voies de la recherche portent actuellement sur :

- choix de souches infectives et plus efficaces
- mise au point d'une technique d'inoculation vulgarisable en milieu paysan
- mise au point d'un inoculum stable. Les inoculum actuellement employés doivent être conservés au réfrigérateur (+5 à 10°C) jusqu'au moment de leur utilisation.

3 - PHYTOTECHNIE DU SOJA

31- Objectif

Définir les conditions optima de culture du soja au Sénégal afin d'en améliorer la production et la productivité:

- place dans la rotation
- fertilisation: définition des besoins en éléments majeurs
- définition des dates de semis
- détermination de techniques culturales adaptées
- malherbologie: étude de la compétition des mauvaises herbes et mise au point de méthodes de lutte (façons culturales, herbicides).

32- Situation actuelle

Bien qu'aucune expérimentation n'ait été menée avant 1978, les campagnes précédentes ont permis de dégager les résultats suivants :

Le type de rotation

Il semble que le soja puisse s'intégrer en remplacement de l'arachide ou du coton dans la rotation quadriennale suivante :

Année 1	Jacynthe ou maïs ou riz pluvial
" 2	Coton ou arachide
" 3	Sorgho ou maïs
" 4	Arachide

A priori les trois meilleures possibilités culturales du soja au Sénégal seraient le maïs, le riz pluvial et le cotonnier.

La fertilisation

Pour une récolte de 40 quintaux/ha de graines, les besoins sont les suivants :

- azote 300 kg/ha dont l'essentiel doit provenir de la symbiose
- phosphore 40 kg P₂O₅/ha
- potasse 120 kg K₂O/ha.

Compte tenu de ces besoins, on préconise une formule de type 30-40-120 à apporter au labour; 50 unités d'azote "station" semblent suffire en attendant le relais de la fixation symbiotique.

- Fumier: le fumier a déjà prouvé son efficacité sur le rendement en graines du soja. Actuellement on apporte fréquemment de 5 à 10 t/ha de fumier frais.

Les techniques culturales

Les essais en cours permettront sans doute d'apporter une réponse plus précise concernant la nécessité du labour. Celui-ci par une amélioration générale de la porosité du sol favorise la formation des nodosités sur les racines secondaires et en profondeur (10-30 cm) ainsi que le développement du pivot. Il permet également l'enfouissement de la matière organique.

Le soja est extrêmement sensible à la concurrence des adventices pendant les quarante premiers jours de son cycle avant qu'il ne couvre totalement le sol. Il est donc nécessaire d'effectuer au moins deux binages, le premier ayant lieu 10 jours après le semis (stade de 1^{re} feuille trifoliée).

La récolte

Elle se fait actuellement à la main. Les plants sont coupés à la base, mis en sac; après séchage le battage est réalisé directement à l'aide d'une batteuse classique.

CHAPITRE IV
LA CAMPAGNE 1978

La plupart des essais soja de l'hivernage 1970 se sont déroulés à Séfa, station ISRA située en Moyenne Casamance. Le sol de la station est de type beige. La variété employée est la 44/A/73.

- Semis . date: 1er juillet essai inoculation
 4 " essai de techniques culturales
 . semis mécanique à l'aide d'un semoir ~~à arachide~~ *Super Eco*
 . dose : 83 kg/ha
 . Inoculation: sur la ligne de semis. *à l'insu*
- Levée : 75 à 80 %
- Démariage: Au stade V2 nous avons effectué un démariage de façon à obtenir une densité de peuplement de 300.000 pieds/ha.
- Binage: 2 binages manuels ont été effectués pendant le premier mois du cycle (stade V4 et V5)
- Traitement phytosanitaire: voir annexe n° 3
- Récolte manuelle 15-20 octobre
- Battage mécanique: Nous avons utilisé une batteuse classique ~~à riz~~.

La répartition des pluies pendant l'hivernage a été satisfaisante (graphe n° 1) pour la plupart des cultures. Le total cumulé est de 1040mm ce qui est inférieur à 3.à moyenne des 25 dernières années : 1220 mm (1950-1974).

Nous avons suivi plus particulièrement deux essais au cours de la campagne :

- Essai de techniques culturales
- Essai inoculation.

1 - ESSAI DE TECHNIQUES CULTURALES

Objectif: Tester en semi-vraie grandeur trois niveaux d'intensification sur deux précédentes culturales.

11- Dispositif expérimental

- Précédent cultural

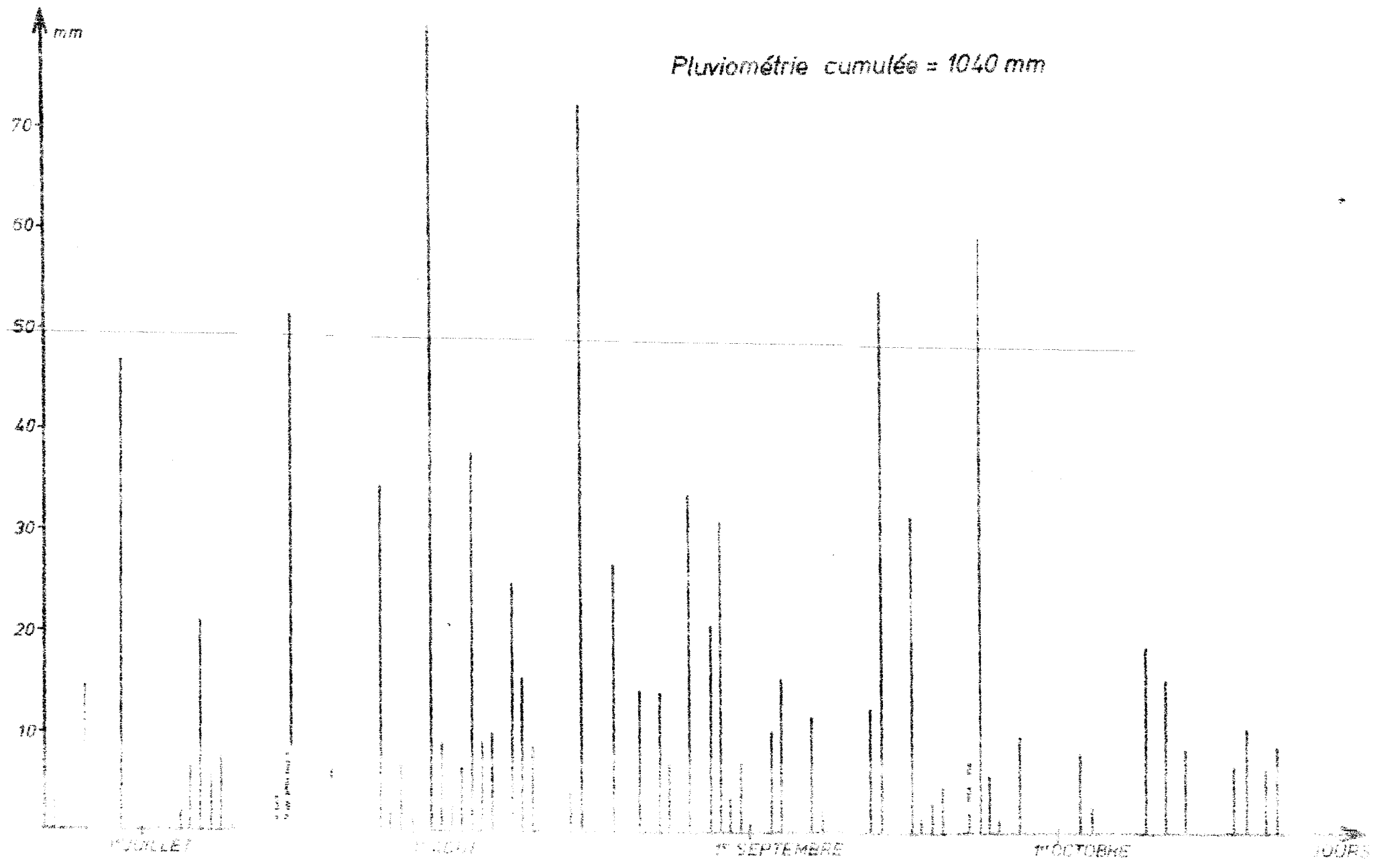
Parcelle n° 1 1976 Arachide
 1977 Riz Pluvial

Parcelle n° 2 1976 Jachère
 1977 Maïs

• Dispositif d'étude :

- . Dispositif non statistique
- . Dimensions et superficie de l'essai :

PLUVIOMETRIE (Séu 1978)



Parcelle n° 1 40 X 100 m = 4 000 m²
 Parcelle n° 2 40 X 100 m = 4 000 m²

- Dimensions et superficie d'une parcelle élémentaire
 12 X 100 m = 1 200 m²

- Traitements

Thème	Fumure	Travail du sol	Semis: semoir Super-Eco 83 kg/ha	Nitragin au semis 14 kg/ha
Léger 1	15-15-60	Superficiel aux dents	x	x
Lourd 2	15-100-120 1 t/ha de chaux magnésienne	Labour au boeuf	x	x
Motorisation 3	15-100-120 1 t/ha de chaux magnésienne	Labour au tracteur	x	x

12. Observations, matériel réalisé

Chaque parcelle élémentaire est subdivisée en deux sous-parcelles de 12,00 X 50,00 m destinées à l'étude du système racinaire et des parties aériennes.

121. Sous-parcelle A: Etude du système racinaire (précédent maïs)

- Profil racinaire : Un profil par traitement a été réalisé au 25e jour du cycle (stade V5 à V7, annexe 1).

- Densité racinaires: par sondage aux cylindres (Méthode MAERTENS)

Nous avons réalisé 4 fosses par traitements (1,20 X 0,60 m) au stade début floraison. De chaque côté d'une fosse nous prélevons 10 cylindres de 150 cc chacun sur une longueur de 1,20 m encadrant 2 lignes de soja. Nous réalisons donc deux répétitions par fosse aux horizons suivants: 0-10; 10-20 et 20-30 cm. Sur les parties aériennes des plantes du milieu de fosse, donc situées à proximité immédiate des prélèvements aux cylindres, nous avons observé :

- . Poids sec des parties aériennes
- . Nombre d'étages foliaires
- . Hauteur de la plante
- . Diamètre de la base de la tige

- Prélèvements racinaires globaux (Méthode adaptée par M. CHOPART)

A la floraison, sur des carrés de 0,60 X 0,60 m encadrant une ligne de soja (2 répétitions par traitement), le sol a été prélevé sur 60cm de profondeur par tranche de 10cm pour extraire et peser séparément le poids :

- . du pivot
- . des grosses racines
- . du chevelu racinaire
- . des nodosités

Sur les parties aériennes : mêmes mesures que précédemment.

122. Sous-parcelle-El : Etude des parties aériennes (précédent maïs et riz)

Mesure des paramètres suivants à la récolte :

- . nombre de gousses par plante: sur 15 sondages de 1m pris au hasard par traitement
- . hauteur des Plantes : idem
- . hauteur du premier étage de gousses : idem.

113. Résultats

131 Profils racinaires: voir graphe n°2

- Thème léger : Stade V5 (Annexe 1)

- 0-6 cm: Couche très meuble correspondant à la zone travaillée par le grattage et le sarclo-binage. Assez peu de racines en dehors de la verticale du Pied.

La limite entre cet horizon et l'horizon sous-jacent est très nette avec quelques lissages et tendance à l'arrêt des racines à ce niveau.

- 6-30 cm: porosité plus faible que l'horizon précédent, enracinement assez bien développé sous le pied, mais beaucoup moins dans l'interligne. pas de racines observées en-dessous de 25-30 cm.

- Thème lourd : stade V0 - V7

- 0-4 cm: pas de racines en dehors de la verticale des pieds.

- 4-15cm : enracinement bien développé sous le pied, nettement moins dans l'interligne. L'exploration générale du profil est copndant meilleure que sur le grattage à la même profondeur.

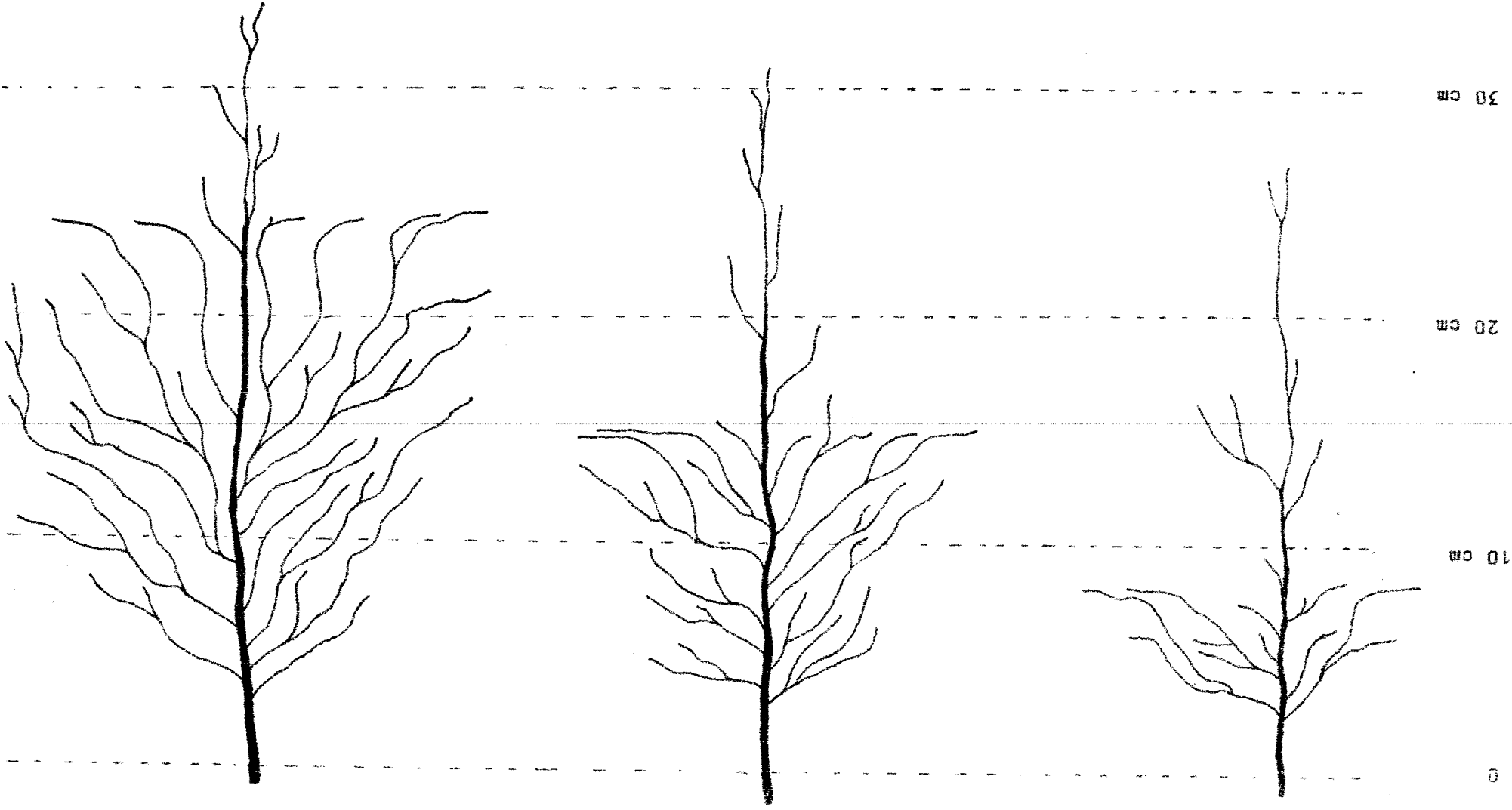
- 15-30 cm: quelques racines sous les pieds, enracinement presque absent dans l'interligne.

- Matorisation : stade V6 - V7

- 0-25 cm: horizon très meuble sur tout le profil avec une limite inférieure très nette mais sans lissage apparent. Présence de quelques résidus de récolte (maïs) en cours de décomposition au fond de l'horizon. Enracinement bien développé sous le pied, mais irrégulier d'un pied à l'autre. Beaucoup de racines à la limite inférieure de l'horizon 15-25 cm. Dans l'interligne il y a plus de racines que pour les deux thèmes précédents. Dans la zone 20-25cm, elles prennent une direction sub-horizontale.

La colonisation des racines est dans l'ensemble très homogène dans toute la zone labourée.

ETUDE DE L'ENRACINEMENT DU SOJA SELON TROIS THEMES CULTURAUX



Thème Léger

Thème Lourd

Motocultivation

- Cratage superficiel: 4-6 cm
 - Fumure: 15-100-100
 - Labeur au tracteur: 25 cm
 - Chaux magnésienne: 1000 kg/ha
 - Fumure: 15-100-100
 - Chaux magnésienne: 1000 kg/ha
- Stade végétatif : 0,5 à 0,7 (valeur stade de développement du soja, U.S. FERR, Annexe 2)

Remarque: La nodulation est pratiquement identique pour les trois thèmes. Les nodules sont groupés principalement au niveau du pivot dans les horizons superficiels. Pour la labour au tracteur nous trouvons toutefois quelques nodules en profondeur.

132. Densités racinaires par sondage aux cylindres

Ils sont réalisés au stade début floraison (48^e jour de cycle).

a)- Densités racinaires

Tableau n° 13: Densités racinaires du soja exprimées en grammes de matière sèche/dm³. IC: Intervalle de confiance P = 0,05

Horizon	0-10		10-20		20-30		0-30	
	Moyenne	IC	Moyenne	IC	Moyenne	IC	Moyenne	IC
Léger	3,123	0,051	0,870	0,037	0,034	0,024	0,217	0,109
Lourd	0,135	0,051	0,064	0,036	0,035	0,010	0,234	0,099
Notori- sation	0,347	0,052	0,198	0,020	0,080	0,030	0,625	0,074

b)- Parties aériennes

Tableau n° 14: Mesure de différents paramètres des parties aériennes du soja

Thème	Partie aérienne poids SSC en g/plante		Nbre d'étages foliaires par plante		Hauteur de la plante: (cm)		Diamètre de la base de la tige en mm	
	Moyenne	IC	Moyenne	IC	Moyenne	IC	Moyenne	IC
Léger	2,28 ^T	0,62	11,50	0,54	25,0	3,0	3,6	0,3
Lourd	6,34	1,85	13,50	1,19	36,5	6,5	4,8	0,6
Notori- sation	5,82	0,92	11,511	0,54	33,0	2,0	4,8	0,5

H.B.: Les chiffres sont exprimés par plante du fait d'une incertitude trop importante sur les surfaces de prélèvement.

Le nombre d'étages foliaires ne comprend pas les deux feuilles simples.

133. Prélèvements racinaires globauxIls ont été réalisés au stade floraison (55^e jour du cycle)a) Enracinement : 2 répétitions/thèmeTableau n° 15 : Développement du pivot et des grosses racines dans l'horizon 0-20 cm
(en grammes de matière sèche/m²)

Thème	Pivot			Grosses racines			Total
	0-10	10-20	0-20	0-10	10-20	0-20	0-20
Léger	5,77	-	5,77	0,84	-	0,84	6,61
	5,30	-	5,30	2,81	0,62	3,43	8,73
Lourd	16,37	-	16,37	5,72	-	5,72	22,09
	15,48	-	15,48	6,41	0,65	7,06	22,54
Motorisation	15,59	-	15,59	4,59	0,59	5,18	20,77
	20,85	1,11	21,96	5,15	1,67	6,82	28,78

Tableau n° 16 : Développement du chevelu racinaire dans l'horizon 0-60 cm
(en grammes de matière sèche par mètre carré)

Thème	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	0-30	30-60	0-60
Léger	27,88	10,71	0,38	0,21	0,57	0,32	38,97	1,10	40,07
	12,20	1,56	0,07	0,14	0,49	0,33	13,83	0,96	14,79
Lourd	37,27	12,88	1,11	0,76	0,90	0,26	51,26	1,92	53,18
	34,44	2,43	2,11	0,77	1,51	1,30	38,98	3,58	42,56
Motori- sation	21,54	13,65	0,49	0,33	1,67	1,82	45,88	2,32	48,20
	18,22	22,68	4,12	1,08	0,66			3,56	48,56

Tableau n° 17 : Enracinement total du soja dans l'horizon 0-60 cm
(en grammes de matière sèche par mètre carré)

Thème	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	0-30	30-60	0-60
Léger	34,49	10,71	0,38	0,21	0,57	0,32	45,58	1,10	46,68
	20,31	2,18	0,07	0,14	0,49	0,33	22,56	0,96	23,52
Lourd	59,36	12,88	1,11	0,76	0,90	0,26	73,35	1,92	75,27
	56,33	3,08	2,11	0,77	1,51	1,30	61,52	3,58	65,10
Motori- sation	41,72	14,44	0,49	0,33	1,67	0,32	56,65	2,32	58,97
	44,22	25,46	4,12	1,08	0,66	1,82	73,80	3,56	77,36

TABLEAU N° 18: Poids de nodules en g/m²: horizon 0-20 cm.

Thème	0-10		10-20		s-120
	Frais	soc	Frais	Sec	SOC
Léger	31,07	6,72	-	-	6,72
	41,03	7,38	-	-	7,38
Lourd	22,09	6,00	-	-	6,00
	57,84	10,34	-	-	10,34
Motorisation!	38,62	8,28	8,13	1,44	6,72
	36,41	8,14	19,50	2,32	10,34

b)-. Parties aériennes

Tableau n° 19: Mesure de différents paramètres des parties aériennes du soja

Thème	Partie aérienne poids soc g/m ²	Nombre d'étages foliaires moyens par plante	Hauteur moyenne de la plante (cm)	Diamètre moyen de la base de la tige (mm)
Léger	97	13	31	3,50
	119	15	33	3,6
Lourd	212	12,5	40	4,2
	470	14	46	4,7
Motori- sation	315	13	47	4,3
	288	15	53	5,3

N.B.: Le nombre d'étages foliaires ne comprend pas les deux feuilles simples.

134. Relations entre enracinement et parties aériennes du soja
(Graphe n° 3)

Ces relations ont été obtenues à partir des résultats des prélèvements globaux de l'ensemble des trois traitements. Elles doivent donc de ce fait être considérées avec une certaine circonspection,

- Matière sèche des parties aériennes et grosses racines (0-20)

X = Poids sec des grosses racines : g/m²/répétition

Y = Poids sec parties aériennes : g/m²/répétition

r = +0,82 S = significatif P 0,05 = 0,81

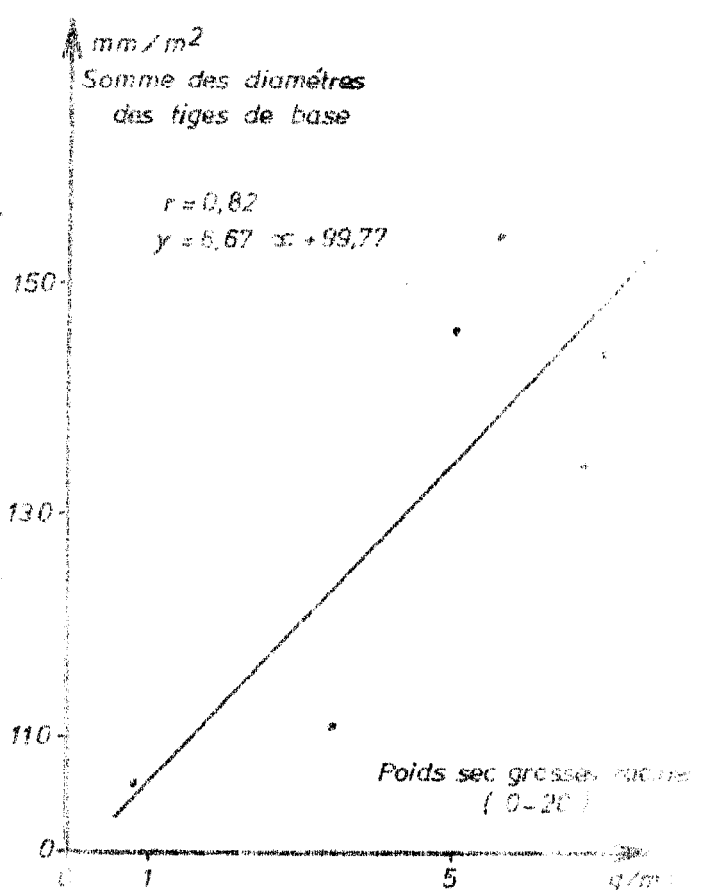
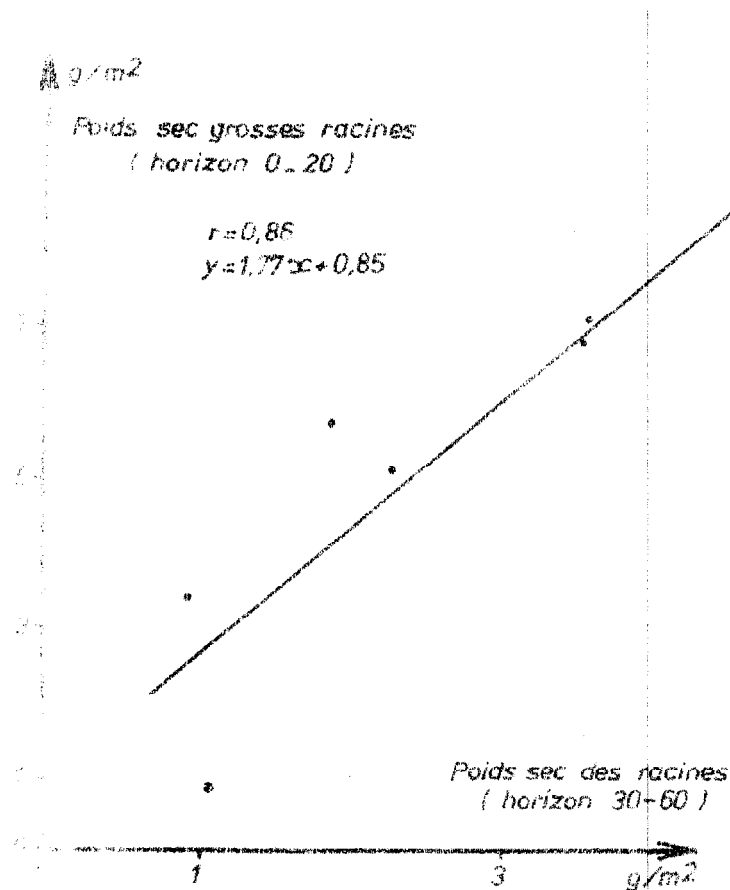
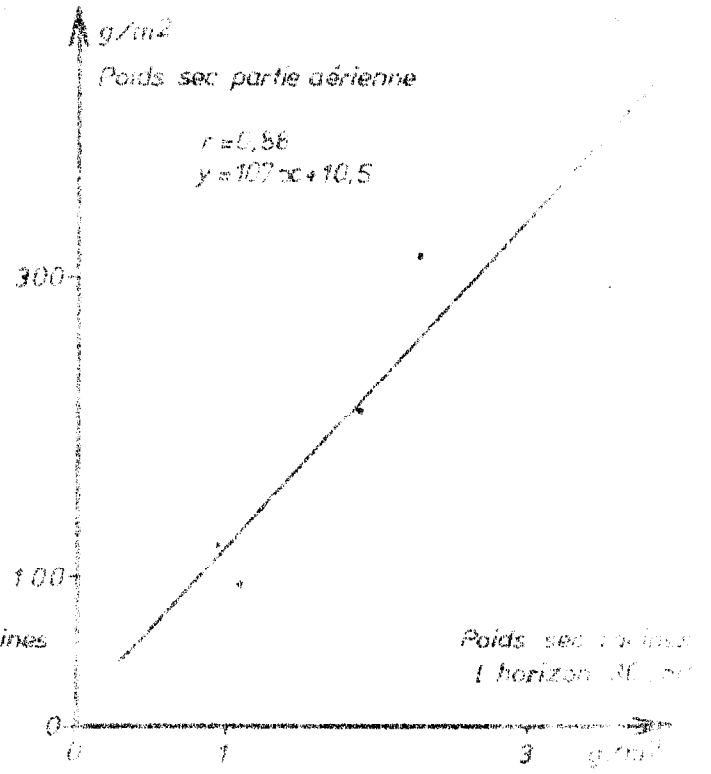
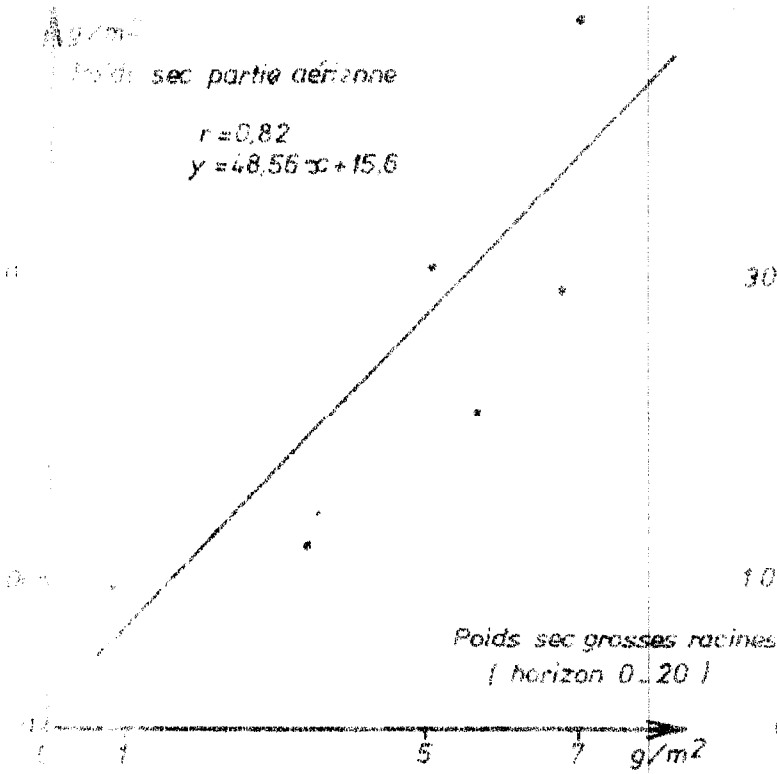
Y = 48,56 x + 15,6

X = 0,013 Y + 1,32

RELATIONS ENTRE ENRACINEMENT ET PARTIE AERIENNE

Graphie n° 3

DU SOJA (Séfa 1978)



- Matière sèche des parties aériennes et enracinement profond (30-60)

X = Poids sec des racines dans l'horizon 30-60 cm : g/m²

Y = Poids sec des parties aériennes : g/m²

$$r = +0,88 \quad S$$

$$Y = 107 X + 10,5$$

$$x = 0,07Y + 0,40$$

- Grosses racines (0-20) et enracinement profond (30-60)

X = Poids sec des racines dans l'horizon 30-60 : g/m²

Y = Poids sec des grosses racines dans l'horizon 0-20: g/m²

$$r = +0,86 \quad S$$

$$Y = 1,77 x + 0,85$$

$$Y = 0,42 Y + 0,19$$

- Diamètre de la base de la tige et grosses racines (0-20)

X = Poids sec grosses racines dans l'horizon 0-20 : g/m²

Y = Somme des diamètres de la base de la tige : mm/m²

$$r = 0,82 \quad S$$

$$Y = 6,67 X + 99,77$$

$$X = 0,10 Y - 8,55$$

135. Mesures de fin de cycle, rendements.

- Mesures de fin de cycle

Tableau n° 20: Mesures de quelques paramètres de la partie aérienne du soja

Thème	Précédent	Nombre de gousses par plante		Hauteur de plan- ta (cm)		Hauteur du loi étage de gousses	
		Moyenne	IC	Moyenne	IC	Moyenne	IC
Léger	Riz	23,6	2,3	37,7	1,4	11	0,5
	Maïs	29,1	3,2	38,8	1,6	9,8	0,5
Lourd	Riz	41,1	3,4	44,5	1,5	10,6	0,7
	Maïs	42,3	2,8	47,2	1,6	8,7	0,4
Motori- sation	Riz	53,2	2,8	53,9	1,5	10,1	1,1
	Maïs	50,3	3,5	55,2	1,5	9,5	1,6

N.B. : La densité de peuplement est équivalente pour les trois thèmes (environ 300 000 pieds/ha)

Tableau n° 21: plus-value en nombre de gousses et augmentation de la hauteur de la plante des thèmes lourd et motorisation par rapport au thème léger

	Nombre de gousses par plante		Hauteur de la plante (cm)	
	Thème lourd	Motorisation	Thème lourd	Motorisation
Précédent riz	+ 74%	+ 125%	+ 6,8 cm	+ 16 cm
Précédent maïs	+ 45 %	+ 73%	+ 8,4 cm	+ 16,4 cm

- Rendements

Tableau n° 22: Rendement en grains du soja: on quintaux/ha

Thème	Précédent	Rendement
Léger	Riz	14,89
	Maïs	*21,52
Lourd	Riz	21,80
	Maïs	23,31
Motorisation	Riz	25,50
	Maïs	30,15

* Il y a une erreur par excès sur ce résultat, des lignes de bordure normalement éliminées de la parcelles de rendement y ont probablement été ajoutées.

14. Discussion - Conclusion

- Au stade début floraison (48^e jour du cycle), dans l'ensemble de l'horizon 0-30 il existe une différence significative des densités racinaires en faveur de la motorisation 3 par rapport aux thèmes léger 1 et lourd 2 (tableau 13, page 28). Cette différence se manifeste d'une façon systématique bien que nous ayons observé une grande variabilité d'une répétition à l'autre (Annexe 2). Les prélèvements globaux effectués huit jours plus tard mettent en évidence une supériorité très nette des traitements 2 et 3 sur le traitement 1 (tableaux 15, 16 et 17, p 29). Cette supériorité se manifeste notamment par un développement beaucoup plus important du pivot, des grosses racines ainsi qu'une profondeur plus importante de l'enracinement (horizon 30-60). Le labour, par une amélioration générale de la porosité, a permis l'installation du système racinaire dans l'ensemble de la zone travaillée (0-15 pour 2; 0-25 pour 3) mais aussi une colonisation plus importante de la zone sous-jacente (30-60) très peu explorée dans le cas du thème 1. Les méthodologies des densités

racinaires et des prélèvements globaux sont différentes et ne nous permettent pas de conclure sur le thème lourd. Mais dans les deux cas, le thème léger est très inférieur à la motorisation.

L'importance de la nodulation est comparable dans les trois thèmes. Les nodosités se forment essentiellement en surface (0-10), au niveau du pivot, ce qui caractérise une primo-inoculation dans le sillon de semis. On note toutefois quelques nodosités en profondeur dans le thème 3 (tableau 18, p.30).

- Au stade début floraison (55^e jour du cycle) le développement des parties aériennes des thèmes 2 et 3 est supérieur à celui du thème 1 (tab.14, p. 24; tab. 19, p.30). L'augmentation est de l'ordre de :

- 150% pour le poids sec de la partie aérienne
- 8 à 10 cm pour la hauteur de la plante
- 1 mm pour le diamètre de la base de la tige.

Entre les thèmes 2 et 3, la différence n'est pas significative. Pour le nombre d'étages foliaires, il y a très peu de différence entre les trois thèmes. La plus grande longueur de la tige est donc due à un allongement des entrenœuds.

Les relations établies entre l'enracinement et les parties aériennes indiquent que le développement des parties aériennes est lié à celui des grosses racines ($r = +0,82$) mais aussi à l'enracinement profond ($r = +0,86$). Nous constatons également que l'enracinement profond est en relation avec le développement des grosses racines dans les horizons superficiels ($r = +0,86$). A partir de ces résultats, on peut émettre l'hypothèse que l'enracinement profond est conditionné en partie par le développement des grosses racines. Par ailleurs il existe une relation significative entre le diamètre de la base de la tige et le poids sec des grosses racines (0-20), ce qui, sous réserve de vérification ultérieure, pourrait servir de base à une approche de l'évaluation de l'enracinement à partir de critères très simples.

Le labour par une augmentation de la porosité, une diminution de la résistance à la pénétration racinaire et un bon enfouissement de la fumure minérale a une action très importante sur la croissance et le développement de la plante. Au 25^e jour du cycle, le thème 1 est au stade V5 alors que les thèmes 2 et 3 sont au stade V7. Pour ces derniers le degré d'exploration du profil est plus grand ce qui permet une meilleure alimentation hydrique et minérale de la plante. Cela se vérifie particulièrement dans les conditions de sol et de climat du Sénégal où il est montré qu'en cas de dessèchement superficiel du sol, la masse racinaire dans les horizons sous-jacents prend une importance considérable (CHOPART et NICOU, 1976). Dans le cas du thème 1, le système racinaire resta plus superficiel par suite de la difficulté de pénétration des racines dans l'horizon sous-jacent non travaillé et plus compact.

-- A la récolte les mesures sur les parties aériennes permettent de dégager les résultats suivants :

Le nombre de gousses par plante et la hauteur des plantes sont significativement différents d'un traitement à l'autre. L'augmentation de la hauteur de la plante par rapport au thème léger est voisine de 8 cm pour le thème lourd et de 16 cm pour la motorisation. Elle s'accompagne d'une plus-value en nombre de gousses de 45 à 75% pour le thème lourd et de 73 à 125% pour la motorisation. Il n'y a pas de différence significative du nombre de

gousses par plante ni de la hauteur des plantes entre les deux précédents culturaux (riz et maïs). Dans les conditions de l'essai il n'est pas possible de dire si la légère supériorité du rendement aboué sur le précédent maïs est significative ou non. Des résultats obtenus sur l'arachide montrent que le précédent maïs est préférable au précédent riz pour cette légumineuse (NICOU, 1976). Une étude spécifique serait nécessaire pour déterminer la place optimale du soja dans la rotation.

La supériorité des thèmes lourd et motorisation par rapport au thème est due à l'effet combiné du travail du sol (labour) et de l'apport minéral (P-K-chauxmagnésienne). Cette supériorité se traduit par un développement beaucoup plus important de l'ensemble du système racinaire et plus particulièrement de l'enracinement profond. Ce dernier semble constituer la partie fonctionnelle essentielle de l'enracinement puisqu'il est en relation avec la masse des parties aériennes. A la récolte, les plantes sont alors beaucoup plus grandes et possèdent un nombre de gousses très supérieur ce qui se traduit par une importante plus-value en grains.

La supériorité du thème motorisation sur le thème lourd s'explique par le seul travail du sol c'est-à-dire essentiellement par un labour plus profond. Outre un allongement spectaculaire de la plante, cela se traduit par une augmentation du nombre de gousses d'environ 30 à 50%, soit environ 4 à 6 quintaux de grains par hectare. Nous pouvons donc supposer que la différence entre le thème léger et les parcelles labourées (2 et 3) est due pour une grande part au seul travail du sol. Il est à remarquer que malgré l'absence de matière organique sur cet essai nous obtenons dans l'ensemble des rendements assez satisfaisants.

Le soja répond donc bien à l'intensification. Les résultats ci-dessus sont une première approche de l'incidence du précédent culturel, de la fumure minérale et du travail du sol sur la croissance et le développement du soja. La réalisation d'essais séparés permettrait de dissocier l'effet respectif de chacun de ces facteurs sur le rendement et la productivité en protéines du soja.

2 - ESSAI INOCULATION

Los principaux objectifs auxquels nous nous sommes intéressés dans cet essai sont les suivants :

- étude de l'évolution de la nodulation et de la fixation de l'azote atmosphérique au cours du cycle du soja
- étude indicative de l'influence de la dose d'inoculum liquide sur la nodulation et le rendement en grains.
- étude de l'effet de différents inoculum sur la nodulation et le rendement en grains
- étude de l'effet de la matière organique sur le rendement en grains.

21- Dispositif expérimental (Cf. plan joint)

- Essai split plot à 6 répétitions
- Dimension des parcelles : 13,0 x 9,0 m
- Surface des parcelles élémentaires : 58,5 m²
- Surface de rendement dans parcelles élémentaires : 29,7 m²
- Allées entre parcelles : 1 m
- Allées entre bloc : 2 m.

. Traitements principaux

- 1- Témoin non inoculé
- 2- Inoculum liquide (IL) 50 l/ha
- 3- Inoculum granulé: 90 kg/ha équivalent à 50 l/ha d'inoculum liquide
- 4- Inoculum gel sec enfoui sur 10cm de profondeur: 38 kg/ha équivalent à 400 litres d'IL
- 5- Inoculum gel sec on surface: 38 kg/ha équivalent à 400 l d'IL
- 6- Inoculum nitragin: 14 kg/ha.

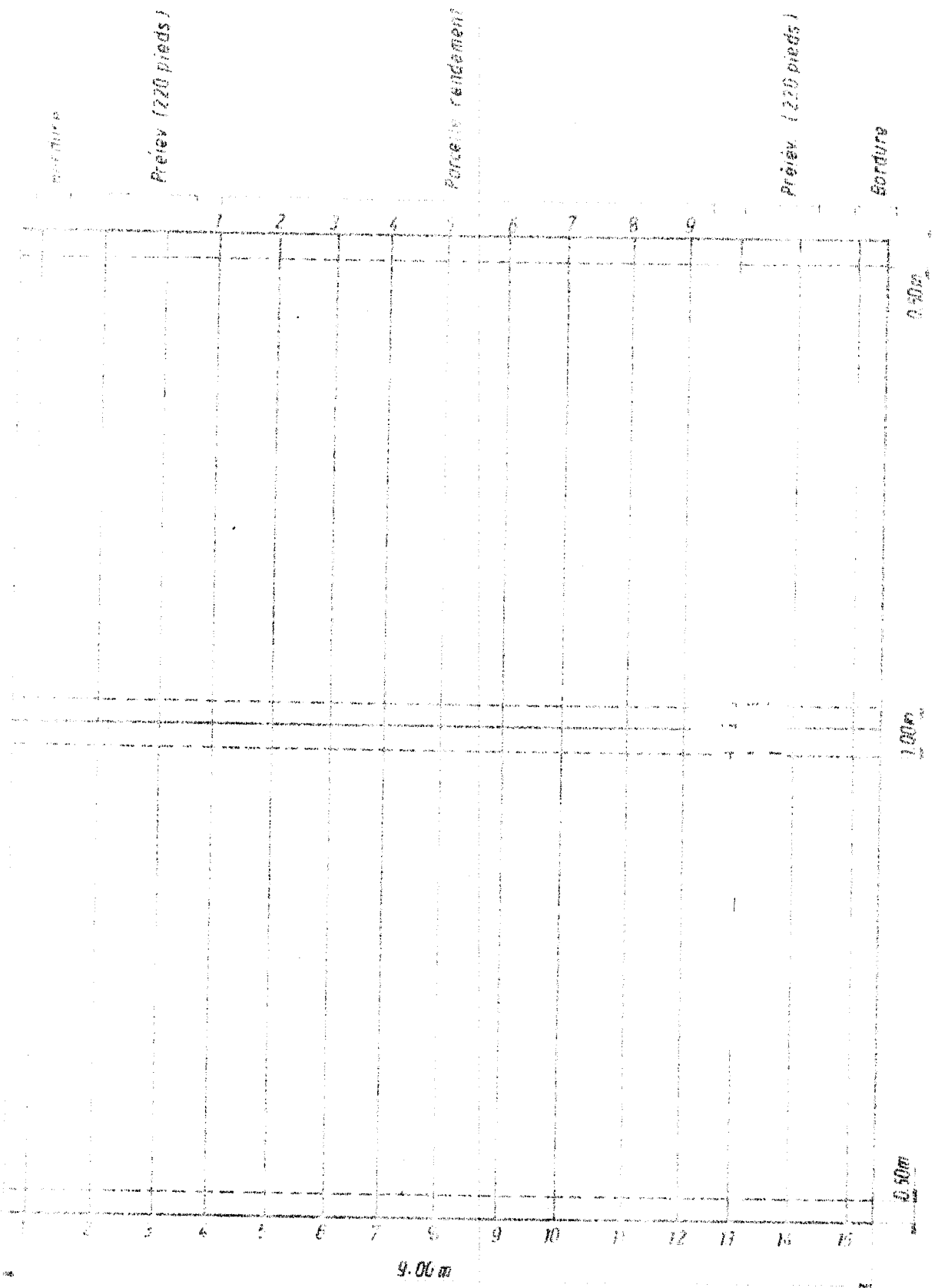
L'inoculum liquide et le granulé ont été préparés par le laboratoire de rhizobiologie du CNRA de Bambo, le gel sec par le laboratoire de l'ORSTOM de Dakar et l'inoculum nitragin est importé des USA.

. Sous-traitements

Chaque parcelle est divisée en deux sous-parcelles (parcelle élémentaire): la sous-parcelle a avec fumier (10 tonnes matière sèche/ha) et la parcelle b sans fumier.

Conjointement à cet essai ont été ajoutées des parcelles autonomes (non divisées en deux) afin d'étudier l'évolution de la nodulation et de la fixation (parcelles: A, B, C) et de faire une approche de la dose d'inoculum optimum (B, D, E, F).

- A témoin absolu
- B inoculum liquide 200 l/ha
- C " " 200 l/ha + fumier (10 tonnes matière sèche/ha)
- D inoculum liquide 10 l/ha
- E " " 30 l/ha
- F " " 70 l/ha



Surface totale : 117 m²

Surfaces / parcelle : 58.50 m²

Surfaces rendements / parcelle : 29.70 m²

Schéma d'une parcelle.

22- Observations à réaliser

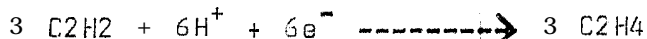
Sur les parcelles 1 à 6 et sur les 6 blocs: prélèvement de 20 plantas par sous-parcelle tous les 20 jours à partir de la deuxième semaine après le semis et mesure des paramètres suivants :

- Nombre de nodosités/plante
- Poids frais nodosités/plante.

Sur les parcelles autonomes: prélèvement, tous Les 10 jours 3 partir de la deuxième semaine après le semis, de 20 plantes par parcelle et mesure des paramètres précédents ainsi que de la fixation d'azote par la plante.

Tous les prélèvements sont réalisés sur les lignes de prélèvement prévues à cet effet. La mesure de la fixation de l'azote atmosphérique s'effectue par la méthode de réduction de l'acétylène, dont le principe repose sur la transformation de l'acétylène en éthylène par la nitrogénase qui est le principal enzyme responsable de la biosynthèse de l'azote ammoniacal à partir de N₂ atmosphérique. Cet enzyme a la particularité d'être peu spécifique; elle peut réduire N₂, NO₂, NH₃, C₂H₂, HCN, CH₃, CN, H₂O (FUCHSMAN et HARDY, 1972). C'est l'étude de la fixation compétitive d'azote par l'acétylène qui a conduit KOCH et EVANS (1966) à proposer l'utilisation de la mesure de la réduction de l'acétylène en éthylène comme moyen de mesure de l'activité nitrogénasique.

La réduction du l'acétylène se fait suivant la réaction :



la réduction de l'azote moléculaire s'écrit :



Dans la pratique on prélève le système racinaire de la plante choisie puis on la place aussitôt dans un flacon de 500 ml; on injecte 50 ml d'acétylène, une concentration de 10% d'acétylène étant suffisante pour éliminer la compétition de l'azote moléculaire au niveau de la nitrogénase; on y ajoute également 0,5 ml de propane pur qui sert de gaz traceur. Après 30 minutes d'incubation, un échantillon de 5 ml de gaz est prélevé dans un tube "vacutainer" préalablement mis sous vide. Le mélange gazeux est ensuite analysé en chromatographie en phase gazeuse.

23- Résultats - Discussion

237. Etude de l'évolution de la nodulation et de la fixation

Les courbes théoriques de nodulation, et de fixation sont des courbes en cloche avec un maximum situé vers le 60^e jour pour la fixation et un maximum situé vers le 75^e jour pour la nodulation, au-delà de ces stades ces deux paramètres décroissent très rapidement pour devenir nuls vers le 90^e jour du cycle de la plante (cf graphe n°4, GANRY and 31, 1374).

MESURE

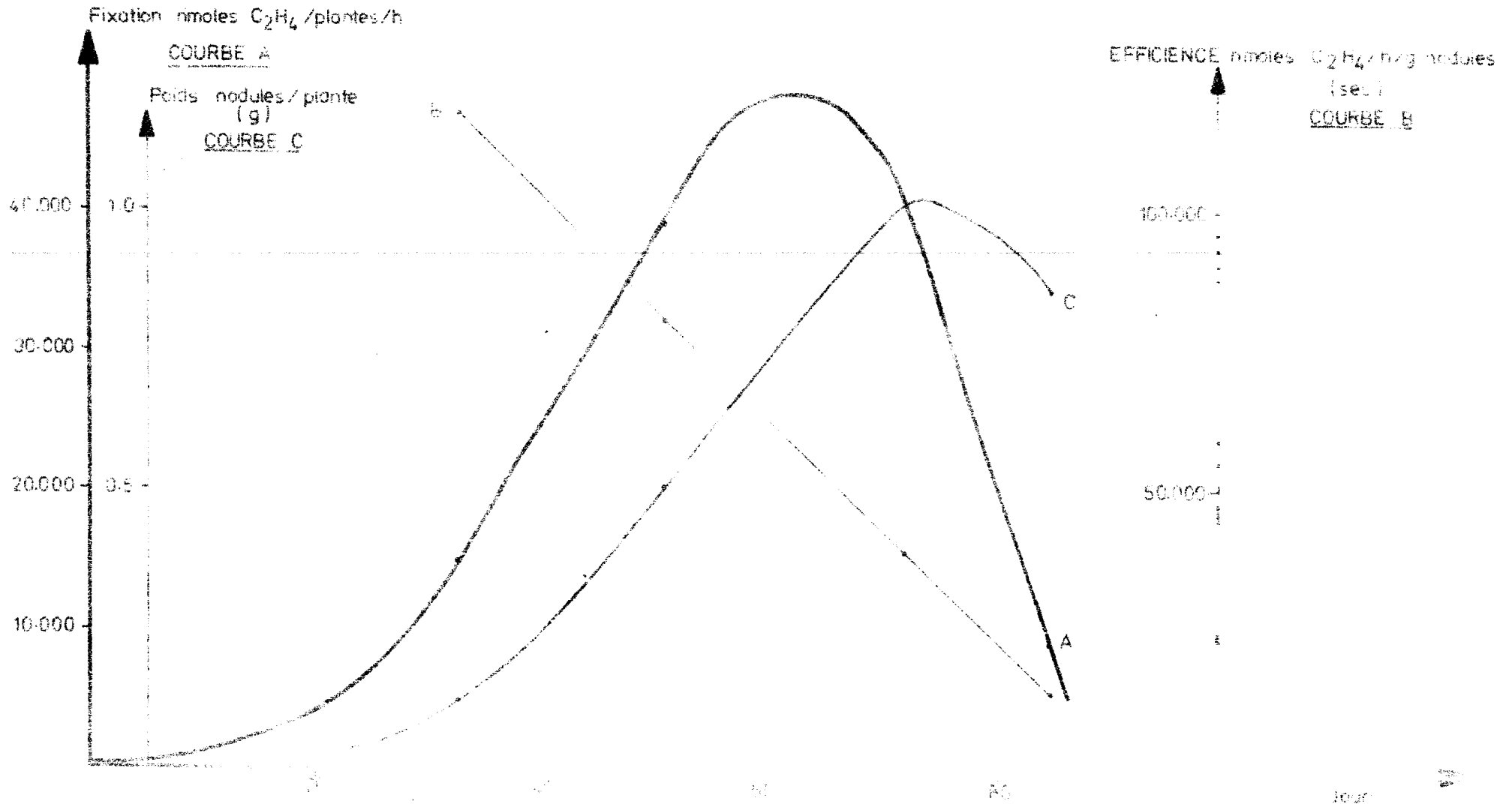
NITROGEN

17 1973

8 32 30

Graph n° 4

SEFA 25.6.73 - 2.10.73



Le graphe n° 5 donne les courbes d'évolution du poids frais des nodosités et de la fixation de l'azote du soja pour la campagne 1970. On note que vers le 50^e jour du cycle de la plante la nodulation marque un palier qui se poursuit jusqu'au 70^e jour environ avant de reprendre sa croissance jusqu'au 80^e jour. Au-delà de ce stade la nodulation décroît rapidement ce qui correspond à la dégénérescence normale des nodosités en fin de cycle.

La fixation augmente très rapidement entre le 20^e et le 50^e jour du cycle (0 à 70 000 nmoles/plante) mais elle décroît très nettement au-delà du 50^e jour jusqu'au 65^e jour environ avant de reprendre un peu d'activité pour finalement décroître normalement jusqu'à la fin de cycle.

Ces perturbations de la nodulation et de la fixation sont liées à l'évolution de l'humidité du sol. En effet nous constatons que les variations de la nodulation et la fixation suivent les variations de l'humidité du sol avec un retard d'une dizaine de jours, ce qui confirme les résultats déjà obtenus par DUCERF sur arachide (DUCERF, 1978). Le seuil critique d'humidité semble être de 12%.

Effectivement le ralentissement de la nodulation intervient 10 jours après le commencement d'une baisse importante d'humidité (de 14% à 11%) et la reprise de la nodulation s'effectue 10 jours après une réhumidification du sol.

De même la baisse de fixation intervient 10 jours après la première baisse d'humidité et reprend 10 jours après la réhumidification du sol.

La deuxième baisse d'humidité du sol a pour effet d'accélérer la chute de la fixation en fin de cycle.

Nous constatons ici que malgré une répartition apparemment régulière de la pluviométrie, il est apparu deux périodes de déficit hydrique qui ont perturbé l'activité symbiotique du soja.

Il est fort probable que ces perturbations se soient répercutées sur les rendements et en particulier sur les parcelles sans fumier sans que l'on puisse pour autant en évaluer l'ampleur.

232. Effet de la dose d'inoculum sur la nodulation et le rendement

Cette étude sans répétition statistique a été effectuée qu'à titre indicatif en vue d'évaluer l'impact de la dose d'inoculum sur les rendements.

En nous reportant au graphe n° 6, nous constatons qu'il existe un effet net de la dose d'inoculum sur le poids frais des nodosités par plante. En dehors du témoin on peut mentionner trois groupes distincts :

- 10 l et 30 l/ha pour lesquels le poids frais de nodosités atteint un maximum de 1000-1200 mg par plante
- 50 et 70 l/ha dont le maximum de poids frais de nodosités est de 2100 mg/plante
- 200 l/ha qui se détache assez nettement du reste surtout en début de cycle pour atteindre un maximum de 3000 mg/plante.

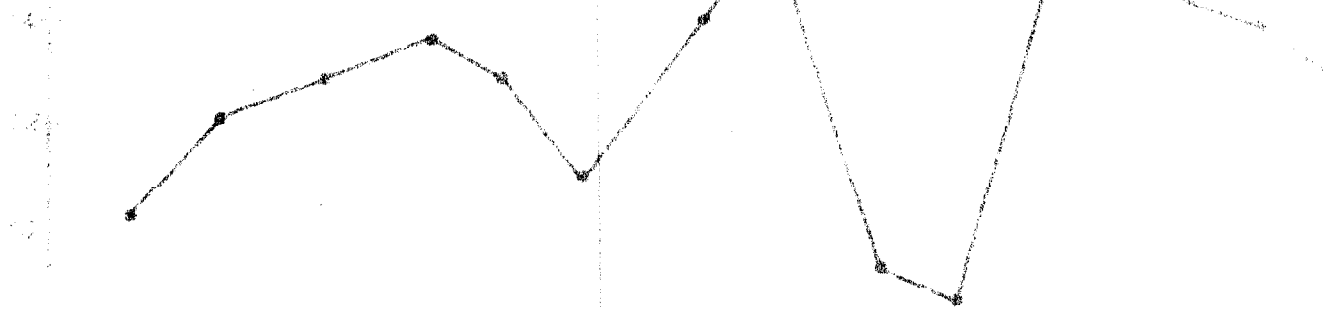
EVOLUTION COMPARATIVE DE L'HUMIDITE DU SOL AVEC LA NODULARITE

ET LA FIXATION DE N₂ DU SOJA (Sefa 1978)

Graphes no 5

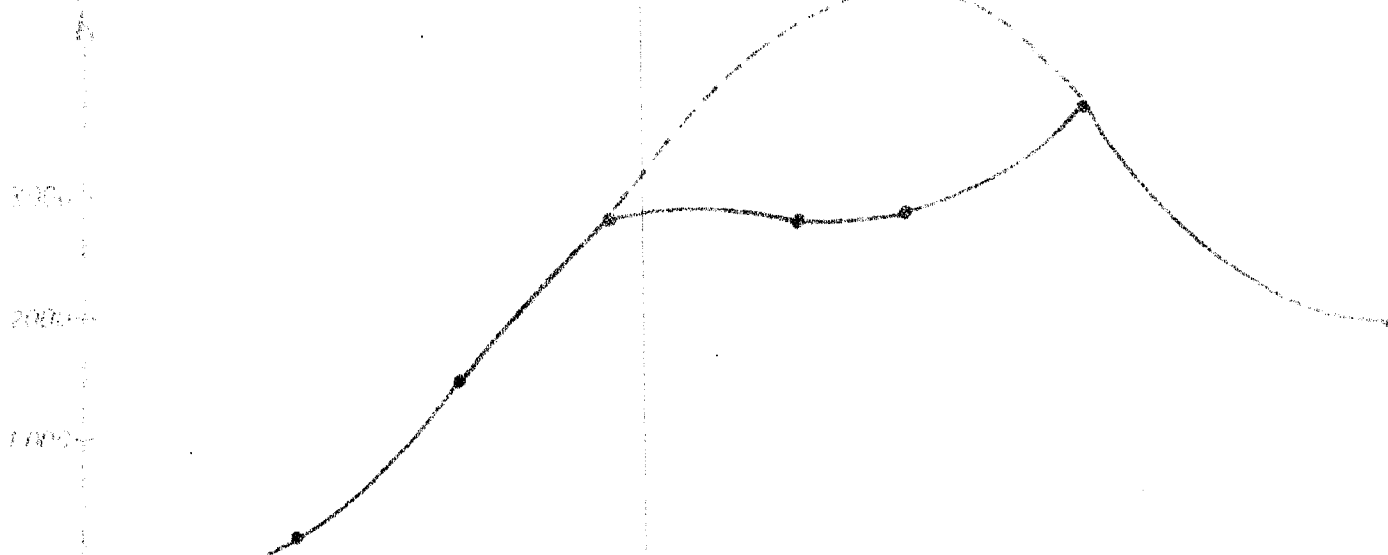
g % du poids sec

HUMIDITE DU SOL
(horizon 0-30)



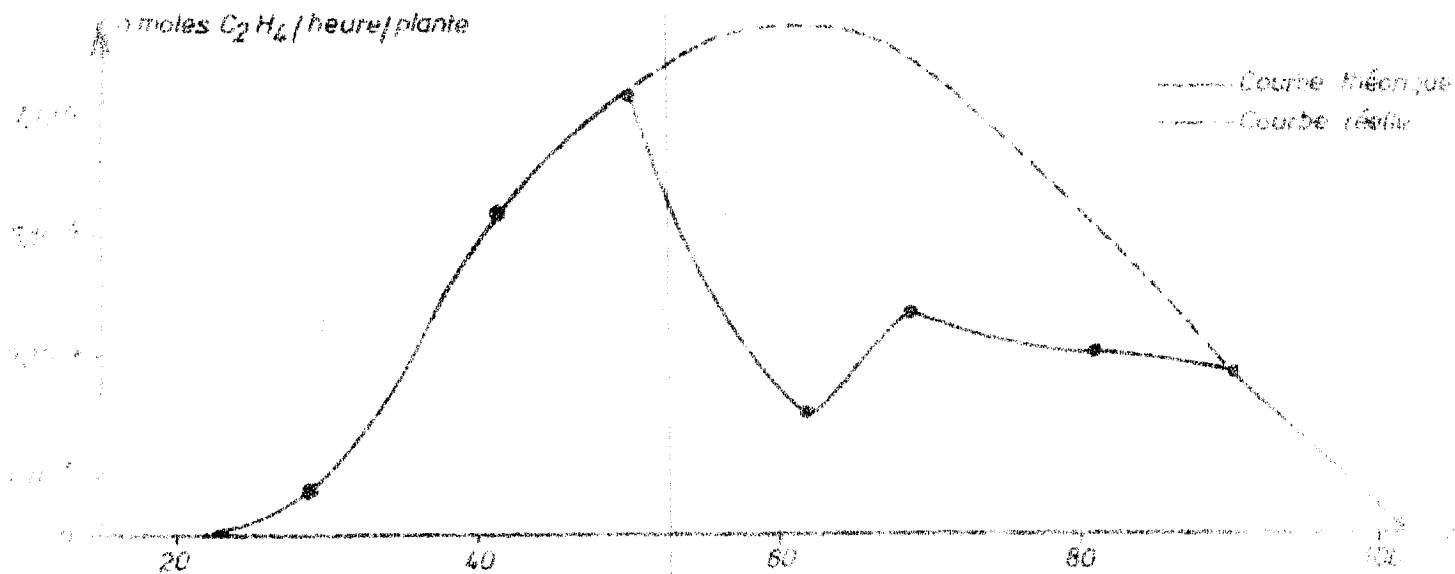
mg/plante

POIDS FRAIS NODOSITES



FIXATION N₂

μ moles C₂H₄/heure/plante

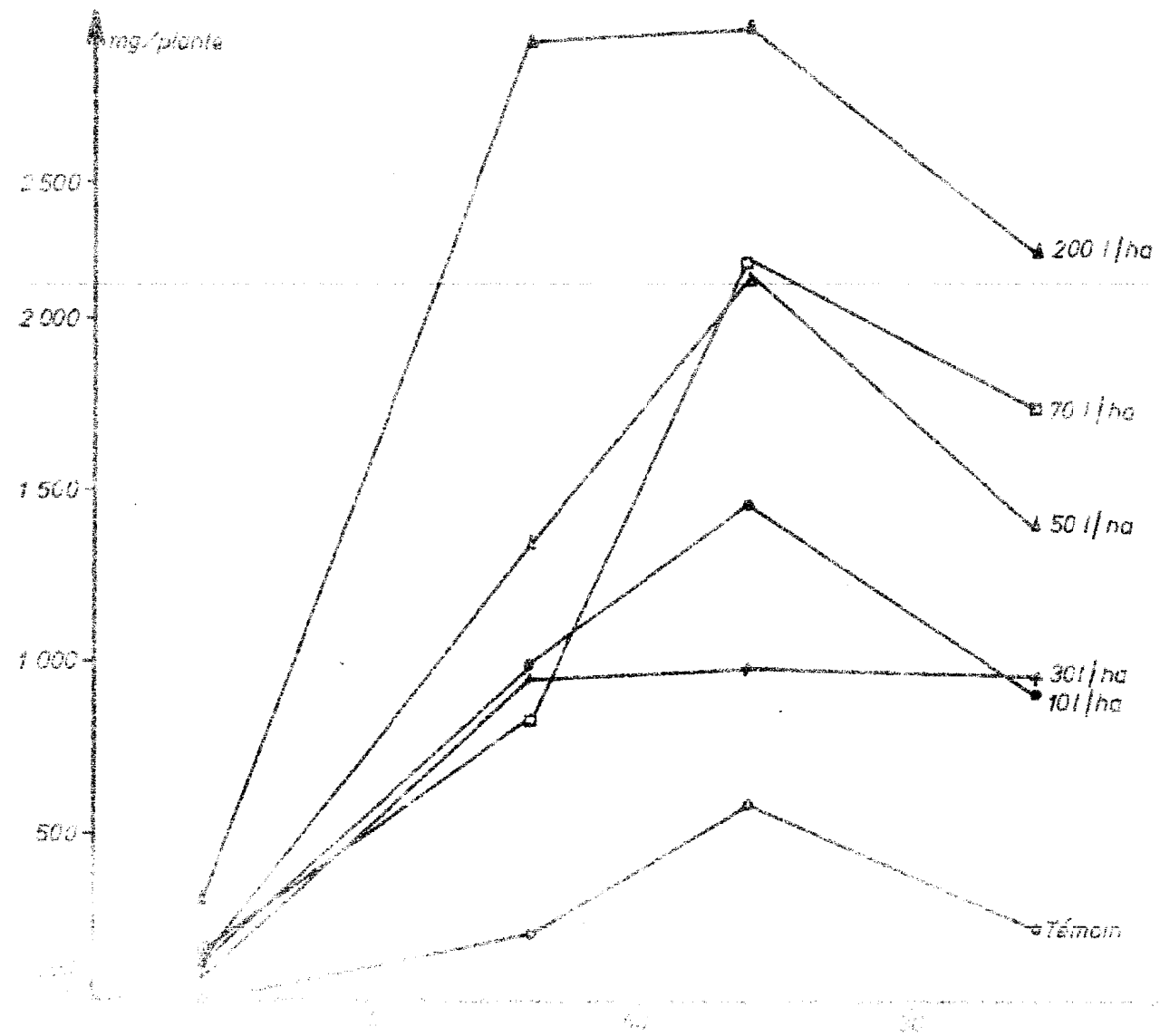


— Courbe théorique
— Courbe réelle

QUANTITÉ DE NITRÈNE PAR PLANTE

LA DOSE D'INOCULUM LIQUIDE

Graphique n° 6



Le graphe n° 7 nous permet d'évaluer l'effet de la dose d'inoculum sur le rendement en grains/ha. Pour les doses situées entre 0 et 73 litres il semble s'établir une relation linéaire entre l'augmentation de la dose et l'augmentation du rendement. par contre pour la dose de 200 l/ha le rendement est de 1900 kg/ha soit l'équivalent du rendement obtenu avec la dose de 70 l/ha. En définitive, la nodulation tend à augmenter avec la dose d'inoculum; par contre cette augmentation n'aurait pas tendance à se répercuter sur le rendement au-delà d'un seuil de 50 à 70 l/ha. Cette dose semblerait constituer la dose optimum dans ces conditions de culture (sans chaulage, sans fumier). Des facteurs limitants interviennent probablement pour diminuer l'impact de la nodulation sur le rendement. Ces résultats seront à confirmer par des essais statistiques afin de déterminer avec plus d'exactitude la dose optimale d'inoculum.

233. Comparaison de l'effet des différents inoculum sur la nodulation

Le graphe n°9 nous montre l'évolution du nombre de nodosités par plante selon 10 type d'inoculum.

On constate trois groupes de courbes :

- Témoin: celui-ci a un nombre de nodosités plus élevé que dans le cas des résultats des années précédentes (cf tableaux n° 11 et 12). Ce phénomène pourrait s'expliquer par une moindre spécificité de la variété utilisée (44/A/73) vis-à-vis du Rhizobium, relativement aux variétés employées précédemment (Jupiter, Geduld). De plus on a pu observer que parmi ces nodosités un certain nombre étaient inefficaces (coupe transversale blanchâtre du nodule).

- Gel enfoui et non enfoui donnent des résultats assez médiocres avec une plus-value de 15 nodosités environ par plante au maximum de la courbe.

- Inoculum granulé, nitragin et liquide donnent de bons résultats avec une plus-value de 25 à 35 nodosités par plante par rapport au témoin. Il est à remarquer que l'inoculum liquide est supérieur significativement aux deux autres traitements en début du cycle et qu'il a tendance par la suite à donner le meilleur résultat. Mais cette différence reste à la limite de la significativité.

Le graphe n° 10 qui représente l'évolution du poids frais de nodosités par plante selon 10 type d'inoculum donne des résultats qui évoluent dans le même sens.

234. Effet des différents inoculum et de la fumure organique sur le rendement en grains du soja

• Résultats des rendements moyens

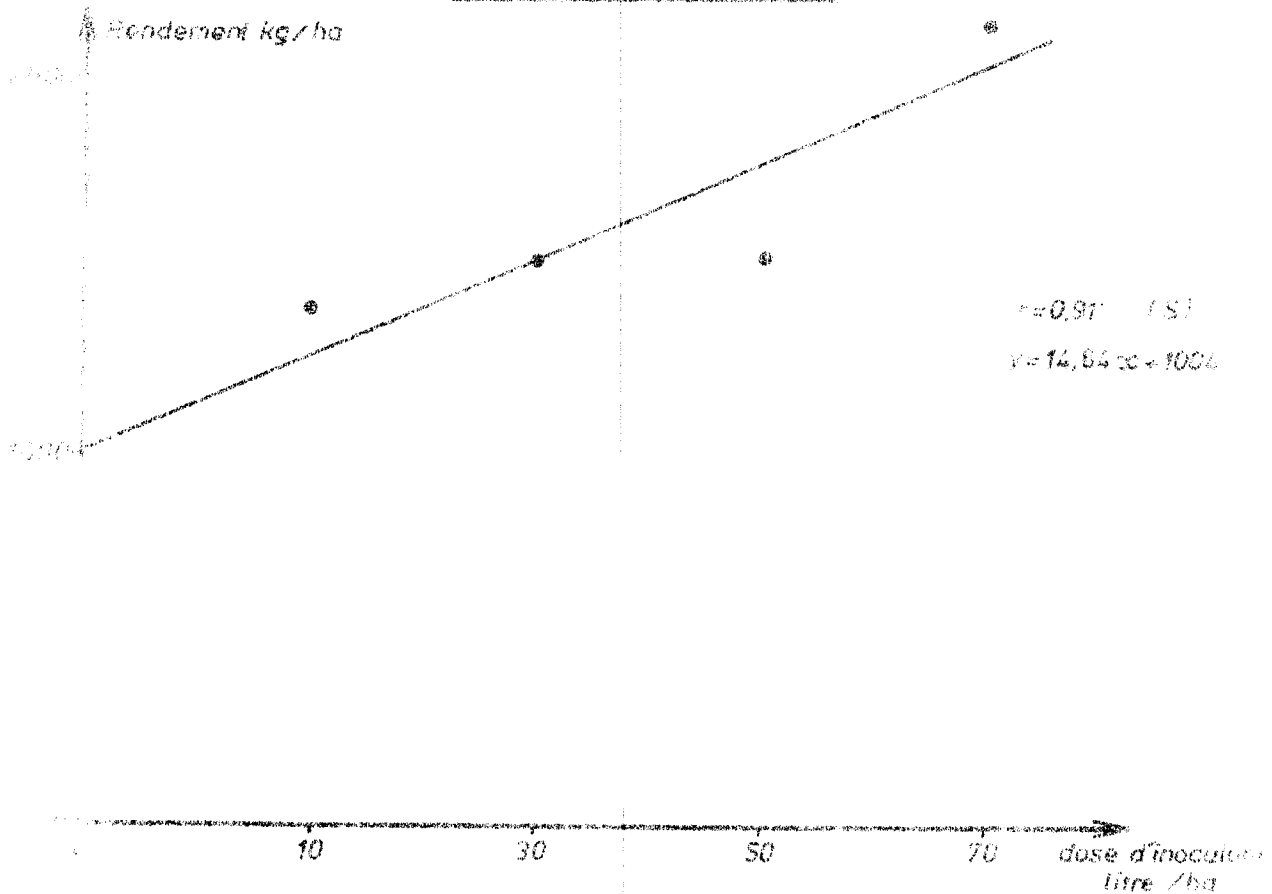
- Les traitements gels ne sont pas significativement différents du témoin.

Les traitements inoculation liquide, nitragin et granulé sont significativement différents du témoin avec des plus-values qui sont respectivement de 39%, 41%, 59%, mais ils ne sont pas significativement différents entre eux.

EFFET DE LA DOSE D'INOCULUM SUR LE RENDEMENT

Graphie n° 7

(Séta 1978)

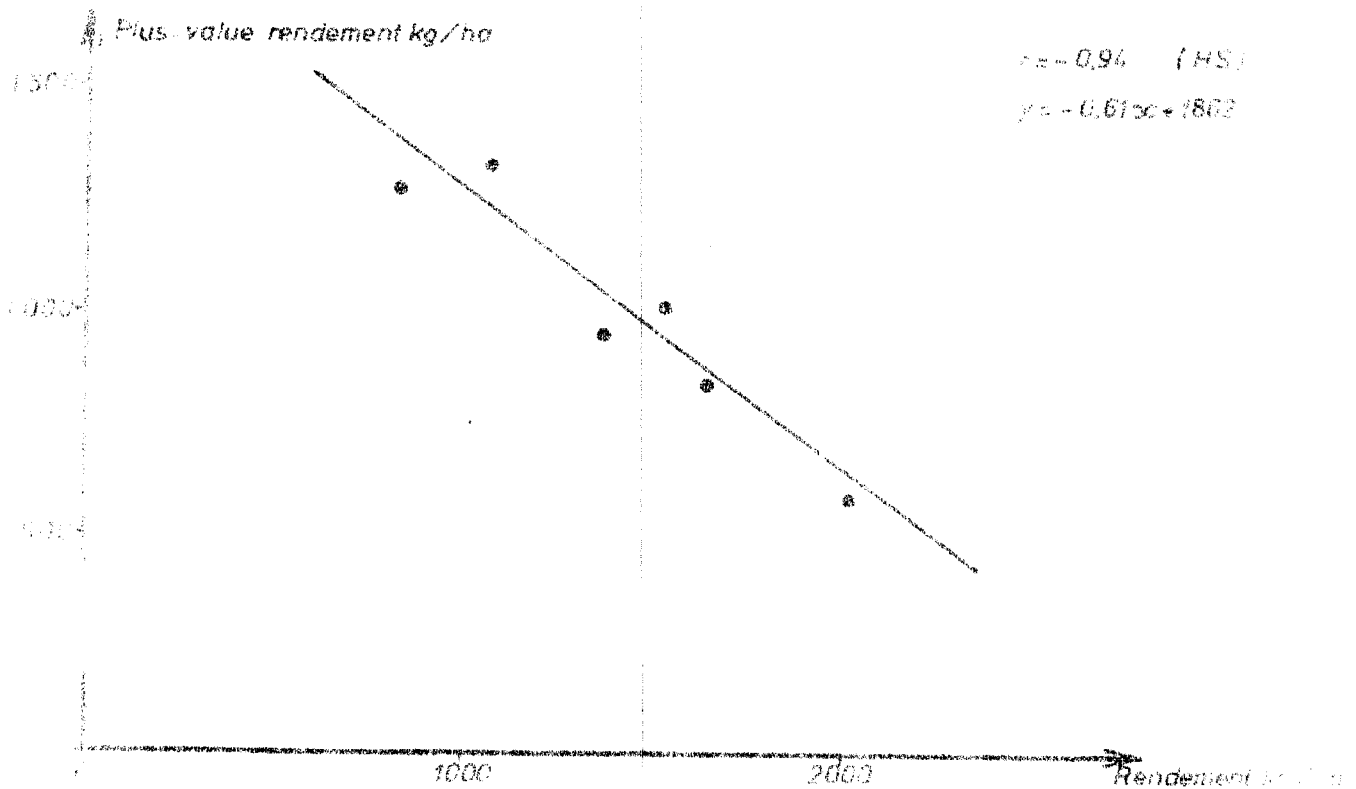


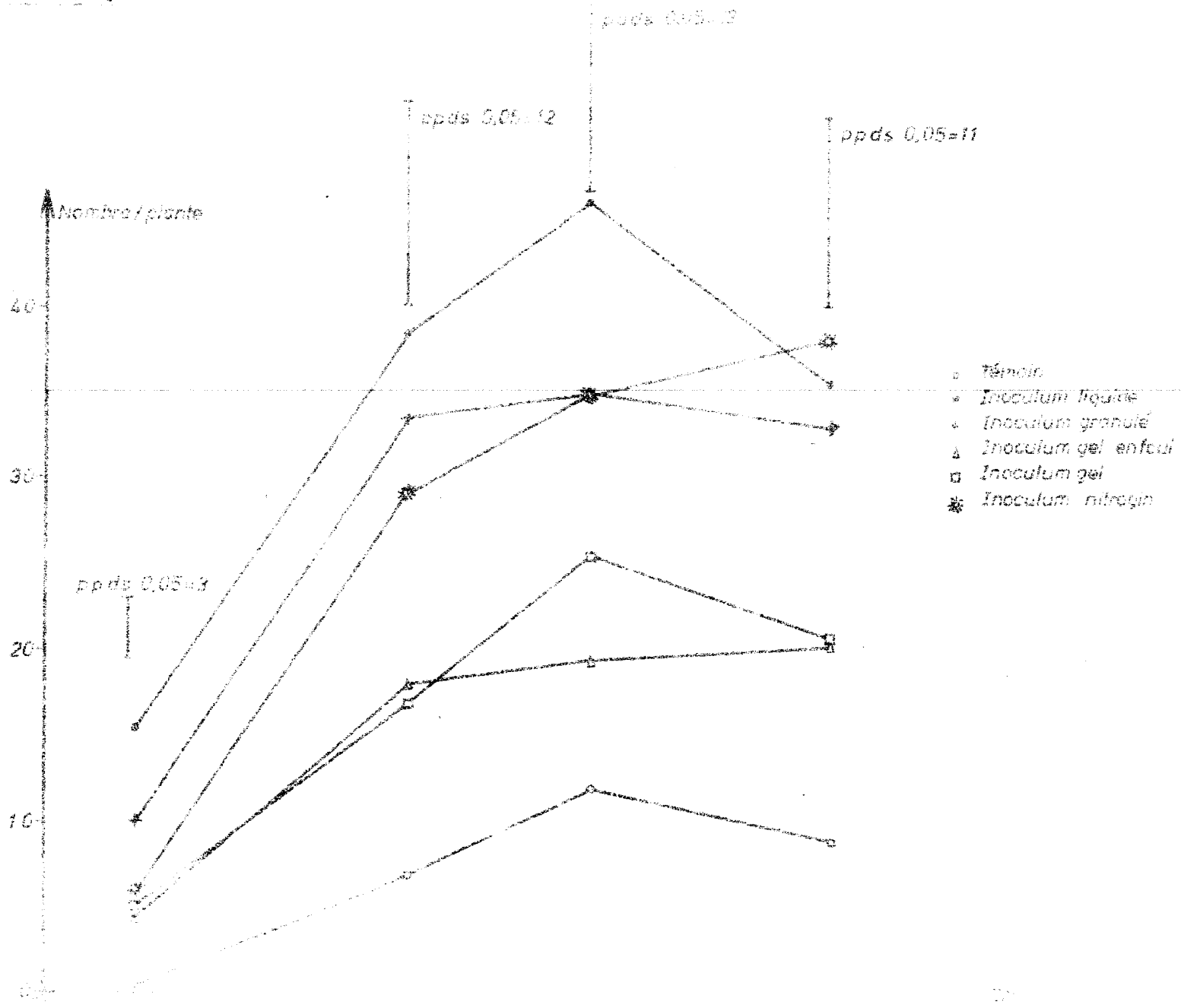
PLUS VALUE DE RENDEMENT DUC AU FUMIER PAR RAPPORT

Graphie n° 8

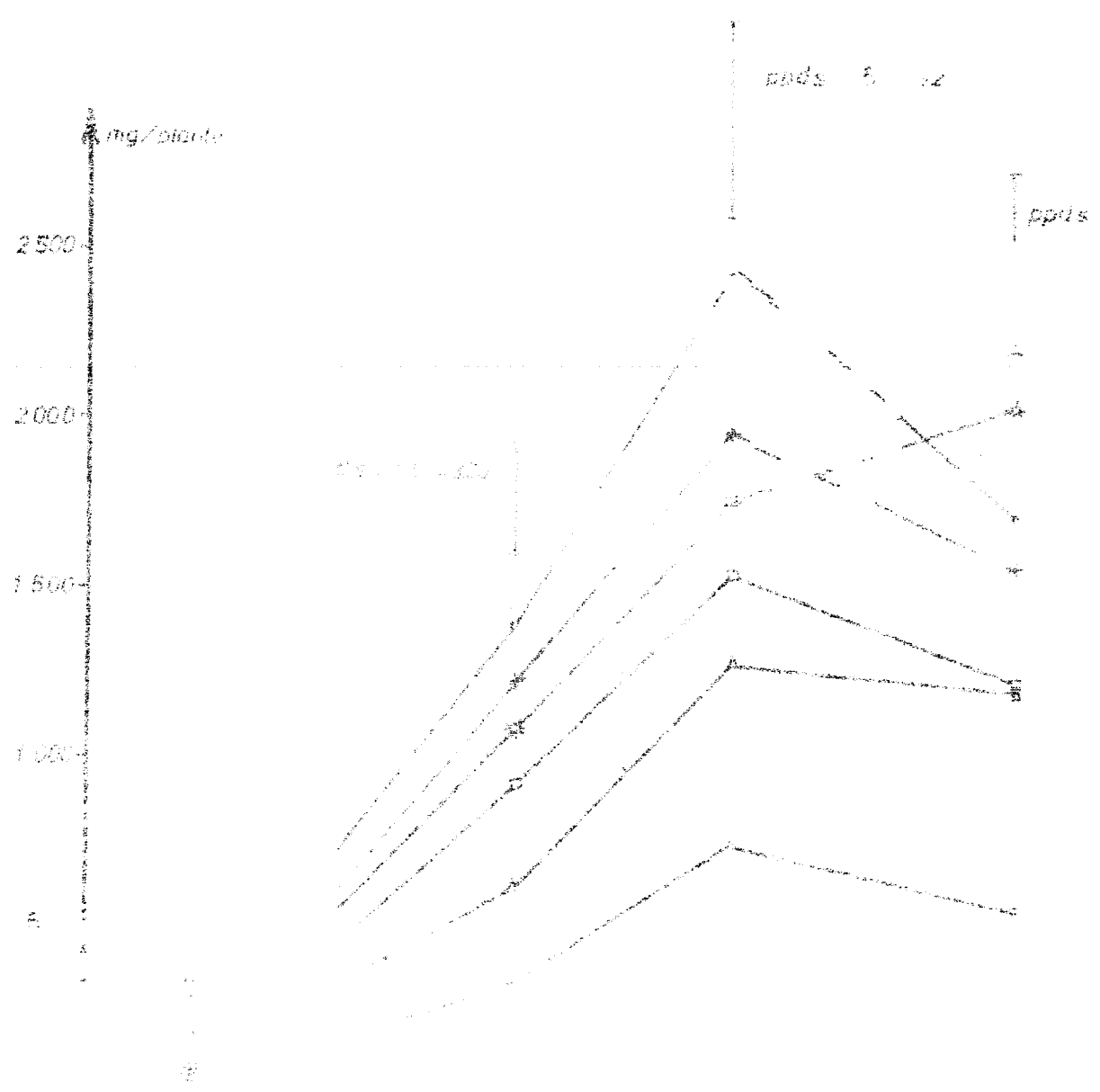
AUX TRAITEMENTS SANS FUMIER

(Séta 1978)





AD



- *Trichia*
- *Trichia hirsuta*
- △ *Trichia granulata*
- ▲ *Trichia sp. (unlabeled)*
- *Trichia sp. (unlabeled)*
- ⊛ *Trichia sp. (unlabeled)*

Tableau n° 23 Résultats de rendements en grains (kg/ha) - Sâfa 1970

Rendement en grains kg/ha	Inoculum liquide	Inoculum granulé	Inoculum gel enfoui	Inoculum gel non enfoui	Inoculum nitragin	Coefficient de variation %
Résultat moyen	1454 a	2031 bc	2010 c	1842 ab	1735 ab	25,9
Résultat sans fumier	1226 a	1526bcd	2022 d	1352 a	1072 ab	25,9
Résultat avec fumier	2082 a	2536 ab	2553 b	2318 ab	2399 ab	25,9

Los chiffres affectés de même lettre ne sont pas significativement différents au seuil $P = 0,05$ (D. S.).

- Le traitement granulé qui donne le meilleur résultat est également significativement différent des traitements gels.

Ces résultats concernant le rendement concordent bien avec les résultats de la nodulation.

- Résultats de rendement des parcelles sans fumier

Dans les conditions difficiles de croissance de la plante (sans fumier et sans azote starter) l'inoculation marque très fortement les rendements. Le témoin a un rendement de 826 kg/ha (non significativement différent du traitement gel non enfoui) alors que la plus-value apportée par l'inoculation varie de 66% à 145% selon les traitements (significativement différents du témoin).

- Résultats de rendement des parcelles avec fumier

Le niveau moyen de rendement des traitements avec fumier est nettement supérieur aux traitements sans fumier. Le rendement du témoin est de 2100 kg/ha environ. L'inoculation marque de façon beaucoup moins importante le rendement. En effet seul le traitement granulé est significativement différent du témoin. La quantité de matière organique apportée (10 tonnes de matière sèche/ha) correspondant à une dose de 150 kg d'azote environ, amoindrit l'effet de l'inoculation. On constate effectivement (cf. graphe n° 1) qu'il existe une corrélation négative hautement significative entre le rendement des parcelles sans fumier et la plus-value correspondante, apportée par le fumier. Cela signifie, entre autres, que l'effet matière organique est d'autant plus important que l'effet inoculation sur les traitements sans fumier est plus faible.

En conclusion nous pouvons dire :

- l'inoculation du sol a marqué favorablement les rendements
- les traitements gels ne sont montrés médiocres
- les traitements inoculés liquide, nitragin et granulé sont les meilleurs traitements et sont significativement différents du témoin sauf dans le cas d'un apport important de matière organique.
- le traitement granulé, toujours significativement différent du témoin, donne les meilleurs résultats; il pourra donc à l'avenir se substituer à l'inoculum liquide, technique difficilement vulgarisable.
- l'effet de la matière organique est très important sur le rendement du soja, mais la plus-value apportée par le fumier semble moins importante dans le cas d'une bonne nodulation.

C O N C L U S I O N

L'essai de techniques culturales montre que le labour permet l'enracinement en profondeur du soja qui conditionne fortement le développement de la plante. Le travail du sol semble donc indispensable pour l'obtention de rendements élevés.

L'essai d'inoculation du sol confirme l'intérêt de cette technique pour induire la nodulation et la symbiose fixatrice d'azote sur le soja. Il ressort des essais 1978 que l'inoculum granulé de fabrication locale donne des résultats équivalents à ceux de l'inoculum liquide (technique de référence) et à l'inoculum nitragin (d'importation américaine).

De même, la matière organique a un effet très positif sur le rendement et cet effet est d'autant plus important que la nodulation est faible.

Compte tenu des résultats obtenus les années précédentes et ceux de la campagne 1978 on pourrait actuellement préconiser pour la culture du soja au Sénégal les techniques suivantes :

- Préparation du sol: labour avec enfouissement de matière organique (quantité optimale encore à déterminer) et apport d'une fumure phospho-potassique du type 100-120
- Semis: la variété 44/A/75 semble convenir en attendant le relais de cultivars à potentialités supérieures. Le semis peut s'effectuer mécaniquement en utilisant un semoir arachide du type "Super Eco".
- Inoculation du sol: dans le sillon de semis avec l'inoculum nitragin à la dose de 14 kg/ha en primo-inoculation en attendant la mise au point effective du granulé de fabrication locale.
- Entretien : deux sarco-binages à effectuer en début de cycle (1er mois) ou utilisation des herbicides suivants en post semis-prélevée: butralino 2000 g/ha de matière active; limuron 1250 g/ha; alachlore 2500 g/ha.
- Récolte: manuelle et battage manuel ou mécanique (batteuse à riz).

Le Sénégal possède donc actuellement le matériel végétal et les techniques permettant de garantir sauf climatologie catastrophique des rendements supérieurs à 20 quintaux de graines par hectare. Mais avant d'organiser la production sur une grande échelle il est nécessaire de tester et d'adapter ces techniques aux différents systèmes de production paysans. Il convient également d'étudier les différents circuits de commercialisation et de transformation possibles.

En ce qui concerne l'utilisation du soja au Sénégal deux possibilités se présentent :

D'une part on peut envisager une consommation du soja dans l'alimentation humaine. Cela permettrait de réduire la malnutrition protéino-calorique de la population rurale. Les modes d'utilisation de la graine pourraient s'inspirer d'exemples pris dans d'autres pays africains tels le Nigeria et le Zaïre où le broyage artisanal de la graine se pratique couramment dans certaines régions et où la population incorpore cette farine entière dans les plats locaux. De plus le Sénégal qui possède une industrie arachidière facilement adaptable à la trituration du soja, pourrait envisager aisément la fabrication industrielle de farines et semoules déshuilées incorporables dans le pain, biscuit et plats locaux. La fabrication de tourteaux pourrait être également une voie d'utilisation pour l'alimentation animal

D'autre part l'excédent de la production peut être exporté vers les pays européens qui cherchent à diversifier leurs sources d'approvisionnement de protéines. En effet, l'Europe très dépendante des USA pour ses importations de tourteaux de soja cherche à encourager le développement de la culture du soja en Afrique. De plus l'introduction de cette légumineuse dans les rotations culturales serait bienvenue pour rompre la monoculture d'arachide qui d'autre part rencontre des difficultés d'exportation vers les pays européens en raison de la présence d'aflatoxine dans les tourteaux.

Il revient finalement au Gouvernement sénégalais de définir, compte tenu de ces différents critères, sa politique de développement du soja.

ANNEXE N° 1

STADE DE DEVELOPPEMENT DU SOJA

(W.R. FEHR, Crop Science, 1971 p. 929)

1 - STADES VEGETATIFS

Les stades végétatifs sont déterminés par comptage du nombre de noeuds de la tige principale en commençant par le noeud des deux feuilles simples qui ont/ou ont eu une feuille complètement déroulée.

Une feuille est considérée comme complètement déroulée, quand la feuille du noeud situé immédiatement au-dessus est suffisamment déroulée de telle façon que les deux bords de chaque foliole ne se touchent pas.

Pour le dernier noeud de la tige principale, la feuille est considérée comme complètement déroulée quand les folioles sont plates et semblables apparemment aux plus vieilles feuilles de la plante.

V1 : 1er noeud - feuilles simples complètement déroulées

V2 : 2ème noeud - feuille composée complètement déroulée

V3 : 3ème noeud - feuille composée complètement déroulée

Vn : nème noeud - feuille composée complètement déroulée

2 - STADES REPRODUCTIFS :

R1 : une fleur à quelques noeuds

R2 : fleur au noeud situé immédiatement au-dessous du noeud le plus haut ayant une feuille complètement déroulée

R3 : Gousse longue de 0,5 cm sur un des quatre noeuds les plus hauts ayant une feuille complètement déroulée

R4 : Gousse longue de 2 cm sur un des quatre noeuds les plus hauts ayant une feuille complètement déroulée

R5 : Gousses contenant des graines entières ont développées sur un des quatre noeuds les plus hauts ayant une feuille entièrement développée

R6 : Gousses jaunissantes - 50% des feuilles sont jaunes,
maturité physiologique

R7 : 95 % des gousses sont brunes ou grises - maturité de récolte.

ANNEXE 2

Densités racinaires du soja selon trois thèmes culturaux
Stade début floraison

Poids sec de racines en g/dm³/répétition
1 répétition = 10 cylindre de 150 cc soit 1,5 dm³

Thème léger			Thème lourd			Motorisation		
0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
0,094	0,073	0,057	0,241	0,221	0,096	0,269	0,201	0,065
0,034	0,020	0,012	0,171	0,020	0,008	0,292	0,205	0,036
0,073	0,053	0,006	0,060	0,014	0,006	0,335	0,194	0,032
0,137	0,069	0,060	0,097	0,026	0,008	0,537	0,184	0,157
0,236	0,160	0,011	0,107	0,03	0,022	0,459	0,279	0,126
0,168	0,044	0,016	0,056	0,034	0,027	0,291	0,109	0,093
0,070	0,026	0,012	0,107	0,053	0,024	0,348	0,202	0,053
0,095	0,023	0,040	0,328	0,094	0,073	0,375	0,215	0,015
0,097	0,032	0,015	0,102	0,083	0,062	0,357	0,207	0,062
0,039	0,069	0,010	0,067	0,052	0,032	0,206	0,199	0,066
0,063	0,040	0,038	0,093	0,056	0,014	0,165	0,247	0,081
0,314	0,208	0,137	0,154	0,079	0,046	0,288	0,198	0,159

(Séfa 1978)

Traitements phytosanitaires sur le soja (Séfa 1978)

.. Essai rhizobium et techniques culturales

Nous avons observé les parasites suivants :

A la levée

- . Amsacta molneryi: chenille qui apparaît habituellement sur le niébé et l'arachide. Elle attaque le bourgeon apical du soja.
- . Iules (ordre des Diplopodes, espèce non identifiée). Elles attaquent le bourgeon apical du soja.

En cours de cycle

- . Zonocerus variegatus: criquet s'attaquant aux feuilles de soja.
- . Spodoptera littoralis: chenille s'attaquant aux feuilles
- . Aconthemia s.p.: punaise qui s'attaque habituellement aux légumineuses et aux céréales. Sur le soja elle pique les gousses entraînant leur légénérescence.

Ces différents parasites ont été traités efficacement à l'aide des produits suivants :

- Péprothion 3 l/ha (300 g DDT; 216g endosulfan; 108g de méthylparathion) contre chenilles, iules et punaises.
- HCH contre les criquets.

Par ailleurs Mr. GERMAIN (ORSTOM, Dakar) a effectué un dénombrement de la population de nématodes sur l'essai rhizobium.

Résultats : 1100 Pratylenchus par litre de sol

11205 Pratylenchus pour 100g de racines

- Essai herbicide: Réalisé par M. HERNANDEZ (ISRA)

Trois matières actives sont efficaces sur la plupart des adventices (exception faite du piperus) aux doses non phytotoxiques suivantes:

- . Butraline : 2000 g/ha
- . Linuron : 1250 g/ha
- . Alachlore : 2500 g/ha

L'application a lieu en post-sonic - prélevée.

B I B L I O G R A P H I E

- ALDRICH (R.), SCOTT (W.), 1970.
Modern soybean production
The farm quarterly -- Cincinnati Ohio.
- BLEYER (R.E.), DEBRY (C.), POULAIN (B.), 1975.
Valeur nutritionnelle et acceptabilité de la protéine de soja pour l'homme.
Ann. de la nutrition et de l'alimentation CNRS, 1975
- BLUE BOOK, Juin 1978.
Soybean Digest American soybean Association.
- CHARREAU (C.), FAUCK (R.), 1970.
Mise au point sur l'utilisation agricole des sols de la région de Séfa.
Agron. Trop. XXV n°2.
- CHARREAU (C.), 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.
Bull. Agron. n° 23 - IRAT.
- CHOPART (J.L.), NICOU (R.), 1971.
Influence du "la" sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal - Conséquences sur leur alimentation hydrique.
Agron. Trop. XXX? N° 1.
- DECAN (J.), LENNEROT (P.), PUECH (J.), 1974.
Rôle de quelques facteurs du milieu dans la production quantitative et qualitative du soja.
Ann. Agron., .
- DUCERF (P.), 1971.
Synthèse des travaux effectués sur la modélisation de la fixation d'azote d'une culture d'arachide au Sénégal.
Doc. renéo. CNRA de Bambey, Sénégal.
- DUROVRAY (J.), 1976.
Bilan de huit années de recherche sur le soja au Sénégal.
Rapport de synthèse.
Doc. renéo. CNRA de Bambey, Sénégal.
- GANRY (F.), NICOU (R.), WEY (J.), 1974.
Programme de recherche coordonné sur l'utilisation des isotopes dans l'étude de l'efficacité des engrais sur les légumineuses.
Rapport provisoire AFEA-CNRA de Bambey, Sénégal.

CANRY (F.), WEY (J.), 1977.

Possibilité d'amélioration de la fixation symbiotique de l'azote des légumineuses dans un objectif d'alimentation protéique et de fertilisation azotée des sols.

Rapport FAO - Doc. ronéo. CNRA de Bambey, Sénégal.

MESSAGER (J.L.), ROY (J.), 1976.

La symbiose fixatrice d'azote et l'inoculation des semences de légumineuses. Synthèse bibliographique.

Doc. ronéo. Bouaké, Centre de recherche technique de Minankro Côte d'Ivoire.

Ministère du Développement rural - Sénégal, 1978.

Note rédigée à l'instigation de la 2^e session du comité interministériel africain de l'alimentation et concernant la politique alimentaire et nutritionnelle au Sénégal.

MONNIER (J.), TALIBART (P.), déc. 1972.

Contribution à la définition de l'exploitation agricole au Sénégal exploitation et intensification.

Actes des Journées d'étude sur la recherche et la vulgarisation
Doc. ronéo. Ministère du Développement rural.

NICOU (R.), 1976.

Bilan de huit années d'étude de précédents culturaux au Sénégal (p. 24).

Doc. ronéo. CNRA de Bambey, Sénégal.

OBATON (M.), 1976.

La symbiose fixatrice d'azote entre légumineuses et Rhizobium
Livret explicatif + dispositifs.

Centre régional de recherche et de documentation pédagogique de Dijon.

PELISSIER (P.), 1966.

Les paysans du Sénégal.

Imprimerie - Fabrique Saint-Yeux (Hte Vienne)

PROCEEDINGS ou G.L.I. - p. 9, 13/6/75.

Rapport CANAS (Cellule d'Analyse nutritionnelle et alimentaire du Sénégal, 1975)

Travaux du groupe mixte Sénégal-FAO.

FAO, Rome, Italie.

Rapport E.M.C., 1977.

Possibilité de production de soja au Sénégal. (22 p.)

VANNESTE (G.), 1973.

La campagne de soja. Communication dans Plantes Vivrières.

p. 171-179.

WEY (J.), 1974.

Inoculation bactérienne des légumineuses au Sénégal.

Doc. ronéo. CNRA de Bambey, Sénégal.

WEY (J.), 1978.

Premiers résultats concernant l'inoculation du soja au Sénégal.

Doc. ronéo. CNRA de Bambey, Sénégal.

WOLF (J.W.J.), 1972.

Wat is soy proteins;

Food technology.