

Institut Sénégalais de Recherche Agricole

ISRA

CNRA BAMBEY

Institut des Recherches Agronomiques  
Tropicale et des Cultures Vivrières  
1 RAT

Division d'Agronomie Montpellier

CN0101504  
P342  
DRE

ETUDE D'UNE DEFICIENCE DE FIXATION

SYMBIOTIQUE DE L'AZOTE EN AFRIQUE DE L'OUEST.

LES "TACHES JAUNES" DE L'ARACHIDE A THILMAKHA (SENEGAL)

(Eléments pour l'étude de la fertilité des sols et

de leur évolution sous culture en zone Sah&lo-Soudanienne d'Afrique de l'Ouest).

Montpellier 1980

J.J. DREVON  
Assistant de Recherche INRA

A. DIABAYE  
Technicien CNRA/Bambey

- TABLE DES MATIERES -

-----

INTRODUCTION

CHAPITRE 1 - OBSERVATION comparative au champ des plantes sur "tache jaune" et de plantes témoins au cours de l'hivernage 1978.

RELATION avec une déficience de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique

Introduction : Objectif de l'observation des plantes au champ au cours d'un cycle végétatif de l'arachide. ----- 2

I. - Croissance et développement des plantes sur "tache jaune" et "hors tache jaune". ----- 10

II. - Développement et activité du système fixateur symbiotique de l'azote atmosphérique sur "tache jaune" et "hors tache jaune".---- 28

III. - Observation des systèmes racinaires sur "tache jaune" et "hors tache jaune". ----- 44

Synthèse des observations comparées au champ (pages vertes).----- 49

CHAPITRE II - OBSERVATIONS au champ de différents facteurs édaphiques sur "taches jaunes" et "hors taches jaunes" pendant l'hivernage 1978- Approche du milieu. ----- 52

Introduction : Objectifs et principes des observations et mesures au champ sur les facteurs édaphiques. ----- 53

I. - Analyse minérale des plantes "taches jaunes" et "hors taches jaunes". ---- ----- 57

1. Teneur en azote. ----- 59

2. Teneur en macroéléments. -----	69
a - nutrition phospho potassique. -----	69
b - nutrition calcique et magnésique. -----	76
3. Teneur en microéléments.-----	83
II. -- Etude des facteurs biotiques.-----	88
1. Evolution au cours de l'hivernage de la population de rhizobium sur "tache jaune" et "hors tache jaune" à Thilmakha en 1978. -----	88
2. Observation de l'influence des nématodes sur la croissance de l'arachide et la fixation symbiotique de l'azote sur "tache jaune". -----	102
III. - Etude des facteurs physico-chimiques du sol. -----	117
Synthèse de l'observation au champ de facteurs édaphiques (pages vertes). -----	125
CHAPITRE III. EXPERIMENTATIONS on milieu contrôlé sur sols prélevés sur "tache jaune" et "hors tache jaune" à Thilmakha. -----	135
Introduction : Objectifs et principes des expérimentations en milieu contrôlé. -----	136
1. - Essais avec et sans azote minéral. -----	140
II. - Essais d'analyse expérimentale avec extraits de sol. --	145
A. Essais de culture hydroponique de l'arachide sur extraits de sols "tache jaune" et "hors tache jaune". -----	148
B. Essais de recombinaisons sol-extrait de sol. -----	163
III. - Essais d' inoculation en milieu contrôlé. -----	170
IV. - Essai d'observation de la nodulation de légumineuses ou autres que l'arachide sur "tache jaune" et "hors tache jaune".	172

---

Synthèse des expérimentations de laboratoire. -----	175
CHAPITRE IV - INFLUENCE de l'histoire culturelle des parcelles sur le développement des "taches jaunes" de l'arachide à Thilmakha (1973-1978). -----	178
Introduction : Objectifs et principes d'un suivi des "taches jaunes" de l'arachide dans différentes histoires culturelles des parcelles. -----	179
1. - Evolution de l'extension des "taches jaunes" et de la fertilité des sols dans les parcelles de l'essai de Thilmakha. ---	183
11. - Choix de différentes pratiques culturelles d'intervention sur les déficiences de nodulation de l'arachide dans le centre Nord du Sénégal. -----	199
1. Essai courbe de réponse à des doses croissantes de fumier . -----	202
CONCLUSION et RECOMMANDATIONS. - -----	216
ANNEXE 1. Carte des variations de demande évaporative au SENEGAL	219
<u>ANNEXE 2.</u> Courbe de pluviométrie - Thilmakha 1978 -----	220
ANNEXE 3. A deficiency of the symbiotic nitrogen fixation in a dry tropical agrosystem - the nitrogen chlorosis of groundnut -----	221
REFERENCES -----	232

Cette étude réalisée dans le cadre des programmes ISRA, dans les services de rhizobiologie des sols du CNRA de Bambey dirigés respectivement par MM. WEY et GANRY (agronomes IRAT).

Les mesures au champ et les expérimentations de laboratoire de 1978 ont été réalisées par JJ. DREVON (V.S.N.) et A. DIABAYE.

La collaboration technique qualifiée, pertinente et motivée de ce dernier ainsi que sa connaissance du monde rural et des pratiques agricoles ont très largement contribué à la conduite de cette recherche.

Le traitement des données et la rédaction du texte furent réalisés au cours d'un stage de 4 mois à l'IRAT (Montpellier) en 1979.

Les chercheurs de l'ISRA, outre MM. WEY et GANRY, nous ont fait bénéficier de leurs conseils et leur intérêt pour ce travail, en particulier MM. BEYE, DIATTA, J.P. N'DIAYE et SIBAND au CNRA de Bambey ainsi que MM. PICHOT PIERI et TOURTE du centre de Montpellier de l'IRAT.

Un stage de 2 mois en 1978 sous la direction de M. Y. DOMERGUE dans le laboratoire de microbiologie des sols de l'ORSTOM à Dakar nous a ouvert la possibilité d'une collaboration enrichissante avec les chercheurs de ce laboratoire particulièrement M. BOURREAU, J. MUGNIER, J. J. PANTIER et MM. GERMANI et SPILIOTTOFF du laboratoire de nématologie. Leur accueil, leur avis et leur échange d'information, et de matériel nous aidèrent à plusieurs occasions.

Nous souhaitons qu'ils trouvent ici, ainsi que le personnel des services de rhizobiologie et biochimie des sols de l'ISRA, et que M. FAYE, responsable du PAPEM de Thilmakha, l'expression de nos remerciements.

Nous sommes reconnaissants : à M. OBATON (INRA) de nous avoir introduit et dirigé vers cette recherche.

## INTRODUCTION

Dans le Centre-Nord du SENEGAL, un phénomène de chlorose de l'arachide attire l'attention de la recherche agricole depuis plusieurs années. Celui-ci étant caractérisé par le fait que les plantes jaunes ne sont pas isolées, mais localisées dans des surfaces bien délimitées dans les champs d'arachide, l'habitude a été prise d'y faire référence en terme de "tache jaune" de l'arachide. Cependant, ce jaunissement peut-être plus ou moins prononcé d'un emplacement à l'autre et parfois il s'étend à l'ensemble d'une parcelle.

Observable dans l'ensemble du bassin arachidier \*du SENEGAL, ce phénomène de "tache jaune" de l'arachide est particulièrement intense dans les départements de THIES, DIOURBEL et LOUCA, sous climat Sahélo-soudanien \*\*. C'est donc dans cette zone du domaine sahélien que sont situées nos observations, plus précisément au Nord-Est de THIES, à Thilmakha.

Des observations antérieures ont mis en évidence différents types de "taches jaunes" par référence essentiellement à leur situation topographique et au pH du sol. (c.f. Annexe : Une déficience de la fixation symbiotique d'azote dans un agrosystème en zone tropicale sèche : la chlorose azotée de l'arachide au SENEGAL). Les travaux présentés dans ce rapport sont limités à un phénomène spécifique de jaunissement de l'arachide observé dans un essai du service de rhizobiologie de l'ISRA (Institut Sénégalais de Recherche Agronomique), implanté depuis 1973 à Thilmakha. Le choix de localiser ainsi nos observations résulte des moyens disponibles, mais également du point privilégié que constitue cet essai pour l'étude des "taches jaunes" de l'arachide.

En effet, cet essai intitulé "influence des pratiques culturales sur la nodulation de l'arachide" \*\*\* avait été mis en place par CORRIEU en 1973, sur un champ extérieur au PAPEM (Point d'appui à l'Expérimentation Multilocale) de l'ISRA. Celui-ci avait été laissé en friche par les agriculteurs du fait d'une extension trop grande des taches de chlorose et conséquemment d'un rendement trop bas de la culture. Les parcelles témoin

\* On définit ainsi l'ensemble des surfaces agricoles du SENEGAL caractérisées par la place importante de l'arachide dans les assolements (40 à 60 % de la SAU semée en arachide), Il décrit un triangle dont le sommet est situé au delà de LOUCA, et dont la base longe la frontière Gambienne depuis la mer jusqu'à la longitude de KAFFRINE.

\*\* 8 mois de saison sèche de Octobre à Juin, 300 à 700 mm de pluie de Juillet à Septembre, avec une date de Juin à Août de la première pluie.

\*\*\* Description des traitements de l'essai dans le chapitre premier.

de l'essai constituent donc un point d'observation dont l'histoire culturelle est très voisine de celle des champs d'arachide hors station. Tandis que les parcelles subissant différents traitements choisis par référence aux premières observations (non publiées) de OULIE sur la nodulation de l'arachide au SENEGAL, constituent un ensemble très riche d'informations sur l'origine de cette chlorose de l'arachide. De plus, des cartographies de "tache jaune" dans l'extension de l'essai ont été établies successivement pendant ces 6 ans par CORRIEU, WEY et N'DIAYE.

Un tel choix répondait aux objectifs fixés à l'étude des "taches jaunes", dans la section "étude du milieu" et dans les divisions de "biochimie des sols" et "rhizobiologie" du CNRA de BAMBEY. Cette recherche sur l'origine du jaunissement de l'arachide dans l'essai de Thilmakha, se situant dans le champ d'étude des facteurs écologiques de la symbiose arachide-rhizobium, s'insère en effet dans le cadre de l'étude de la fertilité des sols dans le bassin arachidier du SENEGAL. L'identification des causes du jaunissement de l'arachide, implique nécessairement l'étude des relations entre l'arachide et les rhizobiums du sol, ainsi que l'influence des différents facteurs édaphiques tant biotiques que physico-chimiques sur la symbiose rhizobium légumineuse.

Elle participe en ce sens, à préciser l'état du sol dans la zone Sahélo-soudanienne du SENEGAL, en particulier au niveau de l'activité des différents microorganismes présents dans ces sols en relation avec les conditions physico-chimiques. Elle est donc à même de mettre en évidence des facteurs variables du milieu qui dans les sites écologiques de chlorose de l'arachide, les "taches jaunes", sont à l'origine de la déficience de fixation de l'azote atmosphérique dans cette plante. Ces éléments permettent **alors** de définir en référence aux systèmes de production de la zone étudiée, un état de fertilité des sols et aident par ailleurs à une compréhension de leur évolution.

Elle s'insère également dans le cadre de l'étude de la symbiose légumineuse-rhizobium sous climat semi-aride en zone Sahélo-soudanienne. La hiérarchisation des facteurs écologiques qui déterminent le niveau de fixation d'azote atmosphérique par l'association rhizobium-arachide, vise à définir des interventions et pratiques culturales favorisant cette source locale d'azote. Faisant suite aux travaux de modélisation de la fixation d'azote de DUCERF en 1978, qui visaient à pondérer l'influence des facteurs agroclimatiques, sur l'intensité d'activité fixatrice d'azote des nodosités les recherches sur l'origine du jaunissement de l'arachide sur "taches jaunes" visent à identifier des facteurs édaphiques limitants de l'association symbiotique de rhizobium spécifique et de l'arachide. Celles-là impliquent en particulier un approfondissement des connaissances, de l'état et de l'activité de la population de rhizobium dans les sols ferrugineux tropicaux sous climat de type Sub-Sahélien.

Les perspectives économiques de l'étude des "taches jaunes" de l'arachide sont elles, moins précises, en particulier parce que la distribution de ce phénomène en milieu rural n'a pas été évaluée à ce jour. Toutefois, on sait qu'une baisse importante de rendement résulte de la présence de jaunissement des plantes dans les parcelles d'arachide, sans compter qu'une ressource locale et renouvelable d'azote pour la fumure des sols dans les systèmes de production du bassin arachidier est ainsi sous-

exploitée, Par ailleurs, on sait que la fixation symbiotique d'azote est la principale source de cet élément nutritif des plantes dans les écosystèmes non cultivés. Elle serait donc une fonction biologique essentielle à la reconstitution du sol sous jachère.

En ce sens, les facteurs de la déficience observé pour l'arachide, s'ils agissent également sur la symbiose fixatrice d'azote pour les légumineuses natives dans la végétation spontanée des champs où la culture est abandonnée, pourraient déterminer un processus irréversible de dégradation du milieu en zones subsaharienne, si aucune intervention de l'homme ne remédie à leur action.

L'étude des "taches jaunes" de l'arachide est une étude du milieu, s'appuyant sur l'approche des facteurs écologiques en relation avec un symptôme de dégradation de ce milieu qui s'extériorise par la présence de plantes d'arachide chlorotiques. La méthode de recherche dans ce travail est en conséquence basée sur une étude comparative au niveau des plantes dans des sites voisins choisis dans l'essai de Thilmakha : les "taches jaunes" d'une part, et des surfaces témoins d'autre part, appelées "hors taches jaunes". Il y sera fait référence en tant que sites écologiques tout au long de l'exposé.

En rapport avec les travaux réalisés antérieurement sur ce problème de chlorose de l'arachide dans le bassin arachidier, rassemblés dans une tentative de synthèse présentée au "Workshops on nitrogen cycling in the west african ecosystems" à IBADAN en décembre 1978 (cf annexe III), et les objectifs ci-dessus, la démarche comprend les étapes suivantes :

- Etude au champ du phénomène de jaunissement par étude comparative de l'appareil aérien, du système fixateur symbiotique et des racines des plantes dans les 2 types de sites définis précédemment (chapitre I).

- Approche du milieu dans ces mêmes sites à l'aide de mesures et d'observations de facteurs édaphiques; rassemblés en nutriments disponibles ou en excès, microorganismes ayant une incidence dans la symbiose arachide-rhizobium, conditions physico-chimiques du sol. (chapitre II). Cette approche vise à mettre en évidence des corrélations au champ entre le phénomène étudié sur la plante et des facteurs d'état du milieu.

- Elle est accompagnée d'une démarche expérimentale réalisée en milieu contrôlé pendant la saison sèche. Celle-ci, à l'aide de méthodes d'expérimentation avec extraits de sol\* est une tentative d'analyse, par isolement des différents facteurs du milieu intervenant dans le jaunissement de l'arachide (chapitre III). Elle conduit à des expérimentations de synthèse, à l'aide de traitements spécifiques en milieu contrôlé ou au champ,

- Les informations fournies par les observations et expérimentations ci-dessus sont replacées dans le contexte de l'essai pluriannuel de Thilmakha.

En effet, les différents traitements en place depuis 1973 dans cet essai "influence des pratiques culturales sur la nodulation de l'arachide" déterminent des histoires culturales dont on peut reconnaître l'incidence différente sur l'état du milieu par l'extension ou le recul de la chlorose dans les parcelles correspondantes. Ces traitements constituent ainsi une source supplémentaire

\* échantillons de sols prélevés à Thilmakha.

d'informations pour la compréhension de l'état du sol dans les sites de chlorose, mais de plus autorisent à situer cet état de fertilité dans une évolution du milieu sous différentes pratiques culturales.

## CHAPITRE I

---

OBSERVATION COMPARATIVE AU  
CHAMP DE PLANTES SUR "TACHE5 JAUNES" ET  
DE PLANTES TEMOIN AU COURS DE L'HIVERNAGE  
1978. RELATION AVEC UNE DEFICIENCE DE LA  
FIXATION SYMBIOTIQUE DE L'AZOTE ATMOSPHERIQUE.

A \* INTRODUCTION. Objectifs de l'observation des plantes au champ au cours d'un cycle végétatif de l'arachide.

On pense qu'il existe différents types de "taches jaunes" de l'arachide au Sénégal. Dans certains cas il y aurait un jaunissement précoce des plantes, tandis qu'en d'autres cas on assisterait à des jaunissements beaucoup plus tardifs (60<sup>em</sup> j .) en particulier après une forte pluie (GANRY. Communication personnelle).

En conséquence, il nous est apparu nécessaire d'effectuer une observation suivie du phénomène de jaunissement des plantes pendant un cycle végétatif complet. Des plantes provenant d'emplacements où des "taches jaunes" ont été repérées des années antérieures, ont été comparées à des plantes témoins sur des parcelles où aucun jaunissement n'a été observé pendant les années précédentes.

L'objectif d'une observation au champ est de situer avec précision l'apparition des symptômes de jaunissement dans le temps et dans l'espace et, par l'étude comparative des plantes, de repérer d'autres symptômes qui au niveau de l'appareil aérien ou du système racinaire, seraient liés à ce phénomène.

Une attention particulière a été portée à l'observation des nodosités, organes de fixation de l'azote atmosphérique dans la symbiose.. En effet, plusieurs observations antérieures ont mis en évidence une déficience de la nutrition azotée sur des plantes chlorotiques prélevées au champ (WEY. Communication personnelle). Par ailleurs, dans une expérimentation préalable en serre sur sol de site "tache jaune" de Thilmakha, aucun symptôme de jaunissement n'était observé sous fumure azotée alors que la chlorose était reproduite dans le témoin. (cf , chapitre II).

Enfin, ces observations au champ permettent de chiffrer l'incidence de la chlorose sur la production de grains.

B - PRINCIPES ET METHODES.

1. Suivi des plantes-sur "tache jaune" et "hors-tache jaune" à Thilmakha pendant l'hivernage 1978.

Le phénomène de jaunissement de l'arachide ici étudié, est défini au SENEGAL par le fait qu'il se manifeste en zones bien délimitées de plantes uniformément pales ou jaunes, que l'on appelle "tache jaune", site dans lequel une description précise des aspects phénoménologiques sera abordée.

A différentes dates d'un cycle végétatif complet, des plantes sur des sites connus et bien délimités pendant les hivernages précédents sont comparées à des plantes témoins, appelées "hors taches jaunes" (H.T. J. ) prélevées sur des sites voisins des précédents mais où aucune plante jaune n'a été observée pendant les années précédentes.

Un tel principe d'étude sur sites T.J. et sites H.T.J. choisis en début de cycle sur la base d'observations pendant des saisons de pluie antérieures est également déterminé par la nécessité d'observations en début de cycle avant même que les symptômes de jaunissement ne soient apparus.

Les prélèvements ont été réalisés dans l'essai "influence des techniques culturales sur la nodulation de l'arachide" implanté dans un PAFEM (Point d'Appui d'Expérimentation Multilocale) de l'ISRA (Institut Sénégalais de Recherche Agronomique) à THILMAKHA retenu pour les raisons suivantes :

▪ Au cours du suivi de l'essai, de 1973 à 1977 , une cartographie des "taches jaunes" a été établie chaque année en août pour les parcelles semées en arachide (on applique une rotation arachide-mil dans cet essai). Il était par suite possible de choisir avec précision des sites d'observation pour l'année 1978. (cf. carte 1974 et 1976 des "taches jaunes" de l'arachide à Thilmakha chapitre IV) .

▪ Etant localisé au Nord-Est de Thies, sous climat Sahélo-soudanien, Thilmakha est un point d'observation représentatif de la zone géoclimati-

que Centre-Nord du Bassin Arachidier, où les "taches jaunes" sont particulièrement nombreuses.

• Etant un point d'expérimentation de l'ISRA, l'essai bénéficie d'un encadrement et d'une surveillance d'un technicien de l'ISRA en permanence à Thilmakha et nous-mêmes d'une précieuse collaboration.

• Le champ d'essai a été annexé au PAPEM de l'ISRA en 1973 alors qu'il était momentanément abandonné par les agriculteurs du fait d'une trop faible productivité. Depuis cette date il a été occupé par l'essai "influence des techniques culturales sur la nodulation". L'histoire culturale des différentes parcelles est en conséquence bien connue puisqu'elle correspond aux différents traitements de l'essai. Ainsi, bien qu'implanté en station de recherche agronomique, le champ d'essai n'a pas subi de traitements très différents des pratiques culturales appliquées par les agriculteurs. On peut y étudier le phénomène dans des conditions voisines de celles des champs d'arachide hors station.

• L'existence d'histoires culturales différentes sur l'essai est en fait un point supplémentaire de l'intérêt de cet essai pour l'observation et la compréhension du phénomène de jaunissement de l'arachide. En effet, on observe que l'étendue des "taches jaunes" sur les différentes parcelles de l'essai, a évolué au cours des années, différemment selon les traitements appliqués.

Il reste que les observations réalisées à Thilmakha pendant l'hivernage 78, sont de fait très localisées dans l'espace. Ceci n'est toutefois pas contradictoire avec l'objectif de cette recherche qui consiste à recenser et hiérarchiser les différentes hypothèses, relatives à un phénomène précisément défini de dépérissement-jaunissement de l'arachide.

Par ailleurs, ces observations pendant un seul hivernage, sont localisées dans le temps. Or, on connaît l'incidence des variations climatiques sur la culture et sur l'évolution du milieu naturel en zone sahélo-soudanienne. Des observateurs ont remarqué que les "taches jaunes" seraient plus nombreuses

et plus étendues en cas de sécheresse ou dans les parcelles où l'arachide a été semée tardivement. Parfois elles apparaissent après une forte pluie. Ce sont autant de situations marquées par le facteur hydrique. Les observations réalisées à Thilmakha ne seront donc applicables qu'à un hivernage du type de celui de 1978 et en retour il est envisageable que certains phénomènes observés pendant les saisons des pluies précédentes, n'apparaissent pas en 1978, du fait des caractéristiques de cet hivernage.

A ce sujet, ce dernier a été marqué en 1978 par :

- une pluviométrie cumulée supérieure à la moyenne (cf. Annexe II)
- une première pluie tardive avec un semis de l'arachide impossible avant le 12 juillet,
- une sécheresse de 15 jours en cours de cycle en août.

## 2. Caractéristiques de l'essai "influence des techniques culturales sur la nodulation" en 1978.

L'essai est divisé en deux séries, l'une avec l'arachide une année, l'autre avec le mil la même année, le mil et l'arachide étant en rotation.

Chaque série comprend 6 blocs de 8 parcelles. Chaque parcelle mesure 15 m x 6 m, séparées par des allées de 2 m et de 4 m entre les blocs (cf. Plan de l'essai p. 9).

Détail des traitements :

1	:	Fumure forte	:
2	:	Fumure forte + labour	:
m e	- - - -		
3	:	Fumure forte + labour + fumier	:
4	:	Fumure forte + labour + chaux	:
5	:	Fumure forte + traitement nématocide	:
w " P	- - - -		
6	:	Fumure forte + labour + chaux	:
7	:	Fumure forte + labour + fumier + chaux	:
8	:	Fumure forte + labour + traitement oligo éléments	:

Les traitements sont appliqués chaque année, sur chaque série depuis 1973.

Toutefois, les traitements nématocide et oligo-éléments étaient appliqués pour la première fois en 1978 sur les parcelles 5 et 8 respectivement.

Au contraire en 1976, une inoculation était effectuée sur les 1/2 parcelles Sud des traitements 5 et 8.

Les autres traitements sont constants depuis 1973, avec les préparations culturales suivantes :

. le labour est réalisé en sec, avec une paire de boeufs (0,20 m de profondeur),

. la matière organique est apportée chaque année à la dose de 10 T. ms/ha (soit 90 kg ms/parcelle) et enfouie par un labour en sec.

. les parcelles non labourées sont préparées en sec par un passage simple au canadien, en traction bovine,

. les repousses et résidus organiques sont éliminés de la parcelle avant travail du sol,

. fumure minérale :

Arachide            150 kg/ha de 8.18.27

Mil                    150 kg/ha de 14.7.7

. la chaux est apportée à la dose de 600 kg/ha par enrobage des graines,

. le nématicide appliqué sur les parcelles 5 est le Némagon ( $C_3 H_5 B_2 Cl$ ) à la dose de 25 l/ha. Il a été épandu 6 jours après la pluie du 11 juillet (il faut en effet que le sol soit bien humide) retardant ainsi de 14 jours le semis sur ces parcelles 5 par rapport aux autres parcelles de l'essai (il faut attendre 8 jours entre l'application du nématicide et le semis). Le némagon est appliqué sur la demi-parcelle ouest dans le sens de la longueur.

. le traitement oligo élément est réalisé par épandage foliaire de 0,45 l d'une solution mère concentrée utilisée dans les essais de culture hydroponique (cf. chap. III) dilué dans 5 l d'eau distillée . On réalise 2 épandages au cours du cycle aux dates suivantes :

. le 2 août 1978

. le 28 août 1978.

Sur l'ensemble de l'essai à l'exception des parcelles 5, l'arachide a été semé au semoir mécanique le 12 juillet 1978. Les graines étaient traitées aux fongicide-insecticide. Les manquants à la levée ont été compensés par un semis au poquet, la semaine suivante. La variété d'arachide est la 55437, semée à la densité  $0,15 \times 0,45$ . Le semis a lieu le 26 juillet sur les parcelles 5. Les allées de l'essai ont également été semées le 12 juillet afin éventuellement de distinguer l'implantation des "taches jaunes" par delà les parcelles de l'essai.

Le premier binage a lieu 10 jours après le semis, le second 15 jours plus tard.

### 3. Méthodes de l'observation des plantes sur "taches jaunes" et "hors taches jaunes" au cours du cycle.

L'essai a été visité au cours du cycle de 90 jours de la variété 55437 d'arachide, aux dates successives suivantes : 24/7 ; 2/8 ; 10/8 ; 16/8 ; 28/8 ; 5/9 ; 12/9 ; 22/9 ; 3/10, soit régulièrement du 12<sup>e</sup> au 80<sup>e</sup> jours après le semis.

Dès l'apparition d'un palissement des plantes, les "taches jaunes" ont été repérées. Puis elles sont régulièrement cartographiées à ces dates successives.

Par ailleurs, des emplacements de prélèvements de plantes devaient être choisis afin de permettre des mesures régulières au cours du cycle sur l'appareil aérien, les racines et le système fixateur symbiotique. Cinq emplacements "taches jaunes" furent donc retenus sur l'ensemble de l'essai. Ils ont été localisés dans la superficie d'intersection de "taches jaunes" cartographiées en 1974 et 1976. Les plantes étant prélevées en bordure des parcelles, ces emplacements sont constitués par les bordures des parcelles (cf. fig p9) :

I <sub>2</sub>	emplacement	TJ <sub>1</sub>
II <sub>1</sub>	"	TJ <sub>2</sub>

# INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE

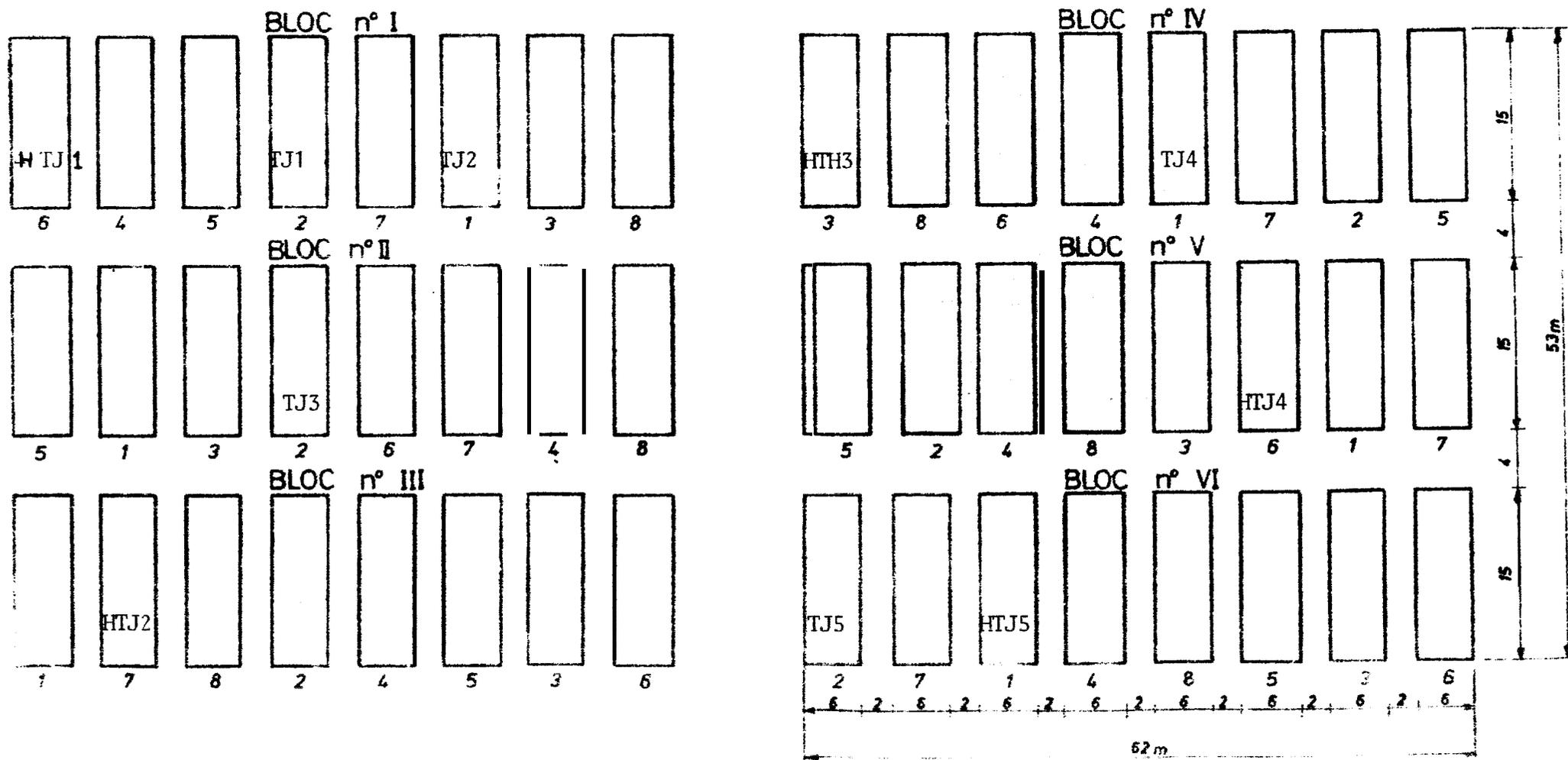
Lieu : THII MAKHA

Année : \_\_\_\_\_

Observations taches jaunes

Culture : ARACHIDE

EMPLACEMENTS DE PRELEVEMENTS AU COURS DU CYCLE



II <sup>2</sup>	emplacement	TJ <sup>3</sup>
IV'	"	TJ <sup>4</sup>
VI <sup>2</sup>		TJ <sup>5</sup>

Tous ces emplacements se sont avérés localisés à l'intérieur d'une "tache jaune" au cours de l'hivernage 1978.

Les cinq emplacements de prélèvement de plantes témoins ont été choisis en bordure de parcelles où jamais aucun jaunissement des plantes n'avaient été observés les années précédentes (cf. fig p. 9).

bordure de la parcelle	I <sup>6</sup>	emplacement	HTJ <sup>1</sup>
	III'	"	HTJ <sup>2</sup>
	IV <sup>3</sup>	"	HTJ <sup>3</sup>
	V <sup>6</sup>	"	HTJ <sup>4</sup>
bordure N.NE de parcelle	VI'	"	HTJ <sup>5</sup>

Ils ont été choisis parmi les différents traitements de l'essai, afin d'éviter toute corrélation liée à la superposition des prélèvements HTJ avec un traitement spécifique de l'essai qui pourrait fausser ultérieurement l'analyse de données relatives aux plantes ou aux sols,

Sur chaque emplacement et à chaque date d'observation sont prélevées 4 plantes voisines, Simultanément leur rhizoplan (sol proche des racines) est récupéré dans un même sac. Soit donc 20 plantes TJ par date d'observation et 5 échantillons de sols TJ. Il en est de même pour les emplacements HTJ.

## C. - RESULTATS ET DISCUSSION.

### I. Croissance et développement des plantes sur "taches jaunes" et: "hors taches jaunes" :

#### 1. Cartographie de l'extension des "taches jaunes" sur l'essai de Thilmakha au cours du cycle végétatif de l'arachide pendant l'hivernage 1978.

Les premiers symptômes du jaunissement sont apparus le 6/8/78 à Thilmakha, sous la forme d'un palissement général de la plante (communication de M. PAYE responsable du PAPEM) et le 10/8/78, lors du 3<sup>ème</sup> prélèvement. au 29<sup>è</sup> j. de cycle végétatif, des surfaces de plantes pales sont bien délimitées

dans les parcelles de l'essai, qui permettent d'établir une première carte des "taches jaunes". (Cf. p.15)

Lors de l'observation suivante, le 16 Août 1978, des délimitations plus précises de plantes pâles apparaissent dans les différentes parcelles :

. la "tache jaune" s'est étendue à l'ensemble des parcelles  $I_1$  et  $11_2$ , tandis qu'elle apparaît sur une grande surface de la parcelle  $II_1$ . Ce sont les uniques cas d'augmentation de surface de plantes pâles après le 10 août (29<sup>e</sup> jours) à Thilmakha. On peut en particulier remarquer à l'observation des cartes de "taches jaunes" aux dates successives, qu'il n'y a pas d'apparition tardive de plantes jaunes dans les parcelles de l'essai,

. on observe un reverdissement de la quasi-totalité des plantes sur certaines "taches jaunes", en particulier en  $V_2$ , mais également en  $IV_4$ ,  $V_4$  et  $VI_4$ . Celui-là se solde par une disparition de la "tache jaune".

. on peut également distinguer à l'intérieur des "taches jaunes", des zones de reverdissement, caractérisées par des plantes de même taille (petite) mais d'un vert foncé. Ce phénomène de reverdissement apparaît particulièrement bien dans les parcelles  $II_2$  et  $I_2$ . Il peut apparaître plus tardivement, jusqu'au 55<sup>e</sup> jour, comme ce fut le cas sur une partie des parcelles  $II_2$ ,  $VI_1$ , ou  $VI_2$ .

A cette date tardive il est particulièrement net, car les évolutions des plantes sont alors plus accentuées sur "taches jaunes".

On distingue ainsi au cours des observations successives des taches jaunes, trois types d'évolution des plantes ; après l'apparition des premiers palissements entre le 20 et le 30<sup>e</sup>me jour :

1) Les plantes ont une couleur jaune prononcée dès le 47<sup>e</sup> jours (observation du 28 août 78) et restent de petite taille. Des signes de dépérissement apparaissent vers le 62<sup>e</sup> jour. Dans ces zones en particulier sur la parcelle 1, beaucoup de plantes sont mortes avant

l'observation du 70<sup>e</sup> jour

2) Les plantes ont une couleur jaune prononcée, mais la taille augmente régulièrement, bien que restant inférieure généralement à celle des plantes témoin "hors taches jaunes" (cf courbe de croissance ci-dessous).

Elles évoluent ainsi, jusqu'à la fin du cycle végétatif sans signe apparent de pérississement.

3) Les plantes pâles ou jaunes reverdissent, avec à partir de ce moment, une augmentation plus rapide de taille par rapport aux plantes jaunes environnantes. Sur les cartes de "taches jaunes", ce phénomène apparaît sous la forme de surfaces bien délimitées à l'intérieur (parcelles I<sub>2</sub>, II<sub>2</sub>, III,) ou à la périphérie des taches jaunes (parcelle II., V<sub>8</sub>, VI., VI<sub>2</sub>, VI<sub>1</sub>, V<sub>8</sub>).

Cette nuance dans le tracé des taches jaunes peut se définir assez tôt., dès le 35<sup>e</sup> jour, mais également beaucoup plus tard dans le cycle végétatif, vers le 50<sup>e</sup> jour. Ce reverdissement observé au champ, sur l'essai de Thilmakha, mais également sur différentes taches jaunes visibles dans les champs d'arachide le long de la route Mèkhe-Thilmakha, attire d'autant plus notre attention que nous l'avons observé dans un essai en pot, sous serre avec échantillon de sols prélevés sur les parcelles I<sub>2</sub> et I<sub>5</sub>.

Par ailleurs au cours des observations successives des taches jaunes dans l'essai de Thilmakha, on a pu remarquer les faits suivants :

- il n'y a pas de relation apparente entre l'implantation des "taches jaunes" et les hétérogénéités topographiques. Celles-ci sont d'ailleurs faibles, l'essai étant implanté sur un plateau sans dénivelé important.

- dans les "taches jaunes", parmi les plants d'arachide on peut distinguer sur les lignes de semis, des adventices épargnées par

les binages. Parmi celles-ci, on distingue deux légumineuses une Zornia (glochydiata) et une Crotalaria, qui ne présentaient pas de signe comparable de dépérissement : la végétation aérienne était en effet verte, et sur les racines on pouvait distinguer plusieurs nodules. Cette observation a néanmoins inspiré un essai en pot avec différentes légumineuses natives sur un sol "taches jaunes" et un sol "hors taches jaunes".

- enfin la totalité des plantes jaunes, présente un liseré de petites taches brunes à la périphérie des limbes sur les feuilles du bas. Toutefois, un tel liseré est parfois observé sur des plantes vertes "hors taches jaunes".

2. Etablissement des courbes de développement et de croissance de l'arachide sur "tache jaune" et "hors tache jaune" à Thilmakha pendant l'hivernage 1978.

a) méthodes :

Afin d'identifier l'activité physiologique des plantes sur "taches jaunes", comparée à celles des plantes "hors taches jaunes", on tente d'établir des courbes de développement et de croissance.

Le développement est mesuré par :

- d'une part, le nombre de feuilles sur les plantes prélevées aux dates successives d'observation à Thilmakha. Le chiffre porté en ordonnée sur le graphe à chaque date, est la moyenne des nombres obtenus pour chacune des 20 plantes prélevées en 5 emplacements différents de l'essai.

- d'autre part, le nombre de fleurs écloses chaque jour

sur chacune des 10 plantes piquetées sur "taches jaunes" dans les parcelles  $I_1$  et  $I_2$ , et 10 plantes piquetées "hors taches jaunes" dans les parcelles 16 et  $I_4$ . On porte en ordonnée la moyenne obtenue chaque jour : on obtient la courbe fréquentielle de floraison et on en déduit la courbe cumulée de floraison. Une telle méthode est applicable à l'arachide, car on sait que chaque fleur nouvelle est émise le matin et fane le soir.

La courbe de croissance est obtenue en portant en ordonnée le poids sec moyen des parties aériennes des 20 plantes prélevées à chaque date d'observation, sur "tache jaune" et "hors tache jaune". Les parties aériennes des plantes prélevées à Thilmakha sont pesées après séchage à l'étuve à  $60^\circ\text{C}$  pendant 48 h.

Ce poids sec est donc celui des tiges + feuilles + gynophores + gousses (quand il y a lieu pour ces dernières).

b) résultats et discussion :

La courbe de développement (nombre de feuille par plante) pour les plantes "hors taches jaunes" met en évidence une croissance linéaire du nombre de <sup>1<sup>e</sup></sup>feuilles en fonction du temps jusqu'au 47<sup>e</sup> jour. A partir de cette date, nombre moyen de <sup>1<sup>e</sup></sup>feuilles par plante se stabilise autour de 50. (cf fig. p22.).

Au contraire, pour les plantes sur "taches jaunes", l'émission de feuilles nouvelles diminue dès le 21<sup>e</sup> jour par rapport aux plantes témoin (diminution de la pente de la courbe entre le 21 et le 35<sup>e</sup> jour). A partir du 35<sup>e</sup> jour, il semble que le nombre moyen de feuilles par plante se stabilise autour de 21. Toutefois on remarque une grande variabilité de ce nombre à chaque date de prélèvement (en particulier le 47<sup>e</sup> et le 55<sup>e</sup> jour) et d'une plante à l'autre. Celle-ci serait due à la présence sur "tache jaune" de plantes évoluant différemment, prélevées sans distinction dans un premier temps tandis qu'après le 62<sup>e</sup> jour, les plantes dépériées ont été évitées lors du prélèvement.

# INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE

Lieu : THILMAKHA

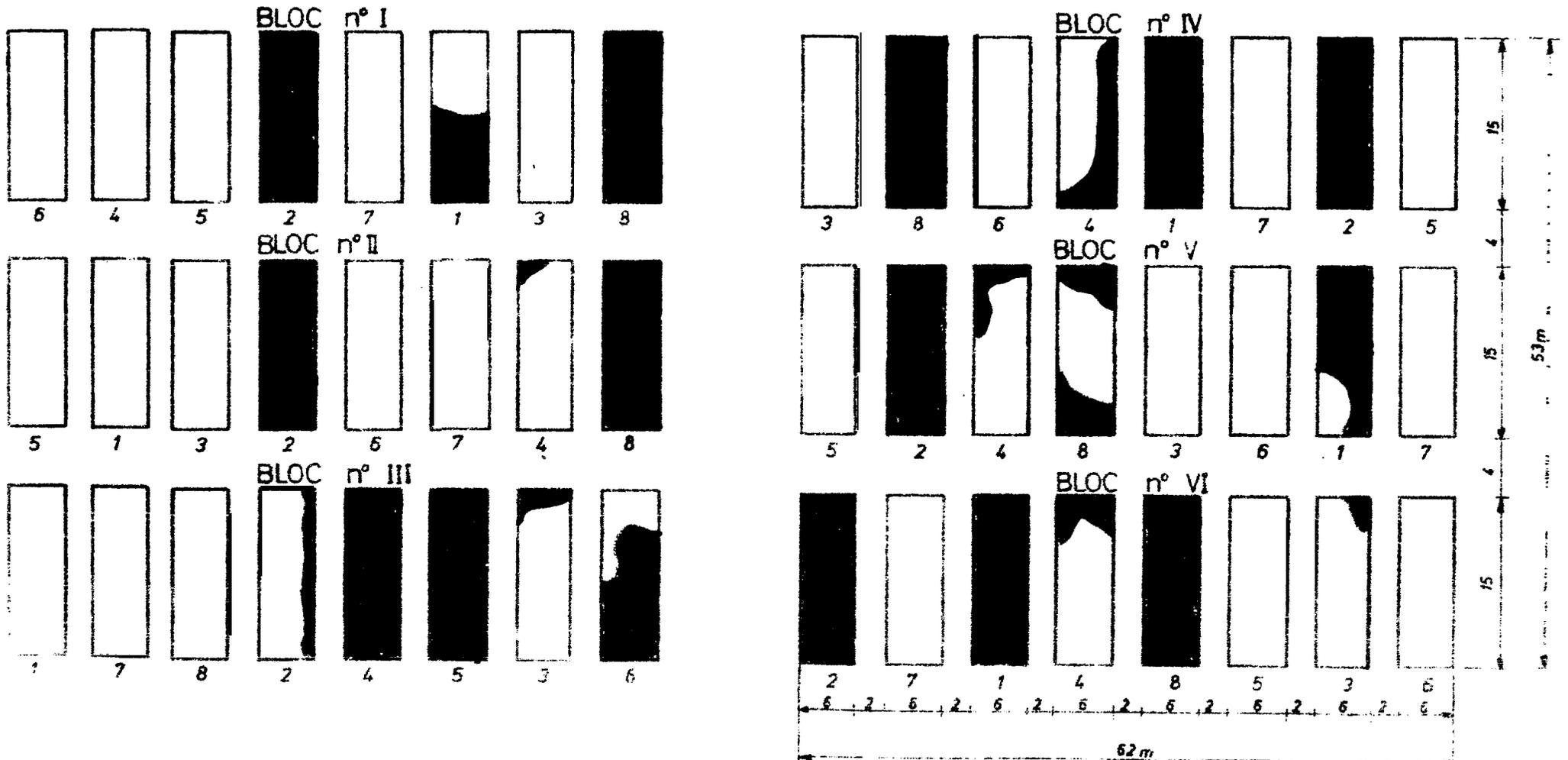
Année : 1978

Observations taches jaunes

Culture : ARACHIDE

le 10 AOUT 1978

28ème jour



# INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE

Lieu : THILMAKHA

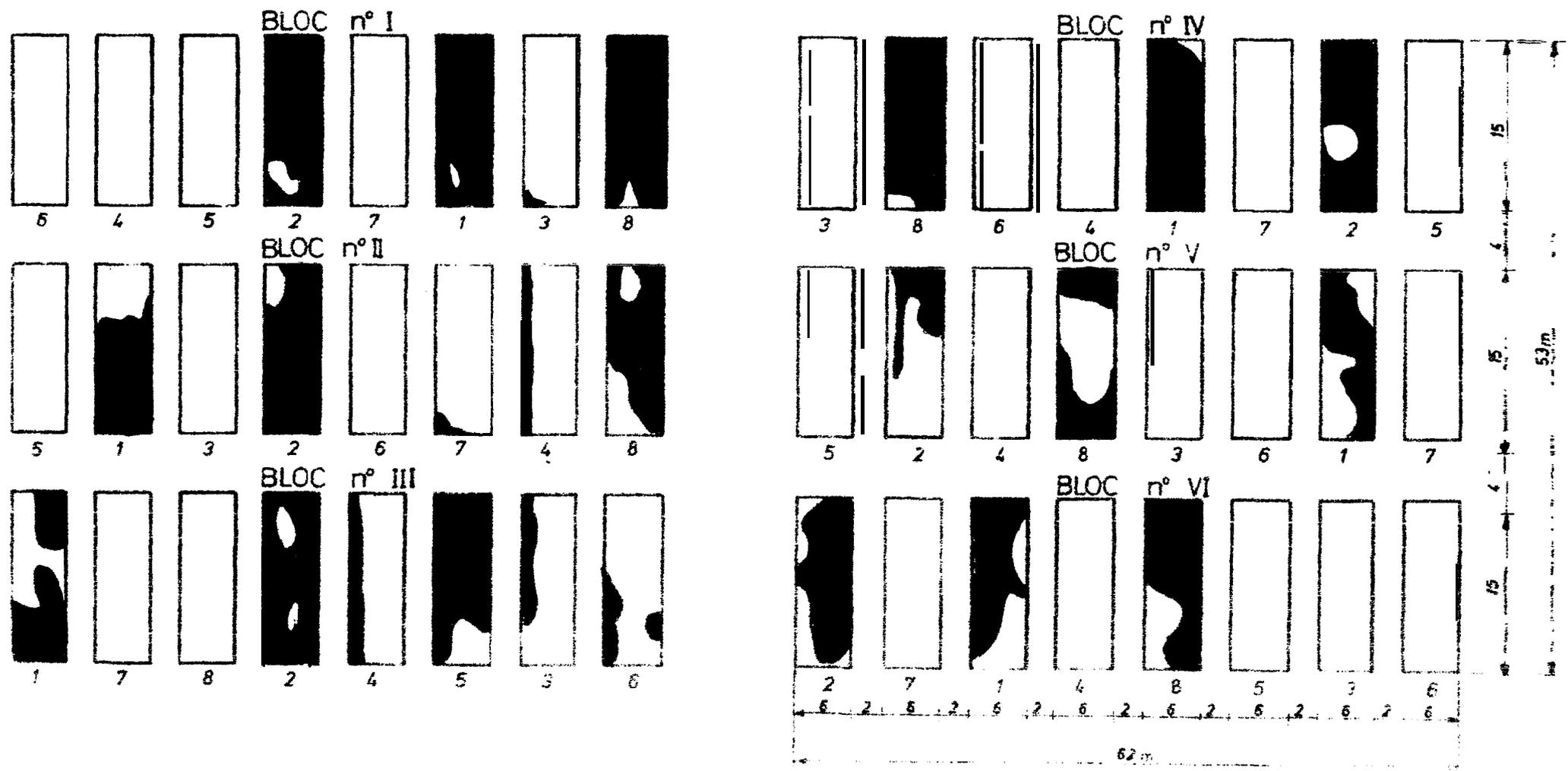
Année : 1978

Observations taches jaunes

Culture : ARACHIDE

le 16 AOUT 1978

35ème jour



# INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE

Lieu : THILMAKHA

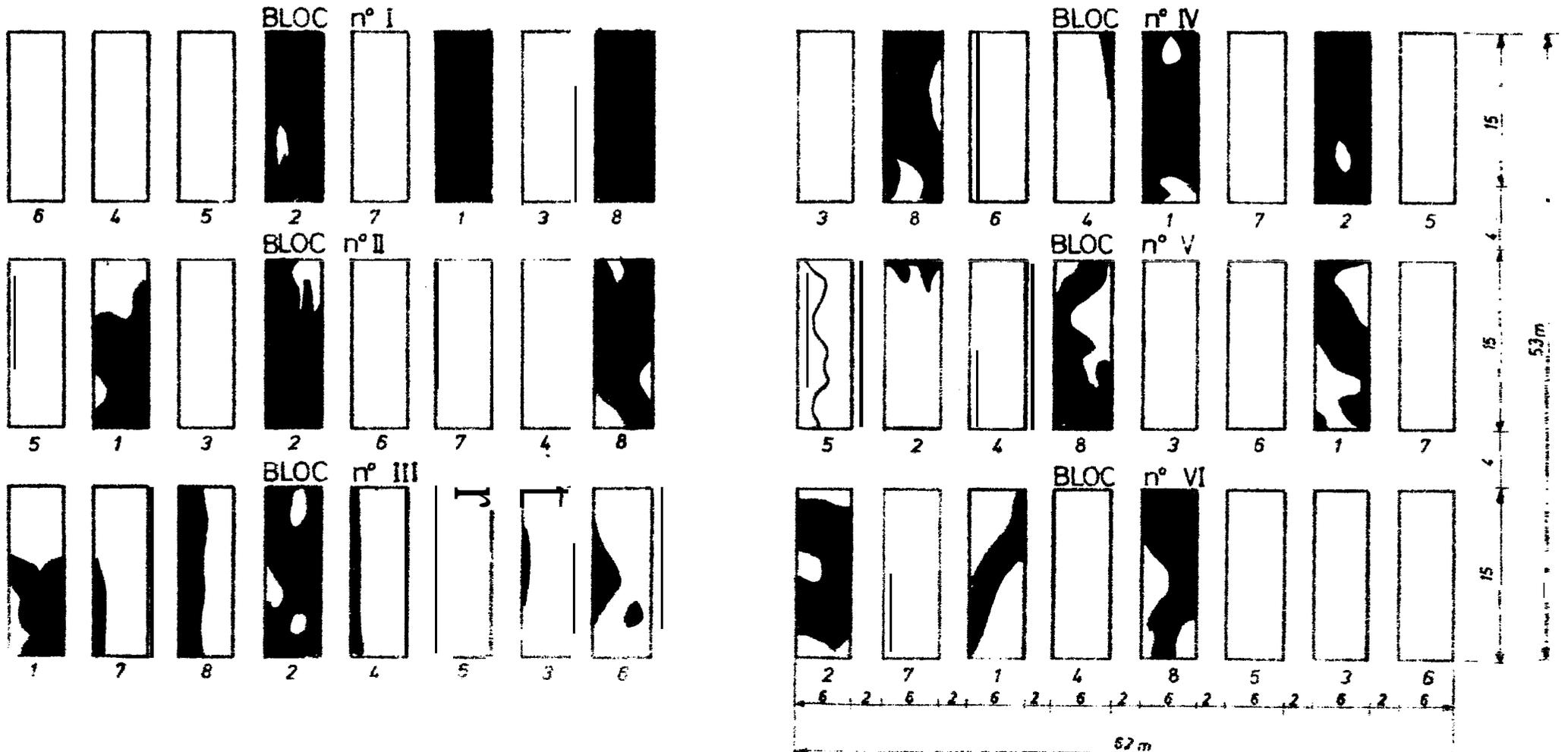
Année : 1978

Observations taches jaunes

Culture : ARACHIDE

le 28 AOÛT 1978

47ème jour



17

53m

62m

# INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE

Lieu : THILMAKHA

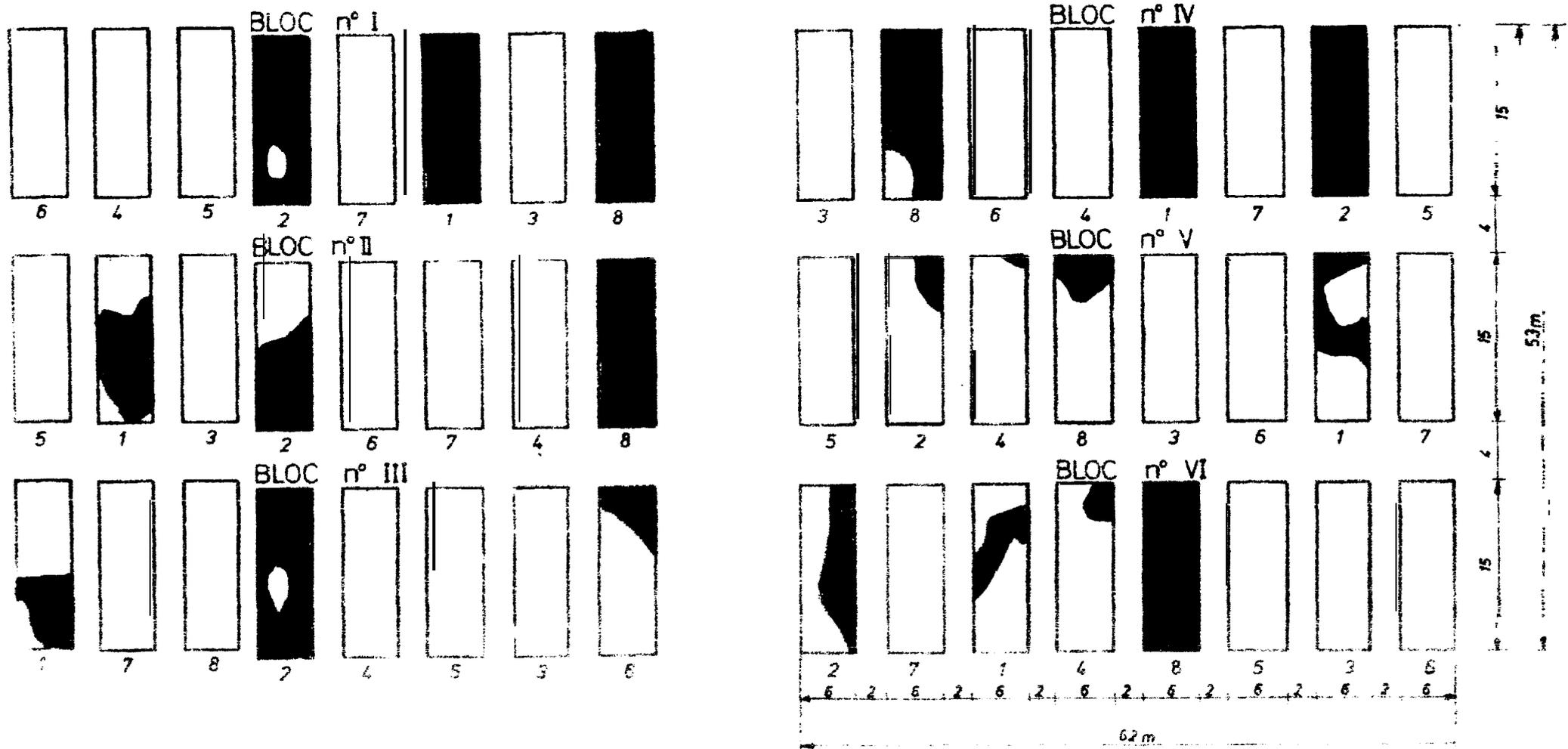
Année : 1978

Observations taches jaunes

Culture : ARACHIDE

5 SEPTEMBRE 1978

55ème jour



# INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE

Lieu : THILMAKHA

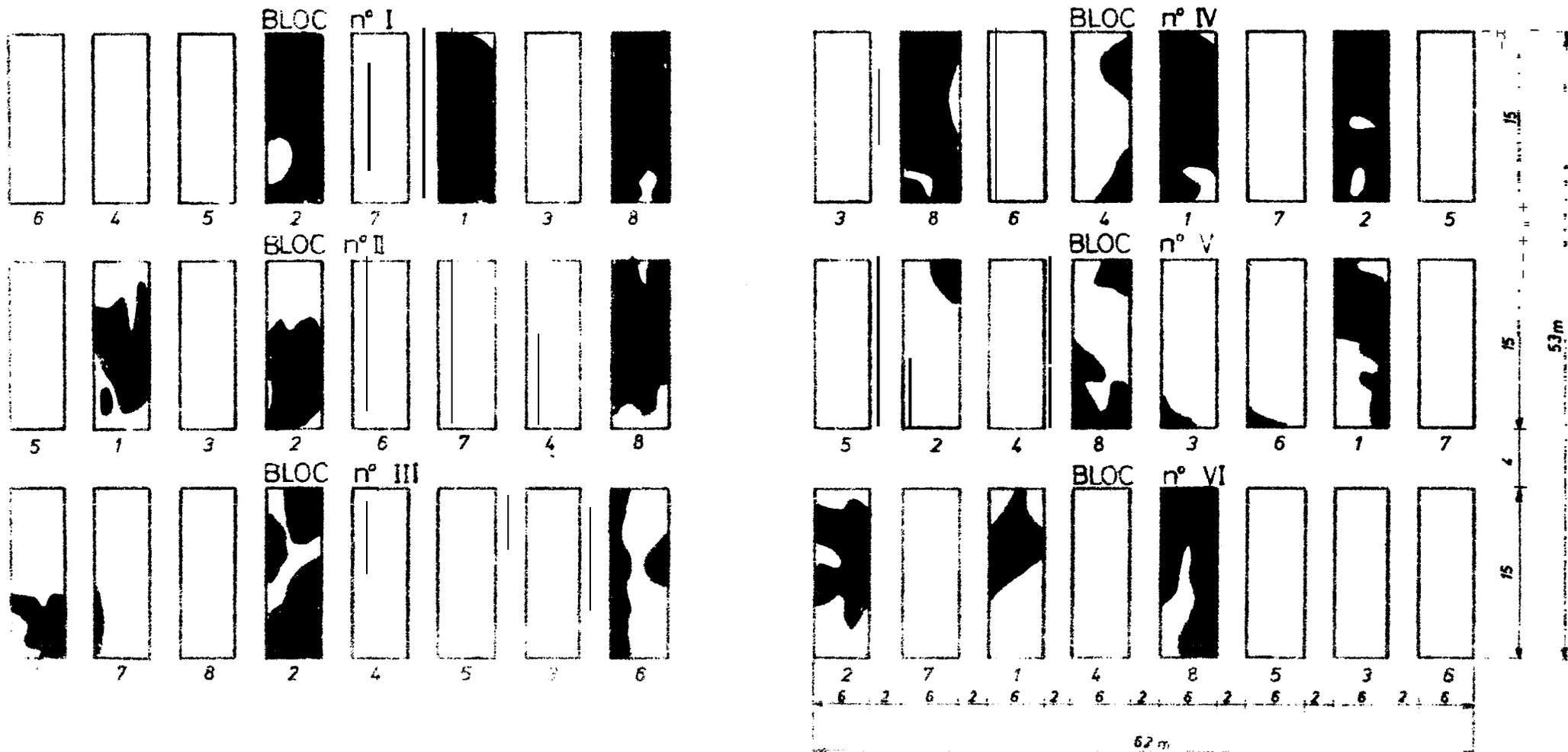
Année : 1978

Observations taches jaunes

Culture : ARACHIDE

12 SEPTEMBRE 1978

62ème jour



# INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE

Lieu : THILMAKHA

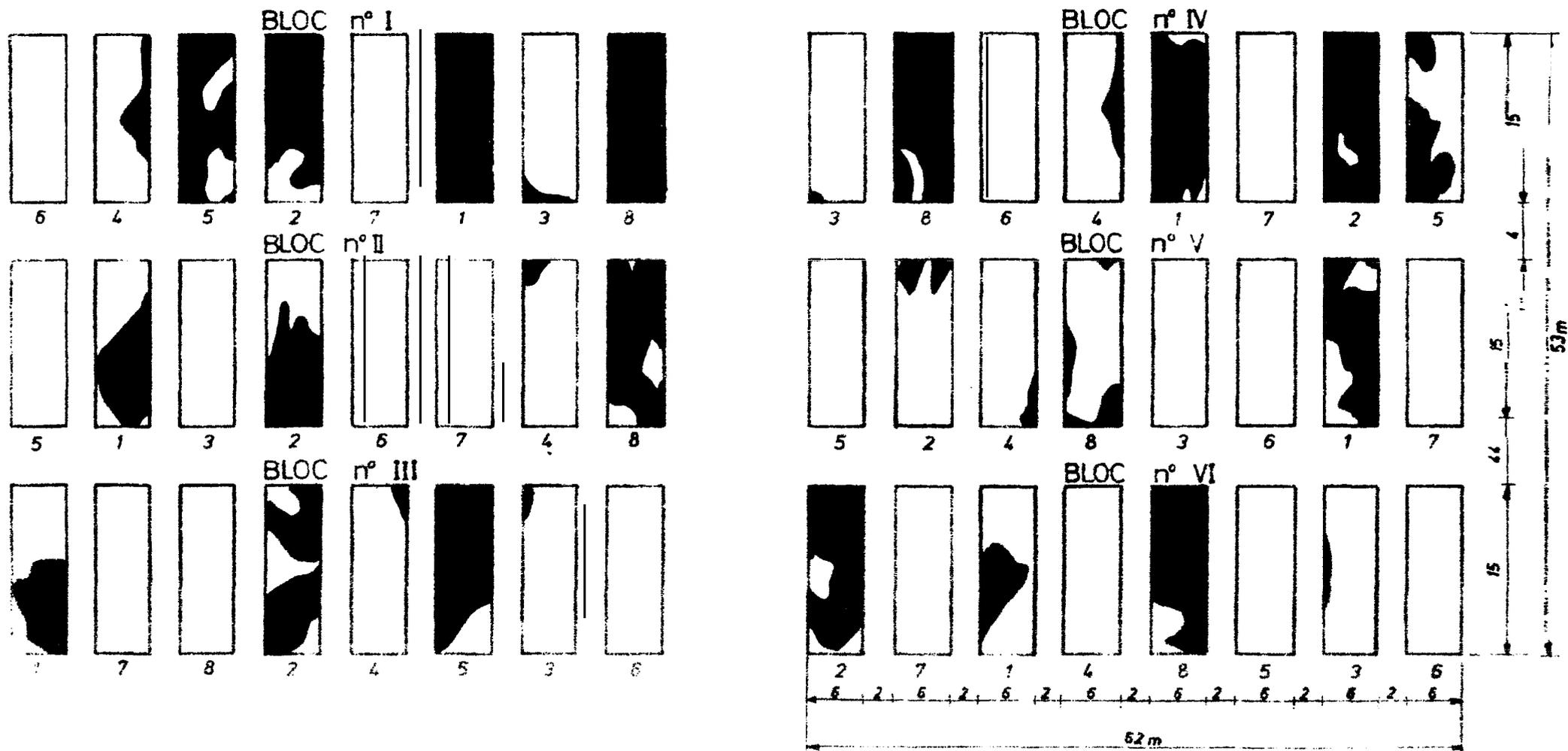
Année : 1978

Observations taches jaunes

Culture : ARACHIDE

le 22 SEPTEMBRE 1978

70ème jour



Tabl.1: NOMBRE MOYEN DE FEUILLES PAR PLANTES SUR  
 "TACHE JAUNE" ET "HORS TACHE JAUNE" AU COURS  
 DU CYCLE. Thilmakha 1978. Moyenne de 20 plantes.

Nombre de jours après le semis		12èj	21èj	29èj	35èj	47èj	55èj	62èj	70èj	81èj
Plantes sur "tache jaune"	Moyenne	5,6	13,8	18,1	20,9	17,5	24,7	15,5	27,7	20,4
	ecart type on	0,9	3,5	5,6	8,9	9,9	10,3	5,1	6,3	6,7
Plante "hors tache jaune"	Moyenne	5,3	14,7	25,6	31,1	44,6	41,4	39,5	45,4	37,9
	ecart type on	1,1	3,5	7,3	6,0	14,4	11,8	7,3	15,3	7,5

Thilmakha 1978

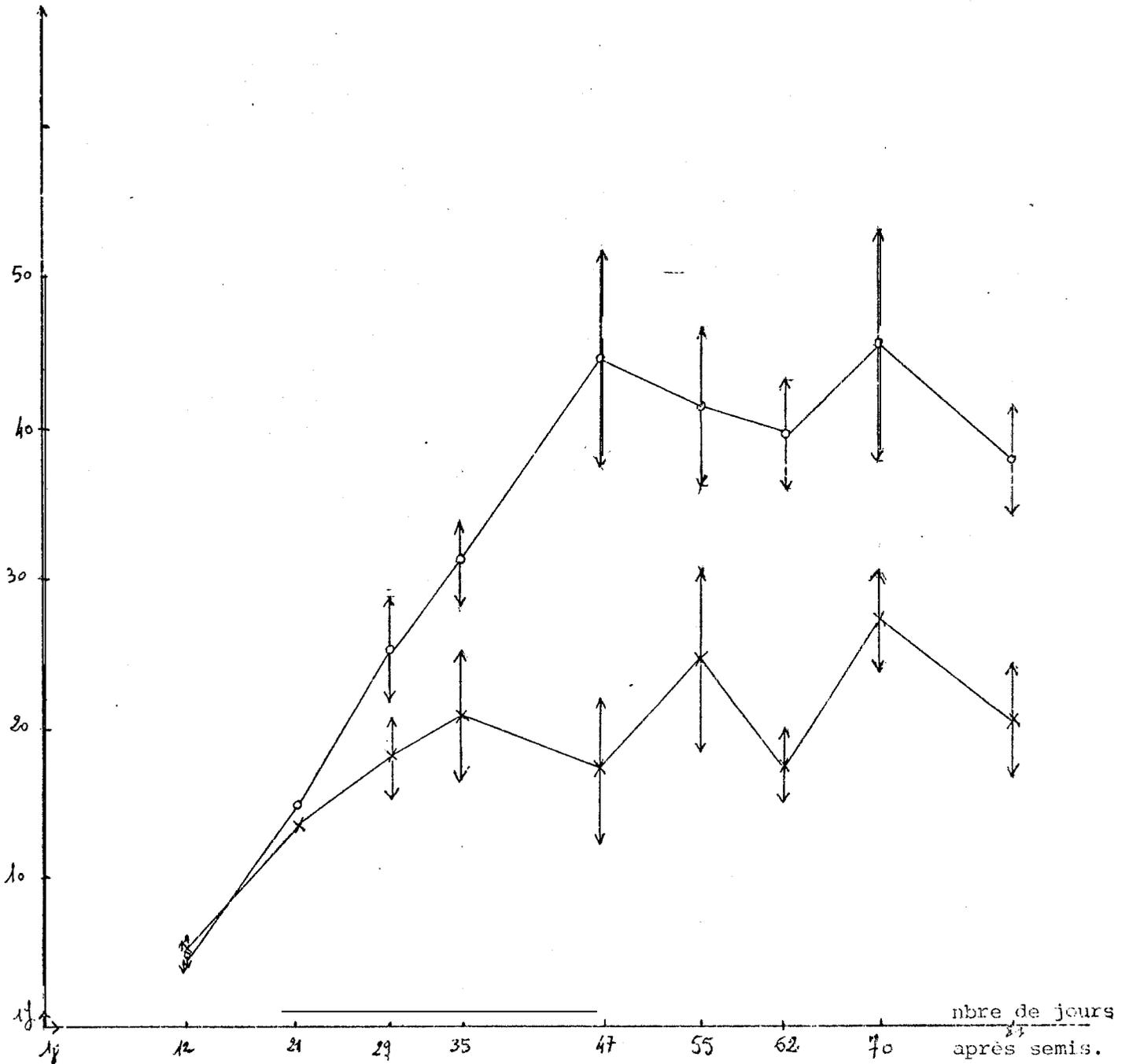
Moyenne de 20 plantes.

Fig. 1. COURBES DE DEVELOPPEMENT

NOMBRE MOYEN DE FEUILLES PAR PLANTE.

x : plantes sur tache jaune  
o : " hors tache jaune.

Nbre de feuilles par  
plante.



TAB. 2. NOMBRE MOYEN DE FLEURS NOUVELLES PAR PLANTE ET PAR JOUR SUR "TACHE JAUNE" et "HORS TACHE JAUNE" (Thilmakha 1978, Moyenne de 10 plantes)

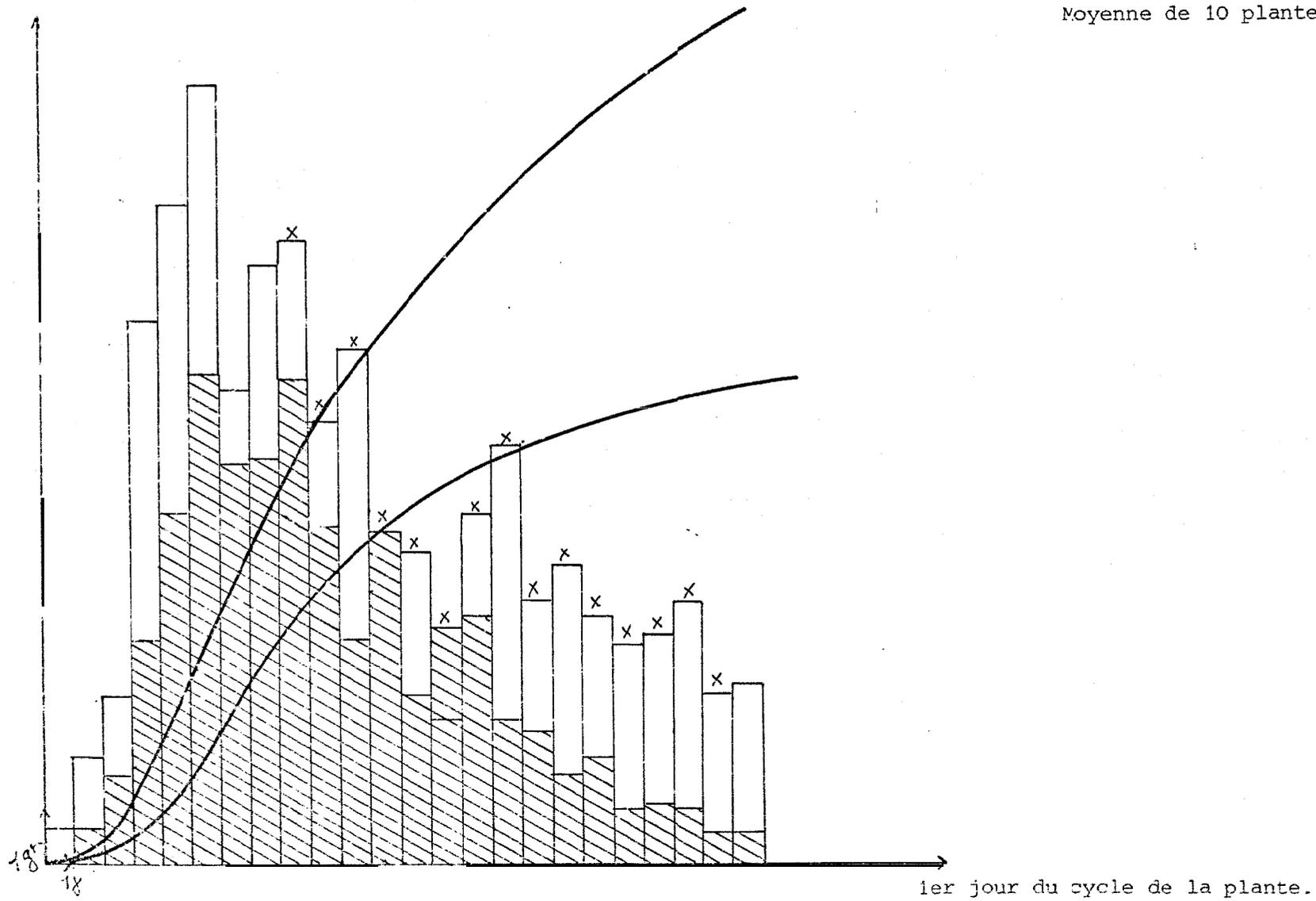
Nombre de jours après le semis		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Tache jaune	Moyenne	0,1	0,6	1,5	3,7	5,8	8,1	6,6	7,6	8,0	5,7	3,7	5,4	2,8	2,4	4,1	2,4	2,2	1,5	1,7	0,9	1	0,6	0,5
Tache jaune	Ecart type	0,3	0,7	1,0	2,1	2,3	4,9	4,0	2,4	5,2	4,1	0,9	3,1	1,8	2,3	2,8	1,6	1,5	1,3	2,0	0,7	0,8	0,8	0,5
Hors tache jaune	Moyenne	0,6	1,8	2,3	9,1	10,9	12,2	7,9	10,1	10,3	7,3	8,5	6,1	5,5	3,9	6,8	6,6	4,4	5,0	4,0	3,6	3,8	4,3	3,0
Hors tache jaune	Ecart type	0,8	1,4	2,4	4,0	4,0	4,5	2,3	4,8	4,4	2,6	2,6	2,5	2,3	2,1	3,2	3,3	2,2	1,8	1,7	2,0	2,8	2,9	1,5

FIG. 2 . GRAPHIQUE ET COURBE CUMULEE DE FLORAISON

Nbre de fleurs

Thilmakha 1978

Moyenne de 10 plantes



La floraison des plantes sur “taches jaunes” débute à la même date pour les plantes témoins. Mais la fréquence d’émission des fleurs est environ deux fois plus faible. Le nombre total de fleurs émises par plante sur “tache jaune” est de l’ordre de 50 % de celui correspondant aux plantes témoins prélevées “hors taches jaunes” .

A l’observation de la courbe de croissance des plantes témoins prélevées “hors taches jaunes”, l’augmentation de poids sec apparaît très rapide et accéléré jusqu’au 47<sup>e</sup> jour, soit un poids sec moyen (feuilles + tiges + gynophores + gousses) est de 13 gr. La croissance se continue jusqu’au 70<sup>e</sup> jour où les plantes “hors taches jaunes” ont un poids sec moyen des parties aériennes de 19 gr. environ. Au 80<sup>e</sup> jour, date du suivant et dernier prélèvement, le poids sec moyen a légèrement diminué (non-significatif), avec nombre de feuilles également plus bas (qui pourrait expliquer cette baisse de poids sec en fin de cycle) .

La croissance des plantes “taches jaunes” est ralentie dès le 21<sup>e</sup> j. L’écart de croissance est très élevé comparé aux plantes témoins puisqu’au 47<sup>e</sup> jour le poids sec moyen est de 3 gr et au 70<sup>e</sup> jour de 7 g.

Tabl.3: POIDS SEC MOYEN PAR PLANTE SUR "TACHE JAUNE" ET "HORS TACHE JAUNE" AU COURS DU CYCLE. Thilmakha 1978. Moyenne de 20 plantes. (Poids sec en gr).

Nombre de jours après le semis		12èj	21èj	29èj	35èj	47èj	55èj	62èj	70èj	81èj
Tache j aune:	Moyenne	0,37:	0,87:	1,44:	2,25:	2,95:	4,14:	1,99:	6,85:	5,68:
	Ecart <sub>on</sub> type	0,08:	0,21:	0,61:	0,84:	2,54:	3,12:	0,73:	3,07:	3,38:
Hors tache j aune:	Moyenne	0,36:	1,07:	2,92:	4,86:	12,68:	13,83:	15,80:	18,90:	18,30:
	Ecart type	0,07:	0,32:	1,04:	1,74:	4,62:	7,09:	6,49:	7,56:	5,00:

On remarque la variabilité des mesures de poids sec à partir des prélèvements du 47è jour et des suivants (exception faite du 62è j.), En effet, lorsque la différence de comportement des plantes sur "tache jaune" a été observée (plantes jaunes périssantes et plantes jaunes à croissance continue), nous avons d'abord convenu de maintenir un tirage aléatoire sur les 5 emplacements de prélèvement sur "tache jaune" choisis au début des observations. Consistant à intégrer dans un même prélèvement, des plantes aux évolutions phénoménologiques différentes, cette démarche présuppose de fait pour la suite des observations et en particulier pour l'analyse des données du milieu, que ces plantes représentent des phénomènes plus ou moins extrêmes d'un même déterminisme.

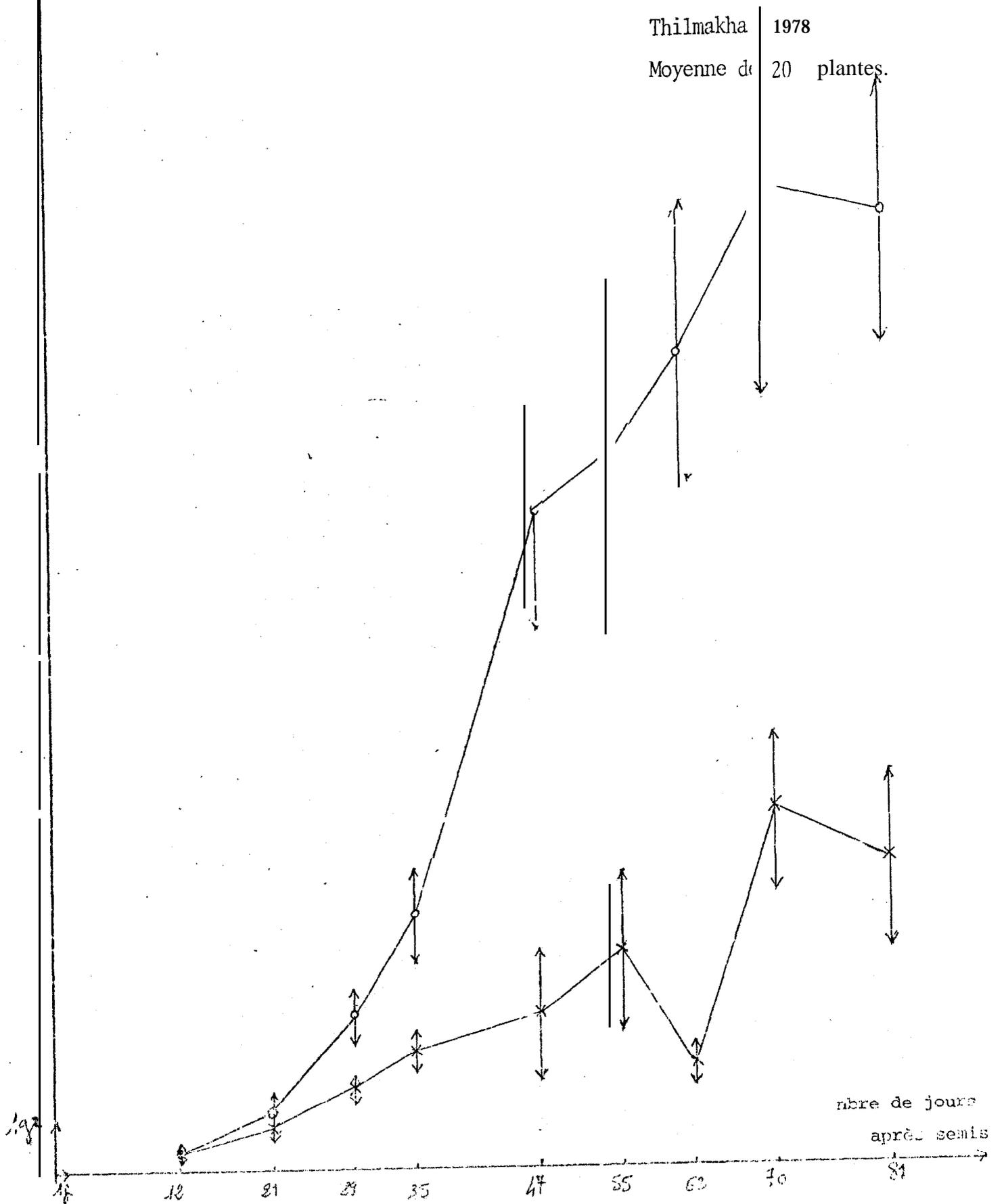
Néanmoins, après le 62ème jour, les plantes dépéries ont été éliminées du prélèvement, ce qui se remarque par l'augmentation nette des 2 dernières mesures de poids-sec (70ème jour ; 81ème jour) par rapport aux précédentes.

Poids sec moyen en  
gr.

FIG.3. COURBES DE CROISSANCE

POIDS SEC MOYEN DES PLANTES

Thilmakha 1978  
Moyenne de 20 plantes.



1.1. Développement et activité du système fixateur symbiotique de l'azote atmosphérique sur "tache jauné" et "hors tache jaune" :

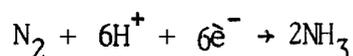
Rappel des méthodes

Les observations et mesures sur l'activité et le développement des nodosités, sont réalisées sur les mêmes plantes prélevées à Thilmakha pour les mesures précédentes de développement et croissance de l'appareil aérien .

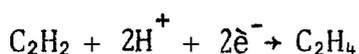
a) Mesure de la fixation d'azote au champ :

L'activité nitrogénasique des nodosités est mesurée par la méthode ARA (activité réductrice acétylène) et incubation du système racinaire en flacon.

On sait que la nitrogénase, système enzymatique catalyseur de la fixation d'azote selon la formule simplifiée de réduction de  $N_2$  suivante :



catalyse également la réduction de l'acétylène suivant la réaction :



Par ailleurs la fixation de l'azote atmosphérique est inhibée par l'acétylène.

La mesure de l'éthylène produite par l'échantillon de nodosités dans une enceinte étanche dont l'atmosphère est enrichie en acétylène constitue donc un indicateur de niveau d'activité de la nitrogénase.

Elle n'est pas une mesure exacte de l'activité fixatrice d'azote, mais seulement une mesure du potentiel maximum de fixation d'azote. En effet, dans le processus de réduction nitrogénasique de l'azote moléculaire, une quantité (variable selon les associations rhizobium-légumineuses) du flux d'électron est détournée vers la production d'hydrogène. Il n'est en conséquence pas possible d'utiliser le facteur de conversion théorique de 3 (2 électrons pour réduire une molécule d'acétylène, 6 électrons pour réduire une molécule d'azote) pour déduire la quantité d'azote réduit, directement de la mesure de la quantité d'éthylène formée.,

Cette méthode permet toutefois de comparer avec une grande précision et rapidement. au champ, l'activité nitrogénasique de 2 plantes (et leur niveau de fixation symbiotique de l'azote atmosphérique s'il s'agit des mêmes espèces dans l'association rhizobium-légumineuse) .

Nous l'avons donc appliquée pour comparer l'activité nitrogénasique des plantes sur "taches jaunes".

Au champ, le système racinaire de chaque plante prélevée est séparé de l'appareil aérien, est aussitôt placé dans un flacon sérum de 500 ml hermétiquement clos par un bouchon en caoutchouc.

On injecte ensuite 50 ml d'acétylène dans le flacon à l'aide d'une seringue piquée à travers le bouchon en caoutchouc, On injecte également 5 ml d'un gaz traceur composé de 70 ml de propane pur, dilué dans 700 ml d'air.

On laisse incuber à l'ombre (afin d'éviter une température trop élevée dans le flacon par rapport à celle du sol) pendant 30 mm (durée brève mais justifiée par une diffusion rapide de l'acétylène dans les tissus fixateurs d'une part, et par une baisse d'intensité de l'activité nitrogénasique du système excisé après ce délai).

10 ml de mélange gazeux de l'atmosphère du flacon sont ensuite prélevés à l'aide d'une seringue (après quelques réinjections immédiates pour homogénéiser cette atmosphère) et placés en vacutainer.

L'analyse de mélange gazeux contenu dans les vacutainers est réalisée ultérieurement au laboratoire avec un chromatographe PERKIN-ELMER F 17 équipé d'une colonne  $\text{Na}^3\text{PO}^4$  sur sphérosil XOB 75, avec une injection de 0,5 ml de mélange gazeux par échantillon. Sur l'enregistreur apparaissent successivement le pic: d'éthylène, le pic de propane puis le pic d'acétylène.

La quantité Q d'éthylène présente dans le mélange gazeux est calculée par la formule :

$$Q = C \cdot \frac{h}{h'}$$

$h'$  : hauteur du pic de propane.                       $h$  : hauteur du pic d'éthylène.

La constance C qui correspond à l'étalonnage du chromatographe est recalculée à chaque nouvelle série de mesures, avec une injection de 0,5 ml d'un mélange contenant  $10^{-3} \text{ C}^3 \text{ H}^4$  et  $10^{-3} \text{ C}^3 \text{ H}^8$  :

$$C = \frac{10^3}{22,4} \cdot \frac{mp}{v} \cdot \frac{H'}{H}$$

H = hauteur du pic étalon d'éthylène

H' = hauteur du pic étalon de propane

m = quantité de gaz traceur injecté dans le flacon : 5 ml

$\frac{P}{v}$  = % de propane pur dans le gaz traceur (p : 70 ml de propane pur dans v = 700ml de volume du flacon sérum)

$$C = 31.798 \frac{H'}{H}$$

H

b) Mesure de développement et croissance du système de fixation symbiotique.

Les systèmes racinaires excisés sur lesquels sont réalisées les mesures d'ARA, sont ensuite dénudés au laboratoire. On mesure alors :

- le nombre de nodosités par plante,
- le poids sec de nodosités par plante après séchage à l'étuve pendant 48 h à 60°C.

.../

1. Courbes de nodulation et de poids sec des nodosités de l'arachide sur "tache jaune" et "hors tache jaune" à Thilmakha pendant l'hivernage 1978 :

on appelle nodulation, l'émission de nodosité.

Une nodosité se développe sur le système racinaire de la légumineuse, au cours d'un processus de multiplication cellulaire qui fait suite à l'infection de la plante par un rhizobium et la multiplication de celui-ci à l'intérieur des cellules du cortex. Sur arachide, les nodosités sont localisées à l'aisselle de poils absorbants, où se situent les sites d'infection par le rhizobium (dans le cas précis de la symbiose avec l'arachide il n'y a donc pas de cordon d'infection à l'intérieur du méat cellulaire comme chez d'autres légumineuses où l'infection a lieu à l'extrémité d'un poil absorbant).

La courbe de nodulation obtenue par dénombrement des nodosités présentes sur les racines des plantes prélevées aux dates successives du cycle végétatif de l'arachide à Thilmakha, est une courbe de développement du système fixateur symbiotique de l'azote atmosphérique.

Néanmoins, on peut penser que l'activité fixatrice d'azote de la nodosité est d'autant plus élevée pour une même souche de rhizobium et une même plante que la taille de la nodosité est plus grande en rapport avec un nombre plus élevé de bactéroïdes (forme de la bactérie en activité symbiotique à l'intérieur de la cellule végétale). D'où l'établissement d'une courbe de poids sec de nodosités par plante au cours du cycle, ou courbe de croissance du système fixateur d'azote.

La courbe de nodulation des plantes témoins "hors tache jaune" montre une augmentation régulière du nombre de nodosités par plante depuis la 1ère date d'observation, le 12ème jour (laissant supposer une apparition précoce des premières nodosités dans les 10 premiers jours qui suivent le semis) jusqu'au 62ème jour. A cette date, le nombre de nodosités est maximum dans le cycle, et voisin de 150 nodosités/plante.

On remarque, au 55ème jour un point excentrique bas, qui s'explique par le nombre faible de nodosités sur les plantes prélevées à l'emplacement HTJ 4. (22 en moyenne contre 80 pour la moyenne des 20 plantes). On note d'ailleurs à partir du 47ème jour, une grande variabilité autour

du nombre moyen Jc nodosités par plante. Toutefois, ce prélèvement au 55<sup>ème</sup> jour suit une sécheresse de 15 jours. Cel l-ci peut-elle avoir eu un effet sur la survie des nodosités ?

Au contraire, la courbe de nodulation des plantes "taches jaunes" montre une quasi-absence de développement de la nodulation, avec un nombre moyen de nodosités qui est inférieur à 10 tout au long du cycle (exception faite du prélèvement du 55<sup>ème</sup> jour) . On remarque, en particulier que le nombre de nodosités par plante sur "tache jaune" s'élève très lentement. de 0 à 5 entre le 1<sup>2ème</sup> et le 35<sup>ème</sup> jour, tandis qu' il passe dans le même temps de 2,5 à 70 sur les plantes témoins.

On remarque également un retard d'apparition des premières nodosités sur les plantes "taches jaunes" par rapport aux plantes "hors tache jaune". En effet, au 12<sup>ème</sup> jour, seulement 5 % des plantes ont au moins une nodosité sur les "taches jaunes" contre 55 % "hors tache jaune". Au 21<sup>ème</sup> jour (date à laquelle aucune différence significative de développement et de croissance n'est observée sur les parties aériennes des plantes sur "tache jaune"), alors que toutes les plantes ont nodulé "hors tache jaune" seulement 40 % ont au moins une nodosité sur "tache jaune". Lors du prélèvement du 29<sup>ème</sup> jour, enfin,, encore 15 % des plantes sur "tache jaune" n'ont pas une seule nodosité.

Si on admet que les plantes sur "tache jaune" et "hors tache jaune" ont à ces dates, et particulièrement au 21<sup>ème</sup> jour, des activités physiologiques comparables qualitativement et quantitativement, parmi lesquelles celles nécessaires au développement d'une nodosité après infection, on peut alors proposer l'interprétation suivante de ces pourcentages : Sur "tache jaune", il y a 5 % de probabilité de rencontre plante-rhizobium au 12<sup>ème</sup> jour ; 40 % au 21<sup>ème</sup> jour et 85 % au 29<sup>ème</sup> jour, tandis que aux mêmes dates, il y a 55 % de rencontre plante- rhizobium "hors tache jaune" au 12<sup>ème</sup> jour, et 100 % dès le 21<sup>ème</sup> jour au plus tard. (Il est difficile de discuter les résultats de prélèvements car on sait que dès le 29<sup>ème</sup> jour l'activité physiologique des plantes sur "tache jaune" est modifiée avec un ralentissement de la croissance et du développement).

Remarquons que cette probabilité de rencontre plante-rhizobium dépend du développement du système racinaire de la plante et de la population de rhizobium du sol, qu' il conviendra d' observer en conséquence.

L'établissement des courbes de croissance des nodosités (poids

sec: des nodosités) s'ajoute à l'observation de la nodulation pour confirmer la faiblesse de développement du système fixateur symbiotique sur les "taches jaunes".

Il est remarquable que le poids sec par nodosité est environ trois fois plus élevé sur plantes prélevées sur "taches jaunes", que sur plante témoin. La croissance plus faible des nodosités sur plante témoin s'expliquerait par un nombre beaucoup plus élevé de nodosités par plante, et un phénomène de répartition entre les différentes nodosités des facteurs de croissance fournis par la plante.

Tab. 4 NOMBRE DE NODOSITES PAR PLANTE SUR "TACHE JAUNE"

ET "HORS TACHE JAUNE" AU COURS DU CYCLE

Thilmakha 1978. Moyenne de 20 plantes.

Nombre de jours après le semis		12ej	21ej	29ej	35ej	47ej	55ej	62ej	70ej	81ej
Tache jaune	Moyenne	0,05	2,4	4,7	4,9	2,9	16,5	2,7	8,0	9,6
	écart type	0,22	6,3	4,6	6,3	2,2	11,88	3,7	6,0	10,8
Hors tache jaune	Moyenne	2,4	29,7	48,7	70,0	119,4	90,6	47,9	126,8	96,7
	écart type	3,8	23,9	28,5	31,7	64,0	74,3	07,7	110,6	54,8

Tab.5. POIDS SEC DE NODOSITES PAR PLANTE SUR "TACHE JAUNE"

ET "HORS TACHE JAUNE" AU COURS DU CYCLE - Thilmakha 1978.

Moyenne de 20 plantes. Poids en mg.

Nombre de jours après le semis		12ej	21ej	29ej	35ej	47ej	55ej	62ej	70ej	81ej
Tache jaune	Moyenne	ε	3,5	15,4	18,1	13,5	78,0	11,6	44,2	36,8
	écart type n-1		9,3	18,4	18,2	14,2	78,6	12,8	32,3	45,3
Hors tache jaune	Moyenne	ε	32,9	66,3	90,6	184,4	154,2	180,6	123,0	163,5
	écart type II-1		23,1	25,8	37,1	104,5	105,6	116,0	74,9	58,0

Tab 6 -POIDS SEC MOYEN DES NODOSITES

---

Tache jaune		1,46	3,28	3,69	4,66	4,76	4,38	5,53	3,83
Hors tache jaun nit		1,10	1,36	1,29	1,54	1,70	1,22	0,97	1,69



Fig. 4 COURBE DE NODULATION

Nombre moyen de nodosités par plante,

Thilmakha 1978

Moyenne de 20 plantes

nombre de nodosités  
par plante.

x plantes sur tache jaune  
o plantes hors tache jaune

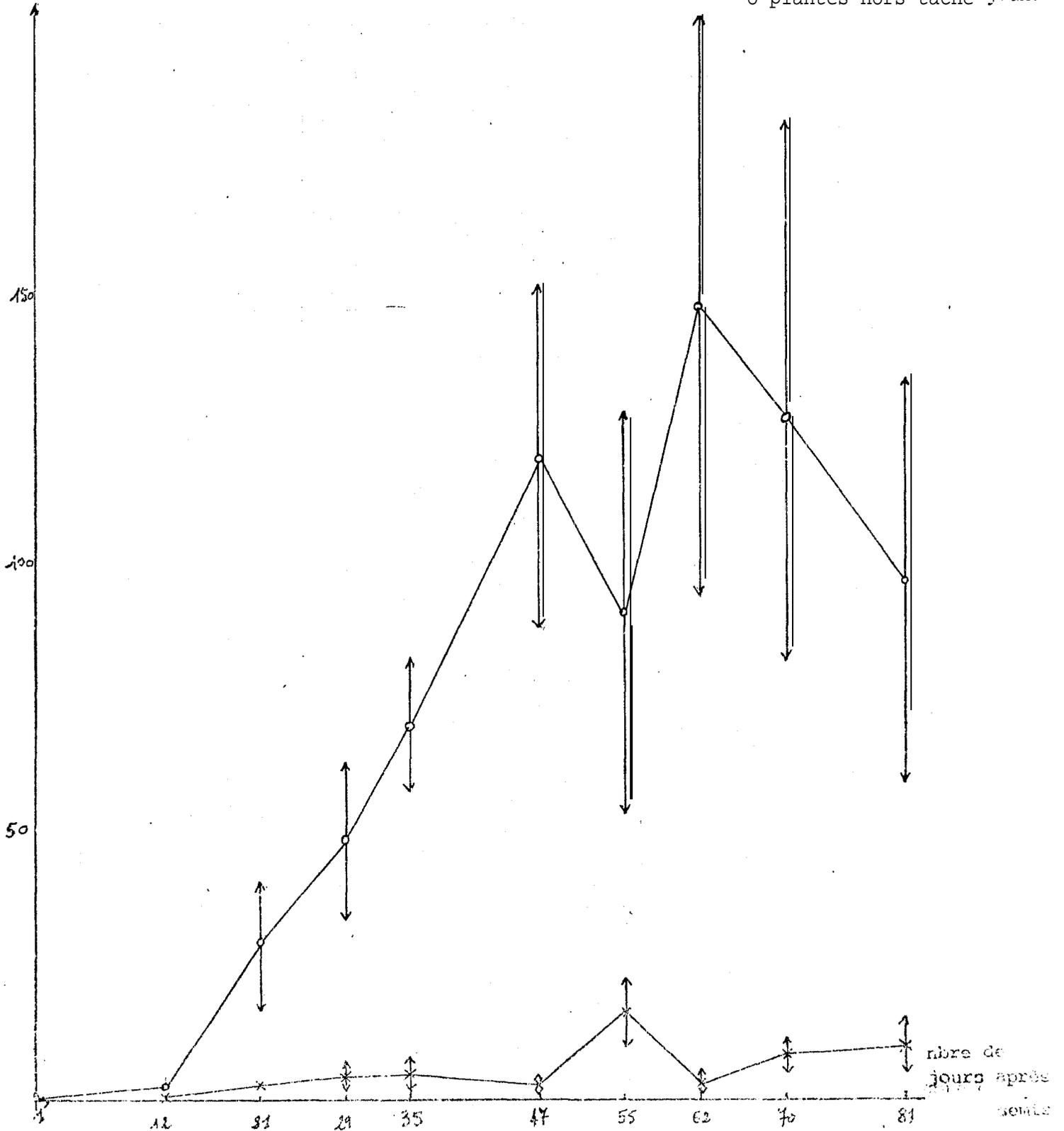
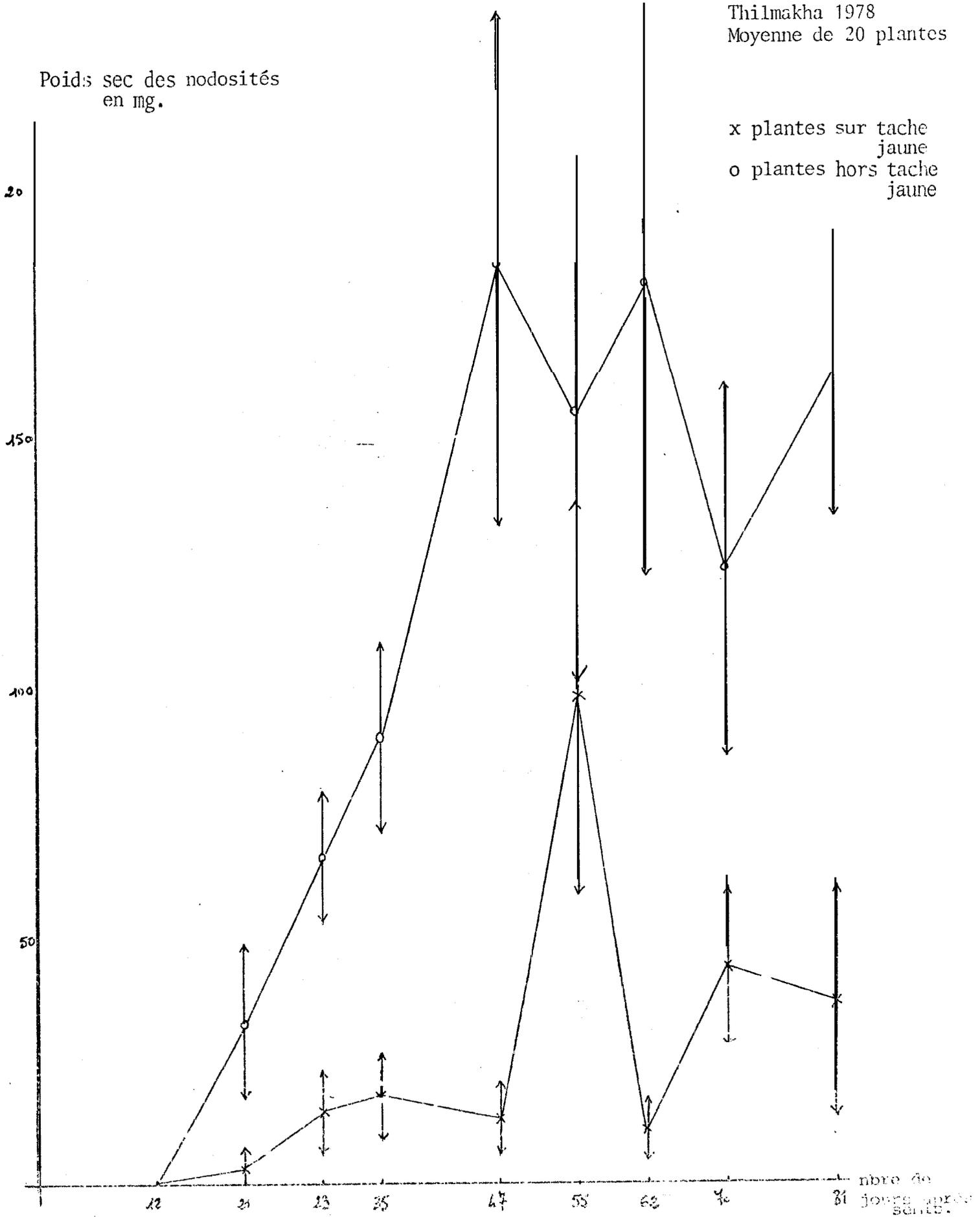


Fig 5. COURBE DE CROISSANCE DES NODOSITES

Poids sec moyen de nodosités par plante.



2 - Courbe d'ARA sur "tache jaune" et "hors tache jaune" à Thilmakha pendant l'hivernage 1978.

La courbe d'ARA sur plantes "hors tache jaune" montre une mise en place de l'activité nitrogénasique dans les nodosités entre le 1<sup>er</sup> et le 21<sup>ème</sup> jour. Soit donc un démarrage de la fixation symbiotique d'azote avant le 20<sup>ème</sup> jour.

L'ARA augmente très rapidement jusqu'à un maximum de l'ordre de 70 000 nanomoles d'éthylène par heure et par plante. Elle décroît ensuite. On peut remarquer néanmoins qu'au 81<sup>ème</sup> jour elle est encore de l'ordre de 45 000 nanomoles d'éthylène/heure/plante (alors qu'il reste seulement 10 jours avant la fin du cycle végétatif).

On remarque une mesure d'ARA particulièrement basse au 47<sup>ème</sup> j., alors que le nombre de nodosités sur les plantes est de 120 en moyenne. En fait, cette date de mesure se situe au coeur d'une période de déficit hydrique à Thilmakha (cf. Annexe) . Or, ce jour même, les plantes "hors tache jaune" bien développées (le nombre maximum de feuilles est déjà atteint), présentaient des symptômes de flétrissement (recourbement des limbes des feuilles supérieures) correspondant à un déficit de l'alimentation hydrique de la plante. Cette mesure est conforme à l'influence déjà connue et étudiée sur arachide (DUCERF 1978) du facteur hydrique sur l'activité nitrogénasique des nodosités.

Au contraire, la courbe d'ARA sur "taches jaunes" met en évidence un plafonnement de l'activité nitrogénasique à un niveau inférieur à 10 000 nanomoles d'éthylène/heure/plante atteint le 29<sup>e</sup> jour. On remarque la mesure élevée d'ARA au 55<sup>ème</sup> jour, mais on sait qu'à cette date les plantes prélevées sur "taches jaunes" constituent un échantillon exceptionnel avec un nombre plus élevé de nodosités que les prélèvements antérieurs et postérieurs (cf. courbe de nodulation : fig. 4 p. 37).

On constate donc que les plantes prélevées sur "tache jaune" ont une activité nitrogénasique globale réduite. De plus, l'activité nitrogénasique des plantes sur "taches jaunes" s'établit à un niveau très inférieur à celui des plantes témoins dès le début de l'activité nitrogénasique chez la plante, tandis que la différence sur la croissance des plantes sur "taches jaunes" et "hors taches jaunes", apparaît elle, après le 21<sup>ème</sup> jour, et elle n'est significative qu'au 29<sup>e</sup> j.

Fig. 6 COURBE DE FIXATION

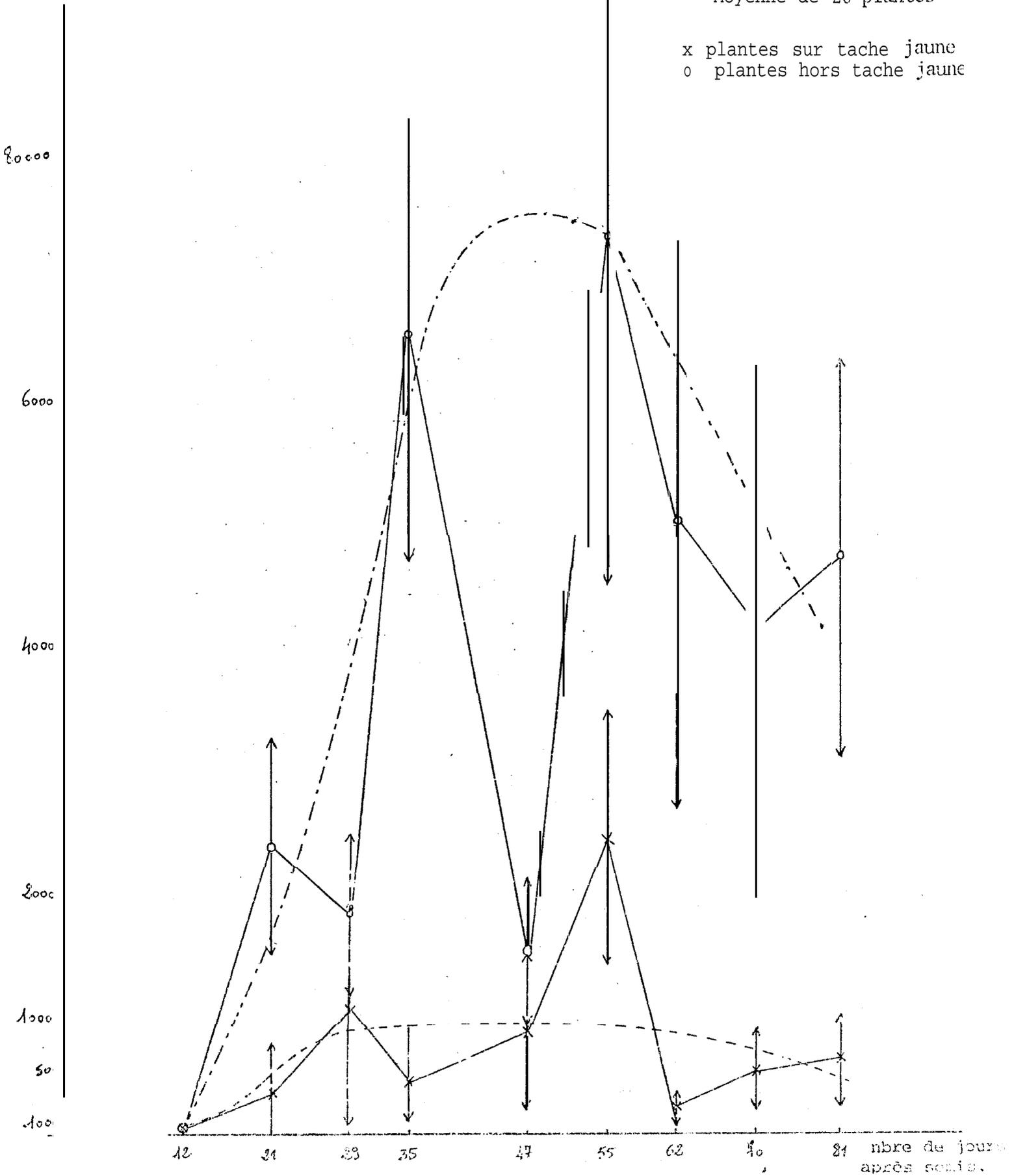
Activité réductrice moyenne de l'acétylène par plante

Nanomoles d'éthylène  
par plante

Thilmakha 1978

Moyenne de 20 plantes

x plantes sur tache jaune  
o plantes hors tache jaune

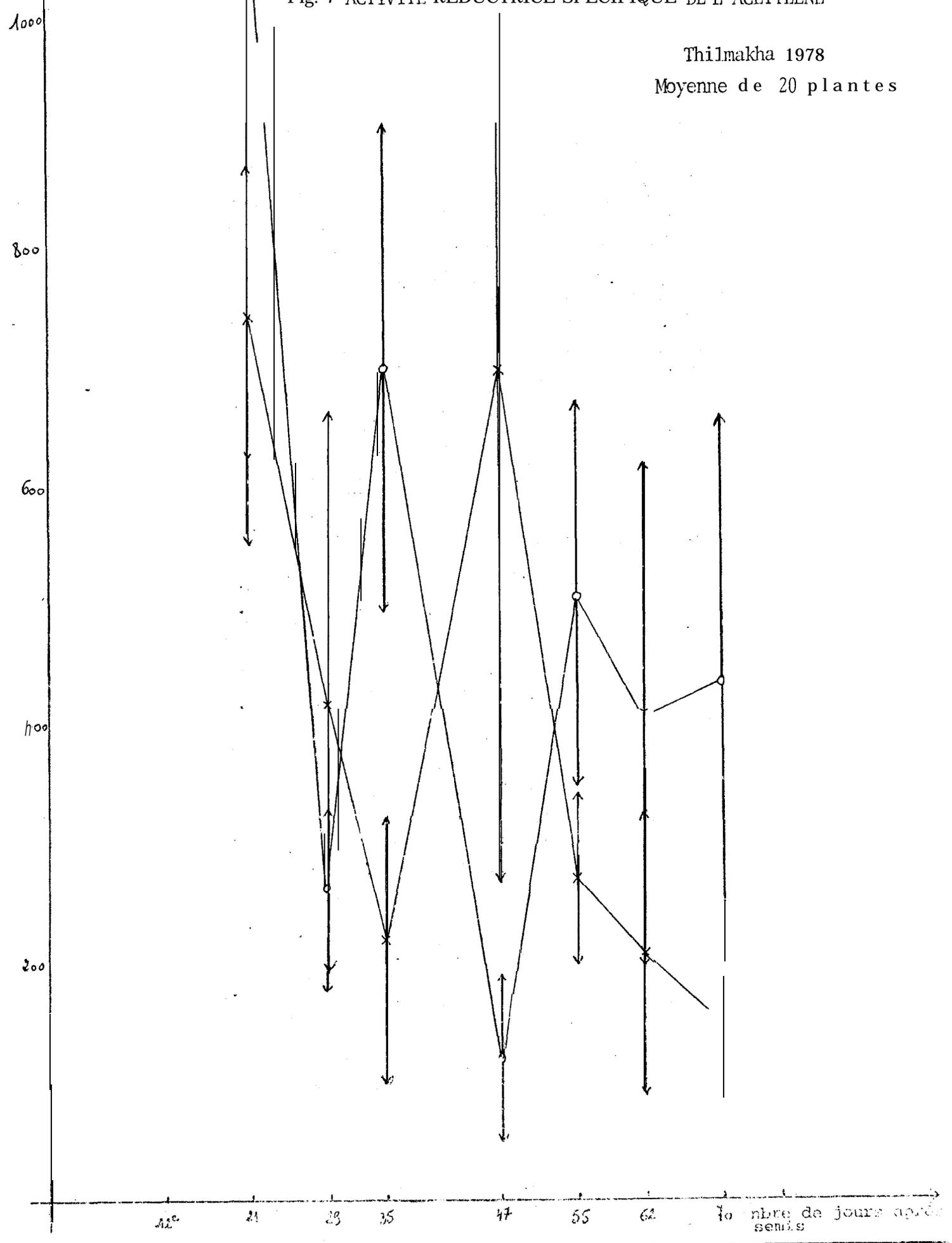


micromole h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup>  
sec de nodosité

Fig. 7 ACTIVITE REDUCTRICE SPECIFIQUE DE L'ACETYLENE

Thilmakha 1978

Moyenne de 20 plantes



On songe alors à l'hypothèse suivante : l'activité nitrogénasique (qui devient efficiente entre le 10<sup>ème</sup> et le 20<sup>ème</sup> jour) étant réduite, la plante a une nutrition azotée symbiotique déficitaire sur "tache jaune". Elle est alors carencée en azote après le 20<sup>ème</sup> jour, quand les réserves d'azote des cotylédons sont épuisées et que l'azote du sol n'est plus disponible en quantité suffisante par rapport aux besoins de la plante. Au contraire, "hors tache jaune", l'azote fourni à la plante par le système fixateur symbiotique prend le relais des apports cotylédonaires et compense le déficit de la nutrition minérale azotée par l'absorption racinaire de l'azote du sol par rapport aux besoins de la plante.

L'ARA globale d'une plante est déterminée par le poids des nodosités, l'efficacité des nodosités et la fourniture par la plante de substrats nécessaires à l'activité nitrogénasique des nodosités.

Le calcul de l'ARA spécifique notée  $ARA_s$  permet de préciser l'incidence du nombre de nodosités par rapport à leur efficacité, sur l'ARA globale de la plante. En effet, l' $ARA_s$  est le rapport de l' $ARA_g$  (ARA globale de la plante) sur le poids sec des nodosités. On l'exprime en micromole d'éthylène. h-l. g-l sec de nodosité. Si l' $ARA_s$  est voisine pour les plantes "taches jaunes" et "hors taches jaunes" cela signifie que la différence d' $ARA_g$  s'explique essentiellement par la différence de nodulation. Par contre, des  $ARA_s$  différentes indiquent une différence d'activité nitrogénasique des nodosités qui résultent, soit d'une différence d'efficacité des souches présentes dans les nodosités, soit d'une différence d'activité des plantes dans la relation symbiotique avec les bactérofdes.

Les calculs d' $ARA_s$  des plantes prélevées à Thilmakha, met en évidence une variabilité extrême avec des écarts types souvent supérieurs à la mesure elle-même.

Néanmoins, on remarque sur tache jaune, des  $ARA_s$  élevées du 21<sup>e</sup> au 29<sup>e</sup> jour (de l'ordre de 700 et 400 micromoles/heure/gr.), ce qui signifierait que les souches présentées sur "taches jaunes" sont pour la plupart efficaces et que à ces dates, il n'y aurait pas de déficience de l'activité de la plante dans la symbiose. A partir du 35<sup>e</sup> jour, cette  $ARA_s$  baisse

aux alentours de 200 micromoles/heure/g<sup>r</sup> . contre plus de 400 micromoles/h/g "hors tache jaune". On peut émettre l'hypothèse qu'à ce stade, l'activité physiologique réduite des plantes ,remarquée par le ralentissement de la croissance, s'applique également à la relation symbiotique légumineuse-rhizobium. La nodosité recevant moins de substrat énergétique de la plante, aurait en conséquence une activité ni trogénasique réduite.

Une nouvelle série de mesures plus précises et plus fréquente, réalisée pendant les 30 premiers jours permettrait de tracer des courbes précises d'évolution de l'ARA et de situer à quel moment les mesures ARAS deviennent significativement différentes.

En effet, si on a  $ARA_r(TJ) < ARA_r(HTJ)$  et  $ARA_s(TJ) = ARA_s(HTJ)$   
'NTJ < NHTJ (nombre de nodosités)

alors on peut penser que l'origine du phénomène de déficience de fixation symbiotique se situe au niveau du processus de nodulation avec 2 hypothèses :

ou { non rencontre rhizobium-racine  
{  
{ non réponse de la plante à l'infection

et non au niveau de l'activité nitrogénasique des nodosités une fois formées qui résulterait d'une inefficience de la souche de rhizobium, au d'une déficience de la plante dans la relation symbiotique d'activité fixatrice (p. ex. absence de molybdène , non-synthèse de leghémoglobine).

### III. OBSERVATION DES SYSTEMES RACINAIRES SUR "TACHE JAUNE" ET "HORS TACHE JAUNE" Thilmakha 1978.

Les racines des plantes prélevées à Thilmakha ont été observées au laboratoire. Nous avons tenté de distinguer des aspects remarquables des racines des plantes sur "tache jaune" et "hors tache jaune" au cours du cycle et de situer les dates d'apparition de différences selon les sites.

Les différences entre le système racinaire des plantes sur "taches jaunes" et celui des plantes "hors taches jaunes" ont été bien observées à partir du 55ème jour sur les plantes prélevées à Thilmakha. Elles se caractérisent par les 3 phénomènes suivants :

1 - peu de racines latérales et peu de radicelles sur les plantes "tache jaune".

Parfois, sur certaines plantes "taches jaunes" le système racinaire se résume à un pivot, 2 à 3 racines latérales, complètement dépouillées de toute radicelle. D'une manière générale, le nombre de racines latérales est inférieur à partir du 55ème jour.

Mais le fait le plus caractéristique est le nombre réduit des radicelles sur les racines de plantes "taches jaunes".

Par contre, l'observation d'états très différents de développement des racines latérales nous a amené à classer en 2 types différents de racines des plantes prélevées sur "tache jaune" à partir de l'observation du 55ème jour.

Type 1 - Système racinaire atrophié avec seulement un nombre très limité inférieur à 5- de racines latérales et quasiment pas de radicelles sur ces racines et le pivot.

Type II - Système racinaire avec de nombreuses racines latérales, mais peu de radicelles sur ces racines latérales. Ces deux types pourraient d'ailleurs correspondre à des stades plus ou moins extrêmes de l'évolution d'un même phénomène.

Il n'a pas été possible de dater avec précision, l'apparition de ces symptômes. Toutefois au 35ème jour, aucune distinction remarquable n'était observée au niveau du développement du système racinaire des différentes plantes prélevées.

2 - Subérisation des racines principales des plantes "tache jaune".

On note en effet que, les racines des plantes prélevées sur "tache jaune" présentent une couleur brune soutenue après lavage à l'eau, con-

trairement au.. racines de plantes "hors tache jaune" dont la couleur est plutôt blanchâtre.

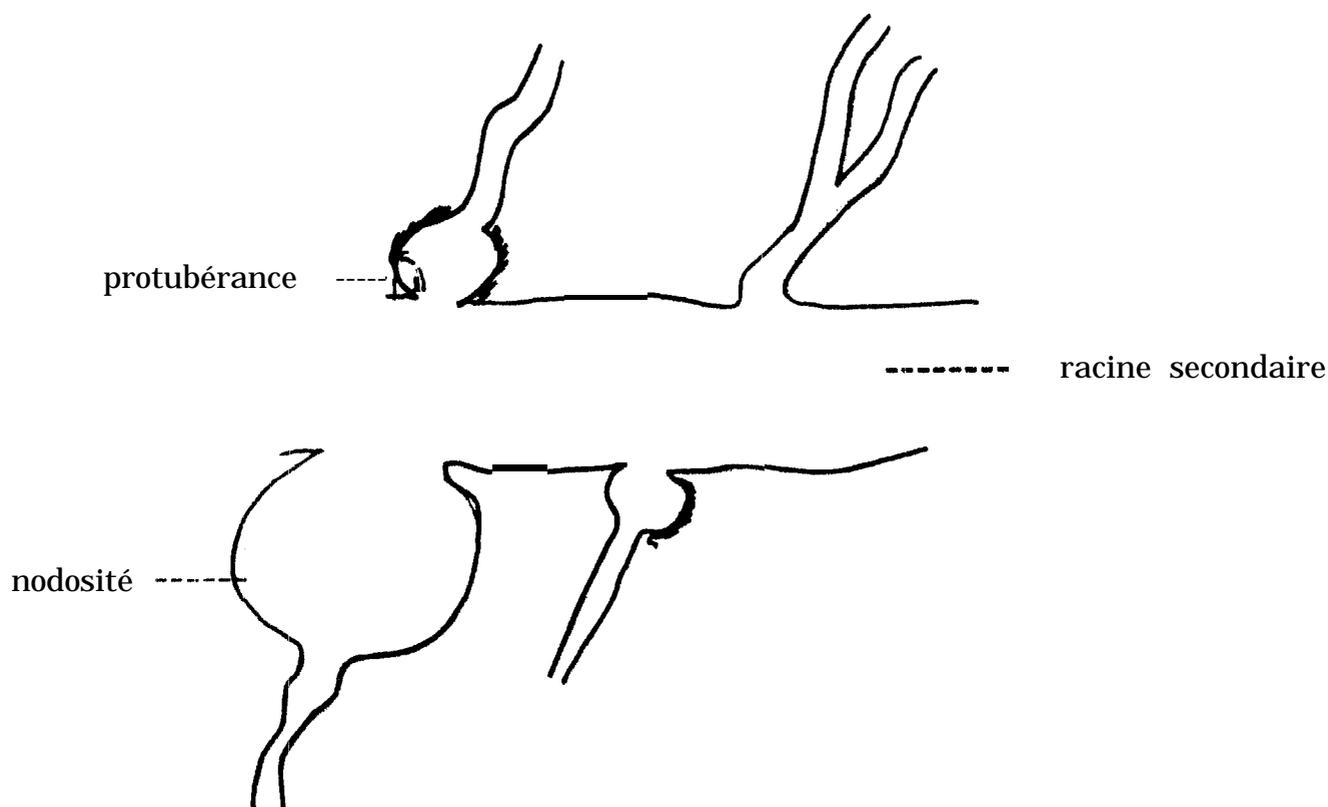
Cette différence correspondrait à une subérification des racines des plantes "taches jaunes".

### 3 - Présence de protubérances nombreuses sur les racines des plantes prélevées sur "tache jaune".

On désigne par "protubérance" de petits organes de 1mm de diamètre environ, que l'on trouve sur les racines des plantes prélevées à Thilmakha .

Très nombreux sur les racines de type 1 des plantes prélevées sur "taches jaunes", ils constituent le long du pivot et des racines latérales, une succession de glomérulles qui ont l'aspect de petites nodosités ou de nodosités atrophiées. (cf. photo Annexe III) .

Ces protubérances sont généralement rencontrées à l'aisselle d'un radicelle.. Toutefois, il importe de remarquer que tous les radicelles n'ont pas de ces glomérulles à leur base.



- Observation (loupe binoculaire) d'un fragment de système racinaire au 35e jour.

Par ailleurs, ces protubérances observées en très grand nombre sur les racines de type I et II des plantes prélevées sur "tache jaune", sont également présentes, mais en nombre très réduit sur les racines des plantes "hors tache jaune".

Il n'a pas été possible de dater avec précision l'apparition de des glomérules dans le cycle végétatif de l'arachide cultivé à Thilmakha. Par contre, en observant les radicelles dès le 12<sup>ème</sup> jour, on note à la base de plusieurs d'entre eux un petit amas, qui paraît être l'agglomération d'un chevelu radicaire dense et de particules fines de sols. Bien que situés au même emplacement que ces amas, les glomérules observés au 35<sup>e</sup> jour, une fois bien nettoyés se présentent à la binoculaire comme un petit renflement entouré d'une agglomération serrée et dense de filaments. Plus tard encore, les "protubérances" de couleur brun-foncé, souvent isolées en plusieurs points de la racine, sans radicelle adjacente ne montrent plus ce tissu filamenteux.

Nous avons songé aux hypothèses suivantes :

- cicatrisation tissulaire à l'emplacement de l'émission du radicelle à travers le cortex de la racine latérale

- cicatrisation résultant d'une nécrose des radicelles à la suite d'une blessure causée à la plante par un agent chimique ou biologique externe à la plante.

- tumeur résultant de l'infection de la plante par un micro-organisme, rhizobium ou autre, l'observation au microscope optique de broyats de ces protubérances mettant en évidence un grand nombre de micro-organismes dans la préparation.

Or, les sites d'infection de l'arachide par le rhizobium sont localisés à l'aisselle de radicelles (où l'on observe ensuite les nodosités, et non à l'extrémité d'un poil absorbant comme chez de nombreuses autres légumineuses). Cette concordance de localisation des nodosités et des protubérances nous a amené à approfondir les remarques ci-dessus à l'aide :

1 - d'observations au microscope électronique sur des coupes réalisées dans ces protubérances et les comparant à des coupes réalisées dans de jeunes nodosités (sans lég'hémoglobine) d'une part et des nodosités bien

développées (avec un important noyau de léthémoglobine) d'autre part (cf. photos page 46 ) ; clichés réalisés par Monsieur CHAUVE dans le laboratoire de microscopie électronique de l'université de DAKAR dans le Département d' Ichtyologie du Professeur MATTEI .

Ces observations montrent que les cellules végétales des protubérances ne sont pas chargées de bactéroïdes comme les cellules de nodosités. Par contre, il a été possible de repérer dans les tissus de "protubérances" plusieurs cellules végétales avec dans le plasma, des structures présentant une double membrane, caractéristique d'organismes cellulaires de petites tailles identifiables à des bactéries.

Ainsi, d 'après ces observations, les protubérances ne s'apparenteraient pas à des nodosités "atrophées", ne réfutant toutefois pas l'hypothèse du tissu infectieux.

2. - d'une expérimentation en vue de tester l'hypothèse de l'occupation des sites d'infection racinaire par quelques agents antagonistes de rhizobium et de l' isoler éventuellement.

Celle-là n'a pas donné de résultats significatifs, et n'est pas exposée dans ce rapport.

D. SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS COMPAREES DES PLANTES AU CHAMP SUR "TACHES JAUNES" ET "HORS TACHES JAUNES".

Par l'observation suivie de la Végétation sur les parcelles d'arachide de l'essai "influence des techniques culturales sur la modulation" à Thilmakha pendant l'hivernage 1978, il a été possible de situer entre le 25ème et le 35ème jour après le semis, l'apparition des premiers symptômes de jaunissement sous forme d'un palissement général des feuilles des plantes d'arachide.

A l'intérieur du contour des "taches jaunes" alors reporté sur le plan, on observe à partir du 35ème jour, des évolutions différentes des plantes pales;

- certains reverdissements sur des zones qui se dessinent à l'intérieure ou en bordure des taches jaunes, le phénomène de reverdissement est observé dès le 35ème jour, mais certaines zones de reverdissement sont apparues aussi tard que le 55ème jour. Et il ne s'agit pas d'un phénomène s'appliquant à des plantes isolées au milieu de plantes jaunes, mais bien à plusieurs plantes pales voisines qui définissent une "tache de reverdissement".

Les autres plantes pales au 29ème jour jaunissent progressivement et les "taches jaunes" sont particulièrement nettes et de couleur prononcée avant le 47ème jour. On observe alors deux évolutions différentes des plantes jaunes :

- les plantes restent jaunes, et montrent une croissance ralentie avec une taille inférieure à celle des plantes voisines "hors tache jaune". Mais elles s'y maintiennent ainsi jusqu'à la fin du cycle et donneront même quelques gousses,

- les plantes jaunes ont une taille très réduite, qui reste similaire à celle des plantes "hors tache jaune" au 20.25ème jour : c'est le "nanisme jaune". Elles dépérissent après le 60ème jour et meurent avant la fin du cycle. Parfois des taches jaunes entières sont ainsi affectées par cet état des plantes : d'autre fois seulement quelques plantes présentent cet état de "nanisme jaune".

Le suivi régulier du développement et de l'activité de la symbiose rhizobium-arachide sur "tache jaune" et "hors tache jaune" à Thil-makha pendant le même hivernage 1978 et sur les mêmes échantillons de plantes que ci-dessus met en évidence les points suivants :

- la nodulation (émission de nodosités) "hors tache jaune" qui commence vers le 12<sup>ème</sup> jour est régulière et rapide jusqu'au 60<sup>ème</sup> jour, où le nombre de nodosités par plante est maximum avec une moyenne de 150 nodosités/plante. Elle est quasi-absente chez les plantes sur "tache jaune" où le nombre de nodosités par plante ne dépasse pas 10 en moyenne tout au long du cycle.

- on note certes, un poids sec moyen des nodosités sur plante jaune 3 fois plus élevé que celui des nodosités sur plante témoin. Mais l'activité nitrogénasique de la symbiose mesurée au long du cycle par la méthode de mesure de l'activité réductrice globale de l'acétylène (ARAG) - suit une courbe aplatie donc le maximum ne dépasse pas 10 000 nanomoles d'éthylène/h/plante, sur "tache jaune". "Hors tache jaune", elle suit une courbe en cloche dont le maximum s'établit autour du 50<sup>ème</sup> jour à une moyenne de 75 000 nanomoles/h/plante. On observe donc une déficience de la fixation symbiotique d'azote atmosphérique sur tache jaune,

- les mesures d'ARA spécifique ( $APA_s = \text{ARA}_g / \text{poids sec. de nodosités en gr}$ ) sont par contre assez élevées sur "tache jaune" jusqu'au 50<sup>ème</sup> jour!, 523 micromoles d'éthylène/h/gr sec de nodosités ; 551 micromoles d'éthylène/h/gr, pour les plantes "hors tache jaune", moyenne des prélèvements du 21<sup>ème</sup>, 29<sup>ème</sup>, 35<sup>ème</sup>, 47<sup>ème</sup> jour. Ainsi, les nodosités formées sur plante "hors tache jaune" apparaissent aussi efficaces que celles formées sur plantes "hors tache jaune". C'est à dire

1/ que les souches présentes sur "tache jaune" seraient aussi efficaces que celles présentes dans les sols "hors tache jaune",

2/ et que une fois la nodosité formée sur une plante sur "tache jaune", il n'y aurait pas de déficience significative pour aucune des activités physiologiques de la plante et des bactéroïdes dans l'activité symbiotique de fixation de l'azote atmosphérique. (En particulier, cette observation est contradictoire avec l'hypothèse d'une carence en molybdène, à l'origine d'une hypothétique déficience en légghémoglobine, cette dernière intervenant dans le processus de fixation de  $N_2$ , en immobilisant l'oxygène inhibiteur

de 13 ni trogénage . D'ail leurs les nodosités ont montré généralement une couleur rouge due à la présence de l'éghémoglobine) .

On observe donc un retard de nodulation d'une part et une faible nodulation des plantes sur "tache jaune".

On peut alors songer aux hypothèses suivantes :

. les plantes sur "taches jaunes" ne répondent pas à l'infection par le rhizobium du fait d'une perturbation des activités physiologiques, biochimiques de la plante, spécifiques nu développement de la nodosité une fois que la plante est infectée par le rhizobium.

. ou alors, la probabilité de rencontre de la plante (à travers le développement de son système racinaire) avec un rhizobium du sol, est très faible sur "tache jaune".

D'où l'importance de l'observation des racines au cours du cycle végétatif sur les plantes prélevées à Thilmakha.

Des différences dans l'état de ramification du système racinaire des plantes prélevées sur "taches jaunes" sont apparues très nettement à l'observation du 55ème jour, par rapport à celui des plantes prélevées "hors tache jaune". Les premières en effet, se caractérisent par 2 types de systèmes racinaires selon les plantes :

. type I = des racines latérales relativement nombreuses , mais très peu de radicelles,

. type II = système racinaire atrophié avec 2 à 5 racines latérales seulement;, et quasiment pas de radicelle.

Il est difficile de dater l'apparition de ces différents symptômes. Toute fois, des protubérances ont été observées dès les prélèvements du 35ème jour , alors qu'à cette même date aucune différence de développement des systèmes racinaires sur "tache jaune" et "hors tache jaune" n'était observée.

CHAPITRE II

---

OBSERVATION AU CHAMP DE DIFFERENTS FACTEURS  
EDAPHIQUES SUR "TACHES JAUNES" ET "HORS TACHES JAUNES"  
PENDANT L'HIVERNAGE 1978 - APPROCHE DU MILIEU.

OBJECTIFS ET PRINCIPES DES OBSERVATIONS ET MESURES AU CHAMP SUR LES FACTEURS EDAPHIQUES.

A. INTRODUCTION : L'origine du phénomène de jaunissement dépérissement des plantes d'arachides observées sur les "taches jaunes" se situe dans le champ des relations entre la plante et son milieu.

Ce dernier se définit par le sol, le climat et leurs interactions, sur lesquels interviennent les actions de l'homme.

Au niveau de la recherche des causes du jaunissement de l'arachide sur "taches jaunes", il apparaît possible de réduire l'approche du milieu au champ des relations plantes - facteurs du sol, en dehors de l'action du climat et de phénomènes propres à l'organisation spatiale des facteurs édaphiques dans le profil cultural. En effet, s'il est vrai que l'étendue des "taches jaunes" observées dans le bassin arachidier serait plus grande lors d'hivernages marqués par une sécheresse et leur localisation plus fréquente sur où la proximité d'accidents topographiques spécifiques, il reste que le phénomène de jaunissement de l'arachide a été observé lors d'hivernages différents sur des emplacements identiques dans les cartographies "taches jaunes" réalisées à Thilmakha et il a été reproduit en laboratoire en milieu contrôlé sous serre, en pot sur des Cchantil lons de sol prélevés sur "taches jaunes" à Thi lmakha .

Nous sommes donc amenés à rechercher parmi les facteurs édaphiques, les causes annuelles du jaunissement de l'arachide sur les "taches jaunes".

Cela n'élimine pas la prise en compte de l'incidence de facteurs climatiques, ou de l'état du profil cultural et de la topographie, voir même de l'action de l'homme sur l'origine du phénomène au sens du processus de développement des causes du jaunissement de l'arachide dans des zones spécifiques ,

Appliquée à l'étude des "taches jaunes" de l'arachide, l'approche du milieu ne peut pas se limiter à l'observation des relations des facteurs

édaphiques avec la plante seule. Compte tenu de l'observation d'une déficience de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique sur "tache jaune" et des expérimentations prouvant l'incidence de cette déficience sur le jaunissement de l'arachide, cette approche se situe dans le champ des relations sol - plante - rhizobium. Elle s'applique donc: aux relations des facteurs édaphiques avec les partenaires de la symbiose arachide.

Il est nécessaire alors de préciser les différentes hypothèses que l'on peut formuler sur l'état des relations plante-rhizobium sur les "taches jaunes" (fig. 8 page 55 ).

Ainsi, il apparait que l'action des facteurs du milieu sur la symbiose peut s'opérer :

1. - Soit sur la plante

- les nodosités sont présentes, mais la plante ne fournit pas les substrats nécessaires à l'activité nitrogénasique des bactéroïdes, ou ne remplit pas les activités physiologiques qui lui sont spécifiques par rapport à l'activité de la nitrogénase,
- la plante est infectée par le rhizobium mais ne répond pas à cette infection par l'initiation et le développement d'une nodosité,
- la plante a une racine peu développée au point que la rencontre rhizobium-arachide soit peu probable, ou sur une racine bien développée, il y a un nombre réduit de sites d'infection.

2. - Soit: sur le rhizobium

- rhizobium infectieux en quantités insuffisantes dans le milieu,
- rhizobium efficient trop peu nombreux,
- rhizobium peu actif dans le milieu, se reproduisant peu ou lentement,

D'où la nécessité de connaître l'état de la population de rhizobium dans le sol.

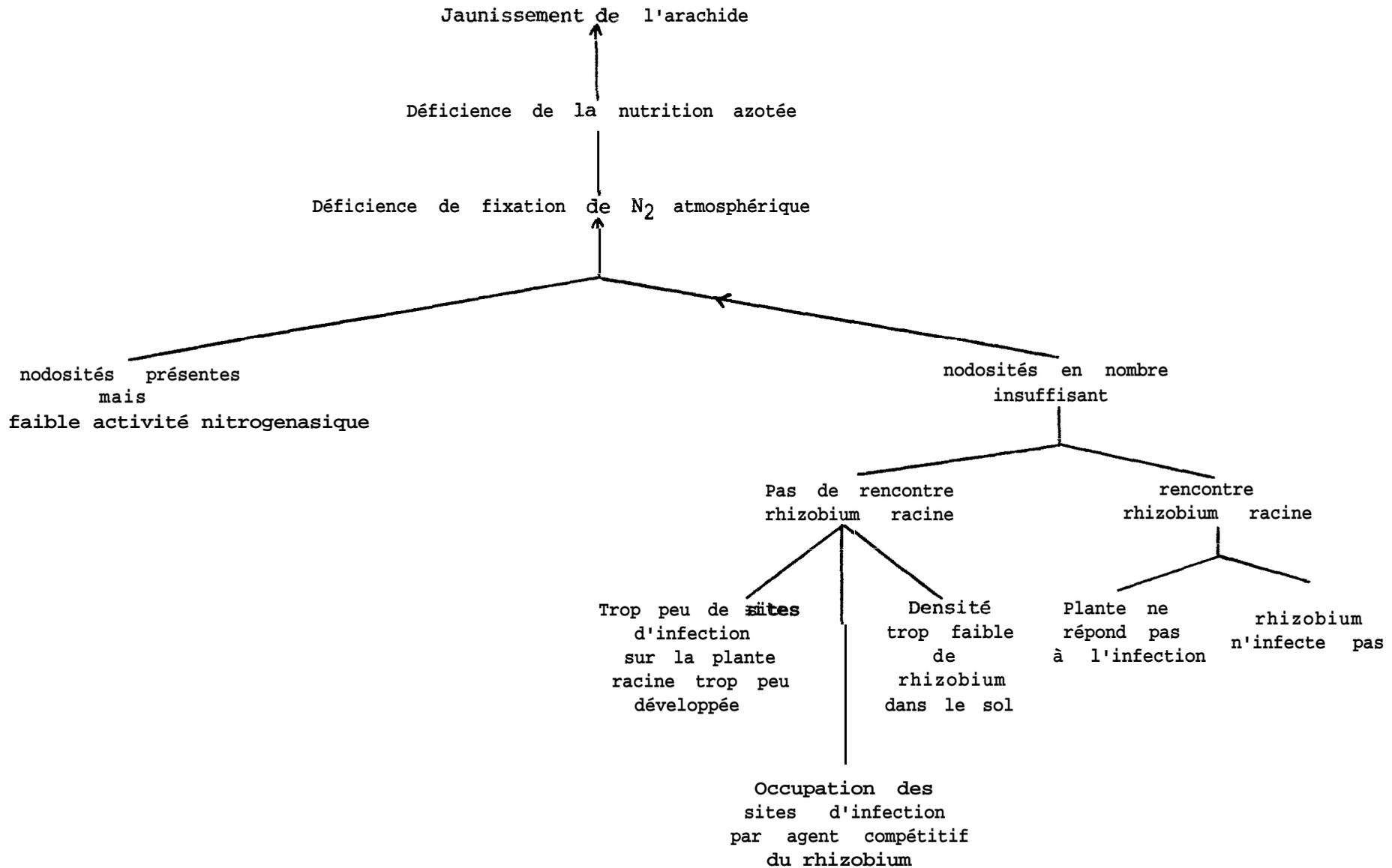


Fig. 8 - Différentes hypothèses sur l'état des relations rhizobium-légumineuse sur "taches jaunes" de l'arachide.

Par ailleurs, cette approche du milieu implique un choix des facteurs édaphiques à observer. Fondé sur les hypothèses déjà avancées, sur les remarques ci-dessus et les moyens matériels du CNRA de Bambey, ce choix a porté sur les facteurs suivants :

- . nutriments minéraux du sol,
- . facteurs biotiques : rhizobium  
nématodes  
présence de micro-organismes dans les  
“protubérances”,  
présence de micro-organismes antagonis-  
tes de rhizobium,
- . complexe physico-chimique du sol : pH  
teneur en matière organi-  
que,  
capacité d'échange catio-  
nique,  
taux d'aluminium échangea-  
ble,  
taux de manganèse  
teneur en azote.

Des observations et mesures sur ces différents facteurs sont donc réalisées sur “taches jaunes” et “hors taches jaunes”. Elles visent à l'établissement de corrélations entre ces facteurs et le phénomène de jaunissement observé. Elles ne permettent néanmoins pas de démontrer rigoureusement les relations de cause à effet du milieu sur la symbiose arachide - rhizobium. Une telle démonstration résulte de l'expérimentation univoque.

Cependant ces observations peuvent permettre de réduire le champ des hypothèses, en hiérarchisant dans le temps, l'action de ces différents facteurs. Nous avons vu en effet (chap. 1) que le phénomène de jaunissement de l'arachide au champ se déclare très tôt vers le 30ème jour, tandis que la déficience de nodulation observée est encore plus précoce vers le 20ème jour, de même que le ralentissement de la croissance des plantes. Tout facteur édaphique dont l'action interviendrait après ces dates, quoi qu'il apparaisse en relation avec le phénomène, ne pourrait pas être considéré comme facteur causal.

L'observation au champ constitue donc un moyen de hiérarchiser dans le temps, l'action de différents facteurs qui apparaissent liés au phénomène de jaunissement étudié.

De plus, l'observation et la mesure des facteurs édaphiques choisis, peut permettre de formuler de nouvelles hypothèses ou au contraire d'en éliminer d'autres par les calculs de corrélation des mesures sur ces facteurs avec les mesures réalisées sur le phénomène de jaunissement et la déficience de fixation symbiotique.

Enfin, ces observations au champ de différents facteurs édaphiques s'appuient éventuellement sur des traitements expérimentaux ; il en est ainsi des observations sur les nématodes qui seront réalisées dans un dispositif croisé "tache jaune" "hors tache jaune" avec nématicide ; pour la recherche sur l'identification des "protubérances" (cf. chap. 1) , il est apparu nécessaire de réaliser un dispositif expérimental en laboratoire ; un traitement oligoélémentaire a été réalisé dans l'essai de Thilmakha pendant l'hivernage 1978.

#### I. -- ANALYSE MINÉRALE DES PLANTES SUR "TACHES JAUNES" ET "HORS TACHES JAUNES" A THILMAKHA AU COURS DE L'HIVERNAGE 1978.

L'objectif de l'analyse minérale des plantes, appliquée à la partie aérienne (tige + fanes + gousses) et réalisée sur les plantes prélevées sur "tache jaune" et "hors tache jaune", est de mettre en évidence des relations au cours du cycle végétatif entre la nutrition minérale de la plante et le phénomène étudié.

Mais cette même analyse minérale des plantes est également un moyen d'information sur l'état du milieu édaphique. En effet, à l'exception de l'azote dont une part est fournie par la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique , les éléments de la nutrition minérale de la plante sont prélevés dans le sol. Si pour deux plantes ayant une activité physiologique identique on observe une composition différente pour un élément <sup>se renou</sup> dans les sols sur lesquels poussent ces deux plantes est différente.

Toutefois, ceci n'est vrai. que si tous les autres facteurs de l'absorption racinaire sont identiques pour ces deux plantes.

Dans l'application de cette démarche à l'étude des phénomènes observés sur "tache jaune", il conviendra donc de mener la discussion des résultats en référence précisément aux dates de prélèvement. Nous avons vu que l'ensemble des activités de croissance de la plante sont modifiées avant le 29<sup>ème</sup> jour. Aussi les différences observées après cette date sur les plantes prélevées sur "tache jaune" par rapport à celles prélevées "hors tache jaune" pourront fort bien résulter d'une activité physiologique différente d'absorption des éléments minéraux.

Ces analyses portant sur l'appareil aérien les informations fournies ne pourront s'appliquer qu'à la dynamique des éléments minéraux dans la partie aérienne de la plante. Une accumulation préférentielle d'un élément toxique dans les racines ou une carence d'un élément qui n'intervient qu'au niveau des racines ne peut pas apparaître dans cette démarche.

Avant tout, les analyses de teneur en azote vont permettre de préciser l'état de la nutrition azotée des plantes sur "taches jaunes" par rapport aux plantes témoins prélevées "hors taches jaunes".

Puis seront abordés les résultats des analyses des macroéléments P - K - Ca - Mg sur les plantes prélevées au cours du cycle.,

Enfin, le cas des macroéléments sera étudié à partir d'analyses réalisées sur un nombre réduit de prélèvements au cours du cycle, ainsi qu'à l'aide d'un traitement d'épandage foliaire d'une solution d'oligoéléments.

1. " Teneur en azote des plantes sur "taches jaunes" et "hors taches jaunes" pendant l'hivernage 1978 à Thilmakha.

a/ Méthodes

Les plantes prélevées à Thilmakha (cf. chap. 1) après séchage à l'étuve et pesée, sont regroupées et homogénéisées en échantillons moyens pour chaque emplacement de prélèvement.

On a donc cinq répétitions par date de prélèvement correspondant aux cinq emplacements de prélèvement au cours du cycle.

Les plantes après broyage sont analysées dans le laboratoire d'analyse du C N R A de Bambej .

Les dosages d'azote sont réalisés selon la méthode de Kjeldahl.

b/ Résultats : courbes d'évolution de la teneur en azote et de la quantité d'azote total par plante sur "tache jaune" et "hors tache jaune" à Thilmakha 1978 .

Les analyses de Kjeldahl fournissent le taux d'azote de la plante. La quantité d'azote total est obtenue en multipliant ce taux par le poids sec de la plante.

Les analyses étant réalisées sur un échantillon moyen de 4 plantes homogénéisées, on calcule la quantité totale d'azote par plante en multipliant le taux obtenu sur l'échantillon par le poids sec de chacune des plantes de cet échantillon.

La courbe d'évolution du taux d'azote au cours du cycle végétatif sur plante témoin présente une caractéristique essentielle : la décroissance régulière de ce taux avec une pente de  $- 0,06 \% N \cdot j^{-1}$  du 21<sup>e</sup> au 50<sup>e</sup> jour et de  $- 0,07 \% N \times j^{-1}$  du 21<sup>e</sup> au 35<sup>e</sup> jour.

Quelles informations peut alors nous fournir la mesure instantanée au cours du cycle végétatif des taux d'azote  $\zeta_n$ , compte tenu de sa croissance au cours du temps ?

$$\zeta_n = \frac{N_t}{P^1}$$

$\zeta_n$	taux d'azote
$N_t$	azote total
$P^1$	poids de la plante (parties aériennes)

Le taux d'azote mesuré à un moment donné dépend de la nutrition azotée de la plante pendant tous les jours précédents du cycle et de sa croissance (activité photosynthétique). Remarquons de plus que nutrition azotée et croissance de la plante sont en relation avec cependant 1 'intervention d'autres facteurs limitants sur chacune de ces activités physiologiques.

Si on compare les valeurs de  $\zeta$  pour deux plantes avec  $\zeta_{n^1} > \zeta_{n^2}$  que peut-on déduire quant à 1 'état de la nutrition azotée.

$$\begin{aligned} \text{On a } N_t^1 &= \zeta_{n^1} \times ps^1 \\ N_t^2 &= \zeta_{n^2} \times ps^2 \end{aligned}$$

Si  $ps^1 > ps^2$  on a  $N_t^1 > N_t^2$  donc le taux le plus élevé correspond à 1 'état de la nutrition azotée cumulée la plus élevée. Mais à ce moment là, compte tenu que la nutrition azotée de la plante dépend de l'activité photosynthétique de la plante et donc de sa croissance, on ne peut pas conclure à une carence en azote, mais simplement remarquer un ralentissement de la nutrition azotée.

Si  $ps^1 < ps^2$  on peut alors avoir suivant les valeurs relatives de  $ps^1$ ,  $\zeta_{n^1}$ ,  $ps^2$  et  $\zeta_{n^2}$  :

$$N_t^1 > N_t^2 \leftarrow \frac{\zeta_{n^1}}{\zeta_{n^2}} > \frac{ps^2}{ps^1}$$

La plante qui a un taux d'azote le plus élevé, a également la quantité d'azote total cumulée la plus élevée, Le ralentissement sur la croissance n'a pas eu d'effet par rapport à la nutrition azotée de l'une ou l'autre plante à une nutrition minérale qui par excès ou par défaut n'est pas un facteur limitant de la croissance.

$$Nt' < Nt^2 \quad \pm \quad \frac{n^1}{n^2} < \frac{ps^2}{ps^1}$$

Tab. 10 - ANALYSE DE LA TENEUR EN AZOTE DES PARTIES AERIENNES DES PLANTES PRELEVEES A THILMAKHA 1978

Moyenne de 5 emplacements de prélèvements.

		12ej	21ej	29ej	35ej	47ej	*	62ej*	72ej	84ej
taches jaunes	%N Moyenne	3,84	3,42	2,32	1,67	1,32		2,26	1,13	0,93
	σ n-1	0,33	0,31	0,39	0,26	0,13		0,86	0,21	0,14
	N total*mg	14,21	29,75	33,41	37,58	38,94		44,97	77,63	52,82
Hors taches jaunes	Moyenne % N	(3,93)	3,90	3,26	2,93	2,40		1,73	1,87	1,33
	σ n-1	(0,47)	0,46	0,37	0,11	0,16		0,80	0,22	0,20
	N total*mg	14,15	11,73	95,19	142,39	304,32		273,34	353,43	243,39

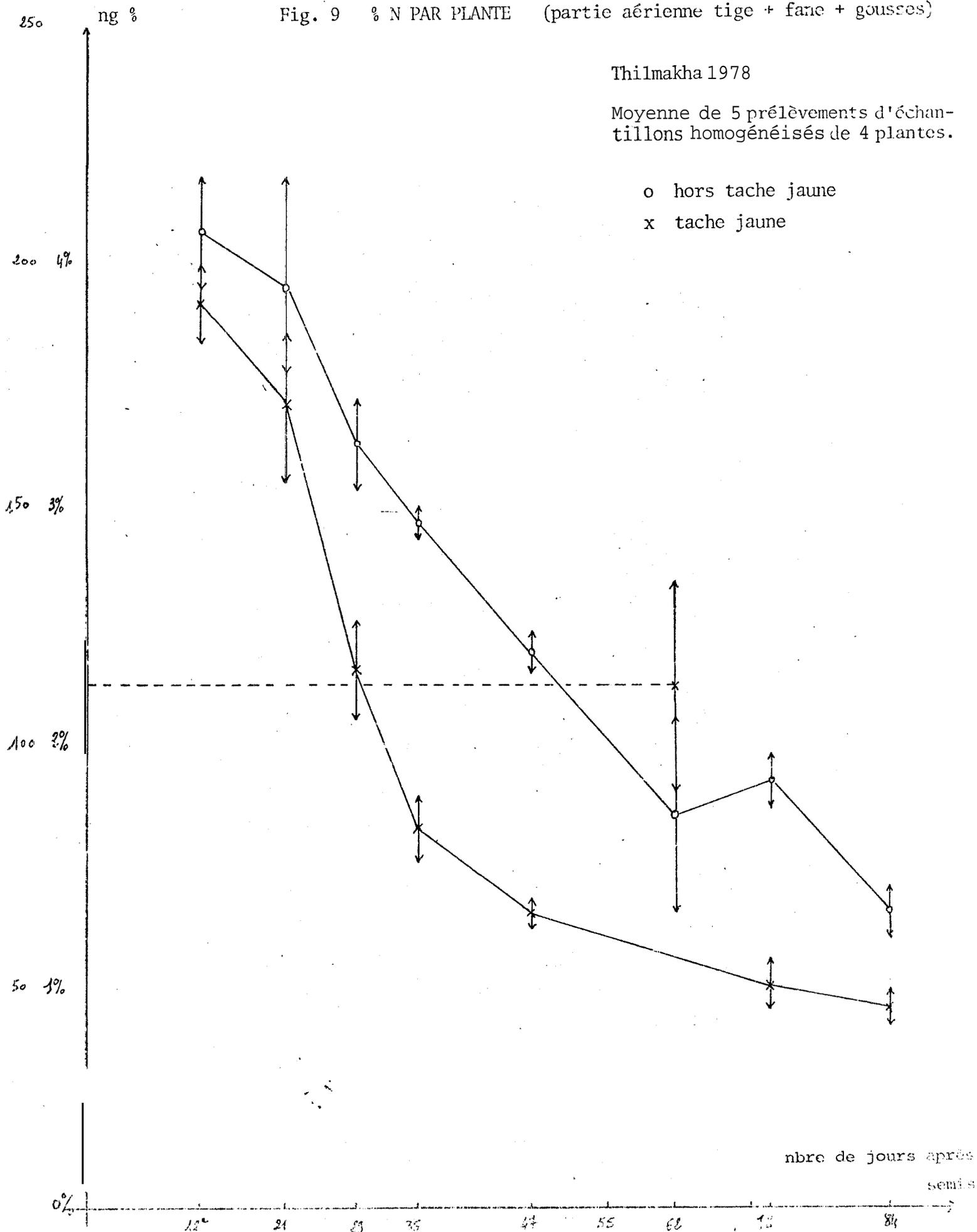
L-11

Fig. 9 % N PAR PLANTE (partie aérienne tige + fane + gousses)

Thilmakha 1978

Moyenne de 5 prélèvements d'échantillons homogénéisés de 4 plantes.

o hors tache jaune  
x tache jaune



Dans ce cas, la plante qui a le taux d'azote le plus élevé a une nutrition azotée déficitaire. Cette situation correspond au prélèvement du 62<sup>ème</sup> jour. Elle s'expliquerait par un arrêt de l'activité physiologique de certaines plantes de ce prélèvement, dont le taux moyen d'azote est voisin de celui des plantes prélevées au 30<sup>ème</sup> jour. (Rappelons qu'au 62<sup>ème</sup> jour, sur "tache jaune" il a été décidé de maintenir un prélèvement aléatoire parmi les plantes jaunes dépérissantes et les plantes jaunes non dépérissantes (chapitre 1).

Il apparait donc impossible à partir de la mesure du taux d'azote moyen par plante à une date donnée d'obtenir une quelconque information sur l'état de la nutrition azotée de la plante, sans connaître les poids secs.

Etant donné les poids secs, on connaît alors les quantités d'azote total dans la plante à l'instant donné, qui est en fait une mesure cumulée de l'activité de nutrition azotée de la plante pendant les jours précédents du cycle. On peut donc constater un état: déficitaire de cette nutrition sur une plante par rapport à une autre. Mais il ne sera possible de conclure à un déficit de la nutrition azotée que si les poids secs sont identiques. En cas contraire, il est impossible de conclure si la différence de Nt observée est due à une différence de croissance ou à une différence d'activité de nutrition azotée, d'autant plus que l'une et l'autre sont en relation.

D'où la nécessité de disposer des mesures du taux d'azote au cours du cycle ainsi que des courbes de croissance. Il est alors possible de repérer à quel moment chacune de ces 2 activités : croissance et nutrition azotée sont affectées sur les "taches jaunes" par rapport aux zones témoin et ainsi hiérarchiser les phénomènes dans le temps, établir les successions (un effet ne peut pas être antérieur à la cause qui le provoque).

Disposant des taux d'azote moyens et des poids secs moyens par plante, il est possible d'établir la courbe d'azote total par plante au cours du cycle qui est, en fait, la courbe cumulée de la nutrition azotée de la plante.

La courbe cumulée de nutrition azotée pour les plantes témoins à Thilmakha montre les faits saillants suivants :

- une rupture au 21<sup>e</sup> jour, avec accélération de l'accumulation d'azote dans la plante, et une vitesse d'accumulation constante quasiment jusqu'au 47<sup>e</sup> jour (de l'ordre de 8,29 mg N. j<sup>-1</sup>).

- un ralentissement de l'accumulation d'azote après le 47<sup>e</sup> jour,

- une perte d'azote de la partie aérienne (qui serait d'environ 25 % de l'azote total maximum dans la plante).

Malheureusement, ne disposant pas de mesure avant le 12<sup>e</sup> jour, il n'est pas possible de savoir à quel moment la plante commence à prélever de l'azote dans le sol. Ceci serait important à connaître. En effet, quelles sont les sources d'azote pour la plante :

- . N cotylédonaire
- . N sol : absorption de N du sol ; Activité nitrate réductase
- . N atmosphérique ; activité nitrogénasique .

La mesure de l'activité de nutrition azotée instantanée de la plante, résultant des 2 activités enzymatiques nitrogénase et nitrate réductase est donnée par  $dN_t$ , soit la pente de la courbe  $N_t(t)$  à l'instant  $t$ ,  
$$\frac{dN_t}{dt}$$

Toute rupture de pente résulte donc d'un changement d'activité de l'un ou l'autre des systèmes enzymatiques, ou des 2 simultanément.

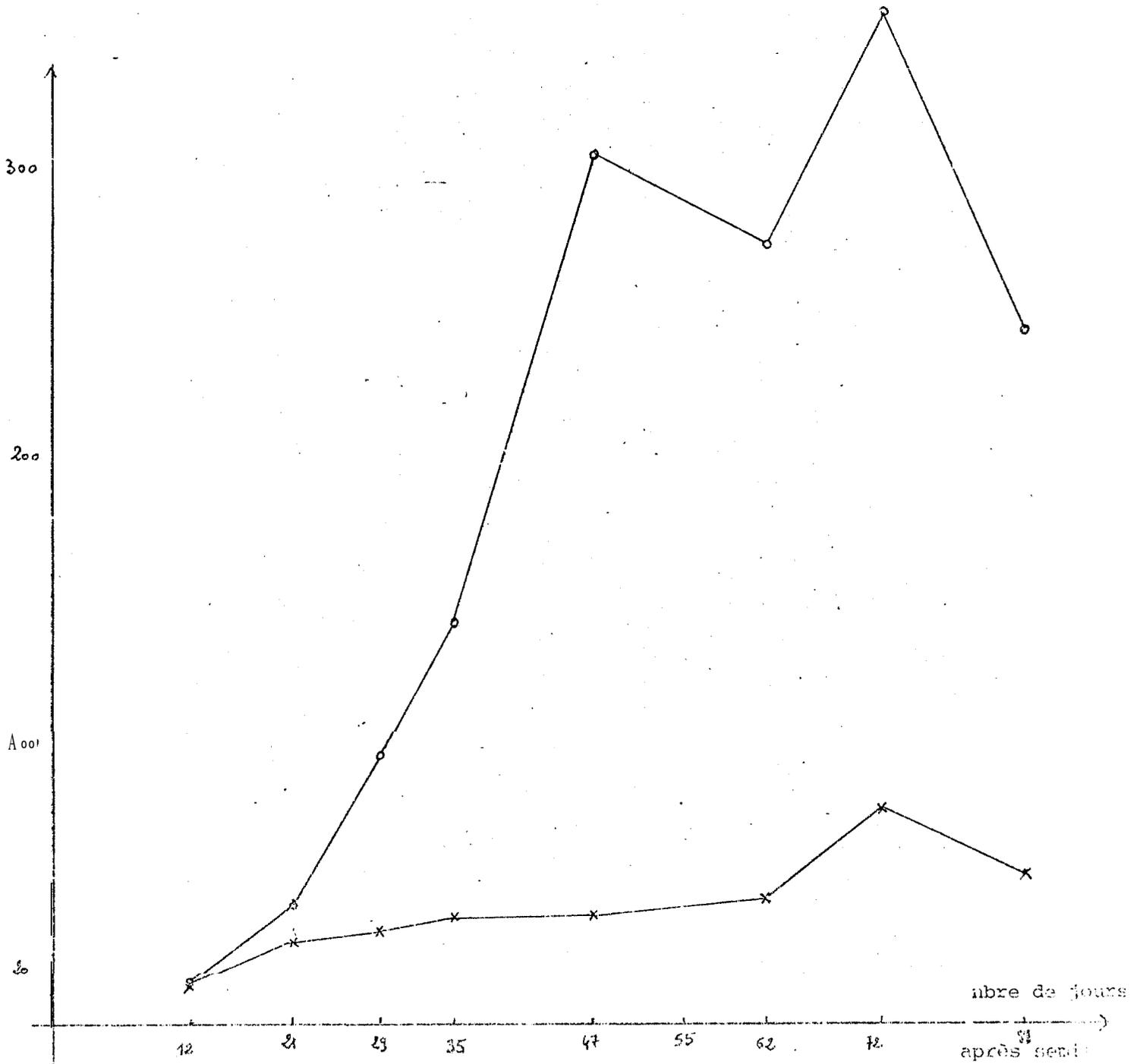
En particulier, un accroissement de la pente signifie une augmentation d'activité. Il doit être ainsi possible de dater la mise en route de l'activité nitrate réductase dans le cycle végétatif (sans doute avant le 21<sup>e</sup> jour d'après nos mesures), et à condition qu'il n'y ait pas substitution parfaitement accordée de l'activité nitrogénasique par une nouvelle rupture de pente.

Fig. 10 N TOTAL PAR PLANTE (Partie aérienne fane + tige + gousses)

Thilmakha 1978

Moyenne de 5 emplacements de 4  
plantes homogénéisées)

o hors tache jaune  
x tache jaune



Que peut on alors déduire de l'analyse comparée des courbes de nutrition azotée cumulée et de croissance (activité photosynthétique cumulée) sur "tache jaune" et "hors tache jaune" ?

La courbe de nutrition azotée sur "tache jaune" établie à partir des plantes prélevées régulièrement au cours du cycle montre à partir du 21<sup>ème</sup> jour un ralentissement très net de la nutrition azotée, c'est à dire une évolution de la quantité d'azote par plante complètement opposée à celle observée sur les plantes témoins.

Or,, en se reportant au graphique de l'activité nitrogénasique établie avec les mesures d'ARA, on remarque que "hors tache jaune", cette activité débute entre le 12<sup>è</sup> et le 21<sup>è</sup> jour. Au contraire sur "tache jaune", seulement une très faible activité nitrogénasique est enregistrée par les mesures d'ARA, d'où résulterait une faible accumulation d'azote dans les plantes. Mais alors, cet aplatissement de la courbe d'évolution d'azote total par plante est également en rapport avec une très faible activité réductase et une absorption limitée d'azote dans le sol.

Nous avons vu que les mesures d'ARA spécifiques permettaient d'infirmier une déficience de l'activité physiologique de la plante dans la symbiose et son activité dans les 35 premiers jours.

Concernant l'activité nitrate réductase et l'absorption des nitrates du sol, on peut formuler les hypothèses suivantes sur l'aplatissement de cette courbe :

- la nitrate réductase est efficace sur "tache jaune", mais les quantités d'azote disponibles dans la portion de sol prospectée par les racines sont de plus en plus limitées - ce qui peut provenir,

- . soit d'un ralentissement du développement du système racinaire et de l'épuisement de l'azote dans ce milieu racinaire limité,

- . soit de l'épuisement de l'azote dans le sol prospecté par un système racinaire comparable à celui des plantes témoins,

« la nitrate réductase est déficiente dans la plante à la suite d'une affectation du métabolisme de la plante.

Toutefois, sur ce dernier point, se rappelant que l'apport d'une fumure azotée au champ fait disparaître le jaunissement des plantes sur "tache jaune" (1968 - BLONDEL), expérience répétée en serre sur des échantillons de sol prélevés à Thilmakha (chap. III), on peut conclure qu'il ne peut s'agir d'une inactivation de la nitrate réductase, mais bien d'une limite de disponibilité d'azote du sol soit du fait de l'épuisement de l'azote du sol (que l'on pourrait dater vers le 35<sup>e</sup> jour environ, au moment où la pente de la courbe d'azote nitrogénasique plafonne entre 5 000 et 10 000 nanomoles d'éthylène par heure), ou d'un ralentissement du développement racinaire.

Mais nous disposons de peu d'information sur celui-ci, au cours des 40 premiers jours, pendant lesquels aucune déficience morphologique n'a été remarquée entre plantes chlorotiques et plantes témoins.

Pour les mesures d'azote total, nous avons un  $t = 3,23$  donc différence significative à mieux que 1 %, pour les mesures de poids secs au 21<sup>e</sup> jour, le  $t$  est de 2,33 soit une différence significative au seuil de 2 %.

Il apparaît que la nutrition azotée et la croissance des plantes sur "taches jaunes" sont affectées plus tôt dans le cycle végétatif que le 21<sup>e</sup> jour.

Remarquons alors que la fixation symbiotique débute entre le 12<sup>e</sup> et le 21<sup>e</sup> jour, et qu'elle est déjà au 21<sup>e</sup> jour significativement déficiente sur "taches jaunes". (cf. chap. 1) .

Mais les observations et mesures précédentes permettent d'hors et déjà de situer avant le 20ème jour le début de fixation symbiotique atmosphérique (confirmant les résultats de la mesure d'ARA) et entre le 12ème jour et le 20ème, le seuil de déficience de la nutrition azotée sur "tache jaune", tandis que le symptôme lui-même (jaunissement des feuilles) n'apparaît que vers le 25ème jour. Toutefois il n'est pas possible de dater cette déficience de nutrition par rapport au ralentissement de la croissance qui se situerait également entre le 12e et le 21e jour.

Ceci signifierait, à condition d'un développement et d'une activité racinaire non perturbée sur "tache jaune" pendant les 30 premiers jours, un épuisement rapide de l'azote du sol pendant les 20 à 30 premiers jours du cycle végétatif.

C'est donc que la nutrition azotée et la croissance des plantes sur "tache jaune" sont affectées plus tôt dans le cycle végétatif que le 21ème jour.

Remarquons alors que la fixation symbiotique débute entre le 12ème et le 21ème jour et qu'elle est déjà au 21ème jour significativement déficiente sur "tache jaune",

Il apparaît en conséquence particulièrement important de multiplier ces mesures pendant les 20 premiers jours et jusqu'au 30ème jour au cours d'un hivernage suivant. Dans ces conditions seulement et à condition d'observations complémentaires sur les systèmes racinaires, il sera possible de préciser la succession des relations entre activité réductrice-absorption de l'azote du sol - développement du système fixateur symbiotique - activité nitrogénasique - croissance de la plante (partie aérienne - système racinaire).

De telles observations permettraient de mieux connaître la dynamique de la nutrition azotée de l'arachide dans les sols sableux péna-litiques du Sénégal, en particulier de situer avec précision l'intervention du système fixateur symbiotique et de fournir une quantification par défaut des quantités d'azote fixée, ainsi qu'une estimation par défaut de la mesure d'ARA.

2. - Teneur en macro éléments des plantes sur "taches jaunes" et "hors taches jaunes" pendant l'hivernage 1978 à Thilmakha .

L'analyse des macroéléments est réalisée sur les mêmes échantillons de plantes que pour l'analyse d'azote.

a -- Nutrition phospho-potassique.

Dès le 21<sup>ème</sup> jour, on observe que la quantité de phosphate absorbée par les plantes est significativement inférieure (seuil de 2 %) sur les "taches jaunes" que sur les "sites témoin de prélèvement". Par contre à cette date il n'est pas possible de mettre en évidence de différence sur les taux de phosphore par plante, ou encore la quantité de phosphore par unité de poids sec de plante. On peut alors faire l'hypothèse que la différence de P total observée résulte d'une activité de croissance plus grande de la plante témoin, sans pour autant que cette plante sur "tache jaune" souffre d'un déficit de P par rapport à son métabolisme, sa croissance étant limitée par un autre facteur. Une précision plus grande serait fournie par une série plus rapprochée de mesures pendant les 20 premiers jours.

Pour la nutrition potassique, il n'y a pas de différence significative (seuil 5 %) entre les quantités totales moyennes de potassium assimilé par les plantes sur "tache jaune" et "hors tache jaune" pendant les 21 premiers jours . On peut donc faire l'hypothèse que la nutrition potassique des plantes est affectée par le dépérissement de l'arachide sur "tache jaune", mais qu'elle ne peut pas participer à expliquer l'origine du phénomène.. Par contre, on remarque une période de latence entre le moment où l'assimilation du potassium est déficitaire par rapport aux plantes témoins, et le moment plus précoce où la croissance des plantes est affectée sur "tache jaune".

Tab. 11 TAUX MOYEN DE PHOSPHORE PAR-PLANTE

g % 100g, poids sec  
Moyenne de 5 prélèvements de 4 plantes homogénéisées.

		12ej	21ej	29ej	35ej	47ej		62ej	72ej	84ej
Tache jaune	Moyenne	0,332	0,375	0,315	0,271	0,277		0,299	0,173	0,235
	$\sigma$ n-1	0,017	0,030	0,050	0,035	0,081	- A - -	0,138	0,111	0,142
Hors tache jaune	Moyenne	0,355	0,380	0,239	0,212	0,183		0,245	0,146	0,095
	$\sigma$ n-1	0,038	0,030	0,009	0,023	0,012		0,069	0,017	0,025

Tab. 12 QUANTITE TOTALE DE PHOSPHORE PAR PLANTE

		12e j	21e j	29e j	35e j	47e j		62e j	72e j	84e j
Tache jaune	Moyenne	1,22	3,25	4,19	6,12	7,04		5,87		
	$\sigma$ n-1	0,27	0,73	1,98	2,47	4,33		3,56		
Hors tache jaune	Moyenne	1,26	4,08	7,00	10,20	23,12		39,78	27,79	17,29
	$\sigma$ n-1	0,28	1,29	2,46	4,72	8,50		23,10	7,11,37	

Fig. 11 - % P par plante (partie aérienne : tige + fane +  
gousses)

Thilmakha\_1978

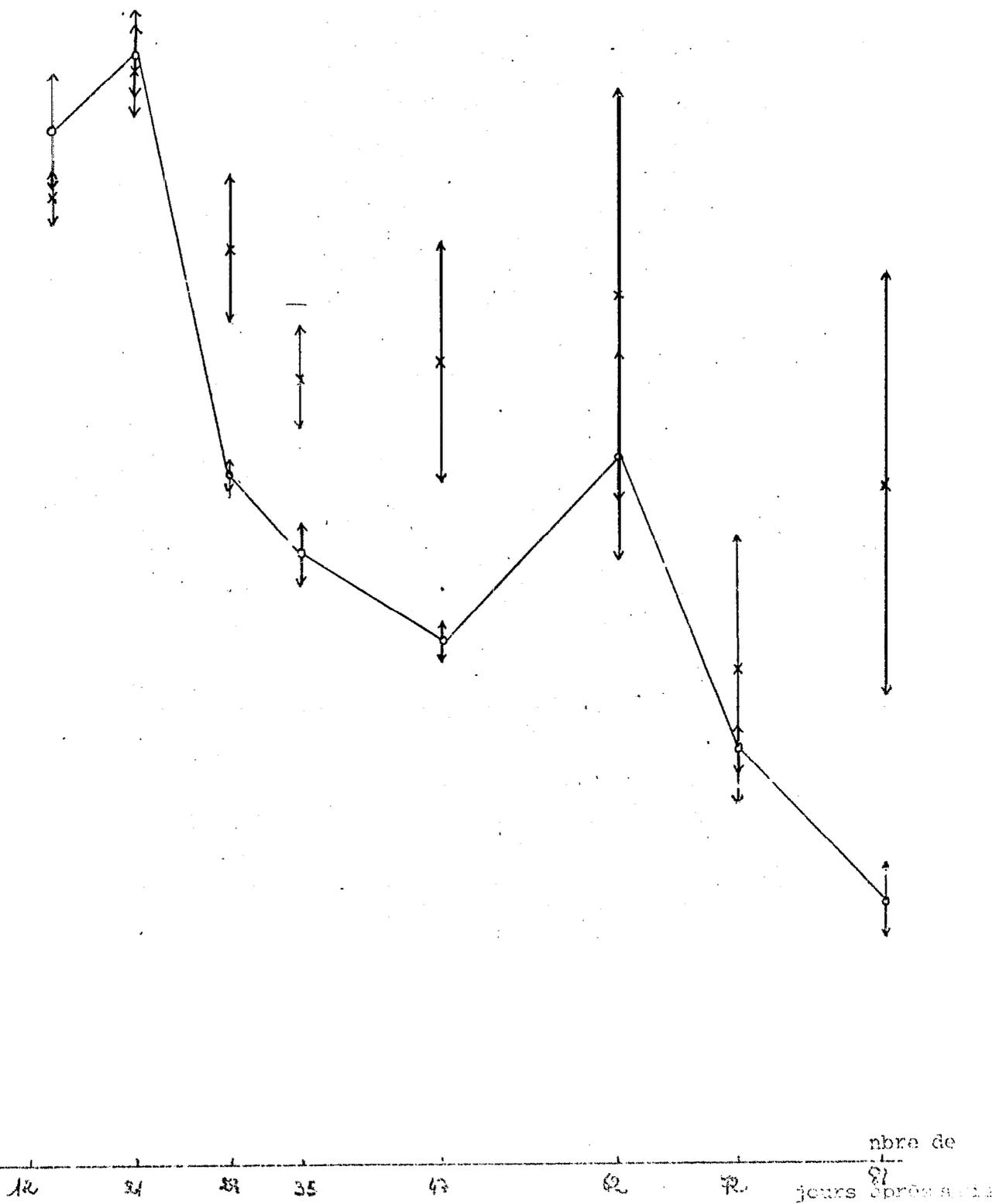
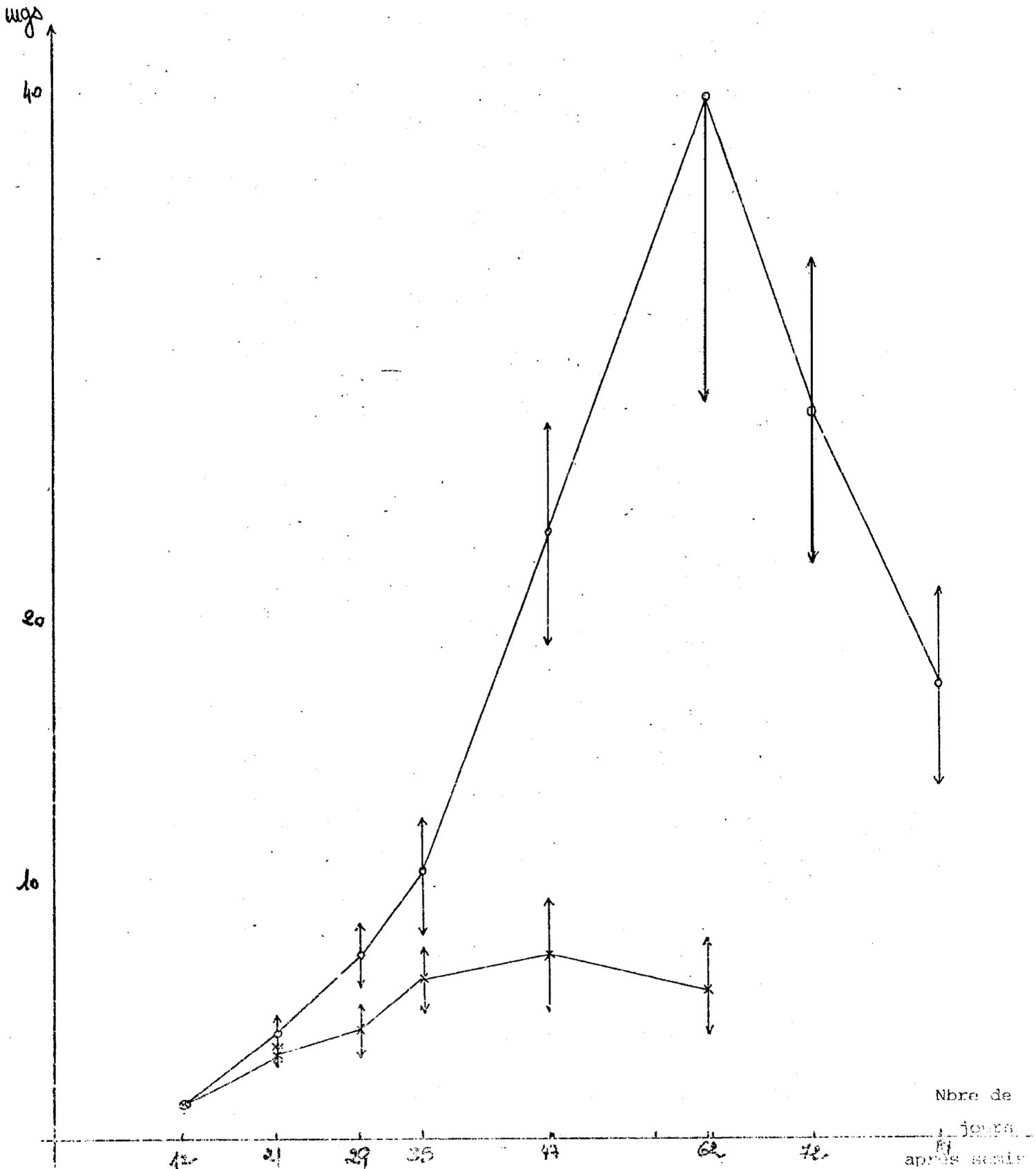


Fig. 12 P. total par plante (parties aériennes fanes + tiges + gousses)



Tab. 13

TAUX MOYEN DE POTASSIUM PAR PLANTE

g/ 1 00g. Poids sec.

Moyenne des prélèvements de La plante homogénéisée

		12ej	21ej	29ej	35ej	47ej		62ej	72ej	84ej
Tache jaune	Moyenne K % 1	1,590	2,340	1,626	1,574	1,116		1,232	1,292	<del>1,664</del>
	$\sigma_{n-1}$	0,272	0,565	0,176	0,331	0,165		0,404	0,191	0,457
Hors tache jaune	moyenne	2,003	2,028	1,550	1,134	0,840		1,284	1,224	1,276
	$\sigma_{n-1}$	0,611	0,140	0,381	0,474	0,289		0,336	0,596	0,540

Tab. 14 QUANTITE TOTALE DE POTASSIUM DANS LES PARTIES AERIENNES DE LA PLANTE

		12ej	21ej	29ej	35ej	47ej		62ej	72ej	84ej
Tache jaune	Moyenne mg	5,78	17,23	23,14	35,07	32,76				
	$\sigma_{n-1}$	1,19	5,44	9,00	15,19	26,72				
Hors tache jaune	Moyenne	7,05	20,01	46,29	57,45	08,77		270,46	241,61	225,04
	$\sigma_{n-1}$	2,08	7,61	21,43	35,73	61,58		273,60	164,41	86,59

Fig. 13 % K par plante (tige + fanes + gousses)

Thilmakha 1978

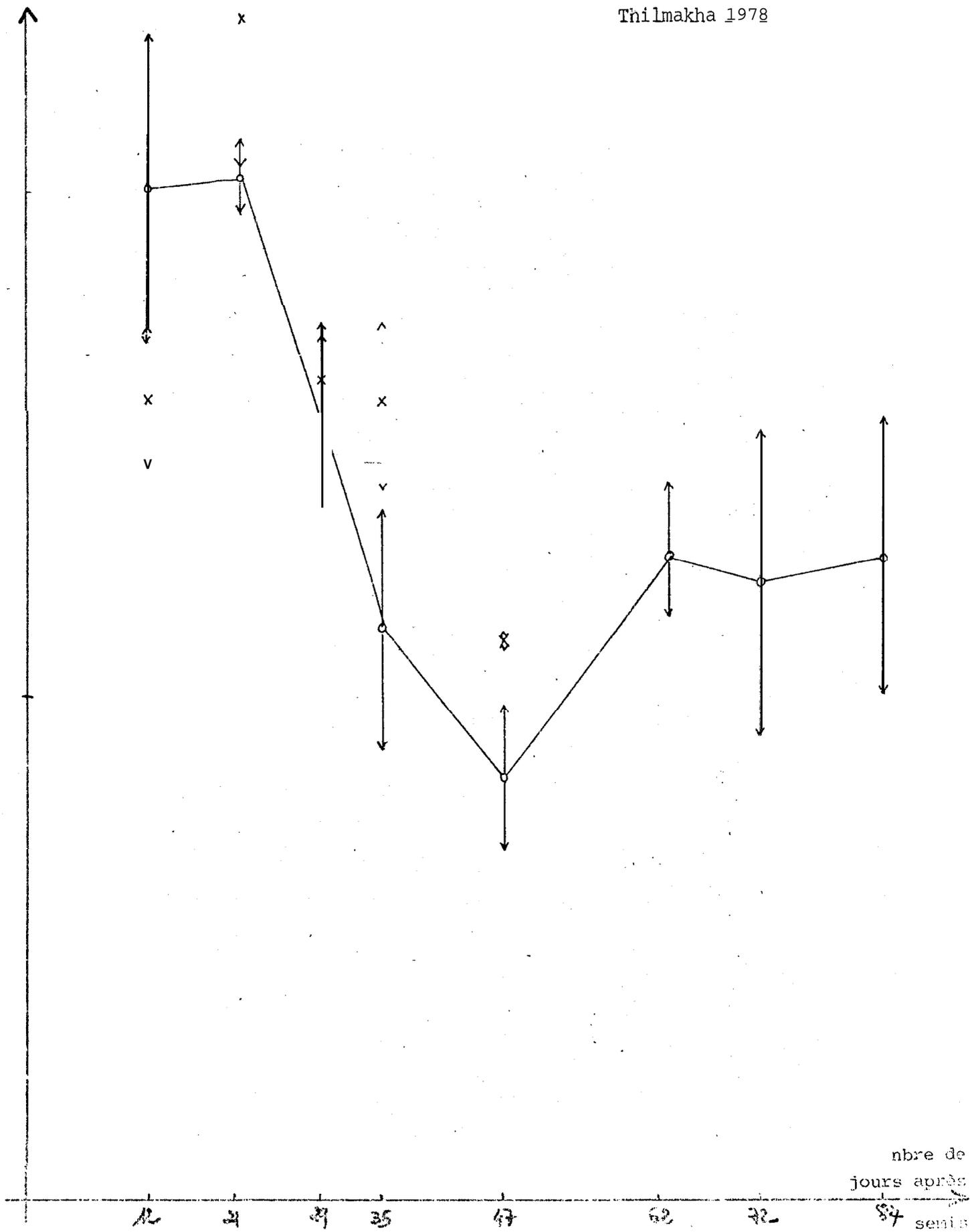
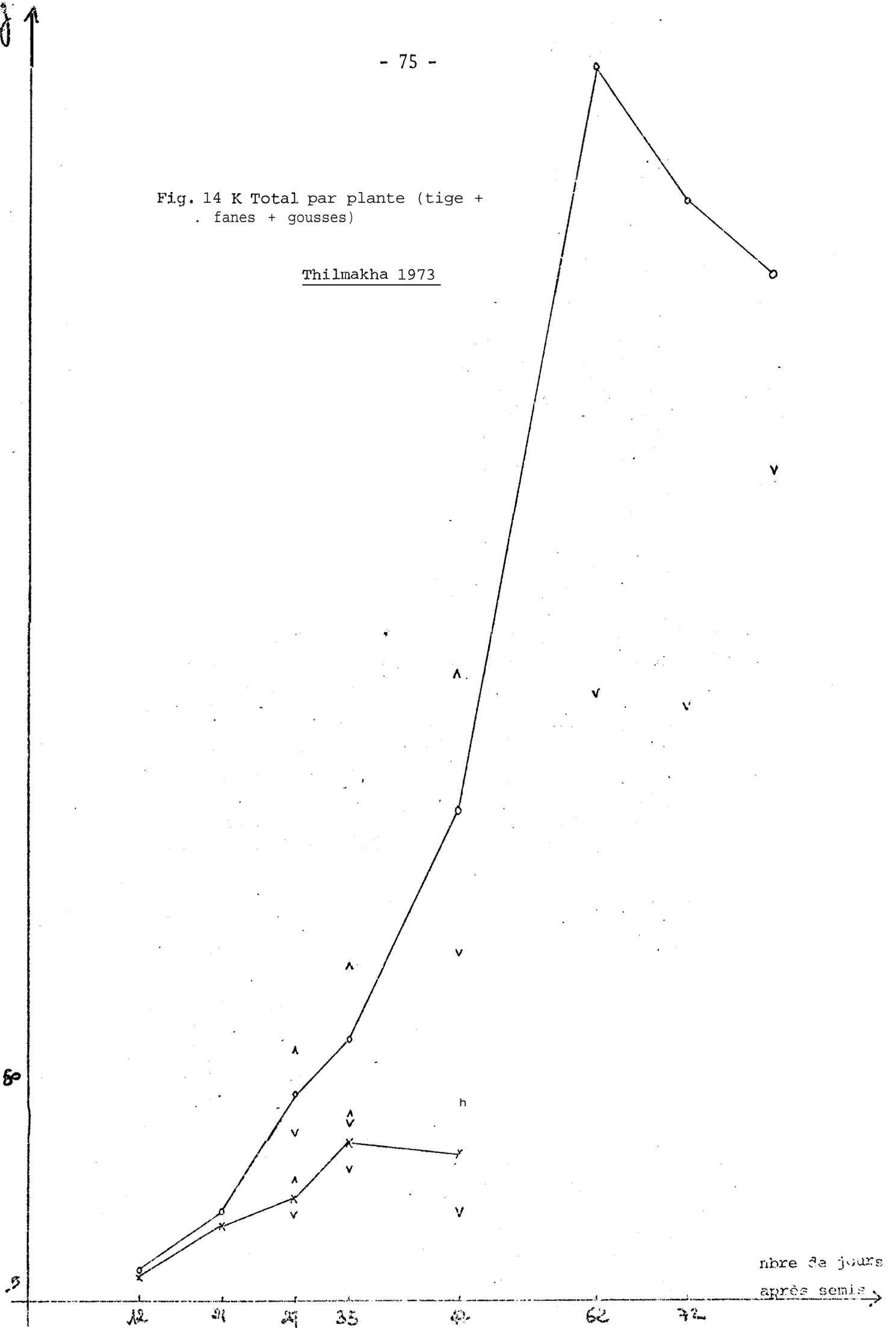


Fig. 14 K Total par plante (tige +  
fanés + gousses)

Thilmakha 1973



b - Nutrition calcique et magnésique.

Concernant la nutrition calcique, on remarque dès le 12<sup>ème</sup> jour une différence hautement significative entre les taux de calcium par plante, alors que par ailleurs les poids secs des plantes que nous comparons ne sont pas significativement différents. Par contre, à cette même date les quantités de calcium par plante ne sont pas significativement différentes. On peut donc faire l'hypothèse que pendant les 12 premiers jours, bien que le taux de calcium soit plus faible sur tache jaune, les plantes ne souffrent néanmoins pas de carence en Ca à cette date.

Par contre au 21<sup>ème</sup> jour, la quantité de Ca est significativement inférieure sur plantes tache jaune, dont la quantité de Ca augmentera que très lentement contrairement à celle des plantes témoins après cette date. L'absorption du calcium après le 21<sup>ème</sup> jour est particulièrement affectée (applatissage de la courbe quantité totale de Ca par plante).

Pour le magnésium, la différence entre les taux de magnésium par plante d'une part, les quantités totales de Magnésium absorbées d'autre part, apparaît avant le 12<sup>ème</sup> jour. Par la suite, l'absorption du magnésium est perturbée sur tache jaune comme pour les autres éléments précédents avec un applatissage de la courbe de Mg total par plante entre le 12 et 21<sup>ème</sup> jour.

Tab. 15 TAUX MOYEN DE CALCIUM PAR PLANTE (Partie aérienne)  
1978.

		12ej	21ej	29ej	35ej	47ej		62ej	72ej	84ej
Tache jaune	Moyenne	0,995	1,478	0,884	0,880	0,778		1,011	1,142	1,099
	$\sigma$ n-1	0,182	0,126	0,143	0,041	0,068		0,212	0,361	0,177
Hors tache jaune	Moyenne	1,412	1,609	1,058	0,861	0,765		0,857	1,210	1,188
	$\sigma$ n-1	0,272	0,204	0,200	0,195	0,171		0,249	0,213	0,114

Tab. 16 QUANTITE DE CALCIUM PAR PLANTE

		12ej	21ej	29ej	35ej	47ej		62ej	72ej	84ej
Tache jaune	Moyenne	5,58	13,06	12,47	19,61	22,61		19,99		
	$\sigma$ n-1	0,72	3,59	4,671	7,00	18,80		7,94		
Hors tache jaune	Moyenne	5,09	17,45	30,43	42,18	99,50		33,20	223,1	217,4
	$\sigma$ n-1	1,57	6,64	10,19	18,80	46,64		54,67	73,7	61,5

Fig. 15 TAUX DE CALCIUM PAR PLANTE

Parties aériennes

Thilmakha

o Hors "taches jaunes"

x Taches jaunes

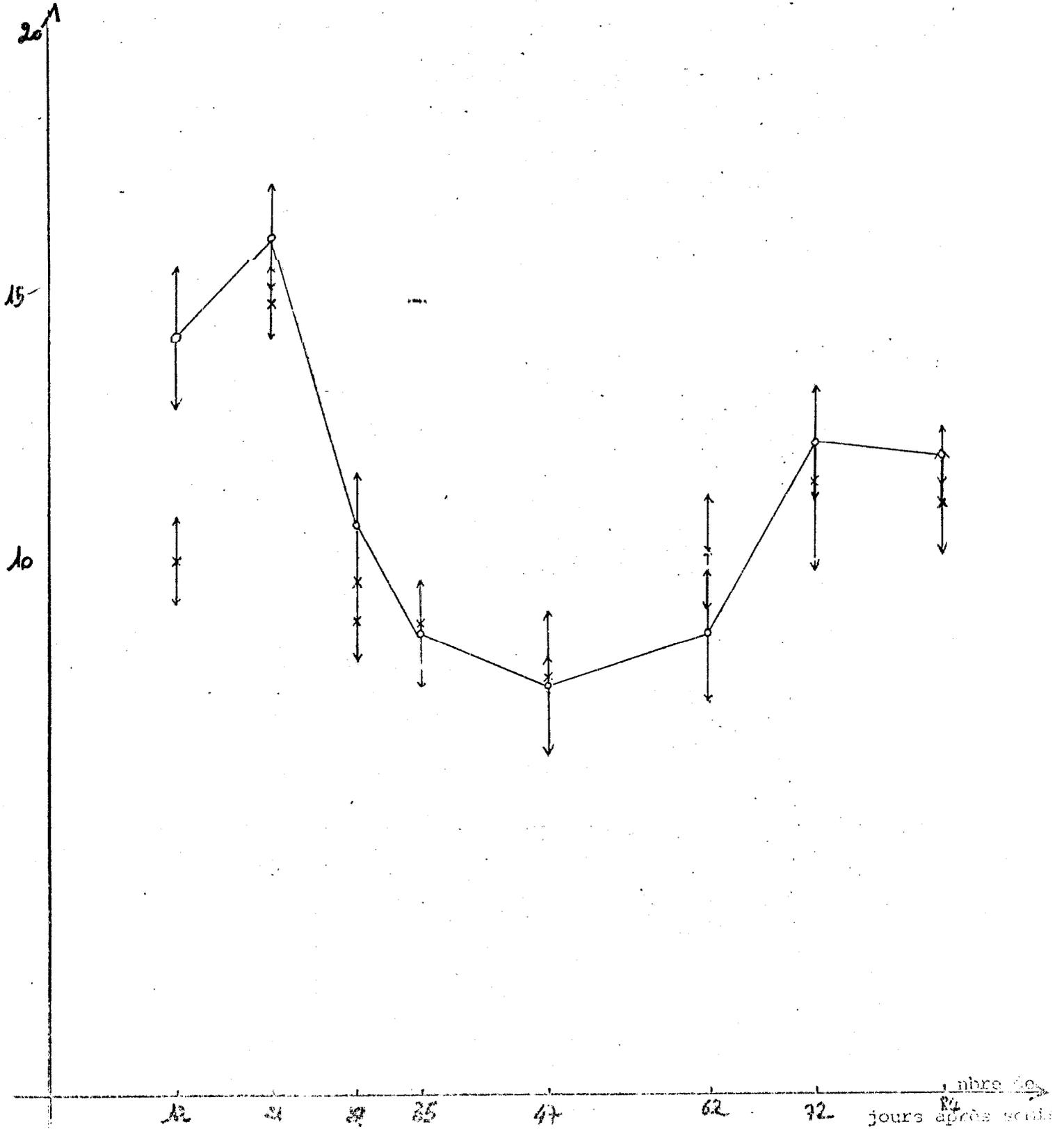


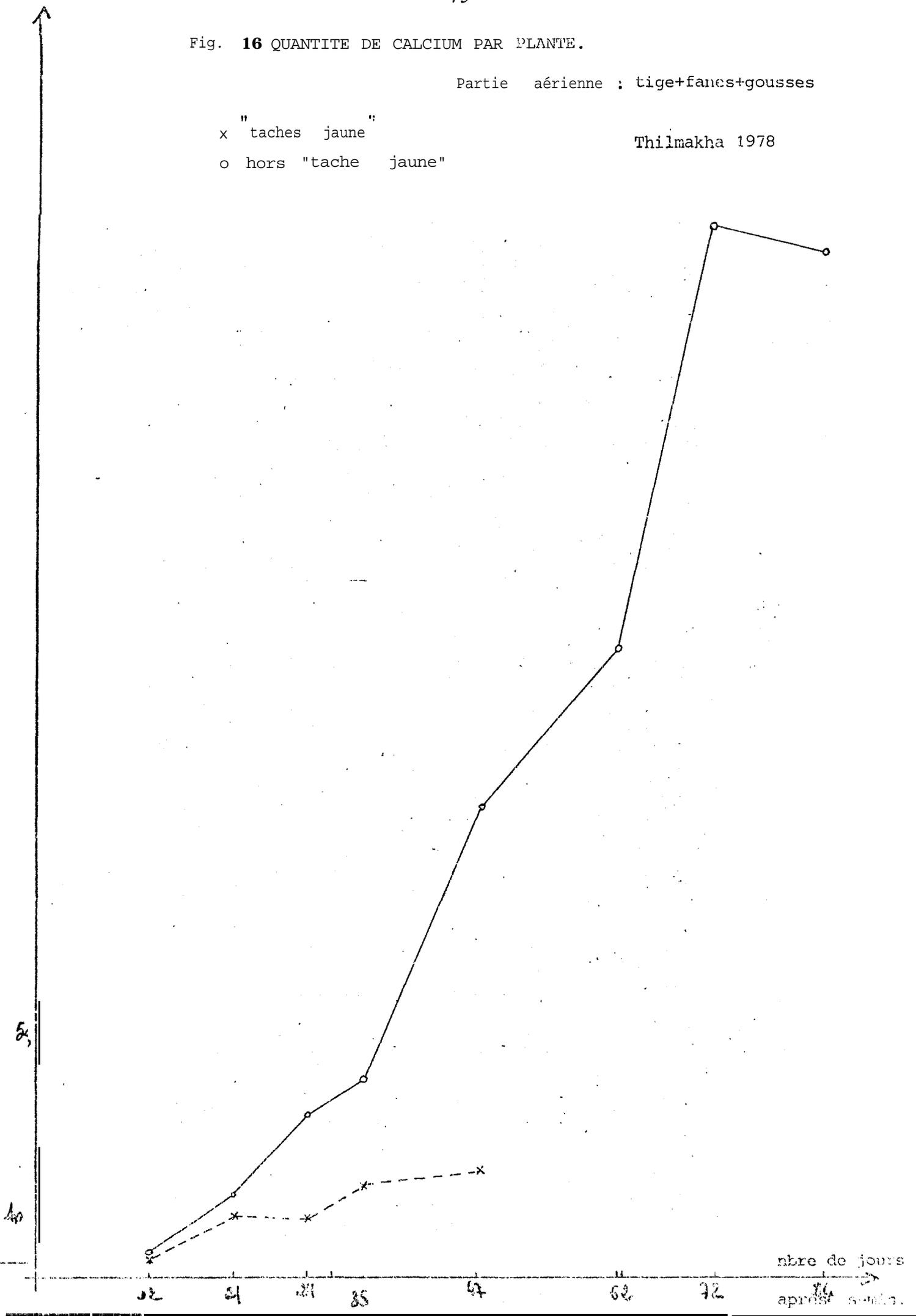
Fig. 16 QUANTITE DE CALCIUM PAR PLANTE.

Partie aérienne : tige+fanés+gousses

x "taches jaune"

o hors "tache jaune"

Thilmakha 1978



Tab. 17 TAUX MOYEN DE MAGNESIUM PAR PLANTE

		12ej	21ej	29ej	35ej	47ej		62ej	72ej	84ej
Tache jaune	Moyenne	0,358	0,352	0,235	0,246	0,212		0,299	0,248	0,288
	$\sigma$ n-1	0,1028	0,034	0,044	0,030	0,018		0,092	0,087	0,060
Hors tache jaune	Moyenne	0,527	0,479	0,367	0,334	0,246		0,269	0,359	0,419
	$\sigma$ n-1	0,117	0,129	0,094	0,143	0,112		0,052	0,135	0,146

Tab. 18 QUANTITE TOTALE DE MAGNESIUM PAR PLANTE.

		12ej	21ej	29ej	35ej	47ej		62ej	82ej	84ej
Tache jaune	Moyenne	1,31	3,07	3,33	5,01	6,53				
	$\sigma$ n-1	0,24	0,74	1,29	1,77	5,92				
Hors tache jaune	Moyenne	1,86	5,32	11,02	6,82	32,95		42,14	73,49	78,00
	$\sigma$ n-1	0,44	2,50	5,18	0,05	11,04		16,55	43,32	38,16

Fig. 17

TAUX DE MAGNESIUM

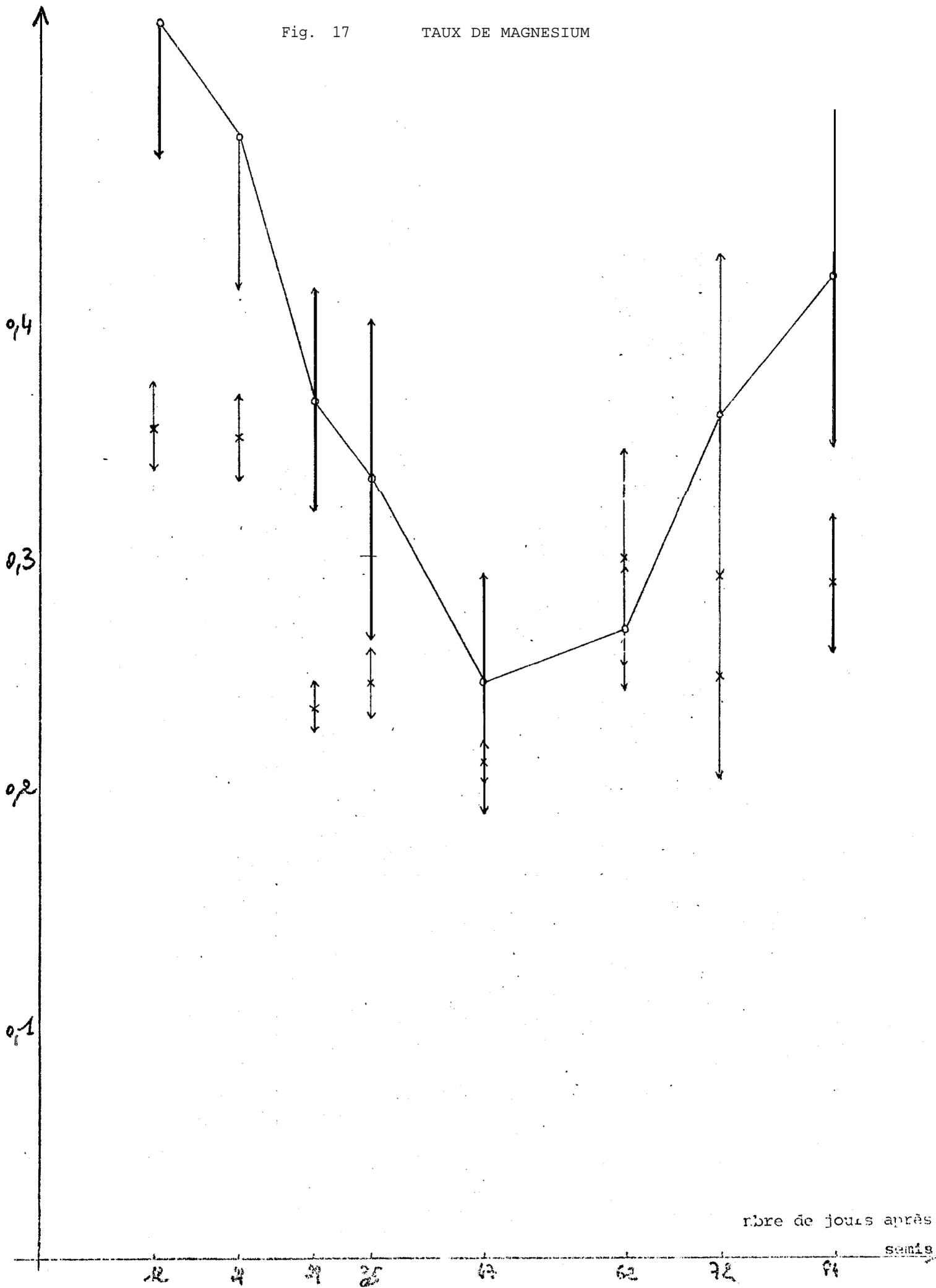
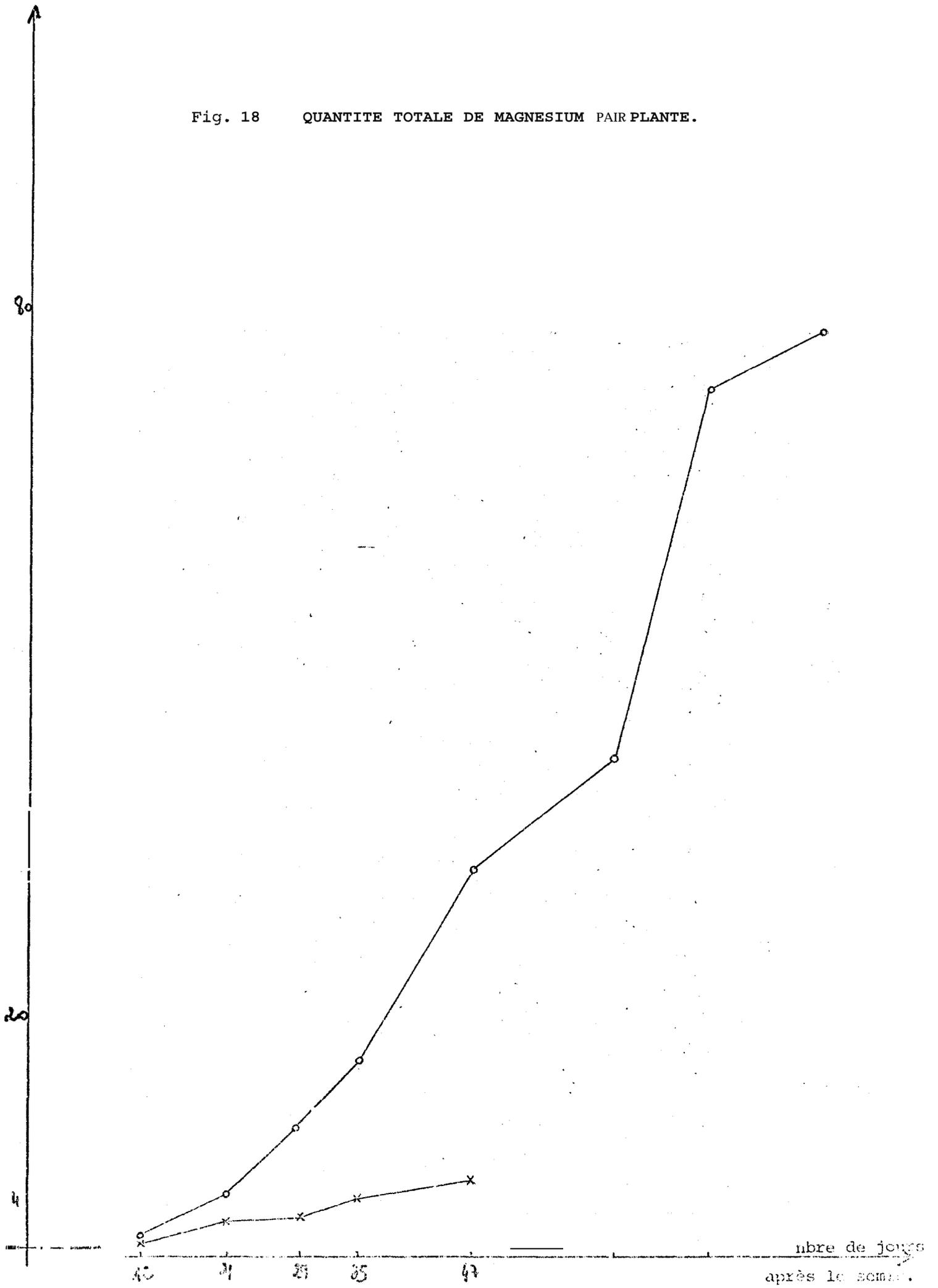


Fig. 18 QUANTITE TOTALE DE MAGNESIUM PAR PLANTE.



3. - Teneur en microéléments

a/ essai d'épandage foliaire d'une solution d'oligoéléments.

Dans le cadre des hypothèses concernant la carence ou la toxicité de certains microéléments par rapport aux phénomènes observés sur tache jaune, un essai a été réalisé sur la parcelle 8 de l'essai de Thilmakha. Il s'agit d'un épandage foliaire (afin d'éviter tout blocage des éléments apportés dans un sol de pH trop bas) d'une solution diluée d'oligoéléments utilisée par ailleurs en culture hydroponique (cf. ch. III).

A chaque épandage on apportait 5l d'une solution diluée contenant 0,45l de la solution concentrée suivante :

acide borique :	2 g/l
SO <sub>4</sub> Mn	1,8g/l
SO <sub>4</sub> Zn	0,2g/l
SO <sub>4</sub> CU	0,08g/l
Molybdate de Sodium	0,2g/l
Nitrate de Cobalt	1 microcristal
préparation EDTA	0,08ml

Soit pour une surface de 1ha ; sachant que les parcelles mesurent 90 m<sup>2</sup> :

100 gr. d'acide borique
90 gr. de SO <sub>4</sub> Mn
10 gr. de SO <sub>4</sub> Zn
4 gr. de SO <sub>4</sub> Ca
10 gr. de Molybdate de Sodium

Les rendements en gousses mesurés à la récolte, ne sont pas significativement différents dans les parcelles 8 (ayant reçu une solution d'oligo-éléments) comparées aux parcelles 1 (Témoin de l'essai).

Tab. 19. ESSAI OLIGOELEMENTS THILMAKHA 19978  
Poids sec de gousses Kg. parcelle utile 58,5 m<sup>2</sup>

Bloc	I	II	III	IV	V	VI	Moyenne	σ n-1
parcelle 1 témoin	0,650	7,000	4,100	1,100	3,150	3,300	3,217 550 Kg/ha	2,288
parcelle 8 oligoéléments	0,725	1,150	2,875	0,725	5,650	2,075	2,200 376 Kg/ha	1,888

Or, sur les parcelles 8, le jaunissement de l'arachide était largement répandu, comme on peut le voir sur les cartographies établies pendant l'hivernage 1978. Ce résultat est confirmé par l'analyse des rendements obtenus pendant l'hivernage sur les parcelles 1, où les taches jaunes sont largement présentes et les parcelles 8. Le traitement oligoéléments n'a pas d'effet significatif sur le rendement.

Ce résultat nous amène à penser qu'il n'y a pas de carence d'un des éléments présents dans cette solution (S, Mn, Zn, Fe, Ca, Mo, Bo, Na, Cu) à l'origine du phénomène de jaunissement observé sur les parcelles 1. Toutefois, ceci n'est vrai qu'à condition que l'épandage de cette solution n'ait pas provoqué une toxicité de l'un des éléments qui aurait masqué l'effet positif d'un autre élément présent dans la solution,

b/ Analyse de la Teneur en oligo-éléments des plantes prélevées à Thilmakha.

Des analyses minérales de teneur en oligoéléments de la partie aérienne des plantes ont été réalisées par ailleurs sur des échantillons des prélèvements de Thilmakha, sur "tache jaune" et "hors tache jaune".

#### - Le Manganèse

On observe une teneur significativement plus élevée de manganèse dans la partie aérienne des plantes sur "tache jaune" (tab. 20) . Cette teneur se situant dans les seuils de toxicité du manganèse à l'arachide (500 ppm dans les feuilles) un test a été réalisé avec le haricot (*Phaseolus vulgaris*) . On sait en effet, que cette plante est très sensible au manganèse et le seuil de toxicité est bien défini par une teneur supérieure à 700 ppm de manganèse dans les feuilles en fin de 3<sup>ème</sup> semaine après le semis.

Cet essai a été réalisé en pot de 3 kg sur sols prélevés à Thilmakha =

J : parcelle 2 bloc 1

T : parcelle 6 bloc 1

un traitement d'engorgement du profil est créé en inondant la moitié inférieure du pot- Soit J' et T'.

Tab. 20 TAUX DE MANGANESE ppm

(g/100g poids sec de plante)

	TJ1	TJ2	TJ3	TJ4	TJ5	HTJ1	HTJ2	HTJ3	HTJ4	HTJ5
24 juillet * 12 <sup>e</sup> jour	467 445	586 517	417 352	798 619	291 252	182 97	172 147	165 97	154 97	358 252
2 août * 21 <sup>e</sup> jour	726 793	584 549	497 460	1747 1428	807 654	115 132	404 352	279 248	245 197	415 406
10 août 29 <sup>e</sup> jour	525	475	250	700	575	275	750	325	275	475
16 août 35 <sup>e</sup> jour	375	875	400	1075	400	185	325	215	240	375
28 août 47 <sup>e</sup> jour	700	575	375	600	450	165	525	240	160	250
6 <sup>e</sup> septembre me A	531	524	618	397	239	259	536	682	582	350
22 <sup>e</sup> septembre	596	430	975	1095	162	151	190	233	254	349
8 <sup>e</sup> octobre jour	550	554	514	588	772	96	628	272	216	336

\* les 2 rangées de chiffres correspondent à des analyses réalisées dans des laboratoires différents sur des échantillons identiques.

Tab. 21. TENEUR EN Mn des FEUILLES DE PHASEOLUS (Essai toxicité au manganèse)

	Non engorgé	engorgé
Tache jaune	J 164	J' 245
Hors tache jaune	T 65	T' 62

Tab. 22. NOMBRE DE NODOSITÉ PAR PLANTE D'ARACHIDE EN POT SUR SOLS "TACHE JAUNE" ET "HORS TACHE JAUNE" (Essai de toxicité au Manganèse)

	Non engorgé	engorgé	
- Tache jaune	Moyenne	33,2	42,6
	$\sigma$ n-1	16,4	18,4
- Hors tache jaune	Moyenne	222,4	126,6
	$\sigma$ n-1	66,9	22,2

On remarque en effet que la teneur en manganèse est plus élevée sur tache jaune et accrue avec engorgement.

Toutefois, on remarque que le seuil de toxicité n'est pas atteint, alors que sur ces mêmes sols et dans les mêmes conditions le phénomène a été reproduit comme l'atteste le dénombrement de nodosités au 70<sup>ème</sup> jour sur arachide dans les mêmes conditions.

#### - L'Aluminium

Dans des travaux antérieurs, il a été mis en évidence une toxicité de l'Aluminium échangeable par rapport à la modulation et la croissance de l'arachide (Pieri 1974) .

Or, la comparaison des teneurs en Aluminium des plantes prélevées sur "tache jaune" et "hors tache jaune", ne permet pas de vérifier cette hypothèse de toxicité aluminique au champ sur tache jaune. Toutefois, elle ne permet pas de l'infirmier ; en effet, l'aluminium en excès s'accumulerait dans le système racinaire des plantes (OLIVER - communication personnelle) et n'apparaîtrait pas dans ces analyses sur parties aériennes.

En conséquence, son effet toxique s'exercerait au niveau des racines, dans les cellules des tissus racinaires.

Ainsi, pour vérifier cette hypothèse, des mesures d'aluminium échangeable dans les sols ont été vérifiées sur les échantillons de sols correspondants aux plantes prélevées à Thilmakha aux différentes dates. (confère plus loin, III dans ce même chapitre II)

- les autres, éléments

Le Molybdène n'a pas pu être analysé. Toutefois, les mesures d'ARA sur les premières nodosités formées nous amènent à douter d'une carence en Molybdène sur "taches jaunes".

Le Cobalt également n'a pas pu être analysé.

Tab. 23

TI MEURS EN OLICOÏTEMENTS DE PLANTES

Thilmakha 1978

(parties aériennes tiges + fanes + gousses)

Elément	Date	TJ <sub>1</sub>	TJ <sub>2</sub>	TJ <sub>3</sub>	TJ <sub>4</sub>	TJ <sub>5</sub>	HTJ <sub>1</sub>	HTJ <sub>2</sub>	HTJ <sub>3</sub>	HTJ <sub>4</sub>	HTJ <sub>5</sub>
N ppm	24 juillet	560	270	160	1000	930	160	850	690	530	850
	2 août	480	980	540	950	450	210	260	2070	480	1000
	10 août	160	127	158	150	-	125	157	136	122	173
	16 août	164	148	166	169	166	178	175	188	138	235
Cu ppm	24 juillet	170	250	170	170	130	80	170	210	290	290
	2 août	330	250	80	180	170	130	130	80	80	250
	10 août	180	150	130	130	-	130	90	80	70	130
	16 août	120	90	120	120	60	70	60	60	50	80
Fe %	24 juillet	22,42	11,98	1,24	1,54	2,61	0,30	1,66	1,93	1,21	2,61
	2 août	1,43	1,24	1,00	1,49	0,82	1,24	0,73	0,70	1,05	0,82
	10 août	4114	3470	3346	3312	-	1355	1487	1769	1593	4342
	16 août	2949	3339	3043	3308	1123	1239	1432	1715	0757	2572
Na %	24 juillet	0,53	1,33	1,68	3,29	2,19	1,89	3,15	2,83	2,51	2,92
	2 août	1,59	3,04	1,98	2,51	1,43	0,76	1,59	6,19	0,76	2,05
S %	10 août	3,65	3,37	2,46	3,39	2,42	2,28	2,28	2,23	2,48	2,56
	16 août	2,69	3,11	2,32	3,30	2,75	2,14	2,12	2,07	2,07	2,36
B ppm	10 août	34	23	22	28	28	27	30	32	24	26
	16 août	26	25	24	23	26	23	25	27	18	28
Zn ppm	10 août	50	52	41	33	-	32	29	35	36	36
	16 août	25	44	32	41	22	33	33	24	30	165

## II Etude des Facteurs biotiques.

### .1. EVOLUTION AU COURS DE L'HIVERNAGE DE LA POPULATION DE RHIZOBIUM SUR "TACHE JAUNE" ET "HORS TACHE JAUNE" à THILMAKHA 1978.

#### INTRODUCTION :

Le phénomène de jaunissement de l'arachide à Thilmakha est associé à une déficience de l'activité fixatrice d'azote de; plantes dans certaines conditions de sol,

La fixation d'azote atmosphérique par les légumineuses est une activité symbiotique résultant de l'association de bactéries du genre rhizobium avec la légumineuse. Elle implique donc la présence en quantité suffisante dans le milieu racinaire d'espèces de rhizobium spécifiques de la légumineuse capables d'infester le système racinaire et provoquer le développement de nodosités efficaces.

Il apparaissait primordial en conséquence' dans l'étude des relations du jaunissement de l'arachide avec: le milieu édaphique, de tenter de connaître l'état de la population de rhizobium spécifiques de l'arachide dans un sol où est observée la chlorose azotée, comparé à un sol de site témoin.

Dans les sols tropicaux sous climats sahélier et sahélo-soudanien marqués par une longue période de sécheresse de plus de 8 mois et une réhumectation au début d'hivernage, la population de bactéries du sol n'est pas constante : elle se caractérise par une forte diminution pendant la saison sèche et un développement rapide en début d'hivernage avec les premières pluies. Nous avons donc tenté d'établir les courbes d'évolution de la population de rhizobium pendant l'hivernage 1978 sur chacun des deux sites "tache jaune" et "hors tache jaune", à l'aide de prélèvements de sols réalisés aux quatre dates successives suivantes :

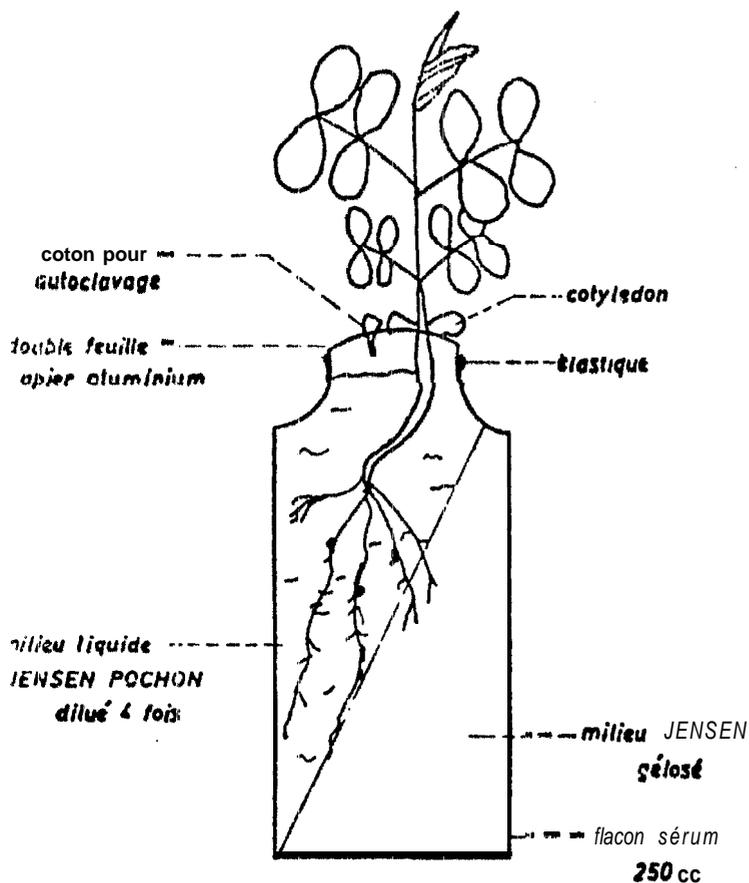
Février	1978	- Saison sèche
2 Août	1978	- 21 jours après la 1ère pluie utile
5 Septembre	1978	- 55 jours après la 1ère pluie utile
3 Octobre	1978	- 81 jours après la 1ère pluie utile

#### METHODES ET TECHNIQUES :

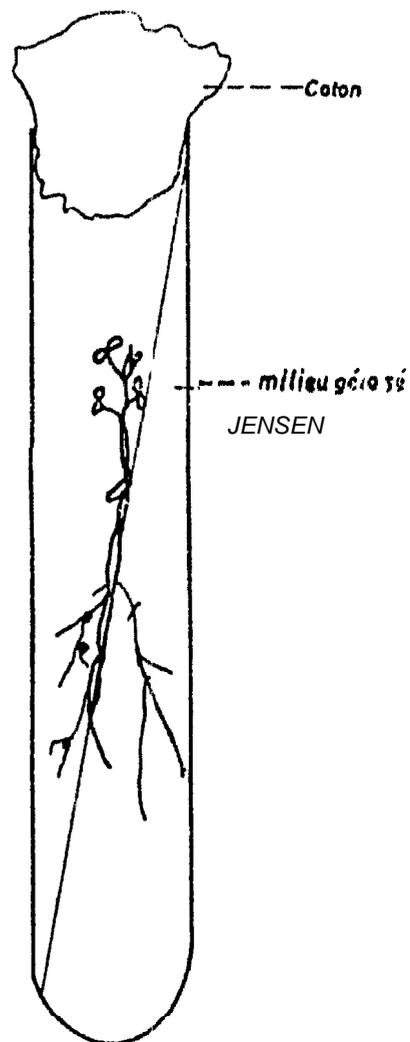
Sur les échantillons prélevés aux dates ci-dessus, le dénombrement de rhizobium a été réalisé par lecture du nombre de nodosités présentes sur les racines d'une plantule inoculée avec des suspensions diluées successives des échantillons de sol.

Cette technique permet de dénombrer les rhizobiums spécifiques de l'espèce de légumineuse que l'on inocule ainsi. Elle suppose qu'une seule cellule de rhizobium spécifique est suffisante dans le milieu de culture pour noduler la légumineuse.

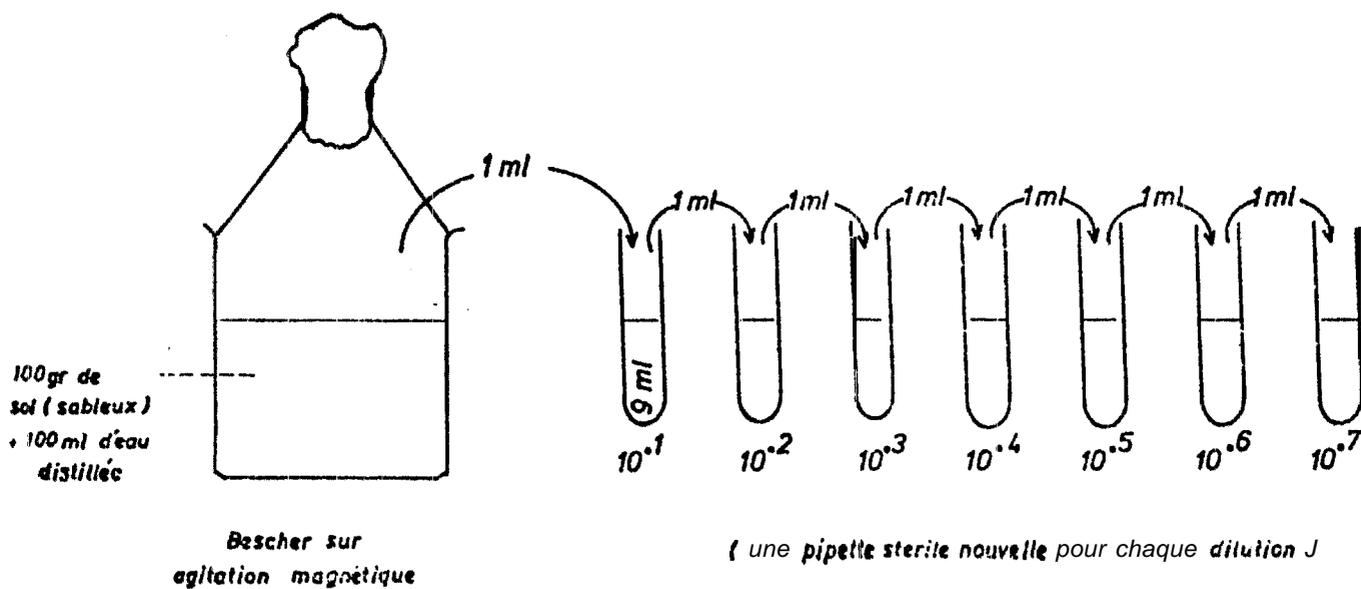
L'arachide étant une légumineuse à grosse graine il n'est pas possible de réaliser une culture, en tube axénique de plantule d'arachide (cf. fig 19, p. 89). Il faut avoir recours à une technique de culture monoxénique, dans laquelle, seules les racines plongent dans le milieu stérile. La graine prégermée est disposée à travers une double feuille de papier aluminium, les cotylédons reposant sur la feuille et l'appareil aérien se développant à l'air libre, (cf. fig. 19 p 89 selon le dispositif de culture proposé par GIBSON.



CULTURE MONOXENIQUE D'E  
LEGUMINEUSE A GROSSE GRAINE  
TECHNIQUE GIBSON



CULTURE AXENIQUE DE  
LEGUMINEUSE A PETITE GRAINE



PREPARATION DES SUSPENSIONS DILUTIONS DE SOL AVANT INOCULATION DES  
CULTURES MONOXENIQUES OU AXENIQUES

Toutefois les tentatives de dénombrement réalisées au CNRA de BAMBEY avec ce matériel ont rencontré deux obstacles majeurs:

- , contamination du milieu par des champignons microbiens,
- , mauvais développement et faible activité photosynthétique de la plante.

En effet la stérilité du milieu nutritif racinaire est mal assurée par la double feuille de papier aluminium et les contaminations s'opèrent à l'emplacement même du passage de la tige à travers la feuille

Cette faible protection contre les contaminations, ainsi que les conditions précaires d'arrimage de la plante sur son support obligent à conserver le dispositif dans un milieu protégé et par suite faiblement illuminé si l'on ne dispose pas d'une chambre lumineuse spécialement adaptée. Ceci, combiné à l'espace racinaire réduit dans le dispositif, est à l'origine d'une faible activité photosynthétique de la plante.

En conséquence, deux techniques différentes de dénombrement de rhizobium ont été expérimentées :

- La première, réalisée en collaboration avec J.J.PANTHIER au laboratoire de microbiologie des sols de l'ORSTOM à DAKAR, consistait à dénombrer la population de rhizobium sur plantule axénique de Siratro (*Macroptilium atropurpureum*). Elle repose sur l'hypothèse que les rhizobiums spécifiques de siratro sont également spécifiques de l'arachide, appartenant au même groupe *cowpea*. Au cours du 1er dénombrement (prélèvement de février 78) les deux méthodes ont été appliquées parallèlement aux mêmes sols. (cf. tab. 24 p.98 ).

- La deuxième était un dénombrement sur plantule d'arachide monoxénique, mais à l'aide d'un matériel modifié (cf schéma p 98) inspiré d'un dispositif australien dont M. RIGAUD nous avait informé. Celui-ci permettait, en effet :

d'éviter toute contamination du milieu racinaire. Avant d'oter le coton de l'axe vertical de la croix, les cotons placés dans les branches latérales sont ajustés autour de la tige. De cette manière, la plante peut croître librement, sans que le milieu racinaire ne soit jamais en contact avec un air non stérile.

de choisir un volume de milieu racinaire variable en montant ce dispositif sur le type de récipient souhaité (flacon sérum, Erlen . . . ).

, d'utiliser un milieu nutritif liquide : milieu Jensen dilué 1/4 sans sans plan incliné de gélose. Le dispositif en effet constitue un tuteur pour la plante et l'arachide nodule bien en milieu liquide (cf. chapitre III).

, d'installer le dispositif dans des conditions d'éclairage optimum à l'air libre ou sous serre, (grâce aux conditions de stérilité du milieu et de support stable pour la plante qui sont ainsi réalisées).

Le dispositif (flacon sérum + croix dans nos expérimentations) est alors placé dans un carton rempli de flacons de polystyrène afin que les racines soient à l'abri des rayonnements lumineux (longueurs d'onde étant inhibitrices de la nodulation).

Ce dispositif retenu pour le dénombrement réalisé au CRA de Bambey pendant l'hivernage 1978, a été testé ultérieurement à l'INRA (Laboratoire d'étude des symbiotes de racines, Montpellier), En collaboration avec H. PAYRE un dénombrement de *Rhizobium japonicum* d'un sol a été réalisé simultanément avec la technique de GIBSON et le dispositif ci-dessus sur soja avec les mêmes suspension-dilutions de sol.

Les étapes de la manipulation de dénombrement sont :

#### Prélèvements de sols :

Le dénombrement de rhizobium a été réalisé sur des sols prélevés à Thilmakha sur 1 'essai "influence des techniques culturales sur la nodulation" aux dates suivantes :

Février	1978 ;
2 Août	1978 ;
5 Septembre	1978 ;
3 Octobre.	

Les prélèvements ont été réalisés à ces dates dans les mêmes parcelles suivantes :

I<sub>2</sub> = parcelle largement occupée par une tache jaune. Les points de prélèvement de sol ont été choisis dans l'intersection des taches cartographiées en 1976 et 1974 sur cette parcelle. (cf. cartes de taches jaunes p.184)

II<sub>6</sub> = parcelle où jamais aucune tache jaune n'a été observée. (6:traitements labour + chaux).

A chaque date, on prélève 10 échantillons de sols dans l'horizon 5-30 cm en 10 points dispersés dans la parcelle de prélèvement.

Ces échantillons pour chaque parcelle sont mélangés dans un même récipient, et homogénéisés au laboratoire par un tamissage à travers une grille de 1mm de maille.

Les deux échantillons de sol ainsi obtenus correspondant aux 2 parcelles, sont aussitôt stockés en chambre froide à 4°C.

#### Stérilisation des graines et germination stéril.. :

Les graines d'arachide sont stérilisées au chlorure mercurique HgCl<sub>2</sub>, de la manière suivante :

- Dans un ballon monté d'un bouchon en verre on dispose les graines et on ajoute l'alcool à 75 %. On agite pendant 3mm et on vide l'alcool.

Fig. 20 SOLÉNE HYDROPIQUE STÉRILE DE L'ARACHIDE

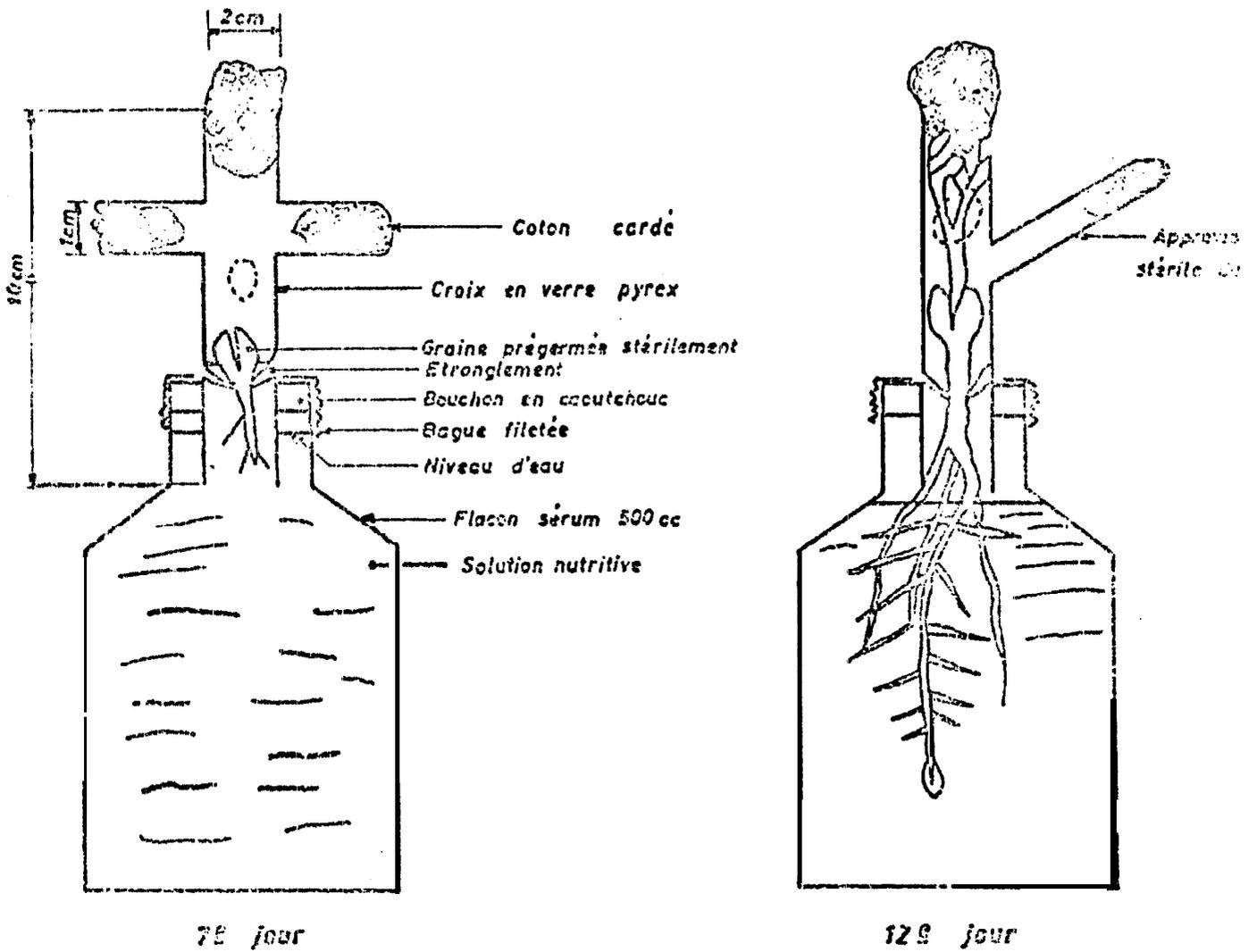
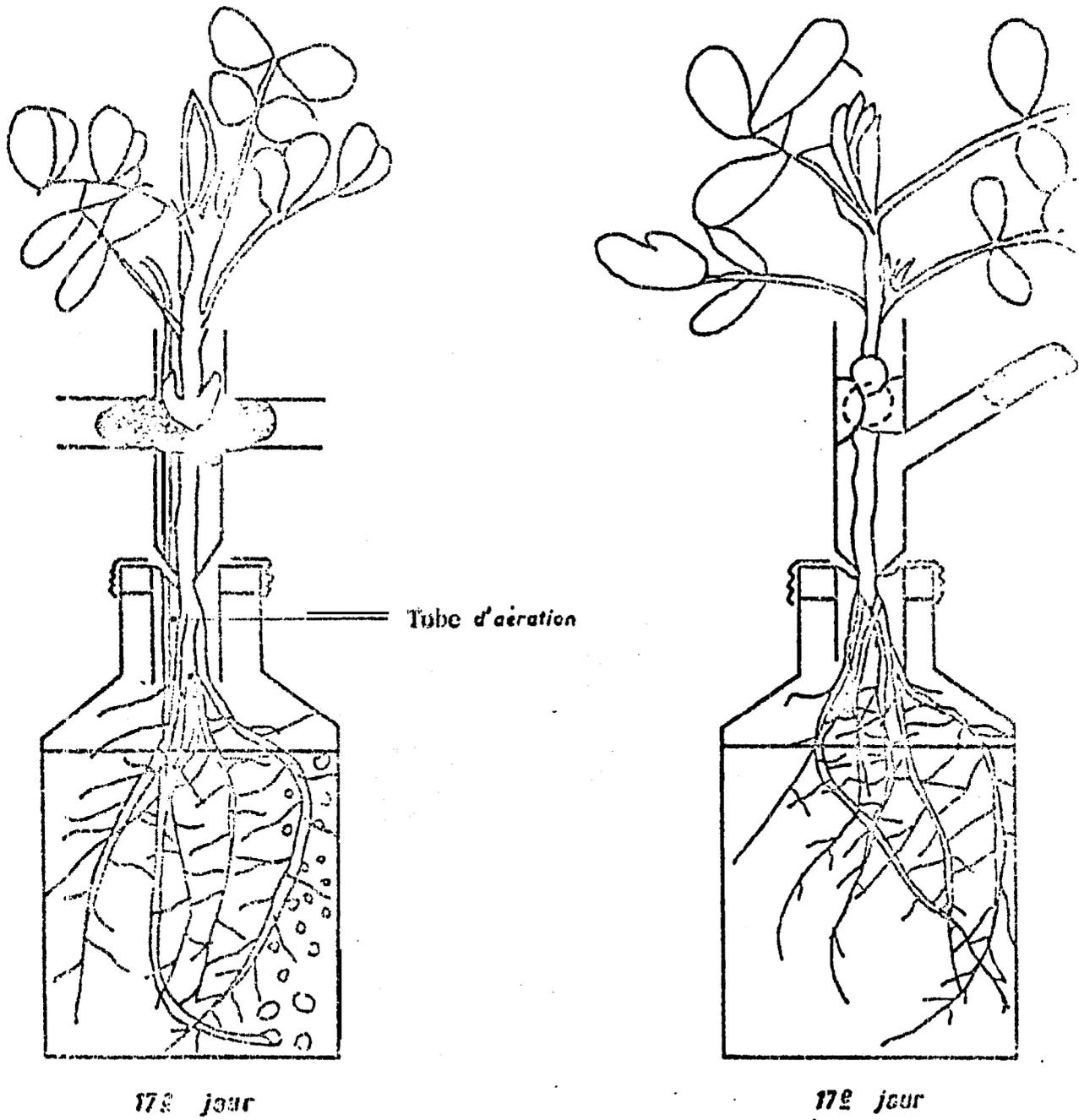


Fig. 20 :



on ajoute ensuite dans 1<sup>e</sup> ballon une solution de HgCl<sub>2</sub> (1 gr pour 1 000 ml), et on agite pendant 3 mn.

- on vide et on réalise ensuite 6 lavages successifs des graines à l'eau distillée stérile, en agitant pendant 1/2 h pour chaque lavage. Ces opérations sont réalisées en conditions axéniques.

Les graines stériles sont alors disposées dans un cristallisateur de vermiculite stérile (fermé par une double feuille de papier aluminium). Avant autoclavage (1 20°C. 20 mn), la vermiculite avait été humidifiée de telle manière qu'il y ait une hauteur d'eau de 2 cm dans le cristallisateur. On met l'ensemble à l'étuve à 28°C.

Une semaine plus tard, les graines germées sont disposées stérilement à l'intérieur du dispositif en croix ou montées à travers la feuille de GIBSON.

Une autre semaine s'écoule, pendant laquelle on surveille la bonne Croissance des plantes dans les dispositifs, au cours de laquelle la plante est libérée du coton de l'axe principal dans le dispositif en croix. A ce terme, on réalise l'inoculation avec les suspensions-dilutions de sol.

Suspension-dilution de sol-inoculation :

Pour chaque échantillon, on mélange 50 gr de sol frais à 100 ml d'eau permutée stérile dans un beshher. On ajoute 2 gouttes de tween (émulsifiant qui favorise la rupture des liaisons des microorganismes aux particules de sol (DIEM-communication personnelle) - On dispose sur agitateur magnétique pendant 1/2 h.

Parallèlement, 50 gr de sol frais sont mis à sécher à l'étuve à 60°C, pour mesurer le poids sec de sol après 48h.

Dans la suspension de sol obtenue après 1/2 heure d'agitation, on prélève 1 ml que l'on ajoute à 9 ml d'eau stérile, obtenant ainsi la dilution -1.

Après agitation, on prélève dans ce tube 1 ml de suspension, avec une pipette stérile. On l'ajoute à 9 ml d'eau stérile, d'où la dilution -2. On procède ainsi successivement jusqu'à la dilution -6.

Pour chaque dilution, on inocule ensuite 4 à 5 plantules, stérilement dans le dispositif en croix à l'aide du tuyau latéral monté sur l'axe de la croix (cf fig. p).

Dénombrement :

Les plantules sont ensuite placées à la lumière en prenant soin que les milieux racinaires soient maintenus à l'obscurité.

1 semaine à 1 mois plus tard, on note les tubes positifs c'est à dire ayant au moins une nodosité.

On déduit le nombre de rhizobium dans la dernière dilution où tous les tubes sont positifs avec les tables de Mac GRADY ou dans la dilution initiale avec les tables de FISHER and YATES (davantage utilisées en pays anglosaxons).

Le nombre de rhizobium dans 1 gr de sol frais est alors obtenu par la formule :

$$n = \frac{Nrg \times D \times 10^x}{P} \quad ns \frac{Nfy.D}{P}$$

Nombre Mac Grady      Nfy : Nombre de Fisher Yates.

D : quantité d'eau distillée au départ.

P : poids frais de sol.

x : dernière dilution au delà de laquelle on utilise la table.

Limite de la méthode de dénombrement sur plantule.

elle permet difficilement de parvenir à un nombre exact de rhizobium du sol car seulement une fraction des bactéries est libérée des particules, de sol et se retrouve dans la suspension initiale,

la nodulation observée en tube pourrait être une sous estimation

... / ...

du nombre de bactéries effectivement, présentes dans le milieu. En effet, la méthode repose sur l'hypothèse qu'un seul rhizohium présent dans l'inoculum peut provoquer une nodulation. Il faut également que la plante ait une bonne activité photosynthétique. Enfin il y aurait à l'intérieur du tube ou flacon un gradient d'oxygène avec des sites où l'activité du rhizobium serait inhibée par un excès de  $CO_2$ .

De plus, en introduisant l'inoculum de suspension-dilution de sol, on introduit également les autres bactéries du sol, parmi lesquelles des inhibiteurs ou antagonistes éventuels du rhizohium pour la nodulation. Dans ce cas, on risque de mesurer l'effet de ces antagonismes et non la population exacte de rhizobium dans le sol.

Elle a l'avantage toutefois de dénombrer uniquement les rhizobium spécifiques d'une légumineuse et permet d'établir des comparaisons de population.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### a. Comparaison du dénombrement de rhizobium sur siratro (Macroptilium purpureum) culture en tube axénique et arachide en culture monoxénique (technique de GIBSON) :

Lors du dénombrement sur les échantillons de sol prélevés en février 1978, ont été inoculés d'une part des siratro en culture axénique, d'autre part des arachides, avec les mêmes sols. Mais cependant des suspensions-dilutions différentes car réalisées à quelques jours d'intervalle.

Cette manipulation a été réalisée à l'ORSTOM DAKAR avec J.J. PANTHIER et M. BOURREAU.

Les chiffres obtenus sur siratro sont inférieurs à ceux obtenus sur arachide, mais néanmoins dans le même ordre de grandeur. Ils indiquent le même écart d'une puissance de 10 entre le nombre de rhizobium sur sol "hors tache jaune" et sur sol "tache jaune".

### b. Test de dénombrement de rhizobium sur soja en culture monoxénique en tube de GIBSON et dans le dispositif en croix :

Afin de tester la méthode de dénombrement avec le dispositif en croix et milieu liquide JENSEN dilué 1/4, comparé au dispositif de GIBSON avec le milieu JENSEN gélosé incliné, un dénombrement a été réalisé sur soja en Mars 1979 au "laboratoire d'étude des symbiotes des racines", INRA Montpellier avec M. OBATON et H. PAYRE, sur un même sol et avec les mêmes suspensions dilutions.

Les deux techniques ont donné respectivement 5900 et 5700 rhizobium par gramme de sol, la lecture ayant eu lieu 3 semaines après l'inoculation.

Toutefois, les plants de soja présentaient des symptômes de carences (feuilles pales avec des taches brunes) dans le dispositif en croix,

Ces derniers qui n'avaient pas été observés sur arachide pourraient être dus :

- à un déséquilibre de la nutrition minérale spécifique du soja à partir du milieu Jensen dilué 1/4

- à une asphyxie du milieu racinaire dans les flacons.

c . Dénombrement de rhizobium sur les sols prélevés pendant l'hivernage 1978 à Thilmakha sur "tache jaune" et "hors tache jaune" :

Les dénombrements de rhizobium sur les échantillons de sol prélevés pendant l'hivernage 1978 ont été réalisés au CNRA de BAMBEY avec le dispositif en croix.

Les poids secs de 60 gr de sol frais ajoutés à 100 ml pour la dilution initiale étaient :

le 2. 8.78	58,25 gr pour HTJ
	58,60 gr pour TJ
le 5. 9. 78	57,68 gr pour HTJ
	57,70 gr pour TJ
le X. 10. 78	58,82 gr pour HTJ
	59,06 gr pour TJ

Les nombres de rhizobium correspondants sont les suivants <sup>tab25</sup>

- avec la table de Mac Grady :

DATE	NOMBRE DE RHIZOBIUM/GRAMME DE SOL	
	"Hors tache jaune"	"Tache jaune"
2. 8.78	2 830	10
5. 9.78	3 470	350
3.10.78	>22 100	3390

- avec les tables de Fisher and Yates :

DATE	NOMRRE DE RHIZOBIUM/GRAMME DE SOL	
	"Hors tache jaune"	"Tache jaune"
2. 8.78	2 920	10
5. 9.78	5 370	1730
X. 10.78	>28 900	5250
février 78	100	10

On note donc une différence de calcul selon les deux méthodes ci-dessus, liée au fait que dans les tables de Fisher and Yates, il n'est pas tenu compte de la distribution des plantules positives par rapport aux dilutions.

.../...

Tabl. 24 SOLS DE THILMAKHA. Prélèvements de Février 1978

RESULTATS DE DENOMBREMENT SUR PLANTULE

(positif : il y a au moins une colonie)

(100 gr/100 ml suspension initiale)

Dénombrement sur *Macropodium artropurpureum*

Sol "Hors tache jaune" parcelle II <sub>6</sub>					Sol "Tache jaune" parcelle II <sub>2</sub>				
10 <sup>-1</sup>	+	+	+	0	10 <sup>-1</sup>	+	0	0	0
10 <sup>-2</sup>	+	+	0	0	10 <sup>-2</sup>	0	0	0	0
10 <sup>-3</sup>	+	0	0	0	10 <sup>-3</sup>	0	0	0	0
10 <sup>-4</sup>	0	0	0	0	10 <sup>-4</sup>	0	0	0	0
10 <sup>-5</sup>	0	0	0	0	10 <sup>-5</sup>	0	0	0	0
10 <sup>-6</sup>	0	0	0	0	10 <sup>-6</sup>	0	0	0	0
10 <sup>-7</sup>	0	0	0	0	10 <sup>-7</sup>	0	0	0	0
30 rhizobium/gramme de sol					3 rhizobium/gramme de sol				

Dénombrement sur Arachide

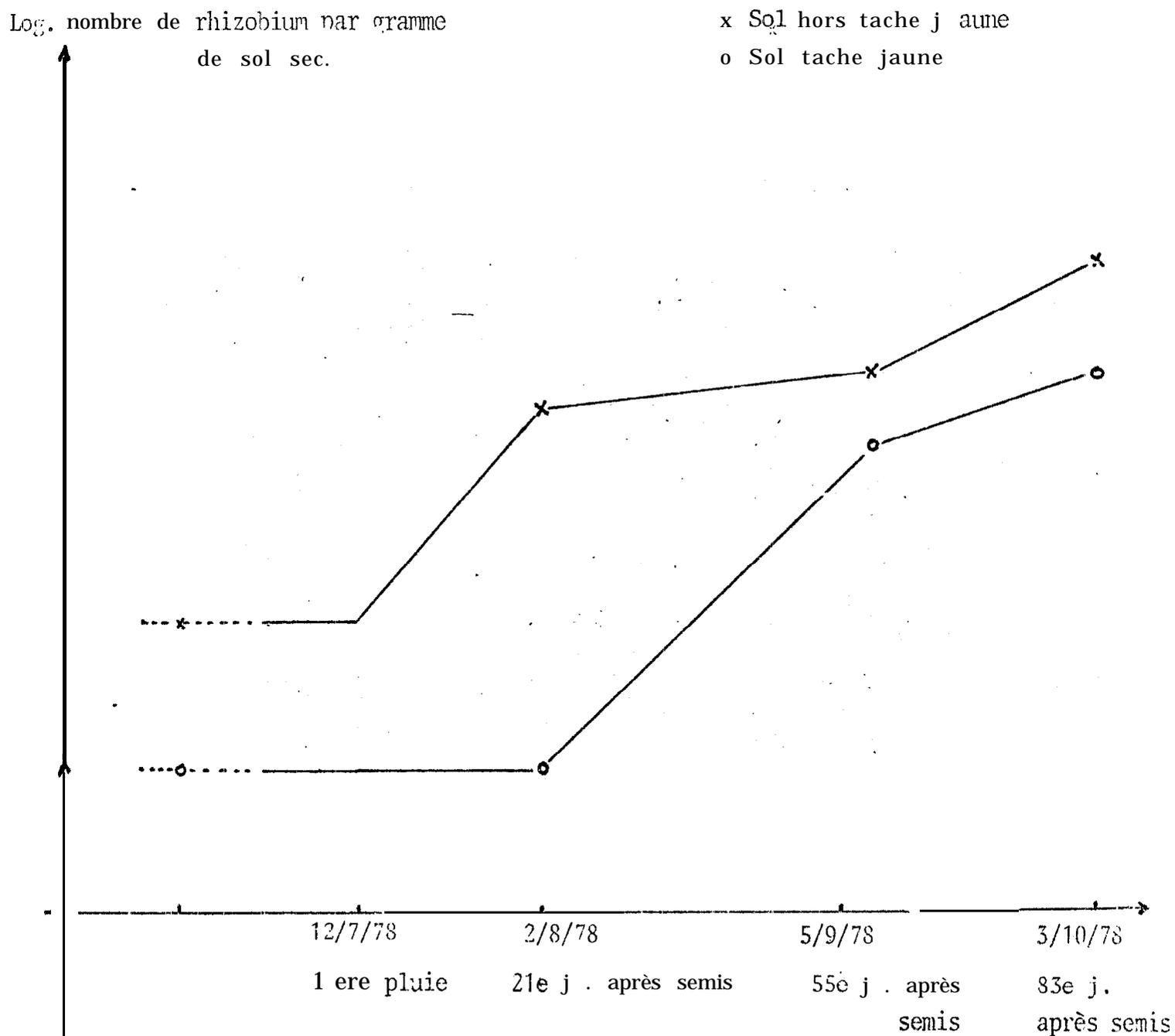
Sol "Hors tache jaune" parcelle II <sub>6</sub>					Sol "Tache jaune" parcelle II <sub>2</sub>				
10 <sup>-1</sup>	+	+	+	+		+	+	0	0
10 <sup>-2</sup>	+	+	+	0		0	0	0	0
10 <sup>-3</sup>	0	0	0	0		+	0	0	0
10 <sup>-4</sup>	0	0	0	0		0	0	0	0
115 rhizobium/gramme de sol					9 rhizobium/gramme de sol				

Tab. 25 -DENOMBREMENTS DE RHIZOBIUM SUR SOLS "TACHES JAUNES"  
ET "HORS TACHES JAUNES" A THILMAKHA. Hivernage 1978

DATE	Sol "Hors tache jaune" parcelle II <sub>6</sub>				Sol "Tache jaune" parcelle II <sub>1</sub>					
	10 <sup>-1</sup>	+	+	+	+	10 <sup>-1</sup>	+	+	0	0
	10 <sup>-2</sup>	+	+	+	+	10 <sup>-2</sup>	0	0	0	0
	10 <sup>-3</sup>	+	+	+	0	10 <sup>-3</sup>	0	0	0	0
	10 <sup>-4</sup>	+	0	0	0	10 <sup>-4</sup>	0	0	0	0
	10 <sup>-5</sup>	0	0	0	0	10 <sup>-5</sup>	0	0	0	0
	2830 rhizobium/gramme de sol (Mac Grady)				10 rhizobium/gramme de sol (Mac Grady)					
	10 <sup>-1</sup>	+	+	+	+		+	+	+	+
	10 <sup>-2</sup>	+	+	+	+		+	+	+	0
	10 <sup>-3</sup>	+	+	+	0		+	+	+	+
	10 <sup>-4</sup>	+	+	0	0		0	0	0	0
	10 <sup>-5</sup>	0	0	0	0		0	0	0	0
	>3470 rhizobium/gramme de sol (Mac Grady)				350 rhizobium/gramme de sol (Mac Grady)					
	10 <sup>-1</sup>	+	+	+	+	10 <sup>-1</sup>	+	+	+	+
	10 <sup>-2</sup>	+	+	+	+	10 <sup>-2</sup>	+	+	+	+
	10 <sup>-3</sup>	+	+	+	+	10 <sup>-3</sup>	+	+	+	0
	10 <sup>-4</sup>	+	+	0	0	10 <sup>-4</sup>	+	+	0	0
	10 <sup>-5</sup>	+	+	0	0	10 <sup>-5</sup>	0	0	0	0
	>22100 rhizobium/gramme de sol (Mac Grady)				3390 rhizobium/gramme de sol (Mac Grady)					

Fig. 21 COURBE DE POPULATION DE RHIZOBIUM SPECIFIQUE DE L'ARACHIDE SUR "TACHE JAUNE" ET "HORS TACHE JAUNE".

Thilmakha 1978.



Ces nombres permettent d'établir une première courbe d'évolution de la population de rhizobium dans chacun des deux sols pendant l'hivernage 1978 à Thilmakha. (cf. fig. 21 p. 100).

#### CONCLUSION :

On remarque que sur sol témoin "hors tache jaune" les souches de rhizobium spécifiques de l'arachide se multiplient rapidement, la population de rhizobium par gramme de sol passant de  $10^2$  à environ  $3,10^3$  en 20 jours. Ensuite cette multiplication se ralentira, se maintenant néanmoins jusqu'à la fin de l'hivernage pour être après la dernière pluie supérieure à  $3,10^4$ .

Au contraire sur sol "tache jaune", où le nombre de rhizobium spécifiques de l'arachide par gramme de sol est 10 fois plus faible avant la première pluie, cette multiplication des bactéries est retardée ou très lente puisque 20 jours après l'arrivée des pluies la population de rhizobium n'a pas changé d'après nos mesures.

La croissance de la population de rhizobium s'accélère entre le 20<sup>e</sup> et le 50<sup>e</sup> jour et la population finale après la dernière pluie est de l'ordre de  $5,10^3$  rhizobium par gramme de sol sec.

Toutefois, il n'est possible de conclure à un retard de croissance de la population de rhizobium sur tache jaune, que dans la mesure où le nombre de nodosités présentes sur les plantules correspond exactement au nombre de souches de rhizobium présentes dans la suspension-dilution inoculée et non le résultat de l'effet combiné de quelques facteurs antagonistes du rhizobium pour la nodulation et qui serait présent dans cette même suspension-dilution de sol.

Par contre, ce phénomène de latence dans le développement de la population de rhizobium dans des sites écologiques spécifiques, est très cohérent avec les reverdissements observés dans ces sites. A un moment du cycle où la plante jaunissante a encore une activité photosynthétique suffisante pour initier une nodosité, le seuil de population de rhizobium nécessaire pour qu'il y ait infection est franchi ; le système fixateur symbiotique d'azote se développe alors.

## 2. - OBSERVATIONS DE L' INFLUENCE DES NEMATODES SUR LA CROISSANCE DE L'ARACHIDE ET LA FIXATION SYNBIOTIQUE DE L'AZOTE SUR "TACHE JAUNE".

### INTRODUCTION

En Haute Volta, un phénomène de chlorose de l'arachide a été étudié par le laboratoire de nématologie de l'ORSTOM-Adiopoudoumé en liaison avec l'IRIC, des résultats spectaculaires ont été obtenus par des traitements nématicides. Des observations réalisées par GERMANI mettaient en évidence une coïncidence topographique quasi parfaite de la chlorose et de la présence dans le sol d'un nématode phytoparasite, espèce nouvelle décrite sous le nom d'*Aphasmatylenchus straturatus*.

Ces observations ont amené les auteurs à formuler les hypothèses suivantes quant à l'origine de cette chlorose de l'arachide :

, "attaque du nématode électivement au niveau des nodules bactériens"

, "action directe du nématode sur la plante, provoquant des désordres dans l'alimentation minérale"

, "action" d'un virus ou d'un mycoplasme dont le nématode serait le vecteur"

Au Sénégal, des essais agronomiques sur arachide réalisés par GERMANI et GAUTREAU, ont également mis en évidence un effet très net du nématicide sur le rendement, et une disparition de la chlorose dans un site du CRA de Bambey traité au nématicide.

Compte tenu de ces résultats antérieurs, il a été décidé de suivre à Thilmakha, en collaboration avec Messieurs GERMANI et SPILIOF : (Laboratoire de Nématologie de l'ORSTOM Bel-Air, Dakar), l'hypothèse de l'influence des nématodes sur le phénomène de jaunissement de l'arachide.

### PRINCIPES ET METHODES

Afin de préciser l'incidence de la population de nématodes

---

du sol sur la croissance de l'arachide et la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique sur les sites "taches jaunes", trois types d'observations ont été réalisées à Thilmakha pendant l'hivernage 1978 :

- effet d'un traitement nématicide sur le rendement de l'arachide et sur l'étendue des "taches jaunes".
- dénombrement de nématodes dans le sol et sur plantes, en cours de végétation,,
- état du développement et de la croissance de l'appareil végétatif aérien, du système racinaire et du système fixateur symbiotique de l'azote sur "tache jaune" et "hors tache jaune", traitées et non traitées au nématicide.

Le dispositif expérimental suivant a été retenu pour réaliser ces différentes observations : dans chaque bloc de l'essai "influence des techniques culturales sur la nodulation de l'arachide", les parcelles n° 5 ont été divisées dans le sens de la longueur en deux sous parcelles de 15 m de long et 3 m de large chacune. Sur les demi-parcelles de gauche (orientation N-S, demi-parcelles orientales) a été appliqué un traitement nématicide.

Ce dispositif a été choisi en raison des contraintes suivantes :

• la nécessité d'épandre le nématicide sur un sol dont l'état d'humidité est à la capacité au champ et de différer le semis d'au moins une semaine après l'apport du produit nématicide (le némagon dans cette expérimentation), obligeant à un semis plus tardif de l'arachide sur les parcelles du traitement nématicide que sur les autres parcelles de l'essai. Or, il est essentiel que le témoin du traitement nématicide soit semé à la même date.

• par ailleurs, les différentes parcelles de l'essai ont des histoires culturales différentes. Or, les parcelles témoins du traitement nématicide doivent avoir la même histoire culturale que les parcelles où est appliqué le traitement nématicide, afin de pouvoir évaluer l'effet spécifique de ce traitement.

L'épandage du nématicide a été réalisé par l'ORSTOM, le lundi 17 Juillet+ sur les demi-parcelles gauches.

\* 1ère pluie à Thilmakha : le 11 Juillet, 2.3 mn.

Le semis de l'arachide sur les parcelles autres que les parcelles 5 de l'essai, a été réalisé le 12 Juillet 1978.

Le produit nématicide employé est le némagon.

- de la formule chimique :  $C_3 H_5 Br_2 Cl$ .
- à la dose de 251/ha.

Le semis des parcelles 5 (sous-parcelles témoin et sous-parcelles traitées) a eu lieu le 26 Juillet 1978, soit 14 jours plus tard que pour les autres parcelles de l'essai.

Avec ce dispositif, l'effet du traitement nématicide est évalué par comparaison des rendements sur sous-parcelles témoins et sous-parcelles traitées. On obtient ainsi une mesure de l'incidence de la population de nématodes ou de tout facteur sensible à l'action du nématicide sur la croissance de l'arachide. Les mesures de rendements portent sur les poids secs de fanes et de gousses dans les surfaces utiles de 23,4 m<sup>2</sup> (4 rangs de 0,45 m d'écartement, et 13 m de long) délimitées à l'intérieur de sous-parcelles.

Une telle mesure permettrait d'évaluer l'effet du traitement nématicide sur le phénomène de jaunissement de l'arachide à condition d'une part, que l'étendue des "taches jaunes" soit comparable dans les 2 séries de sous-parcelles et d'autre part, que le traitement nématicide soit sans effet sur les sites témoin;.. Parallèlement, l'observation des surfaces de plantes chlorotiques dans les parcelles 5, permet d'apprécier directement l'effet du traitement nématicide sur le phénomène "tache jaune".

:Le dénombrement des nématodes dans les 4 traitements définis précédemment a été réalisé sur des échantillons de plantes et de sols prélevés par Messieurs GERMANI et SPILIOF au 35<sup>ème</sup> jour, dans les lignes de bordure,

Enfin, les observations et mesures sur la végétation et la nodulation en cours de cycle, ont été réalisées sur des plantes prélevées à différentes dates sur des emplacements "tache jaune", "tache jaune + nématicide" "hors tache jaune", "hors tache jaune + nématicide", sur les lignes de bordure des sous-parcelles. Dans le dispositif expérimental, le choix des emplacements de prélèvements est réalisé à partir des cartes de taches jaunes sur les parcelles 5 (cf. Chap. IV). Les prélèvements "hors tache jaune" et "hors tache jaune + nématicide" étaient possibles dans la parcelle 115 où jamais auparavant aucune "tache jaune" n'avait été observée ; fait confirmé par l'observation en 1978.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### a. - Effets du traitement nématicide sur l'étendue des "taches jaunes" et sur le rendement de l'arachide

A l'observation visuelle de la végétation dans les parcelles 5 il apparaît un effet positif très net du traitement nématicide sur le développement et la croissance de la végétation aérienne.

Néanmoins, dans les différentes sous-parcelles traitées, l'état de la végétation aérienne est très variable d'un bloc à l'autre, et surtout on y remarque la présence de plantes chlorotiques et la rémanence de "taches jaunes" (fig. 22 p.106).

Ces nuances dans l'observation visuelle des effets du traitement nématicide ont été cartographiées le 12 Septembre 1978, soit au 48ème jour du cycle végétatif de l'arachide dans les parcelles 5. (Fig. 22)

Les mesures de rendement sur la production de fanes et la production de gousses (cf. tab 26 p.107) confirment; l'observation visuelle et amènent à conclure à un effet positif très net du traitement nématicide sur la croissance et le développement de l'arachide.

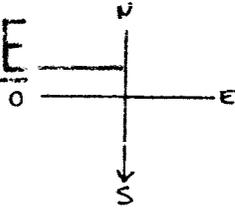
Mais, cette expérimentation permet-elle de conclure quant à l'incidence du nématicide sur le phénomène de jaunissement de l'arachide sur les "taches jaunes" observées à Thilmakha ?

La lecture des rendements l'autoriserait à condition que la différence observée entre les résultats des parcelles traitées et des parcelles témoins soit due à la disparition des plantes chlorotiques dans les demi-parcelles traitées. Or, on remarque :

- la présence des plantes chlorotiques dans les demi-parcelles traitées (cf. cartographie et variabilité des résultats de rendement des sous-parcelles traitées dans les différents blocs)
- l'effet positif du traitement nématicide en dehors de tout phénomène de jaunissement de l'arachide. C'est en particulier, le cas dans la parcelle 5 du bloc II, indemne de toute chlorose et où la sous-parcelle traitée au némagon donne un rendement de 3,8 kg de gousses, contre 2,6 kg dans la sous-parcelle témoin.

On peut penser en conséquence que la population de nématodes du sol est à Thilmakha un facteur limitant du rendement de l'arachide (à condition toutefois que l'effet du nématicide sur la croissance de la plante résulte bien directement de son effet létal sur les nématodes) .

# g22 INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE



TRAITEMENT NEMATICIDE  
(1/2 parcelle de gauche au némagon)

Lieu : THILMAKHA

Année : \_\_\_\_\_

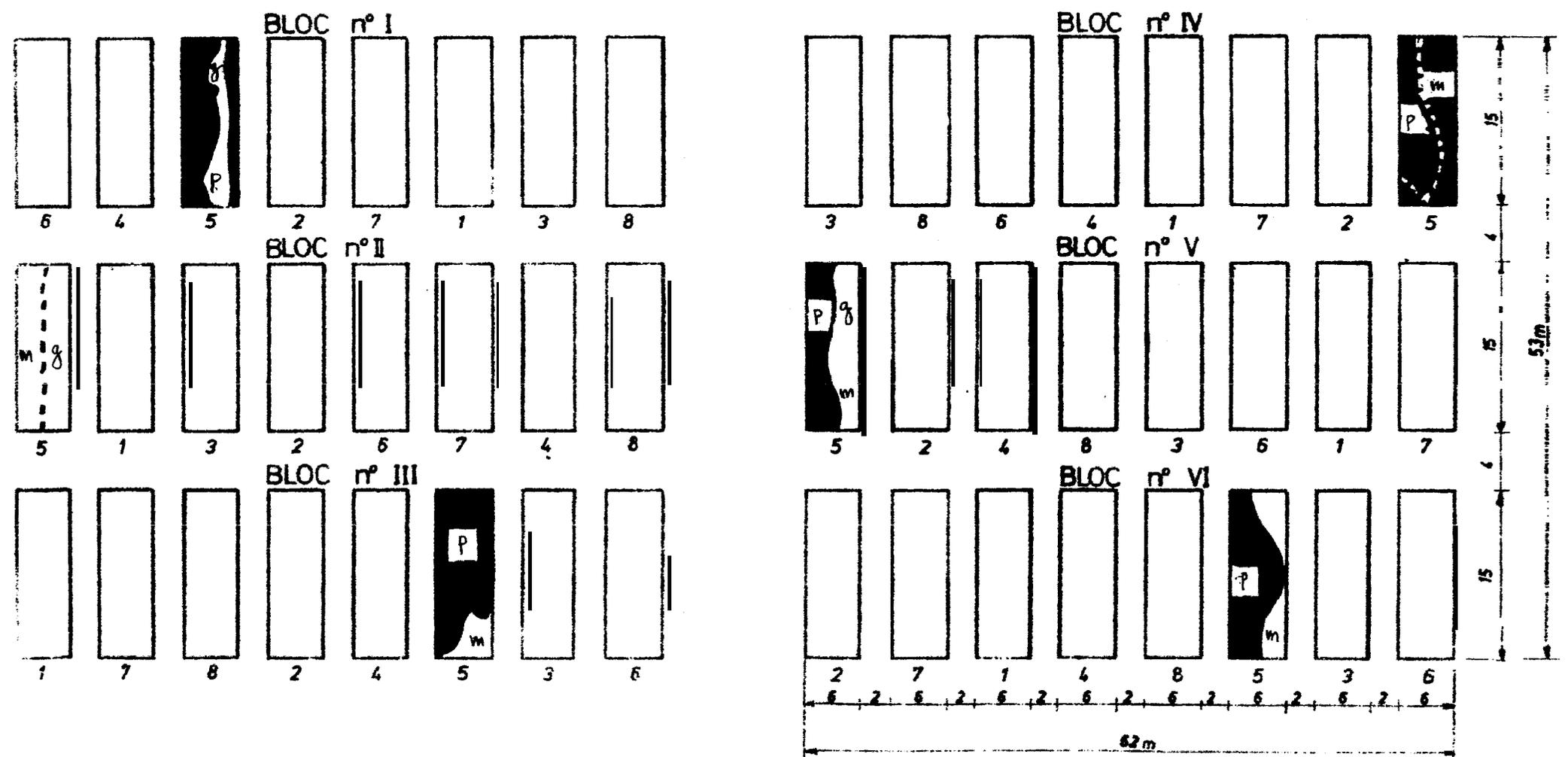
Observations taches jaunes

Culture : ARACHIDE

- p : plante chétive
- m : plante de taille moyenne
- g : plante particulièrement bien développée.

le 12 Septembre 1978

- plantes chlorotiques
- plantes normales



Tab. 26 - EFFETS DU NEMAGON SUR LES RENDEMENTS  
EN GOUSSES ET EN FANES DE L'ARACHIDE

Thilmakha 1978.

(Kg / parcelle utile)

Bloc:	Poids de gousses Kg		Poids de fanes Kg	
	traitement au némagon	témoin non traité	traitement au némagon	témoin non traité
I	1,700	0,700	1,400	0,600
II	3,800	2,000	3,250	1,750
III	2,000	0,750	0,750	0,350
IV	2,600	1,100	2,100	0,900
V	3,450	1,250	3,925	0,950
VI	2,150	0,700	2,950	0,400
Moyenne	2,617	1,183	2,396	0,825
écart type	0,841	0,731	1,197	0,516
Equivalents en Kg/ha.				
Moyenne	1 118	505	1 024	353
écart type	359	312	511	221

Tab. 27 - NOMBRE DE FEUILLES PAR PLANTES (Thilmakha 1978. Moyenne de 20 plantes)

TEMOIN NON TRAITÉ (Demi-parcelle droite de 5 - Thilmakha 1978.)

Date de prélèvement	1 : Bloc I				2 : Bloc III				3 : Bloc VI				4 : Bloc IV				5 : Bloc V		Moyenne	Ecart type			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2					
2/8/78 : 7ej	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	4	4	4	5	3	4	4	4	3,6	11,7			
16/8/78 : 21ej	9	12	6	6	10	14	7	6	18	23	17	20	15	7	9	13	13	14	10	6	5,0		
28/8/78 : 33ej	24	26	23	27	9	7	11	27	10	12	8	15	18	22	23	16	13	14	3	4	16,8	3,6	0,7

TRAITEMENT NEMATOCIDE (Demi-parcelle gauche de 5 - Thilmakha 1978.)

Date de prélèvement	1 : Bloc I				2 : Bloc III				3 : Bloc VI				4 : Bloc IV				5 : Bloc V				Moyenne	Ecart type
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
2/8/78 : 7ej	3	3	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3,7	0,4
16/8/78 : 21ej	17	9	14	18	6	7	6	7	14	16	22	21	23	8	15	12	17	18	14	15	13,9	5,5
28/8/78 : 33ej	12	26	32	29	32	33	38	37	15	28	18	9	28	21	19	23	28	27	25	23	20,2	8,2

NOMBRE DE NODOSITES PAR PLANTE (Thilmakha 1978. moyenne de 20 plantes).

TEMOIN NON TRAITÉ (Demi-parcelle droite de 5 - Thilmakha 1978.)

Date de prélèvement	1 : Bloc I				2 : Bloc III				3 : Bloc VI				4 : Bloc IV				5 : Bloc V				Moyenne	Ecart type
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
2/8/78 : 7ej																						
16/8/78 : 21ej	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	6	0	0	1	0	0	1	0,6	1,4
28/8/78 : 33ej	0	2	n	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	9	9	0	0	0	0	0	1,4	3,2

TRAITEMENT NEMATOCIDE (Demi-parcelle gauche de 5 - Thilmakha 1978.)

Date de prélèvement	1 : Bloc I				2 : Bloc III				3 : Bloc VI				4 : Bloc IV				5 : Bloc V				Moyenne	Ecart type
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
2/8/78 : 7ej																						
16/8/78 : 21ej	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0	7	11	5	6	0	0	0	4	1,9	3,1
28/8/78 : 33ej	0	1	3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	12	12	7	0	5	11	6,2	8,7

b. - Observations en cours de végétation

Dans l'objectif d'observer l'influence du traitement nématicides sur la nodulation et la croissance des plantes, des prélèvements de 20 plantes sur lignes de bordure ont été réalisés sur les demies-parcelles 5 aux dates suivantes :

2 Août 1978	:	7ème jour après semis
16 Août 1978	:	21ème jour après semis
28 Août 1978	:	33ème jour après semis

Les plantes ont été prélevées au hasard dans chacune des demies-parcelles des blocs I, II, III, IV, V, VI.

La parcelle 5 du bloc II a été évitée du prélèvement car aucun jaunissement de l'arachide n'y a jamais été observé auparavant,

Il apparaît à la lecture des résultats que le nématicide a sur le développement des plantes un effet positif qui s'exteriorise entre le 21ème et le 33ème jour (Tab. 27).

Sur les mêmes plantes prélevées, le nombre de nodosités est plus élevé dès le 21ème jour dans les parcelles traitées au nématicide. Il en est de même du pourcentage de plantes ayant au moins une nodosité : celui-ci est en effet de 25 % au 21<sup>e</sup> jour et 20 % au 33<sup>e</sup> jour sur les parcelles témoin, et 35 % et 44,8 respectivement sur les parcelles traitées. Le nématicide aurait un effet positif sur la probabilité de rencontre plante - rhizobium.

Mais de plus, en comparant les mesures de nodulation dans les différents blocs, on remarque :

- dans le bloc IV, où la nodulation est la plus élevée parmi les parcelles témoins, elle est également la plus élevée parmi les parcelles traitées.
- dans les blocs III et VI, où la nodulation est nulle au 33ème jour dans les parcelles témoins, elle est également nulle dans les parcelles traitées.

- le cas du bloc I constitue une situation intermédiaire, où la modulation faible sur les parcelles témoin s'élève à un niveau significatif dans les parcelles traitées.

Ces observations qu'il conviendrait de réaliser à une fréquence plus grande entre le 7<sup>ème</sup> et le 30<sup>ème</sup> jour, appuieraient l'hypothèse que le traitement nématicide ne lève pas la totalité des facteurs limitants de la nodulation de l'arachide.

Un ou plusieurs autres facteurs limitants dans les sols des parcelles 5 des blocs III et IV, expliqueraient alors la faible nodulation dans les sous-parcelles traitées, et la présence de plantes chlorotiques sous traitement nématicide.

Ainsi, afin de préciser le mode d'action du nématicide en rapport avec le phénomène de jaunissement de l'arachide, deux séries d'observations supplémentaires ont porté d'une part, sur le nombre de nématodes, d'autre part, sur la nodulation et l'état du système racinaire sur sites "taches jaunes" et "hors taches jaunes" traitées et non traitées au nématicide.

c. - dénombrement de nématodes

Afin de préciser l'influence des nématodes dans les sites de plantes chlorotiques, un dénombrement a été réalisé par Monsieur GERMANI (laboratoire de nématologie de l'ORSTOM) sur des plantes prélevées à Thilmakha en 4 sites différents :

- |  |                     |
|--|---------------------|
| . site "tache jaune"                         | parcelle 112        |
| . site "hors tache jaune"                    | parcelle 116        |
| . site "tache jaune" sans<br>nématicide      | parcelle 1.5 droite |
| . site "tache jaune" traité<br>au nématicide | parcelle 1.5 gauche |

On remarque que le nombre de nématodes de l'espèce *Scutellonema cavenessi* est beaucoup plus élevé dans le sol "tache jaune" et dans le rhizoplan des plantes chlorotiques que dans les conditions témoins (tab. 28, p. 111).

Tab. 28 - DENOMBREMENT DE NEMATODES *Scutellonema cavinessi* :

DANS LES RACINES DE PLANTES ET LES SOLS SUR "TACHES JAUNES" ET "HORS TACHES JAUNES"

Thilmakha 1978

(Moyenne de 10 plantes)

Sites	Nombre de Nématodes	
	Sols	Racines ,
Hors tache jaune	200	2 580
Tache jaune	880	20 951

EFFET DU TRAITEMENT AU NEMAGON SUR L'INFECTION DES PLANTES  
par *Scutellonema cavinessi*

Tache jaune	0 nématocide	506	16 420
	+ nématocide	0	0

On remarque également que dans les sites "tache jaune" non traitées où la population de nématodes est 2,5 et 4,4 fois plus élevée que dans le site "hors tache jaune" l'infection des racines de la plante est respectivement 7 et 8 fois plus élevée. L'infection des plantes chlorotiques n'est donc pas directement proportionnelle à la population de nématodes du sol à la date de prélèvement. Celle-ci ne serait donc pas le seul facteur déterminant le niveau de l'infection. Une moindre résistance de la plante sur "tache jaune" à l'attaque des nématodes pourrait également être en cause.

d. - Observations de l'effet du traitement nématicide sur des sites spécifiques "taches jaunes" et "hors taches jaunes"..

Des prélèvements de 10 plantes par traitement ont été réalisés le 22 septembre 1978, soit au 56ème jour après le semis en 4 sites spécifiques choisis dans les parcelles :

- site "hors tache jaune" sans nématicide
- site "hors tache jaune" avec némagon
- site "tache jaune" sans nématicide
- site "tache jaune" avec némagon

De telles observations ont été possibles par la présence d'une parcelle indemne de toute chlorose (parcelle 5 bloc II) , tandis que la parcelle 5 du bloc VI était totalement chlorotique en 1974, et partiellement en 1976 et 1978.

A la lecture de ces résultats (cf. tab. 29 p.113) remarquons d'abord l'effet du semis tardif sur la nodulation. En effet, dans la parcelle II 5<sub>iii</sub> où les plantes semées tardivement ont eu une croissance comparable aux plantes prélevées "hors tache jaune" dans le reste de l'essai au 55ème jour, le nombre moyen de nodosités est de 5,4 sur la parcelle non traitée et de 22,2 sur la parcelle traitée au némagon. Au 55ème jour, celui-ci était de 90,6 sur les sites "hors tache jaune" dans d'autres parcelles de l'essai 'semées plus tôt.

Tab. 29 EFFETS DU TRAITEMENT NEMATOCIDE SUR L'ETAT DE L'APPAREIL AERIEN, DU SYSTEME RACINAIRE ET DE LA MODULATION DES PLANTES SUR "TACHE JAUNE" ET "HORS TACHE JAUNE". Thilakha 1978. (Moyenne de 9 plantes)

56ème jour.

Site	Observations	Plantes prélevées										Moyenne	Ecart type σ n-II
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
"Tache jaune" o nématocide	nombre de feuilles	12	28	23	19	26	7	14	15	16	17,8	6,9	
	poids sec parties anciennes	1,6	3,1	4,4	3,9	6,9	1,2	3,7	2,4	2,4	3,3	1,7	
	nombre de nodosités	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0,6	1,1	
	% des plantes modulées	/	/	/	/	/	/	/	/	/	22,2 %	/	
	% des plantes ayant des racines I II	I	I	II	II	II	I	I	II	II	0 %	/	
Tache jaune + nématogon	nombre de feuilles	52	55	17	53	59	42	24	19	52	41,2	16,6	
	poids sec des parties aériennes	17,0	21,4	2,4	11,7	18,9	7,3	4,2	1,9	21,5	11,8	8,1	
	nombre de nodosités	3	0	0	12	15	0	11	0	16	6,3	7,0	
	% de plantes modulées	/	/	/	/	/	/	/	/	/	55,6 %	/	
	% de plantes ayant des racines III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	100 %	/	
Hors tache jaune o nématocide	nombre de feuilles	42	35	44	47	44	57	33	34	47	40,3	5,6	
	poids sec des parties aériennes	7,7 <sub>t</sub>	8,4	9,2	13,1	8,9	6,0	7,2	8,4	9,2	8,7	2,0	
	nombre de nodosités	8	10	19	24	9	11	11	9	13	12,7	5,4	
	% de plantes modulées	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100 %	/	
	% de plantes ayant des racines de type III	I	II	III	III	III	II	II	I	II	33,3 %	/	
Hors tache jaune + nématogon	nombre de feuilles	51	52	60	59	44	52	49	80	53	55,6	10,4	
	poids sec des parties aériennes	1,2 <sub>t</sub>	14,3	14,5	15,9	11,0	16,8	20,7	22,5	27,5	17,8	5,0	
	nombre de nodosités	8 <sub>t</sub>	2	5	16	57	7	2	66	38	20,1	22,2	
	% de plantes modulées	/	/	/	/	/	/	/	/	/	100 %	/	
	% de plantes ayant des racines type III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	100 %	/	

"hors tache jaune" (17,8 gr sous traitement au némagon contre 8,7 g sur sol non traité) .

- un effet positif sur la nodulation dans les sites "taches jaunes", avec en particulier un accroissement du pourcentage de plantes nodulées au 56ème jour. (22,2 % de plantes ayant au moins une nodosité sur "tache jaune" non traitée contre 55,6 % sur "tache jaune" traitée) . La probabilité de rencontre rhizobium-site d' infection accrue par le traitement nématicide ,

Cependant, on remarque que 4 plantes sur 9, n'ont toujours pas de nodosités au 56ème jour après semis sur "tache jaune" traitée au némagon.

En conséquence, on peut penser que des facteurs autres que ceux sur lesquels agit le némagon, sont en cause pour expliquer la faible nodulation de l'arachide sur "tache jaune".

- "hors tache jaune" où 100 % des plantes sont nodulées au 56ème jour, le nombre de nodosités est plus élevé sous traitement nématicide.

- le système racinaire des plantes sur "tache jaune" non traitées présente un aspect dégradé caractérisé à cette date du 56ème jour, par un nombre réduit de racines latérales, une quasi absence de radicelle, et des "protubérances" très nombreuses (cf. chapitre 1). Nous nous y référons sous dénomination types 1 et II.

- Or les plantes prélevées sur "tache jaune" traitée au némagon, présentent: toutes un système racinaire très développé, même quand il ne porte aucune nodosité. Nous nous y référons sous dénomination type III. Il est caractérisé par un grand nombre de racines latérales, portant de nombreux radicules à l'aisselle desquelles on distingue un chevelu abondant. En outre, il est remarquable de n'y trouver aucune "protubérance".

- Sur site "hors tache jaune", une proportion beaucoup plus élevée de plantes présentent un système racinaire de type III, sur lequel toutefois on distingue des "protubérances". Dans ces mêmes sites, il résulte de l'application du némagon, une disparition complète de toute protubérance sur les racines et une augmentation de développement de ces systèmes racinaires.

CONCLUSIONS :

L'application du némagon détruit la population de nématodes du sol.

De l'amélioration remarquable de l'état du système racinaire sous traitement au némagon, nous déduisons que :

. Dans les sols de Thilmakha, un ou plusieurs facteurs édaphiques inhibés par l'application du némagon (nématodes, ou autre facteur édaphique vraisemblablement biologique "détruit" par le némagon) limitent le développement du système racinaire de l'arachide.

. Parmi ceux-ci, un nématode *Scutellonema cavenessi* dont la population est en moyenne 4 fois plus élevée dans les sols du site "tache jaune" qu'en sol témoin, infecte les racines de l'arachide, les plantes chlorotiques étant 8 à 10 fois plus infectées que les plantes non chlorotiques. Toutefois, n'ayant pas pu dater le début de cette infection, nous ne savons pas si elle résulte d'un état de faible défense des plantes déjà chlorotiques ou si elle est à l'origine même de l'état chlorotique des plantes.

. Les protubérances résultent de l'effet de facteurs édaphiques inhibés par le némagon.

. Ce ou ces mêmes facteurs édaphiques en limitant le développement du système racinaire, auraient pour principale conséquence de diminuer la probabilité de rencontre entre les rhizobiums du sol et les sites d'infection, en limitant l'espace de sol prospecté par les racines, et la distribution des sites d'infection dans cet espace.

. Toutefois, la présence de plantes chlorotiques non nodulées sur parcelles traitées au némagon ici de même à penser que les facteurs sensibles au némagon ne sont pas les seuls facteurs en cause dans la chlorose étudiée à Thilmakha.

, les protubérances sont souvent localisées à l'emplacement de radicle,, (là même où sont situés les sites d'infection des racines par rhizobium) . D'où l'hypothèse que le ou les facteurs inhibés par le némagon auraient un effet négatif sur la nodulation en détruisant des sites d'infection. Cet effet pourrait être plus précoce que celui sur les ramifications et la croissance du système racinaire, dont nous avons vu précédemment qu'il n'a pas été distingué avant le 50<sup>ème</sup> jour dans nos observations au champ. Ceci est d'autant plus important que l'on sait que le déficit de nodulation sur arachide qui est à l'origine de la chlorose de l'arachide sur "tache jaune" s'établit lui dans les 20 premiers jours du cycle de la plante à Thilmakha (cf. chapitre I.).

, dans l'hypothèse d'un phénomène de compétition entre les nématodes et les rhizobiums au niveau de l'infection du système racinaire, l'activité des souches de rhizobium du sol joue un rôle essentiel étant à l'origine d'un développement plus ou moins rapide de la population de rhizobium du sol après la saison sèche (cf. chapitre II, paragraphe II. 1. p 88 ) La présence de plantes chlorotiques sur "taches jaunes" traitées au némagon s'expliquerait malgré les effets positifs du nématicide, par une activité de la population de rhizobium spécifique de l'arachide trop limitée.

, l'effet particulièrement net du némagon sur la croissance de la plante et le rendement, en dehors de son effet spécifique sur la nodulation. et la fixation symbiotique, serait une conséquence d'une meilleure nutrition minérale de la plante à la suite du plus grand développement du système racinaire et la suppression du parasitisme par les nématodes et tout autre facteur biologique inhibé ou tué par le némagon. Elle pourrait également résulter d'un effet de type hormonal du némagon sur la croissance de la plante.

Une nouvelle série d'observations plus précises des systèmes racinaires dans ces mêmes sites et plus fréquente pendant les 30 premiers jours du cycle permettrait de préciser les effets du némagon et de mieux connaître le mode d'action du ou des facteurs inhibés par le némagon sur l'infection de la plante par les rhizobiums du sol.

Parallèlement, un essai de reproduction de la chlorose en milieu contrôlé par inoculation d'un sol avec *Scutellonema cavenessi* en présence de souches de rhizobium, permettrait d'identifier le rôle de ce nématode dans le phénomène. Jusqu'à présent de tels essais n'ont pas abouti faute d'une survie des nématodes inoculés.

Or, ceux-là même permettraient d'établir exclusivement le rôle de *Scutellonema cavenessi* dans le phénomène "tache jaune" de l'arachide.

### III - ETUDE DES FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL :

A - INTRODUCTION : Objectif et principe de l'étude des facteurs édaphiques physico-chimiques.

Les observations précédentes sur la physiologie des plantes nous ont amené à situer au niveau de la nodulation-infection, l'origine de la chlorose. La mesure des facteurs biotiques au champ indiquent une incidence possible des rhizobiums et nématodes du sol sur l'état du système racinaire et la faible nodulation des plantes chlorotiques.

L'objectif maintenant de l'étude des facteurs édaphiques au champ est de rechercher dans l'état physico-chimique du milieu, l'origine éventuelle de la faible population active des rhizobiums en début de cycle et de la population élevée des nématodes sur "tache jaune".

Pour cela, des échantillons de sol ont été prélevés à 5 dates du cycle de l'arachide à Thilmakha. A chaque date, un échantillon de sol était prélevé sur chacun des 5 sites "taches jaunes" et chacun des 5 sites "hors taches jaunes". (un échantillon de sol correspond donc à un site de prélèvement noté A1 à A5 sur "tache jaune" et C1 à C5 "hors tache jaune" et à une date de prélèvement).

Sur chaque échantillon, les analyses suivantes ont été réalisées par le laboratoire d'analyse des sols du C.N.R.A. de Bambey dirigé par M. OLIVIER :

- granulométrie complète,
- pH eau et KCl ,
- Carbone total,
- C.E.C.
- manganèse facilement réduit ,
- aluminium échangeable,
- N total du sol.

Dans un premier temps les mesures obtenues seront comparées sur "taches jaunes" et "hors taches jaunes". Il conviendra alors de tenir rigoureusement compte du fait que les sites A et C ne se distribuent pas de manière homogène dans les différents traitements de l'essai (cf. tab. 30).

Tab. 30 - **DISTRIBUTION DES** SITES DE PRELEVEMENT  
DANS LES DIFFERENTS TRAITEMENTS DE L'ESSAI DE THILMAKHA.

SITE	BLOC	PARCELLE	TRAITEMENT
A1	1	2	témo in + Labour
A2	1	1	témo in
A3	<b>II</b>	2	témo in + Labour
A4	<b>IV</b>	1	témo in
45	VI	2	témo in + Labour
C1	1	6	témo in + Labour + chaux
c2	<b>III</b>	6	témo in + Labour + chaux + fumi er
c3	<b>IV</b>	3	témo in + Labour + chaux
c4	V	6	témo in + Labour + chaux
c5	<b>VI</b>	1	témo in

Tab. 31. TENEUR EN Al ECHANGEABLE me/100 g  
THILMAKHA 197%

Date	SOLS "TACHE JAUNE"							SOLS "HORS TACHE JAUNE"					
	A1	A2	A3	A4	A5	moyenne	n-1	C1	C2	C3	C4	C5	moyenne
2/08/79	0,085	0,110	0,260	0,102	0,250	0,161	0,085	0,010	0,045	0,020	0,123	0,212	0,084
16/08/79	ε	ε	ε	0,027	0,130	0,078	0,073	ε	ε	ε	ε	ε	ε
5/09/79	0,330	0,140	0,360	0,210	0,250	0,258	0,089	ε	ε	0,110	ε	0,150	0,130
12/09/79	0,190	0,140	0,170	0,290	0,040	0,166	0	9	0	ε	ε	0,070	0,014
27/09/79	0,290	0,380	0,410	0,300	0,270	0,330	0	0	6	1	ε	ε	ε
Moyenne σ n-1						0,189	0,125						0,030 0,058

Tab. 32 . TAUX IDE SATURATION DE LA CEC EN ALUMINIUM ECHANGEABLE

Al/t %

Thi l makha 197%

Date	SOLS "TACHE JAUNE"							SOLS "HORS TACHE JAUNE"					
	A1	A2	A3	A4	A5	moyenne	n-1	C1	C2	c3	c4	C5	moyenne
2/08/79	11,3	14,1	36,1	11,3	24,5			1,3	6,9	2,5	15,9	22,8	
16/08/79	ε	ε	ε	3,8	18,1			ε	ε	ε	ε	ε	
5/09/79	44,6	18,0	46,2	27,1	34,7			ε	1,7	18,9	1,8	20,8	
12/09/79	33,3	18,0	25,8	42,0	6,0			ε	1,3	ε	ε	8,9	
27/09/79	30,5	46,3	41,8	33,3	36,0			ε	ε	ε	ε	1,3	
Moyenne σ n-1						24,27	15,12						



Tab. 35 - pH DES SOLS PRELEVES

pH EAU 12,5  
(THILMAKHA 1978)

Date	SOLS "TACHE JAUNE"							SOLS "HORS TACHE JAUNE"					
	A1	A2	A3	A4	A5	moyenne	n-1	C1	C2	C3	C4	C5	moyenne
2/08/79	5,2	5,1	5,2	4,7	5,2			8,0	5,4	5,9	6,6	5,4	
16/08/79	5,5	5,1	5,3	5,2	5,3			7,6	6,6	5,9	6,5	5,9	
5/09/79	5,4	5,3	5,0	5,3	5,0			7,6	6,4	5,4	5,9	5,6	
12/09/79	5,0	4,9	5,0	4,7	5,3			6,7	6,6	5,6	6,2	5,3	
27/09/79	5,3	5,0	5,1	5,1	4,9			5,5	6,6	5,9	6,0	5,3	
Moyenne $\sigma$ n-1	5,28 0,19	5,08 0,15	5,12 0,13	5,00 0,28	5,14 0,18	5,124		7,08 1,00	6,28 0,50	5,74 0,23	6,24 0,30	5,50 0,25	

Tab. 36 - pH KCL

Thilmakha 1978

Date	SOLS "TACHE JAUNE"							SOLS "HORS TACHE JAUNE"					
	A1	A2	A3	A4	A5	moyenne	n-1	C1	C2	C3	C4	C5	moyenne
2/08/79	4,2	4,2	4,2	4,0	4,2			7,7	4,5	5,2	5,9	4,3	
16/08/79	4,4	4,2	4,2	4,2	4,3			7,1	5,8	6,0	5,5	4,7	
5/09/79	4,3	4,4	4,1	4,1	4,1			7,2	5,8	4,4	4,8	4,4	
12/09/79	4,3	4,3	4,3	4,1	4,5			6,3	6,4	5,0	5,3	4,5	
27/09/79	4,3	4,2	4,2	4,2	4,2			4,7	6,2	4,8	5,0	4,6	
Moyenne $\sigma$ n-1	4,30 0,07	4,26 0,09	4,20 0,07	4,12 0,08	4,26 0,15			6,60 1,74	5,74 0,74	5,08 0,59	5,30 0,43	4,50 0,16	

Tab. 37 - TENEUR EN CARBONE TOTAL %.

THILMAKHA 1978

Date	SOLS "TACHE JAUNE"							SOILS "HORS TACHE JAUNE"						
	A1	A2	A3	A4	A5	moyenne	$\sigma_{n-1}$	C1	C2	C3	C4	C5	moyenne	
2/08/79	1,52	1,64	1,40	1,56	1,72	1,57	0,12	1,56	1,48	1,96	1,36	1,60	1,59	0,23
16/08/79	1,24	1,48	1,68	1,52	1,68	1,52	0,12	1,44	1,88	2,08	1,48	1,80	1,74	0,27
5/09/79	1,84	1,56	2,08	1,40	1,56	1,69	0,27	1,32	1,48	1,44	1,36	1,52	1,42	0,08
12/09/79	1,24	1,72	1,40	2,12	1,80	1,67	0,35	1,44	1,64	2,76	1,96	1,96	1,95	0,50
27/09/79	2,00	2,12	1,80	2,36	2,16	2,09	0,21	1,96	2,16	3,08	2,28	2,32	2,36	0,43
Moyenne	1,57	1,70	1,67	1,79	1,78	1,704		1,54	1,73	2,26	1,69	1,84	1,812	
$\sigma_{n-1}$	0,35	0,25	0,29	0,42	0,23		0,299	0,25	0,29	0,66	0,41	0,32	0,451	

Tab. 38 - C. E. C. EN MEQ/100 G

Thil makha 1978

Date	SOLS "TACHE JAUNE"							SOLS "HORS TACHE JAUNE"					
	A1	A2	A3	A4	A5	moyenne	$\sigma_{n-1}$	C1	C2	C3	C4	C5	moyenne
2/08/79	0,75	0,78	0,72	0,90	1,02			0,80	0,65	0,80	0,83	0,93	
16/08/79	0,72	0,85	0,69	0,72	0,70			0,65	0,71	0,69	0,64	0,71	
5/09/79	0,74	/	0,78	/	0,72			/	0,58	0,58	0,57	0,72	
12/09/79	0,57	/	0,66	0,69	0,67			0,69	0,77	0,71	0,69	0,79	
27/09/79	0,95	0,82	0,98	0,90	0,75			0,77	0,67	0,70	0,75	0,77	
Moyenne						0,776			0,676	0,696			0,715
$\sigma_{n-1}$							0,114						0,085

Tab. 39 - TENEUR EN MANGANESE Mn

Mn facilement réductible ppm  $10^{-4}$  g/100 g.

Thi Imakha 1978

Date	SOLS "TACHE JAUNE"							SOLS "HORS TACHE JAUNE"					
	A1	A2	A3	A4	A5	moyenne	$\sigma_{n-1}$	C1	C2	C3	C4	C5	moyenne
2/08/79	4,28	3,57	3,28	5,78	9,42			14,78	6,35	8,50	5,00	14,28	
16/08/79	3,36	6,43	4,21	10,21	3,57			10,14	6,07	7,57	4,14	8,14	
5/09/79	5,93	3,71	3,43	11,28	2,71			17,06	6,28	5,21	4,00	14,99	
12/09/79	3,00	3,78	3,21	6,71	3,71			13,78	6,00	8,35	7,57	16,35	
27/09/79	6,07	5,71	4,14	6,50	5,57			18,28	8,00	6,64	6,85	18,64	
Moyenne $\sigma_{n-1}$						5,18	2,30						9,71 4,71

La variation de ces mesures au cours de l'hivernage sera ensuite discutée. L'objectif est d'évaluer la possibilité d'utiliser des mesures sur des prélèvements de dates différentes, dans une même analyse factorielle discriminante.

Si ceci est possible, l'établissement de relations chiffrées entre l'état physico-chimique de milieu et le phénomène de chlorose sera réalisé avec pour variables, les mesures ci-dessus (corrigées dans le temps si nécessaire) et celles réalisées sur les plantes (cf. chapitre 1).

#### B - MATERIEL ET METHODES :

Les échantillons de sol sont prélevés à Thilmakha au moment des mesures d'ARA et des prélèvements de plantes au champ. Ils sont constitués par le sol proche des racines (rhizoplan) des cinq plantes correspondant: à un emplacement de prélèvement et récupérés en agitant dans un sachet plastique les racines déterrées (avant qu'elles soient placées dans un flacon sérum pour mesure ARA) (cf. chapitre 1) .

L'ensemble est homogénéisé par brassage dans le sachet. Celui-ci est ensuite fermé hermétiquement.

Les différents échantillons ont été analysés dans une même série en Mars 1979, par le laboratoire d'analyse du C.R.A. de Bambey.

Les résultats sont présentés dans les pages 49-50. Ils sont discutés au niveau de la synthèse de ce Chapitre II ; l'analyse factorielle discriminante proposée ci-dessus n'a pas pu être réalisée faute de temps.

SYNTHÈSE DE L'OBSERVATION DES FACTEURS EDAPHIQUES  
"SUR TACHES JAUNES" ET "HORS TACHES JAUNES"

---

---

L'étude des facteurs Edaphiques visait à identifier les facteurs du milieu pouvant être à l'origine de la déficience de nodulation mise en évidence sur les plantes chlorotiques.

La carence ou l'excès de nutriments dans le sol a été étudié essentiellement à travers l'analyse de la composition minérale des plantes prélevées régulièrement à Thilmakha (cf chapitre I). \*

Parmi les différents facteurs biotiques étudiés, les rhizobiums et les nématodes apparaissent être en cause dans l'état de la végétation sur tache jaune.

Enfin l'étude des facteurs physico-chimiques du sol a été menée par l'analyse en laboratoire d'échantillons de sols prélevés régulièrement à Thilmakha dans le rhizoplan des plantes prélevées pour l'étude de la végétation.

1/ Nutrition minérale des plantes :

La mesure progressive des taux d'azote des plantes au cours du cycle, permet de comparer la courbe de nutrition azotée des plantes sur tache jaune par rapport à celle de plantes témoin, Il a été possible de mettre en évidence un ralentissement de cette nutrition azotée sur tache jaune entre le 12<sup>ème</sup> et le 21<sup>ème</sup> jour, alors qu'au contraire elle s'accélère sur les plantes témoin entre ces mêmes dates. Cette observation renforce l'hypothèse d'une déficience de nutrition azotée sur "tache jaune" par suite

\* partie5 aériennes seulement.

d'une déficience de fixation symbiotique d'azote (Celle-ci démarre en effet entre le 12<sup>ème</sup> et le 21<sup>ème</sup> jour sur les plantes témoin). Elle montre également que les quantités d'azote du sol assimilées sur "tache jaune" sont réduites et diminuent. L'activité assimilatrice d'azote n'étant pas perturbée sur ces plantes \*\*, cette déficience de la nutrition à partir de l'azote **du sol résulte** d'une teneur faible en azote dans l'espace prospecté par les racines et/ou d'un ralentissement du développement racinaire.

Le ralentissement de croissance des plantes et l'apparition des symptômes de chlorose se situant entre le 20<sup>ème</sup> et le 30<sup>ème</sup> jour du cycle, le fléchissement de nutrition azotée leur est antérieur.

Les différences observées après cette date pourront être une conséquence des phénomènes ci-dessus. Seules les différences antérieures à cette date dans la composition minérale des plantes pourront être mises en cause dans l'explication de la chlorose.

Or, pour phosphore et potassium, les différences n'apparaissent qu'après le 21<sup>ème</sup> jour. Ces deux éléments ne seraient donc pas **en cause**. **Par ailleurs**, les sols sur lesquels la chlorose est observée à Thilmakha ont reçu régulièrement une fertilisation phospho-potassique depuis 5 ans.

Les teneurs en calcium et magnésium des parties aériennes des plantes, sont significativement inférieures sur "tache jaune" dès le 12<sup>ème</sup> jour, alors qu'il n'y a pas de différence de poids sec des plantes à cette date. Les **plantes** sont elles alors carencées au point de ne pas répondre à l'infection par rhizobium ?

\*\* Le fait que l'apport d'une fumure azotée fait disparaître la chlorose montre qu'il n'y a pas de déficience physiologique des plantes pour l'absorption et l'assimilation de l'azote du sol.

TENEUR MOYENNE DES PLANTES SUR "TACHES JAUNES" ET "HORS TACHES JAUNES"  
 AU 1 2ème JOUR. (% g/100 g)

Tab. 40. - EN CALCIUM ET MAGNESIUM

		Ca	Mg
T.	J.	0,99	0,36
an-1		0,18	0,03
H.T.J.		1,41	0,53
σn-1		0,27	0,12

La teneur des plantes en microéléments a pu être mesurée pour Al, Cu, Fe, Na, S, B, Zn. Il n'a pas été mis en évidence de différence significative entre les deux types de plantes, au moins pendant les premiers 30 jours du cycle. \*

Parallèlement, un épandage foliaire d'une solution d'oligoéléments pour légumineuses (utilisée par ailleurs en milieu contrôlé. cf. chapitre III), n'a pas permis de faire disparaître la chlorose, ni d'améliorer le rendement sur "tache jaune".

Rappelons que le fait même que les nodosités présentes sur plante chlorotique aient une ARA spécifique comparable à celle des plantes témoins indique que ces plantes ne sont pas carencées en Mo:lybdène (cet oligoélément entre dans la composition de la nitrogénase, qui est fonctionnelle dans les nodosités sur plante chlorotique).

\* ces résultats ne sont cependant exploitables que pour tout élément qui ne s'accumule pas préférentiellement dans les racines.

Une carence en oligoéléments ne serait donc pas à l'origine de la chlorose observée sur tache jaune.

## 2/ FACTEURS BIOTIQUES DU MILIEU, RHIZOBIUM ET NEMATODES :

Les dénombrements de rhizobium ont été réalisés sur des échantillons de sol prélevés en saison sèche d'une part, en saison des pluies, d'autre part, à 3 dates successives du cycle de l'arachide (21, 55 et 82 jours après la première pluie). Les courbes d'évolution de la population de rhizobium ont pu être réalisées dans un site "tache jaune" et dans un site témoin "hors tache jaune" de ThiImakha.

En fin de saison sèche, le nombre de rhizobium par gramme de sol est de l'ordre de 10 en sol "tache jaune" contre 100 en sol témoin. De plus, les rhizobiums se multiplient rapidement dans les 20 jours suivant la première pluie en sol témoin. Au contraire, ils ne commencent à se multiplier qu'après le 20ème jour sous "tache jaune".

Ce phénomène de latence, combiné à la faible population de rhizobium dans le sol en fin de saison sèche, expliquerait le retard de nodulation des plantes observé sur "tache jaune".

Sur "tache jaune", le seuil du nombre de rhizobium par gramme de sol correspondant à une nodulation comparable au témoin, serait dépassé entre le 20ème et le 55ème jour. La nodulation sera effective ou non, selon l'état du système racinaire (dont le développement est ralenti et qui apparaît dégradé au 55ème jour dans certains sites "tache jaune"). Ainsi s'expliqueraient les reverdissement de plantes observés après le 35ème jour (cf. chapitre 1) correspondant à une activité fixatrice d'azote efficace à partir de cette date. Dans d'autres cas, le nombre de nodosités restant faible par suite de l'état dégradé du système racinaire, les plantes jaunissent et dépérissent.

L'étude des nématodes du sol. à Thilmakha en 1978 a été menée dans les parcelles 5 de l'essai, où un traitement au némagon (C<sup>14</sup> H<sup>5</sup> Br<sup>2</sup> Cl) était appliqué sur une moitié de chacune de ces parcelles.

Cet essai confirme sur Thilmakha, un très net effet du némagon sur le rendement de l'arachide. Le rendement final sur les demi parcelles traitées est de 1,1 t/ha de gousse contre 0,5 t/ha sur les demi-parcelles témoin.

Des prélèvements réguliers de plantes, en cours de cycle ont mis en évidence :

- . un effet positif du némagon sur le nombre total de nodosités; par plante après le 21<sup>ème</sup> jour,
- . un effet positif du némagon sur le pourcentage de plantes nodulées avant le 21<sup>ème</sup> jour ,
- . un effet positif sur la croissance des plantes qui s'ex-  
térieurise après le 21<sup>ème</sup> jour.

Cependant, on pouvait observer au champ des plantes chlorotiques et la rémanence de "taches jaunes" sous traitement nématicide. Une observation complémentaire a donc été réalisée au 56<sup>ème</sup> jour sur "tache jaune" et "hors tache jaune" traitées ou non au némagon. On note :

- . un effet positif du némagon sur la nodulation des plantes sur "taches jaunes". Le pourcentage de plantes nodulées passe en effet de 22 % à 56 %, et le nombre de nodosités par plante augmente également. Cependant, 44 % des plantes restent sans nodosités sur "tache jaune" malgré l'application du némagon .

On remarque que "hors tache jaune", avec ou sans traitement némagon, 100 % des plantes sont nodulées. Mais le nombre des nodosités est faible. (de l'ordre de 20 alors que sur les autres sites "hors tache jaune" de l'essai

il est de 90 à la même date dans le cycle), en rapport avec la date du semis plus tardif que dans les autres parcelles de l'essai de Thilmakha.

-- un effet très net du némagon sur l'état du système racinaire.

Sur "tache jaune" où les plantes montrent un système dégradé caractéristique (cf. chapitre 1) , les plantes présentent, sous traitement nématicide un système racinaire particulièrement bien développé avec des radicelles intactes et sans "protubérances". Certaines de ces plantes sont pourtant parfois chlorotiques et dans ce cas elles sont très peu ou pas nodulées.

"Hors tache jaune" on note également un effet positif de némagon sur les racines, caractérisé par une disparition totale des "protubérances" et un chevelu dense à l'aisselle des radicelles.

• l'effet net sur la croissance est confirmé par un poids moyen de 11,8 g de poids des parties aériennes sur "taches jaunes" + némagon contre 3,3 g sans némagon.

Cet effet est également marqué "hors tache jaune" avec 17,8 g sous némagon contre 8,7 g sans traitement nématicide. Remarquons que ces plantes "hors taches jaunes" ont un poids sec moyen particulièrement élevé sous némagon, alors même que leur appareil fixateur symbiotique d'azote est resté peu développé.

En conséquence, l'effet du némagon sur la croissance des plantes et le rendement, ne serait pas dû à son seul effet sur la nodulation. Il pourrait résulter de son effet spécifique sur le développement du système racinaire ou/et sur le milieu (disponibilité en nutriments, élimination d'agents pathogènes) \* ou encore directement sur la plante (analogue à une action type hormone de croissance).

\* nématodes ou autres.

Enfin, des dénombrements de nématodes réalisés par l'ORSTOM mettent en évidence :

- une population d'un nématode (*Scutellonema canenessi*) 3 à 4 fois plus élevée dans les sols sous "taches jaunes" qu'en "sol témoin",
- une contamination 6 à 8 fois plus élevée, vers le 40<sup>e</sup> jour, des plantes sur "tache jaune" par ce même nématode.
- une disparition totale de nématode et d'infection des plantes par les nématodes sous traitement au némagon.

Ces observations sur les facteurs biotiques nous amènent aux hypothèses suivantes :

- la faible activité des rhizobiums sous "tache jaune" expliquerait le retard de nodulation qu'on y observe sur arachide dans les 20 premiers jours. La (dégradation du système racinaire ou son ralentissement de développement expliquerait le non développement de l'appareil fixateur symbiotique, même à une date ultérieure oit la population de rhizobium du sol serait suffisante .

L'état du système racinaire tel qu'il a pu être caractérisé sur "tache jaune" serait lié à l'action d'un facteur du sol. inhibé par le némagon,

(Toutefois, si l'état des racines résulte uniquement de la déficience de fixation d'azote sur "tache jaune", alors l'action du némagon pourrait résulter d'une augmentation d'azote du sol disponible pour la plante et son système racinaire. Ce dernier prospectant un volume de sol plus grand y trouverait l'azote nécessaire à la plante).

Le nématode *Scutellonema cavenessi* en infectant les plantes provoquerait un ralentissement de développement et une dégradation du système racinaire. Les plantes carencées en azote entre le 20<sup>e</sup>me et le 30<sup>e</sup>me jour résisteraient moins à l'infection, que les plantes "hors tache jaune" qui sont également infestées.

Enfin l'effet du traitement nématicide sur la croissance des plantes "hors tache j aune", résulterait d'un effet positif sur le développement racinaire de l'arachide, en éliminant l'infection par les nématodes.

### 3/ ETAT PHYSICO-CHIMIQUE DU MILIEU :

Des différentes mesures sur l'état physico-chimique du milieu., il apparait que le pH eau sous plante chlorotique est inférieur à 5,5 avec un pH moyen de 5,1 tandis qu'il est généralement supérieur à 5,5 en sol témoin.

Aucune différence significative n'apparait entre les teneurs moyennes en carbone total et les capacités d'échange cationique des deux types de sols,

Par contre, la teneur en aluminium échangeable est: en moyenne de 17 ppm sous plante chlorotique alors qu'elle n'est pas significative dans la majorité des sols témoins.

Et: le taux de saturation moyen du complexe absorbant sous "tache jaune" a pu être évalué à 24 % . \*

\* Al.: Al en meq/100 g et T = somme des bases échangeables extraites à T l'acétate de sodium, en meq/100 g.

Tab. 41. ETAT PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS DE RHIZOPLAN DES PLANTES PRELEVEES SUR "TACHES JAUNES"  
ET "HORS TACHES JAUNES" A THILMAKHA 1978.

Moyenne de 25 échantillons.

	pH ea $\omega$	pH KCl	Al éch. meq/100 g	taux de saturation Al/T	CEC meq/100g	C total %	N total %	C/N	Mn facilement réductible ppm	Argile %	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>
T. J.	5,1	4,2	0,19	24	0,78	1,7	0,099	17,3	5,2	1,81		
on-1	0,2	0,1	0,13	15	0,11	0,3	0,013	2,2	2,3	0,44		
H. T. J	6,2	5,4	$\epsilon$	$\epsilon$	0,72	1,8	0,107	17,0	9,7	1,35		
on-1	0,7	1,0		-	0,09	0,3	0,021	3,5	4,7	0,47		

Les analyses de teneurs en manganèse facilement réductible infirment une hypothèse de toxicité manganique. Il n'apparaît en outre pas de différence significative entre les teneurs moyennes en azote et les rapports C/N des deux types de sols. Enfin, les teneurs en argile étaient plus élevées dans les échantillons de sol sous "taches jaunes" comparées aux témoins.

Les teneurs en Ca et Mg des sols "hors tache jaune" sont significativement plus élevées que sur sol "tache jaune".

D'où les hypothèses suivantes :

L'acidification du sol serait associée au développement des phénomènes à l'origine de la chlorose.

Dans ces sols sous chlorose, la faible teneur en Ca et en magnésium ou/et l'excès d'aluminium seraient à l'origine de la faible activité du rhizobium.

*Scutellonéma cavenessi* résisterait mieux que de nombreux autres microorganismes à ces carences ou toxicités liées à l'acidification de ce sol par ailleurs pauvre en azote (0,1 ‰) en carbone total (1,7 ‰), en argile 1,5 % et à faible CEC (0,75 meq/100 g).

La toxicité alumique éventuelle porterait bien sur les rhizobiums et non directement sur la plante, car le traitement nématocide élimine la dégradation du système racinaire alors même que le pH du sol était de 5,1 et par suite la teneur en Aluminium échangeable, élevée.

CHAPITRE III.

EXPERIMENTATIONS EN MILIEU CONTROLÉ SUR

SOLS PRÉLEVÉS SUR "TACHE JAUNE" ET

"HORS TACHE JAUNE" A THILMAKHA.

INTRODUCTION : OBJECTIFS ET PRINCIPES DES EXPERIMENTATIONS EN MILIEU  
CONTROLE.

---

Les premières expérimentations que nous avons envisagées en milieu contrôlé, se sont déroulées pendant la saison sèche qui suivait l'hivernage de 1977. Ayant lieu avant les observations au champ de 1978 à Thilmakha (cf. chapitres 1, II), elles avaient pour objectif essentiel de confirmer ou d'infirmer l'incidence de facteurs déjà identifiés sur l'origine du jaunissement de l'arachide et éventuellement d'en mettre en évidence de nouveaux. Ces essais devaient ainsi préparer l'observation au champ pendant la saison suivante en orientant le choix des mesures sur la végétation et le milieu pour l'évaluation de l'incidence effective de ces facteurs en milieu réel.

Ils ont en conséquence été réalisés sur des sols prélevés à Thilmskha dans le dispositif "influence des façons culturales sur la nodulation".

Des expérimentations avaient été réalisées antérieurement dans l'étude du "jaunissement de l'arachide" en milieu contrôlé.

BLONDEL (1971) dans un dispositif factoriel comprenant les traitements inoculation (par extrait de nodule), chaulage et fumure organique (fumier), les plantes étant déposées à 30 j. le sol provenant d'un champ d'essai de Bambey, avec la variété d'arachide 55 437 ; il obtenait :

- 0 nodosité sur témoin, azote et inoculation
- 6 nodosités sur chaulage, et fumure organique
- 16 nodosités sur fumure organique x inoculation
- 37 nodosités sur chaulage x inoculation
- 37 nodosités sur chaulage x fumier organique
- 46 nodosités sur chaulage x fumier x inoculation

PIERI plus tard avait établi la réponse de la nodulation et de la croissance de l'arachide (dont la variété 55 437) à des doses croissantes d'aluminium dans le sol.

Il concluait à un seuil de toxicité de la nodulation pour un taux supérieur à 30 % de saturation du complexe absorbant par l'aluminium échangeable, et de la plante elle même pour un taux supérieur à 50 %.

Compte tenu de ces travaux antérieurs qui bien que fournissant de précieuses informations, ne permettaient pas de comprendre l'origine du phénomène de chlorose parmi les différentes hypothèses avancées (y compris l'hypothèse des nématodes) nous avons envisagé un autre type de démarche expérimentale. Celui-ci visait à isoler des sols, le ou les facteurs à l'origine du phénomène observé.

Une première expérimentation (essai de fumure azotée) visait la reproduction avec le matériel choisi et en milieu contrôlé de la chlorose telle qu'elle était connue (témoin) et la vérification-démonstration qu'il s'agissait exclusivement d'une carence en azote.

Ensuite, nous avons tenté d'isoler le ou les facteurs édaphiques en cause, sur un support aisément manipulable et fractionnable : un extrait de sol à l'eau distillée. Cette démarche qui a permis de tester différentes techniques et d'obtenir un premier résultat n'a pas pu être menée il son terme. Elle fut interrompue par les observations d'hivernage jusqu'en fin de contrat.

Après les observations de saison des pluies, un essai d'inoculation avec une souche de rhizobium spécifique de l'arachide a été mené dans les mêmes conditions.

Il fut déterminé par les résultats de dénombrement de rhizobium au champ. (cf. chapitre II) ,

Enfin simultanément il a été mené un essai d'observation de la nodulation et de la végétation d'autres légumineuses sur sol de "tache jaune".

#### MATERIEL ET TECHNIQUES/

##### 1. Les sols.

Les échantillons de sol utilisés dans les essais en milieu contrôlé ont été prélevés à Thilmakha le 16 Mars 1978 en pleine saison sèche.

3 types différents d'échantillons ont été retenus :

- sol "tache jaune" (noté TJ.), 5 emplacements de prélèvement ont été choisis au hasard dans l'intersection des "taches jaunes" cartographiées en 1974 et 1976 dans la parcelle 2 du bloc I de la série devant recevoir de l'arachide en 1978 dans l'essai "influence des techniques culturales sur la nodulation de l'arachide".

- sol "proche tache jaune" (noté PTJ) , dans 5 emplacements choisis à moins de 5 m des limites de la réunion des "taches jaunes" cartographiées en 1974 et 1976 dans la parcelle 5 du bloc I .

- sol "hors tache jaune" (noté HTJ.), en 5 emplacements choisis dans les parcelles 4 et 6 du bloc 1 ou aucune "tache jaune" n'a été cartographiée en 1974-1976.

Le sol est prélevé dans l'horizon 5-20 cm après avoir balaissé l'horizon de surface (enrichi en résidus organiques).

Pour un même type de sol, l'échantillon est homogénéisé par un passage sur tamis de 0,5 cm de maille. Les matières organiques grossières sont séparées par le tamis.

Les échantillons sont conservés à température ambiante à l'ombre dans des sacs de jute.

## 2. Vases dB végétation et environnement climatique.

L'essai est réalisé sous serre en pot de 3 kg de sol.

Les pots sont en PVC, avec drain colmaté (pour éviter tout lessivage d'un élément éventuel lement toxique) .

La serre est normalement à hygrométrie et température constante, Cependant, les températures atteignaient souvent 50° C entre 7 h et 16 h.

Les essais se sont déroulés en saison sèche, en particulier entre avril et juillet dans un premier temps, puis novembre et décembre.

Par un arrosage quotidien, l'humidité du sol était: maintenue à la capacité au champ, avec de l'eau distillée.

## 3. Fumure l?hospho-potassique .

Dans chaque essai a été apportée la même fumure équivalente à 18 unités de P (27 kg  $P_2 O_5$ ) et 27 unités de K (40,5 kg  $K_2O$ ) à 1 hectare ( $3 \cdot 10^3$  t de sol).

Le P est apporté sous forme de supertriple et la potasse sous forme de KCl.

Cette fumure équivaldrait aux 150 kg/ha de l'engrais 8.18.27 moins le sulf ate d ' ammoniaque.

#### 4. Variété d'arachide.

Dans tous ces essais, la même variété SS 437 a été utilisée. C'est également la variété d'arachide semée à Thilmakha pendant l'hivernage 1978.

Elle été semée à 4 graines par pot, puis démariée après levée. Il n'était conservé qu'un plant d'arachide par pot.

##### 1. - Essai avec et sans azate.

Cet essai visait à tester si les conditions de manipulation permettaient la reproduction de la chlorose dans le témoin et à vérifier sa disparition sous apport d'azote minéral.

L'azote minéral est apporté sous forme d'urée à une dose équivalente à 100 kg/ha soit 45 unités d'azote. Elle est apportée au semis.

Les témoins ne reçoivent pas d'azote minéral.

Le dispositif est un factoriel (2 traitements : ON et +N x 3 types de sols : TJ , PTJ, HTJ) à 3 répétitions. Ce nombre réduit est compensé par la grande homogénéité de la végétation selon chaque traitement.

La mise en pot et le semis ont eu lieu le 18 Avril 1978.

##### 1. Observations sur la végétation au cours du cycle

L'observation régulière de la végétation en pot a permis de noter :

- au 30ème jour : palissement des plantes dans tous les pots sans azote pas de différence de taille d'un traitement à l'autre ,

- 40ème jour : les plantes des traitements TJ et PTJ sans azote sont pales et chétives. Dans tous les autres traitements les plantes sont vert foncé et uniformément plus grandes.

- 47ème jour : les plantes des traitements TJ et PTJ, sans azote sont jaunes et de taille petite. (photo)  
Les plantes de traitement TJ et PTJ avec azote sont vert foncé et de taille plus grande, comparable aux plantes du traitement HTJ sans azote et avec azote.

- 50ème jour : Emission de premières nouvelles feuilles vert foncé sur PTJ sans azote. "Reverdissement"  
Un phénomène identique aura lieu plus tard sur les TJ sans azote entre le 60ème et le 70ème jour après le semis.

- 70ème jour : le reverdissement des plantes sur PTJ sans azote s'est confirmé par un redémarrage de la croissance (augmentation rapide de taille et du nombre de feuilles).  
Le même phénomène d'émission de feuilles vert foncé sur TJ sans azote est plus tardif et ne s'accompagne pas de la même reprise de croissance.

Les 3 plantes sur TJ avec azote ont péri entre le 60ème et le 70ème jour, brutalement sans aucun symptôme de chlorose.

Ce phénomène-ci reste inexpliqué.

Tab. A2 ESSAI AVEC ET SANS APPORT D'AZOTE

Thilakha 1978

3 répétitions en pots.

	TJ	PTJ	HTJ	TJ	PTJ	HTJ
Poids sec des parties aériennes (1)	3,25	6,54	10,09	6,52	8,31	12,98
Nombre de nodosités (2)	76	56	107	14	11	111
Poids sec de nodosités g	0,127	0,115	0,130	0,012	0,030	0,101
Poids sec de racines g	0,90	2,02	1,15	1,10	1,74	1,66
pH	5,0	5,0	6,6	5,2	5,1	6,1
Ca <sup>++</sup> meq/100g	0,18	0,17	0,25	0,42	0,27	0,91
Mg <sup>++</sup> meq/100g	0,05	0,04	0,14	0,07	0,06	0,07
Al <sup>+++</sup> och meq/100g	0,17	0,15	ε	0,14	0,16	ε
Al/T %	24	22	0	19	13	0
N total ‰	0,117	0,123	0,129	0,183	0,143	0,147
C total ‰	1,72	1,48	1,67	1,6	1,79	1,81
Mn facilement réductible ppm	2,6	6,4	1,9	8,8	5,7	13,3
Mn des parties aériennes ppm	455	781	173	451	158	75
Ca %	1,117	1,048	1,502	1,139	0,952	1,209
Mg %	0,235	0,202	0,190	0,150	0,170	0,160
CEC meq/100g	0,72	0,68	1,15	0,72	1,24	1,26

(1) Poids sec mesuré au 65e jour quand les plantes TJ sans azote ont peu

(2) Cette teneur élevée en Ntotal s'expliquerait par la deuxième dose d'azote apportée au 60e jour quand les plantes commencent à dépérir dans ce traitement.

Les plantes sur HTJ sont bien développées et bien vertes, de taille moindre néanmoins que les plantes sur HTJ et PTJ avec azote.

82ème jour : dépotage.

## 2. mesures sur l'essai "avec et sans azote à la récolte"

Les mesures confirment les observations sur la végétation aérienne. Elles montrent l'effet positif de l'apport d'azote minéral qui outre la disparition de symptômes de chlorose, provoque une augmentation nette de rendement. (tab. 42)

Toutefois, le rendement obtenu avec azote sur "tache jaune" et "proche tache jaune" n'est pas égal au rendement "hors tache jaune" que ce soit avec ou sans azote.

Ainsi, la déficience de la nutrition azotée ne serait pas le seul facteur limitant du rendement de l'arachide sur "tache jaune" (de plus : Le dépérissement brutal au 70e j. des plantes sur tache jaune avec azote reste inexplicé) .

Par ailleurs, le rendement plus élevé sur HTJ avec azote que sans azote, indique qu'une centaine de nodosités par plante ne couvre pas les besoins d'azote de 1 "arachide.

Les nombres et poids secs significativement plus élevés de nodosités dans les traitements TJ et PTJ sans azote, par rapport au traitement HTJ sans azote, s'expliqueraient par une nodulation tardive . Celle-ci expliquerait l'effet positif de l'azote sur la couleur et la taille des plantes dans les SO premiers jours et les reverdissements après cette date dans les pots sans azote.

Enfin, il n'y a pas de différence notable entre les systèmes racinaires d'un pot à l'autre. Ils sont en particulier beaucoup plus développés sur TJ sans azote en pot, que sur le même sol (et avec plante également chlorotique) au champ.

On ne retrouve pas les faciès de racines caractéristiques des plantes chlorotiques au 50<sup>ème</sup> jour (cf. chapitre I).

D'où l'hypothèse que les nématodes auraient une activité très réduite dans ces conditions en pot et après les manipulations des sols (en particulier le tamisage).

Des "protubérances" ont été observées en nombre limité sur ces racines d'essai en pot.

Les analyses de sol montrent essentiellement un état acide du sol sur TJ et PTJ, et la présence d'Aluminium échangeable (Al/T voisin de 20).

Remarquons que si l'Aluminium est un facteur toxique, il n'explique pas seul l'état chlorotique des plantes. En effet, l'apport d'azote fait disparaître la chlorose alors même que le taux de saturation du complexe absorbant par l'aluminium échangeable est inchangé. Cette observation n'élimine pas l'hypothèse que l'Aluminium serait toxique sur les rhizobiums.

Par contre les effets d'un excès d'aluminium sur la plante directement pourraient expliquer la différence de rendement observé sur PTJ avec azote par rapport à HTJ avec azote.

Enfin des analyses de plante ont été réalisées. Elles mettent en évidence pour seules différences significatives, des teneurs plus élevées en manganèse dans les parties aériennes des plantes sur TJ.

## II - ESSAIS D'ANALYSE EXPERIMENTALE DE LA CHLOROSE A L'AIDE D'EXTRAITS DE SOLS.

### OBJECTIFS ET METHODES

L'essai précédent démontrait que la chlorose observée à Thilmakha résulte bien d'une déficience de la nutrition azotée. Il confirmait que le déficit de nodulation mis en évidence dans les 30 premiers jours de cycle l'expliquerait en dehors de toute autre perturbation sur la plante, (chapitre II)

Il montre également que les facteurs du milieu à l'origine de cette chlorose à Thilmakha, sont exclusivement des facteurs édaphiques. En effet, la reproduction de la chlorose en pot en climat (eau et températures) contrôlé, est la preuve que le phénomène est provoqué annuellement par des facteurs (excès ou carence) présents dans les sols mis en pot \*

Enfin, la reproduction des symptômes de chlorose azotée de l'arachide dans le témoin TJ. et non dans le témoin HTJ. prouve que le matériel choisi (échantillon de sol 5-20 cm, pot de 3 kg, fumure minérale, serre et maintien de l'humidité du sol à la capacité du champ) permet effectivement d'étudier en milieu contrôlé, le phénomène observé au champ,

Ces résultats autorisent les essais avec extraits de sol que nous avons menés alors.

\* Cela ne signifie pas que la topographie ou le climat n'ont pas d'incidence sur l'origine du phénomène, mais ils n'en sont pas la cause immédiate que nous recherchons.

Le principe d'essais avec extraits de sols était de parvenir à obtenir un support liquide simple du ou des facteurs édaphiques qui causent la déficience de nodulation de l'arachide dans les sols observés.

L'intérêt d'un extrait de sol par rapport à l'ensemble d'un sol réside dans sa manipulation plus aisée et à l'aide de différentes techniques, la séparation plus aisée des différentes phases qui le constituent (complexe argilo-humique, solution minérale, macromolécules organiques, microorganismes divers).

La texture très sableuse des sols de Thilmakha rendait ces manipulations d'autant plus réalisables.

Dans un premier temps, la présence du ou des facteurs de chlorose dans l'extrait de sol était testée sur plante (reproduction des symptômes de chlorose) selon deux techniques différentes.

- culture hydroponique de l'arachide sur extrait de sol,

- culture de l'arachide en pot sur sol recombinaison avec extrait de sol selon le dispositif suivant :

  - sol "tache jaune" + extrait de sol "tache jaune"
  - sol "hors tache jaune" + extrait de sol "tache jaune".

En cas d'un résultat positif, l'essai serait reconduit mais avec différentes fractions de l'extrait de sol retenu. Cette démarche visait :

- à isoler sur un support liquide chaque facteur en cause dans la carence azotée de l'arachide sur sol TJ.

- à tester les interactions éventuelles entre différents facteurs qui apparaîtraient en cause dans ce phénomène par recombinaison de ces différentes phases.

#### MATERIEL ET TECHNIQUE.

##### Technique d'extraction de sol.

Après essai de plusieurs méthodes,, la technique suivante d'obtention d'un extrait de sol a été retenue :

- dans un flacon sérum, 300 gr de sol (échantillons de sol prélevés à Thilmakha) était ajouté de 150 cc: d'eau permutée.

- sur une table d'agitation (à rotation), les mélanges étaient brassés pendant 2 h. (10 flacons, soit 3 kg de sol, par table d'agitation)

- puis l'ensemble était filtré grossièrement à l'aide d'une essoreuse automatique. Sont ainsi éliminés les éléments sableux et une partie des éléments limoneux.

On obtient deux types d'extrait de sol :

1.HTJ et: 1.TJ.

Celui produit à partir des échantillons de sol "hors tache jaune" (noté s.HTJ) est appelé extrait de sol "hors tache jaune" et. note 1 .HTJ.

Celui obtenu avec un sol "tache jaune" (noté s.TJ. ) est noté 1.TJ.

Les solutions obtenues sont stockées en bombonne de PVC et gardées en chambre froide avant utilisation.

A - Essai de culture hydroponique de l'arachide sur extraits de sol "tache jaune" et "hors tache jaune".

MATERIEL ET TECHNIQUES

1 . Matériel de culture hydroponique. (cf. Fig.21)

Vase cylindrique de PVC. (hauteur 19,5 cm, diamètre 24 cm, volume 8,8 litres). Il est imperméable aux rayons lumineux et. peint en blanc pour limiter l'échauffement du milieu nutritif liquide.

Le vase est recouvert: d'un couvercle plein en PVC. Il assure l'obscurité dans le milieu racinaire à l'intérieur du vase et constitue un support pour la plante disposée à travers les trous qui y sont percés et fixés avec du coton.

Le milieu nutritif liquide est aéré en permanence à l'aide d'un tube de PVC, fin, plongé au fond du vase. Les 20 vases du dispositif d'essai sont aérés simultanément à partir d'un même compresseur à l'aide d'une rampe sur laquelle sont branchés les tuyaux d'aération correspondant à chaque vase. Ce bullage permanent a deux fonctions :

- apporter dans le milieu liquide l'oxygène nécessaire à la respiration des racines. (l'air introduit ainsi contient également de l'azote ; mais celui-ci est peu soluble dans l'eau et ne suffirait pas à l'activité fixatrice des nodosités immergées) ,

- agiter le milieu liquide par le déplacement des bulles d'air, et empêcher ainsi, la précipitation des éléments du sol en suspension dans l'extrait de sol.

Fig. 25 MATERIEL POUR LA CULTURE HYDROPONIQUE DE L'ARACHIDE

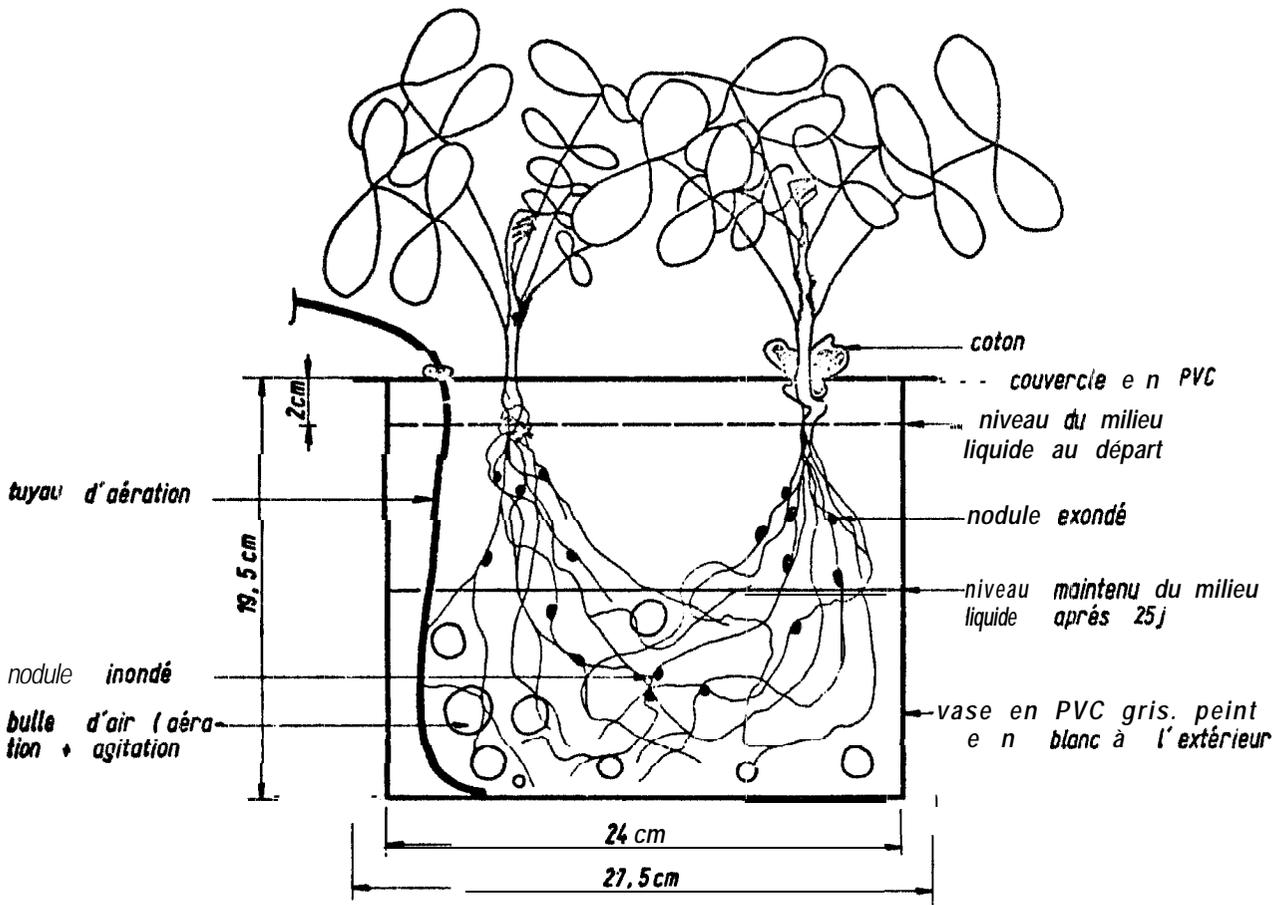


fig. 1 VASE DE CULTURE DE L'ARACHIDE SUR MILIEU LIQUIDE

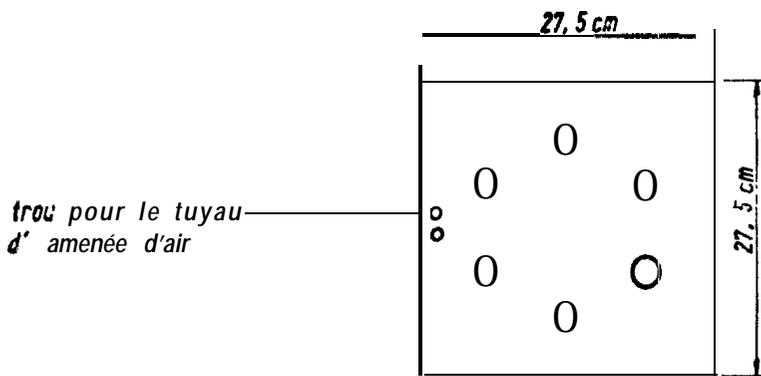


fig. 2 COUVERCLE DU VASE, ( 2 plantules d'arachide sont disposées dans 2 trous apposés de l'hexagone, les autres trous sont bouchés avec du coton )

Puissance du compresseur 1/6 ch ; débit d'aération moyenne\*:  
1,66 l/mm ; diamètre du tube d'aération : 1mm.

## 2. Solution nutritive.

Le milieu nutritif liquide de culture hydroponique est constitué d'une solution nutritive minérale diluée selon les traitements du dispositif d'essai dans un extrait de sol ou dans un volume égal d'eau permutée, comme suit :

- traitement 1 : Extrait de sol "tache jaune" (1.TJ) + solution nutritive complète.
- traitement I' : Extrait de sol "tache jaune" (1.TJ) + solution nutritive sans oligoéléments.
- traitement I I : Extrait de sol "hors tache jaune" (1 .HTJ) + solution nutritive complète.
- traitement II ' : Extrait de sol "hors tache jaune" (1.HTJ) + solution nutritive sans oligoéléments.
- traitement III : Solution nutritive complète + inoculation avec la souche CH 756.

La composition de la solution minérale retenue nous a été donnée par le laboratoire de microbiologie des sols de l'INRA (Dijon) où elle est utilisée pour différentes légumineuses cultivées; en France.

C'est une solution sans azote, afin de pouvoir étudier l'influence de la fixation d'azote.

\* Le débit d'aération varie entre 0,92 l/mm et 2,07 l/mm.

Tab. 43. - SOLUTION NUTRITIVE SANS AZOTE.

[Source INRA, Dijon.

Laboratoire de microbiologie des sols)

COMPOSITION EN MACROELEMENTS.

Eléments minéraux	Solution mères	Solution finale
	Normalité : poids gr/l	pour 10l. d'eau permutée cc de solu- tions mères
$K_2 HPO_4$	10N : 580,60	2,4 cc
$SO_4 Mg, 7H_2O$	2N : 246,513	8,0 cc
$Ca Cl_2 \text{ sec}$	8N : 443,60	5,0 cc
$K_2 SO_4$	1N : 87,63	8,0 cc

COMPOSITION EN MICROELEMENTS.

éléments minéraux	solution mère gr/l	solution finale
acide borique	2,0	0,1 cc de la solution mère d'oligoélément pour 100 l de solution finale.
Mn $SO_4$	1,8	
Zn $SO_4$	0,2	
Ca $SO_4$	0,08	
Molybdate de sodium	0,25	
Nitrate de cobalt	1 microcrystal	
EDTA (Fer)	0,08 ml	

La solution nutritive finale (avec ou sans oligoéléments) est ajoutée dans chaque vase à 5 l d'extrait de sol \* ou d'eau distillée selon traitement.

La quantité ajoutée est calculée de telle manière que le niveau de milieu liquide soit à 1 cm du couvercle.

On laisse ce niveau baisser en même temps que la plante croît dans le dispositif. Quand la distance entre ce niveau et le couvercle est de 10 cm dans le vase, on le maintient en ajoutant régulièrement de la solution nutritive finale [selon traitement).

Le traitement III permet de contrôler d'éventuelles carences ou toxicités selon cette technique de culture hydroponique.

Le maintien d'un volume de racines exondées (dans la moitié supérieure du volume du vase) permet aux nodosités qui y sont présentes de fixer l'azote de l'air et de subvenir aux besoins de la plante. Un essai préliminaire avait montré en effet que les nodosités inondées ne sont pas fixatrices.

### 3. Plantule d'arachide et inoculation

On dispose dans chaque vase, à deux plantules d'arachide dont les racines ont une longueur de 3 à 4 cm.

Les plantules sont obtenues stérilement par germination de graines stériles en vermiculite. (cf. chapitre II. dénombrement de rhizobium) .

\* 5 l. d'extrait de sol correspondent: à 10 kg de sol .

La variété d'arachide 55 437 est retenue pour cet essai.

L'inoculation dans le traitement III est réalisée avec la souche australienne CB 756 (fournie par INRA, Dijon. M. OBATON). Elle appartient au groupe cowpea et son efficacité sur arachide a été prouvée à plusieurs reprises.

Le milieu liquide est inoculé 2 jours après l'installation des plantules dans les vases III.

La dose retenue correspond à l'introduction de  $10^6$  rhizobium/vase. C'est un nombre voisin de celui du rhizobium dans les vases II et II'. ( $10^7$  rh/gr de sol d'après les dénombrements de saison sèche - chapitre II - et 10 kg de sol pour préparer les 5 l d'extrait de sol de chaque vase). On a donc introduit directement dans le milieu liquide 1 ml d'une dilution  $10^2$  d'un inoculum pur de CB 656 préparé en laboratoire ( $10^8$  rh/ml dans l'inoculum pur) .

La mise en place des plantules a eu lieu le 17/6/78.

#### 4. Les limites du modèle de culture hydroponique pour l'étude de la chlorose de l'arachide en milieu contrôlé.

Pour la technique d'extraction de sol, on réalise une dilution des éléments minéraux et organiques, présents dans les 10 kg de sol traité. La concentration de ces éléments dans l'extrait peut donc être fort différente de ce qu'elle est réellement dans la solution du sol au niveau du système racinaire dans le sol en place et plus précisément dans la rhizosphère.

Aucune vidange des vases n'étant réalisée en cours de cycle, il peut s'opérer une concentration relative de certains éléments dont l'absorption par les plantes est moins intense.

De plus, par rapport à une culture en pot, la culture sur milieu liquide d'extrait de sol correspond à une homogénéisation des conditions de la solution de sol dans le profil cultural. Or, celle-ci est très variable dans le sol en place\*, au niveau des différents pores du sol (une toxicité peut être provoquée dans un site du profil, alors que le reste du profil n'est pas toxique).

## RESULTATS ET DISCUSSION

Dans le dispositif d'essai adopté (factoriel en randomisation total) chaque traitement est répété dans 4 vases différents. On dispose de 2 plantes par vase.

### 1. Observation en cours de végétation

Le pH du milieu liquide était mesuré régulièrement au cours du cycle de l'arachide. Il est mesuré en lbasher sur prélèvements du milieu nutritif pour chaque vase.

\* Une telle homogénéisation du profil a également lieu quand on réalise une culture en pot sur échantillon de sol après tamisage.

Tab. 44 . - EVOLUTION DU pH DANS LES MILIEUX DE CULTURE HYDROPONIQUE.

Traitement j a u r s après semis	DATES							
	29/6 + 13	6/7 + 20	13/7 + 27	19/7 + 33	25/7 + 39	5/8 + 51	14/8 + 59	26/8 + 71
I	6,2	5,2	4,3	4,2	3,8	3,5	2,9	3,4
I'	5,9	5,2	4,3	4,2	3,8	3,7	3,0	3,6
II	6,8	6,6	5,6	4,3	3,6	3,6	2,8	3,7
II'	6,9	6,7	5,7	4,9	3,0	3,7	2,9	3,7
III	7,0	6,9	6,6	6,2	5,0	3,6	3,2	3,8

Lors de la mise en place du dispositif, le pH de la solution 1.TJ était de 5,7 et celui de la solution 1.NTJ de 7,0.

On note donc un effet de l'addition de la solution nutritive à pH de 7,0 qui relève de 0,3 unités environ, le pH des milieux nutritifs des traitements I et I'.

Dans tous les traitements avec extraits de sol, le pH chute brutalement pendant les 30 premiers jours, de 1 à 2 unités. A cette date, il est de l'ordre de 4,0 tandis que dans la solution nutritive il est de 6,2.

On remarque que la baisse de pH est plus rapide sur 1.TJ que 1.NTJ dont le pH initial était davantage proche de 7,0.

En conséquence, les plantes sur 1 .TJ vont croître en milieu acide ( $\text{pH} < 5,0$ ) dès le 20<sup>ème</sup> jour et celles sur 1 .HTJ dès le 30<sup>ème</sup> jour.

L'observation régulière de la végétation aérienne a montré les faits notoires suivants :

1 0<sup>ème</sup> jour : apparition d'un brunissement. sur la nervure des feuilles du bas, sur plusieurs plantes. Le brunissement gagne ensuite toute la feuille qui se dessèche et tombe. Ce symptôme est apparent dans tous les traitements 1 et II.

Il est resté très limité dans la suite du cycle de l'arachide et il n'est pas comparable aux symptômes de chlorose. Sa nature n'a pas pu être identifiée.

20-25<sup>ème</sup> jour :

palissement général des plantes dans plusieurs vases, sur plusieurs traitements. Il y aurait épuisement de l'azote cotylédonaire et de l'azote des extraits de sol à cette date de cycle.

30<sup>ème</sup> jour :

reverdissement général des plantes dans tous les traitements.

Au delà de cette date, et: jusqu'au 7/9/78, quand l'essai fut arrêté (83<sup>ème</sup> jour), aucun symptôme de chlorose ne pourra être mis en évidence.

Il n'y a pas reproduction de la chlorose dans ces conditions expérimentales de culture hydroponique sur extrait de sol "tache jaune".

Le dénombrement régulier de feuilles par plante  
montre bien que : (fig. 22)

- les plantes ont. un développement comparable en culture hydroponique sous serre et. au champ avec un nombre moyen de 40 feuilles par plante au 50ème jour.

- les plantes sur 1.TJ ont un nombre légèrement inférieur de feuilles que celles sur 1.HTJ. Mais la différence est très faible et pas comparable à celle observée au champ entre plantes sur "taches jaunes" et "hors taches jaunes".

- au delà du 50ème jour, l'émission de feuilles continue en culture hydroponique, alors qu'au champ, elle s'infléchit. Ceci serait dû au non-développement des ovules fécondées, les gynophores ne parvenant pas à s'enfouir dans le sol ou à l'obscurité. Dans ces conditions, il n'y a pas utilisation des photosynthétats par les graines, et ceux-la seraient consommés par une croissance continue de l'appareil aérien (cf. fig. 22) .

- après le 60ème jour, plusieurs plantes dépérissent dans le traitement TII, sans explanation. Dans les autres traitements, aucun symptôme nouveau n'apparaît d'ici le 83ème jour (date de fin d'essai).

Ainsi le développement aérien des plantes ne semble pas affecté par les très bas pH des milieux racinaires.

L'observation des racines est réalisée régulièrement tout au long du cycle. C'est là un intérêt particulier de la culture hydroponique qui permet un suivi très précis du système racinaire au cours du cycle ,

Nbre de feuilles  
par plantes

FIG. 24. Nombre de feuilles par plantes.

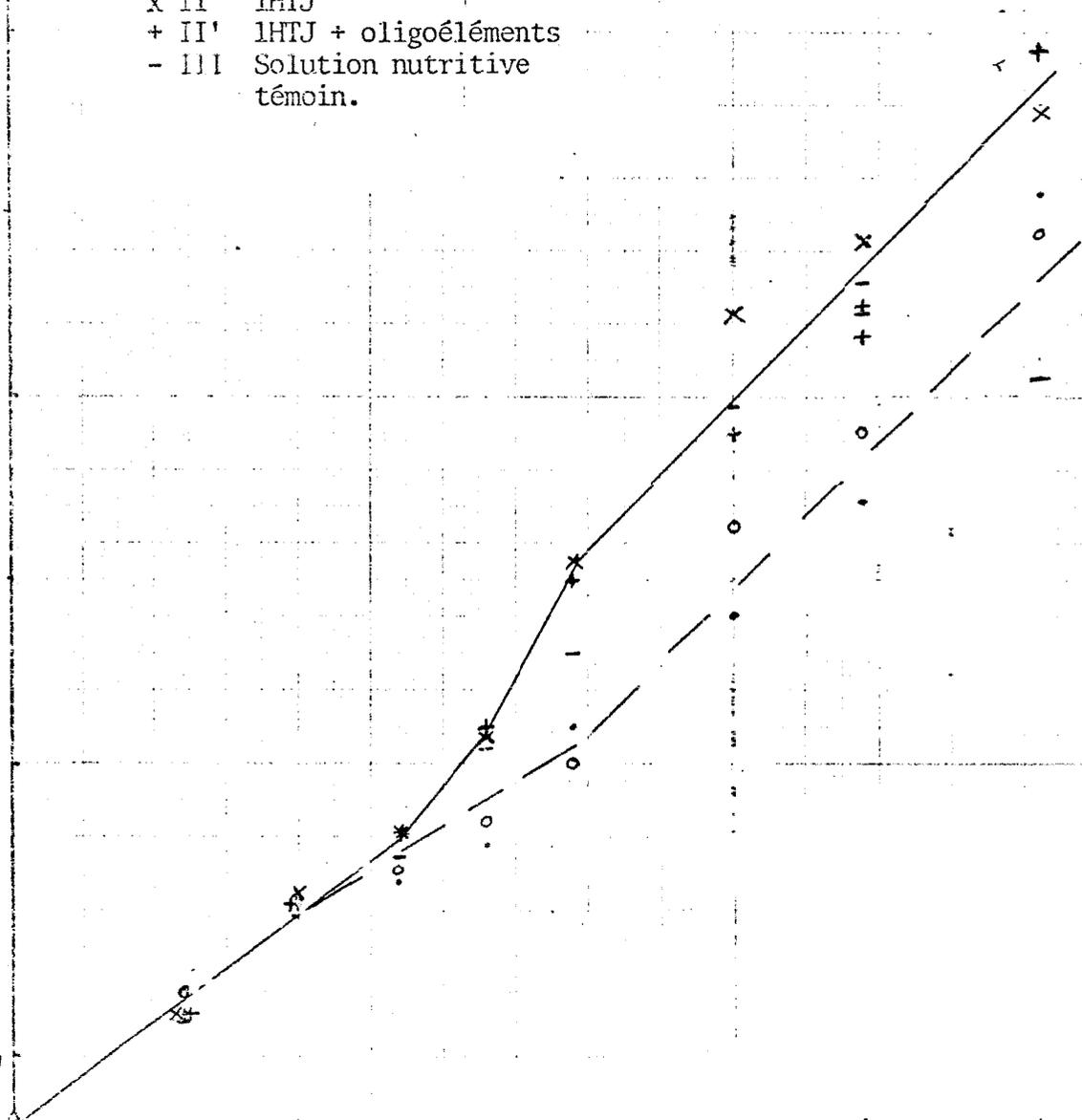
- o I. ITJ
- . I' ITJ + oligoéléments
- x II IHTJ
- + II' IHTJ + oligoéléments
- III Solution nutritive témoin.

Culture hydroponique  
moyenne de 8 plantes.

60  
40  
20  
0

12 20 27 33 39 50 59 71

Nbre de jours après  
semis



Les racines sont très bien développées dans tous les traitements. On ne voit aucun des symptômes de dégradation observés au champ. En particulier, aucune protubérance n'a pu y être mise en évidence. Les plantes sur extraits de sol "taches jaunes" ne présentaient donc pas les facies racinaires des plantes au champ sur "tache jaune".

Aucune différence n'apparaît entre les longueurs des racines d'un traitement à l'autre. La longueur moyenne est de 1,20 m.

Tab. 45. - NOMBRE DE NODOSITES PAR PLANTE EN CULTURE HYDROPONIQUE.

Traitements	Nombre de nodosités		Poids sec de nodosité		Poids sec par nodosité (mg)
	Moyenne	$\sigma_{n-1}$	Moyenne	$\sigma_{n-1}$	
I 1.TJ	151	93	31.5	96	2,08
I' 1.TJ + oligo-éléments	140	74	360	125	2,57
II 1.HTJ	276	114	570	155	2,07
II' 1.HTJ + oligoéléments	201	95	477	225	2,73
ICI solution nutritive	276	111	320	147	1,16

La nodulation débute le 16ème jour, après le semis. Elle est rapide et régulière au rythme de 3,3 nodosités par jour sur 1.HTJ et de 3 nodosités /jour sur 1.TJ pendant les 30 premiers jours.

On ne retrouve donc pas dans ces conditions sur 1.TJ le retard de nodulation observée au champ, sur "tache jaune" (cf. chapitre I), ni la faible nodulation.

Sur 1.HTJ, le nombre moyen de nodosités par plante est de 106 au 59<sup>ème</sup> jour en culture hydroponique, contre 119 au champ (cf. chapitre I -- moyenne de 55<sup>e</sup> et 62<sup>e</sup> jour) "hors tache jaune". Sur s.TJ elle est de 80 à cette même date contre 10 au champ.

Au delà du 60<sup>ème</sup> jour, alors que la courbe de nodulation s' infléchit au champ, elle se prolonge en culture hydroponique et ceci dans tous les traitements.

En fin de cycle, la nodulation est significativement plus élevée sur 1. HTJ (250 en moyenne) que sur 1 .TJ (150 environ) . Ceci serait dû à la différence de population de rhizobium de 100 rh/gr de sol "hors tache jaune" contre 10 rh/gr de sol "tache jaune", ou l'activité d'un facteur qui ralentit légèrement l'activité des rhizobiums dans 1 .TJ. Ces différences ne sont néanmoins en rien comparables à celles observées au champ.

Remarquons enfin les poids spécifiques comparables des nodosités dans chacun des traitements avec extraits de sols. Il n'y aurait pas de régulation du poids de nodosité par le nombre entre ces situations de nodulation de 150 et 250 nodosités par plante. En accroissant le nombre de nodosités par plante en accroît effectivement la quantité de tissus fixateur d'azote.

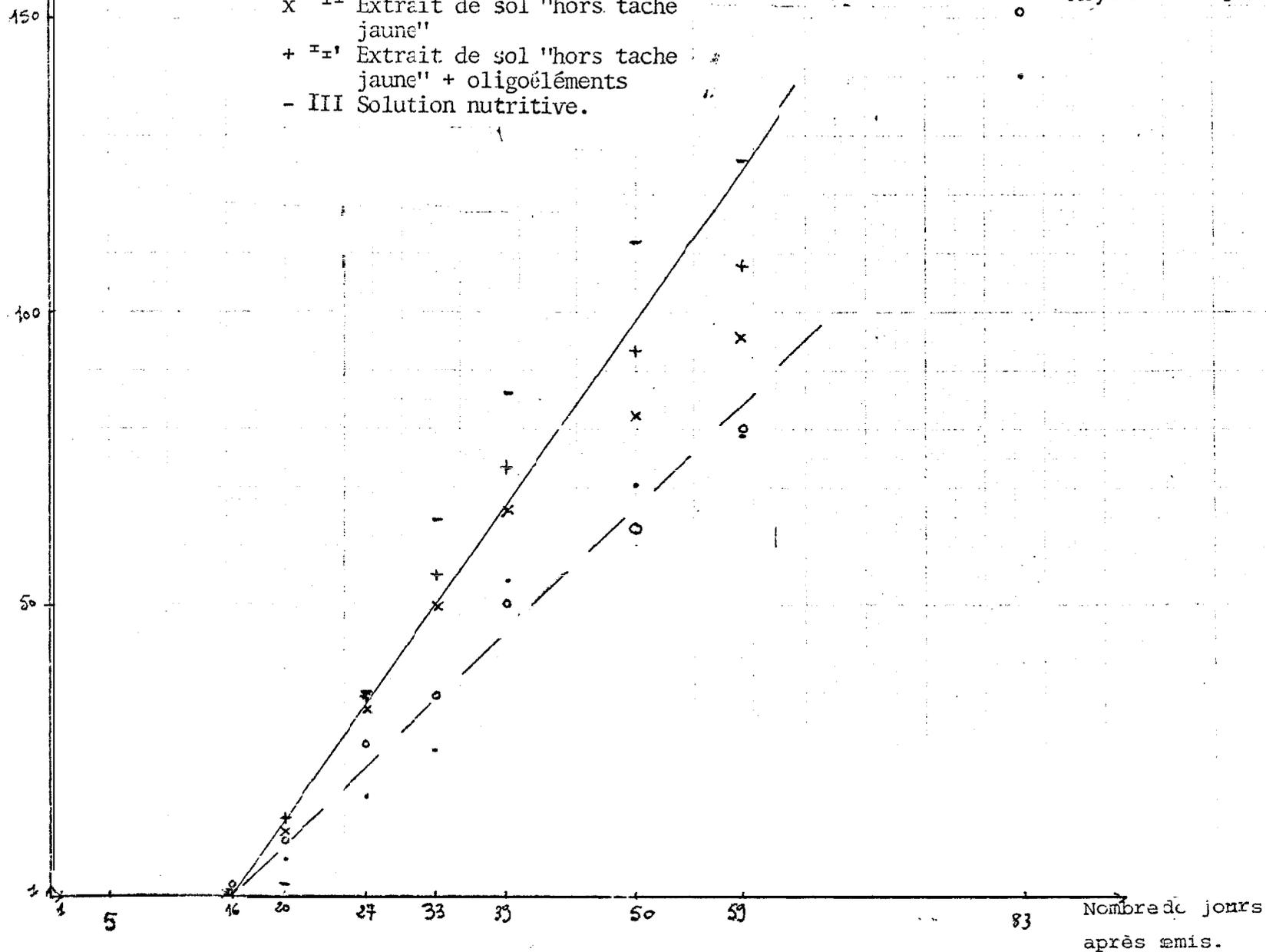
Par contre, le plus faible poids spécifique des nodosités en III indiquerait une moindre efficacité de la souche CB 756, à moins qu'il ne s'explique par le dépérissement des plantes dans ce traitement en fin de cycle.

Nombre de  
nodosités

- o o Extrait de sol tache jaune
- . . Extrait de sol tache jaune  
+ oligoéléments
- x x Extrait de sol "hors tache  
jaune"
- + + Extrait de sol "hors tache  
jaune" + oligoéléments
- - III Solution nutritive.

FIG. 25. Courbe de nodulation de l'anchide

Culture hydroponique  
Moyenne de 8 plantes.



## CONCLUSION

Les conditions de culture hydroponique de l'arachide sur extrait de sol "tache jaune" n'ont pas permis de reproduire en serre les symptômes de chlorose contrairement à la culture en pot.

Rien qu'ayant une croissance légèrement moindre sur extrait de sol "tache jaune" que "hors tache jaune", les plantes restent comparables. En particulier, les systèmes racinaires sont bien développés et la nodulation est effective et sans retard.

Or, en culture hydroponique les plantes d'arachide ont une croissance et un développement comparables aux plantes au champ pendant les 50 premiers jours et ceci malgré l'acidification très forte du milieu nutritif (pH inférieur à 4,0 à cette date).

Deux types d'explications peuvent être invoqués pour expliquer la bonne nodulation relative des plantes sur 1.TJ et la non reproduction consécutive de chlorose en culture hydroponique :

- l'extrait de sol 1.TJ ne contiendrait pas tous les facteurs édaphiques qui en pot de 3 kg sont responsables de la chlorose.

Si, il apparaît que le complexe argilo-humique et tous les éléments minéraux ou organiques qui sont adsorbés, (les bactéries et spores du sol) et les éléments solubles dans la solution du sol sont présents dans l'extrait de sol, il se pourrait, par contre que des organismes tels que les nématodes en aient été éliminés, (ce que prouverait l'absence de tout symptôme de dégradation sur les racines).

- la technique de culture hydroponique masquerait l'effet de certains phénomènes :

la dilution dans l'extrait de sol de certains éléments de la solution du sol qui ne sont toxiques qu'au delà d'une certaine concentration, éliminerait leur effet sur la plante dans ces conditions de culture.

La faible population de rhizobium du sol aurait pour conséquence une faible probabilité de rencontre racine-rhizobium dans le sol en place. Au contraire, en milieu hydroponique, les rhizobiums sont déplacés dans le milieu par son brassage. Ceci accroîtrait considérablement à population égale, la probabilité de rencontre rhizobium-site d'infection.

## B - Essai de recombinaison sol-extrait de sol

### MATERIEL ET TECHNIQUE

Dans ce type d'essai on teste les extraits de sol par culture de l'arachide sur un sol en place additionné d'extrait de sol.

Dans ces conditions, ont été réalisés les deux traitements suivants dans ce premier essai :

I : sol "hors tache jaune" + extrait de sol "tache jaune"

II : sol "tache jaune" + extrait de sol "hors tache jaune"

Chaque traitement est répété 9 fois.

Les recombinaisons sont réalisées de la manière suivante :

30 kg de s .HTJ sont traités pour extraction de sol.

On obtient ainsi : 13 l. HTJ et 13 l.TJ (1,3 l d'extrait de sol à partir de 1,5 l d'eau distillée par 3 kg de sol) .

Lors de la mise en pot, 200 cc d'extrait de sol sont mélangés à 2 kg de sol sec (correspondant au traitement) , le kg de sol restant étant mélangé à 100 cc d'extrait de sol auquel sont ajoutées les doses d'éléments fertilisants (120 mg de supertriple et 130 mg de KCl) identiques à celles du témoin (essai avec et sans azote).

Les 1000 cc d'extrait de sol restant, sont ajoutés pour 200 cc avant germination, pour 800 cc pendant les 6 premiers jours d'arrosage.

Soit donc 1,3 l d'extrait de sol l.TJ dans 3 kg de sol s.HTJ pour le traitement I et 1,3 l d'extrait l.HTJ dans 3 kg de sol s.TJ pour le traitement II.

Le principe d'interprétation de ce type d'essai était le suivant :

si il y a chlorose en I : on met en évidence la présence d'un facteur de toxicité ou de compétition présent dans l'extrait: de sol l.TJ, non inhibé par les conditions de milieu d'un sol s.HTJ quand on l'y introduit.

si il y a disparition de la chlorose en II, on met en évidence la présence dans l'extrait de sol l.HTJ d'un facteur carencé dans le sol s.TJ, non inhibé par les conditions en milieu de ce sol quand on l'y introduit.

Dans ces conditions il y aurait deux types de témoin à ces traitements :

- état de chlorose sur sols s.TJ et s.HTJ en pot de 3 kg dans les mêmes conditions sous serre (cf. essai avec et sans azote).

- état de chlorose sur s .TJ + s.HTJ + 1.HTJ + 1.HTJ en mêmes conditions, Ces témoins n'ont pas été réalisés dans ce premier essai.

La mise en pot et le semis ont eu lieu le 13 Avril 1978.

#### RESULTATS ET DISCUSSION.

L'observation régulière de la végétation a porté essentiellement sur le suivi des symptômes de chlorose dans les pots témoins de l'essai de fumure azotée mené simultanément (cf. 1) sur s.TJ, il n'apparaît aucun symptôme de chlorose sur les plantes des traitements I et II de cet essai de recombinaison'.

De plus la croissance des plantes en I est comparable bien que légèrement inférieure à celle des plantes en II. Elle est surtout très nettement supérieure à celle des plantes sur s.TJ sans azote.

L'essai est dépoté au 91<sup>e</sup> jour.

Au niveau de l'appareil végétatif, il n'apparaît pas de différence entre plantes des traitements I et II pour la nodulation et pour les racines.

Par contre, l'appareil aérien est moins développé en I qu'en II., et cependant beaucoup plus que sur le sol s.TJ sans extrait de sol.

Ces mesures confirment l'observation visuelle, et prouvent la disparition de la chlorose quand on apporte au sol s.TJ, un extrait de sol 1 .HTJ.

La différence de rendement observée entre 1 et II, relèverait de la même explication que pour celle observée entre s.PTJ et azote et s.HTJ sans azote (cf. 1).

On peut donc faire 1. 'hypothèse suivante :

Nous avons apporté au sol TJ un ou plusieurs facteurs édaphiques présents en 1 .HTJ et carencés dans ce sol. Les conséquences sur la chlorose s'expliqueraient ainsi :

- le ou les éléments apportés sont ceux-là même qui manquant dans le sol s.TJ sont directement à l'origine de la chlorose. Cette dernière résulterait d'une carence,

- \* le ou les éléments apportés inhibent l'action ou les effets d'un facteur présent dans le sol s.TJ qui est directement à l'origine de la chlorose. La chlorose résulterait d'une toxicité.

Dans ce dernier cas, le fait qu'il n'y ait pas reproduction de la chlorose sur s.HTJ + 1 .TJ relève de la même explication ou encore que ce facteur de toxicité n'est pas présent dans l'extrait de sol. 1 .TJ.

Les analyses de sol mettent en évidence dans le 'traitement II (sol. tache jaune + 1 .HTJ) les faits suivants : (tab. 46 p. 168 ) .

- \* le pH est de 5,3.

L'apport de 1 .HTJ le relève de 0,2 à 0,3 unités. Mais il reste inférieur à 5,5.

- la teneur en Aluminium échangeable est supérieure à celle du sol s.TJ seul. Mais le taux de saturation du complexe absorbant passe de 24 sur s.TJ à 17 sur s .TJ + 1 .HTJ.

La diminution de saturation du complexe absorbant par l'aluminium échangeable résulte de l'augmentation de la CEC consécutive à l'apport de la solution H.T.J. du sol "tache jaune".

Cette augmentation de la CEC résulterait elle-même de l'augmentation de la teneur en matière organique du sol s.TJ. additionné de 1.HTJ. La teneur en carbone total est en effet significativement plus élevée sur s.TJ + 1.HTJ que sur s .HTJ + 1 .TJ.

- la teneur en calcium reste par contre inférieure sur s .TJ malgré l'apport. Jc 1 .HTJ, que sur s.HTJ + 1. .TJ. La teneur en calcium des plantes est également plus faible.

- la teneur en azote total du sol est augmentée par l'apport de 1.HTJ au sol s.TJ. Ceci résulterait de l'apport de matière organique qui est réalisé.

A la vue de ces différents résultats nous pouvons formuler les hypothèses suivantes pour expliquer la disparition de la chlorose de l'arachide par suite de l'addition de l'extrait de sol 1.HTJ. :

- l'augmentation d'azote dans le sol couvre les besoins de la plante jusqu'au moment où la nodulation et par suite la fixation d'azote sont effectives. (date du reverdissement sur le témoin) .

- l'apport de matière organique et d'éléments fins aurait pour conséquence une inhibition du ou des facteurs toxiques présents dans le sol s.TJ. (mais vraisemblablement pas de l'aluminium échangeable) .

Tab. 46. - ESSAI DE RECOMBINAISON DE SOL-EXTRAIT DE SGL

Thilmakha 1978

Moyenne de 9 répétitions.

	Extrait de sol "tache jaune" + sol "hors ta- che jaune"		Extrait de sol "hors tache jaune" + sol "tache jaune"	
	Moyenne	n-1	Moyenne	n-1
Poids sec des parties aériennes g	10,30	1,13	8,24	1,23
nombre de nodosités	102	53	71	35
Poids sec de nodosi- tés g	0,123	0,021	0,118	0,027
poids sec de racines	1,40	0,37	1,38	0,38
pH	6,4	0,1	5,3	0,2
Ca++ meq/100 g	0,96	0,16	0,41	0,06
Mg ++ meq/100 g	0,10	0,02	0,08	0,01
Al. éch. meq/100 g			0,25	0,04
CEC meq/100 g	1,43	0,36	1,52	0,54
Al/T %	0		17	3
N total %	0,119	0,008	0,133	0,009
C total %	1,50	0,15	1,99	0,11
Mn facilement ppm réductible	14,4	0,7	6,5	0,4
Mn ppm	45	13	95	20
Co %	1,795	0,290	1,194	0,180
Mg %	0,182	0,015	0,166	0,017

- la solution 1.HTJ apporterait un excédent de rhizobium au sol s.TJ, suffisant pour permettre une nodulation normale de l'arachide.

#### CONCLUSION.

Pour aller plus loin dans l'analyse, il convenait de séparer dans ce dispositif expérimental, les effets dus à différentes fractions de la solution 1 .HTJ.

Pour ceci, la reconduction de ce type d'essai avait été envisagé avec les différents traitements suivants :

- s TJ
- s TJ + 1 TJ
- s TJ + 1 HTJ complète
- s TJ + culot de centrifugation de 1 HTJ
- s TJ + surnageant de centrifugation de 1 HTJ (0 complexe argilo-humique')
- s TJ + surnageant de centrifugation de 1 HTJ stérilisé (0 microorganisme)

Il aurait été mené parallèlement à la conduite d'un essai d'observation de la nodulation en pot à l'aide de dépotage à des dates successives dans deux traitements : s TJ et s HTJ.

Ces essais ont néanmoins permis de mettre en évidence la possibilité d'étude de la chlorose en milieu contrôlé.

Ils démontrent qu'il s'agit effectivement d'une déficience de la nutrition azotée, liée à des facteurs édaphiques.

Par ailleurs, ils renforcent l'hypothèse d'un retard de nodulation explicative de la chlorose. Mais, l'origine de ce retard, qui pourrait être due à l'effet: toxique d'un élément minéral en sol acide (Al), ou d'une carence (Ca) sur l'activité des rhizobiums, n'est pas démontrée.

Plusieurs indices laissent penser que l'activité des nématodes serait réduite dans ces conditions d'expérimentation. Ceci résulterait des manipulations opérées sur les sols, en particulier le tamisage.

### III - Essai d'inoculation en milieu contrôlé,

Compte tenu des observations d'hivernage et des résultats obtenus en serre, un essai d'inoculation a été réalisé en pot:

Il a été mené simultanément à un test de toxicité manganique . (cf. chapitre II p. 84 ).

L'inoculation en pot est faite avec un inoculum pur, produit en laboratoire avec la souche CB 756. La dose appliquée est de 1 ml par pot d'inoculum pur ( $10^9$  rhizobium par ml) répartis en 4 points différents autour de la tige à une profondeur de 3 cm (soit donc  $10^9$  rhizobium/graine).

Dans cet essai mené en Décembre 1978, la croissance des plantes a été lente. Toutefois, la chlorose a été reproduite dans les pots avec sol "tache jaune" de Thilmakha, tandis qu'elle n'apparaît pas ni dans le sol "tache jaune inoculée" ni en sol "hors tache jaune". Par contre, les différences de croissances des plantes sont moins marquées que dans les essais précédemment réalisés en serre.

L'essai est dépoté au 70ème jour.

Tab. 47 - NOMBRE DE NODOSITES PAR PLANTE

Moyenne de 4 répétitions.

Traitement	Moyenne	$\sigma$ n-1
Sol "tache jaune"	28	13
Sol "tache jaune" inoculée	133	18
Sol "hors tache jaune"	240	63

Il montre que dans ces conditions en serre l'inoculation peut faire disparaître le phénomène de chlorose en comblant le déficit de nodulation des plantes, indique ici par la faible nodulation des plantes dans le sol tache jaune non inoculé.

Mais la dose utilisée était de  $10^9$  rhizobium par plante, donc très élevé, et on remarque qu'elle ne compense cependant pas toute la différence de nodulation observée entre sol "tache jaune" et sol "hors tache jaune".

On pourrait alors songer à reconduire cet essai d'inoculation mais avec des doses croissantes d'inoculum. Cet essai serait mené parallèlement à un essai de dépotage successif dans le cycle,, (car nous l'avons noté plusieurs fois auparavant, le phénomène essentiel apparaît être un retard de nodulation) .

Se retenant la possibilité de leurs dates de dépotage dans cet autre essai d'inoculation, qui seraient choisies en fonction des observations dans l'essai parallèle on parviendrait à préciser l'influence de l'inoculation sur le retard de nodulation d'une part et le niveau de nodulation d'autre part.

IV - Essai d'observation de la nodulation de légumineuses autres que l'arachide sur sol "tache jaune" et "hors tache jaune" de Thilmakha.

Le phénomène de jaunissement de l'arachide à Thilmakha est dû à un retard de nodulation et consécutivement à une faible nodulation des plantes dans des sols caractérisés par leur pH eau inférieur à 5,5.

Son importance économique, à savoir la chute du rendement de l'arachide et éventuellement l'abandon de la culture sur ces sols acidifiés, soulève deux types de questions :

- est-ce que ce phénomène de déficience de la fixation symbiotique d'azote affecte de la même manière d'autres légumineuses cultivées que la variété 55 437 d'arachide ?

- est-ce que ce phénomène affecte également les légumineuses natives que l'on rencontre dans la zone de Thilmakha dans les paturages naturels qui s'installent sur les jachères ? Il se pourrait en effet, qu'une diminution nette de la fixation symbiotique d'azote dans ces écosystèmes naturels (bien que la biomasse de légumineuse est en général relativement faible) condamne irréversiblement des processus de restauration "naturelle" du sol sous jachère.

Un essai a été réalisé avec 7 légumineuses différentes sur les deux sols des essais antérieurs, sol "tache jaune" et "hors tache jaune" de Thilmakha (tab. 48 p 174).

On constate que le niébé (*Vigna sinensis*) a une nodulation comparable dans les deux types de sol, à la date de dépotage, mais par contre la croissance des plantes est nettement moindre.

Pour les autres plantes qui sont très peu nodulées dans les deux types de sols, il n'apparaît pas de différence nette au niveau de la nodulation d'un sol à l'autre.

Remarquons par ailleurs que le haricot est effectivement nodulé. Nous ne savons pas si les rhizobiums spécifiques étaient présents dans les sols ou si ils ont été amenés avec <sup>de</sup> les graines,

Il n'y aurait donc pas d'effet sur la fixation symbiotique pour les autres légumineuses que arachide et niébé. Mais le niveau bas de nodulation de celles-ci dans le sol témoin "hors tache jaune" masquerait l'effet des conditions édaphiques propres aux sols "tache jaune",,

Il y aurait intérêt à mener cet essai avec différentes variétés d'arachide, en précisant la date de dépotage la plus propice à l'observation du déficit de nodulation.

Tab. 48.

- NODULOSITÉ MOYENNE ET DE DIFFÉRENTES LÉGUMINEUSES SUR SOLS "TACHE JAUNE" ET "HORS TACHE JAUNE".

Moyenne de 4 plantes.

	Sol "tache jaune"				Sol "hors tache jaune"			
	Nombre de nodosités		Poids sec plantes		Nombre de nodosités		Poids sec de plantes	
	Moyenne	$\sigma$ n-1	Moyenne	$\sigma$ n-1	Moyenne	$\sigma$ n-1	Moyenne	$\sigma$ n-1
<i>Arachis hypogaea</i>	58	27	1,97	1,95	119	20	6,78	0,95
<i>Vigna sinensis</i>	101	28	3,88	0,49	74	38	6,85	0,64
<i>Phaseolus vulgaris</i>	26	8	2,40	0,2	23	11	1,73	0,13
<i>Zornia glochydiata</i>	10	4	0,65	0,57	26	24	0,63	0,54
<i>Tephrosia</i>	9	4	1,35	0,40	12	13	0,95	0,24
<i>Indigofera stragalina</i>	13	5	2,17	0,38	14	3	3,27	0,35
<i>Clitoria ternatea</i>	2	2	0,60	0,14	5	9	0,85	0,40

## SYNTHESE DES EXPERIMENTATIONS DE LABORATOIRE.

---

Un essai réalisé en pot sous serre avec des échantillons de sol prélevés à Thilmakha a permis de reproduire les symptômes de chlorose sur sol prélevé à l'emplacement de "tache jaune", tandis que les plantes poussaient normalement sur sol prélevé hors "tache jaune".

Dès lors, l'étude de la chlorose de l'arachide était possible dans ces conditions de laboratoire. Elle apparaît en conséquence résulter de l'incidence de facteurs édaphiques.

Dans cet essai, un traitement azoté a permis de démontrer que la chlorose résulte d'une déficience de la nutrition azotée. Par ailleurs, en cours de cycle, un phénomène très caractéristique de reverdissement des plantes sur sol "tache jaune" a pu être observé (d'où l'hypothèse d'un démarrage tardif de la fixation d'azote dans ces conditions de sol).

L'observation des systèmes racinaires montre un nombre voisin de nodosités (dépotage 90e jour), et très peu de symptômes de dégradation des systèmes racinaires ("protubérances") également repartis d'un traitement à l'autre (d'où l'hypothèse que les nématodes ou autres facteurs biotiques sensibles à l'action du némagon seraient peu actifs dans ces conditions expérimentales, et en conséquence qu'ils ne seraient pas les seuls facteurs biotiques à l'origine de la chlorose).

Les analyses de sol montrent un taux d'aluminium échangeable élevé sur sol de "tache jaune", celui-ci agirait donc éventuellement mais pas directement sur la plante en cas d'incidence majeure sur le phénomène de chlorose (car le traitement azoté fait disparaître la chlorose sans modifier le taux d'aluminium échangeable).

Simultanément, des expérimentations ont été menées avec ces extraits liquides de ces sols. L'objectif était de mener une démarche d'isolement du ou des facteurs en cause de cette chlorose, à l'aide d'un support plus manipulable que le sol.

Les essais de culture hydroponique sur extrait; de sol ont montré une bonne croissance et une nodulation active et ininterrompue des plants d'arachide dans les différents traitements. Les symptômes de chlorose n'ont pas pu être reproduits dans ces conditions, malgré un pH très bas des milieux nutritifs (pH < 5,0 dès le 30<sup>ème</sup> jour, voisin de 3,0 en fin de cycle) , ce qui apparait contradictoire avec l'hypothèse d'une toxicité aluminique.

Compte tenu que les différences d'environnement racinaire sont considérables en culture hydroponique comparé à un sol en place, une autre méthode de travail avec extrait de sol a été menée simultanément. Elle consistait à recombinaison un extrait de sol 1.TJ avec un sol "hors tache jaune" et un extrait 1.HTJ avec un sol tache jaune . La disparition des symptômes de chlorose en soi "tache jaune" , sans apparition de chlorose en sol "hors tache jaune" additionné de 1.TJ confirmait l'adaptation de cette méthode à notre démarche.

Pour progresser dans l'isolement dès lors possible du ou des facteurs en cause;, il convenait de reconduire cet essai de recombinaison d'extrait: de sol 1 .HTJ au sol prélevé sous "tache jaune" en séparant les différentes fractions (par des méthodes de filtration et stérilisation) principalement en complexe argilo-humique, fraction minérale solubles, microorganismes.

Cet essai serait dans ce cas, mené avec des témoins simples et recombinaison, déposés à des dates successives du cycle végétatif permettant d'observer de plus près :Le retard de nodulation (qui apparait déterminant) et le phénomène de reverdissement (qui lui est sans doute lié).

Enfin, compte tenu de ces essais et des observations au champ, un essai d' inoculation dans les mêmes conditions fut mené en fin 1978. Avec une dose massive de  $10^9$  rhizobium/plante il a été obtenu une disparition des symptômes de chlorose en pot sur sol prélevé sous tache jaune.

Parallèlement, la nodulation des légumineuses natives a été observée en pot dans les mêmes deux types de sols que ci-dessus. Il convient: en effet de savoir si les légumineuses spontanées de la jachère sont affectées de la même manière que l'arachide sur tache jaune (auquel cas, la déficience de fixation d'azote se maintiendrait, même si la culture est abandonnée). Cet essai a montré une très faible nodulation des légumineuses natives quel que soit le type de sol.

CHAPITRE Iv.

INFLUENCE DE L'HISTOIRE CULTURALE DES PARCELLES

SUR LE DEVELOPPEMENT DES TACHES JAUNES DE L'ARACHIDE

A THILMAKHA (1973- 78)

INTRODUCTION - OBJECTIFS ET PRINCIPES D'UN SUIVI DES "TACHES JAUNES" DE L'ARACHIDE DANS DIFFERENTES HISTOIRES CULTURALES DES PARCELLES.

Dans un premier temps nous avons tenté de comprendre les phénomènes biologiques à l'origine de jaunissement annuel de l'arachide sur "tache jaune". L'observation au champ sur la végétation, a permis d'identifier une déficience de nodulation dans les 30 premiers jours qui est à l'origine de la carence azotée de l'arachide sur "tache jaune". La mesure et l'étude au champ de différents facteurs édaphiques a permis de mettre en évidence une faible teneur en Ca et Mg des plantes, un bas pH des sols associé à la présence d'aluminium échangeable <sup>et d'une population</sup> relativement élevée de nématodes infectieux de l'arachide ; tous facteurs qui apparaissent liés à la chlorose azotée de l'arachide sur "tache jaune".

L'étude en laboratoire permettrait d'infirmier ou de confirmer des relations entre ces différents facteurs du milieu. et la carence azotée de l'arachide, ainsi que de proposer des traitements possibles pour combattre la chlorose de l'arachide dans le bassin arachidier.

Le retour à présent, à l'observation au champ de l'étendue des "taches jaunes" de l'arachide dans des parcelles d'histoires culturelles différentes répond à deux questions agronomiques :

- Est-ce que l'extension des "taches jaunes" varie avec l'histoire culturelle des parcelles ?

- Quels éléments des histoires culturelles différentes sont à l'origine des différences d'évolution effectivement observées ?

Les résultats des observations et expérimentations exposées dans les chapitres I à III sont indispensables à l'approche de cette double question agronomique. Ils permettent éventuellement de proposer des interventions dans ces différentes histoires culturelles à l'aide des pratiques culturales à même de corriger une évolution défavorable du milieu et des relations climat-sol-plante.

Etant donné une parcelle cultivée, son histoire culturelle se définit par la succession des cultures et de l'ensemble des pratiques culturales appliquées dans cette parcelle sur une période de temps donnée.

Le dispositif dans lequel ont été menées les observations antérieures (chapitres I et II), c'est à dire l'essai "influence des techniques culturales sur la nodulation de l'arachide", permet bien une étude de l'extension des "taches jaunes" de l'arachide. En effet, cet essai mis en place en 1973, compte 6 traitements différents reconduits régulièrement depuis cette date dans une rotation Arachide-Mil.

Traitement	Détail des traitements
1.	-- fumure minérale : 150 kg de 9.18.27 sur arachide, 150 kg de 14.7.7. de Mil.
3.	• fumure minérale + labour de début de cycle (sans enfouissement de paille)
3.	• fumure minérale + fumier (10T/ha) enfouis par un labour de début de cycle
4.	• fumure minérale + chaulage (600 kg/ha) par enrobage des graines
6.	• fumure minérale + chaulage + labour
7.	• fumure minérale + chaulage + fumier + labour

Chaque traitement de l'essai de Thilmakha, suivi pendant 6 ans, constitue donc une histoire culturelle spécifique.

Et la possibilité d'observation de l'étendue des "taches jaunes" dans différentes histoires culturelles, avait déterminé directement le choix de Thilmakha pour l'étude de la chlorose azotée de l'arachide sur "tache jaune". (cf. chapitre 1)

Néanmoins les histoires culturelles qui vont être comparées ne diffèrent que par des pratiques culturelles, la succession des cultures étant identique dans les différents traitements. Le dispositif de Thilmakha n'autorise donc qu'une approche limitée de la question agronomique ; il ne permet pas l'étude de l'influence de rotations différentes sur le développement des "taches jaunes".

Dans un premier temps il nous faut parvenir à évaluer l'extension des "taches jaunes" dans les parcelles des différents traitements de l'essai de Thilmakha. Pour cela nous disposons de trois informations différentes :

(1) - une cartographie des "taches jaunes" a été réalisée chaque année sur arachide (vers le 40-60 jour du cycle) . L'essai comprenant 2 séries (l'une débutant avec Mil et l'autre avec arachide en 1973) une carte de "taches jaunes" est réalisée chaque année.

Cependant l'évaluation de la couleur et de l'état d'une végétation est subjective. Elle peut varier avec les observations qui se sont succédées sur le suivi de cet essai depuis 1973 ; sans oublier que suivant la date d'observation dans le cycle et les variations climatiques, les symptômes de chlorose pourraient être repérés diversement d'une année à l'autre.

(2) - les rendements annuels de l'arachide On connaît l'effet dominant de la chlorose azotée de l'arachide sur la croissance de la plante et la production de gousse. La chute considérable du rendement sur "tache jaune" se traduira par un rendement en gousse d'autant plus bas au niveau de la parcelle que la "tache jaune" y est plus étendue. En retour, le rendement des parcelles permettrait donc de comparer l'étendue des "taches jaunes" dans les différentes parcelles. Cependant, ceci n'est vrai qu'à condition qu'il n'y ait pas d'une parcelle à l'autre de différence de rendement due à des facteurs de l'histoire culturale autres que ceux-là même qui sont à l'origine des phénomènes dont l'état chlorotique des plantes est une extériorisation extrême. De la même manière il ne sera possible de déduire un effet des pratiques culturales sur les rendements que si celui-ci agit dans le même sens sur "tache jaune" et "hors tache jaune".

(3) - les mesures de nodulation, On sait, que la chlorose azotée de l'arachide à Thilmakha résulte d'une déficience de nodulation de l'arachide. L'état moyen de nodulation des plantes dans les différents traitements est donc un indicateur complémentaire de l'étendue des "taches jaunes" dans les différentes parcelles, mais aussi de l'influence des pratiques culturales sur les phénomènes à l'origine de la chlorose.

Les résultats de ces observations permettront à l'aide des résultats des chapitres précédents, d'étudier l'influence des pratiques culturales sur la chlorose azotée de l'arachide et plus généralement sur le sol sachant que différents facteurs édaphiques en sont à l'origine. Ces éléments participent en ce sens à une évaluation de l'évolution de la fertilité d'un sol Dior sous culture.

Ces différents travaux conduisent à la proposition de techniques culturales d'intervention sur le milieu à un moment donné de l'histoire culturale des parcelles. Certaines expérimentées à Thilmakha, pourront apparaître applicables à la lueur des résultats précédents. D'autres exigent d'être approfondies. Elles seront présentées dans un deuxième temps dans ce chapitre.

I. - Evolution de l'extension des "taches jaunes" de l'arachide et de la fertilité du sol dans les parcelles de l'essai de Thilmakha.

L'observation des cartes de la 1<sup>er</sup> série met en évidence :

- une apparition ou/et une augmentation des "taches jaunes" dans toutes les parcelles 1 et 2 de l'essai.

# INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE

Fig. 26

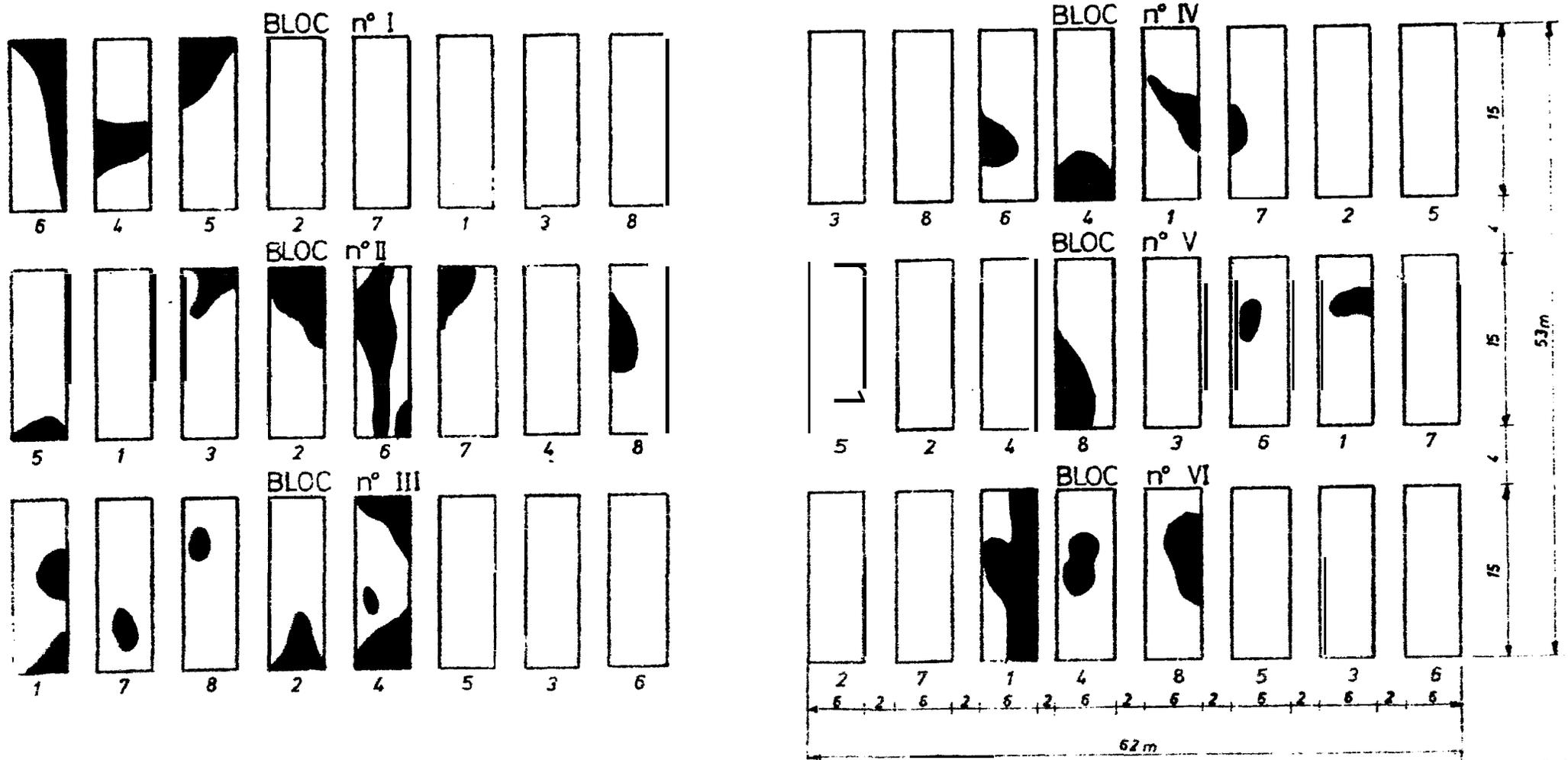
Lieu : THILMAKHA

Année :

Observations taches jaunes

Culture : ARACHIDE

le 1973



- 181 -

- B.E./T

# INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE

Fig. 27.

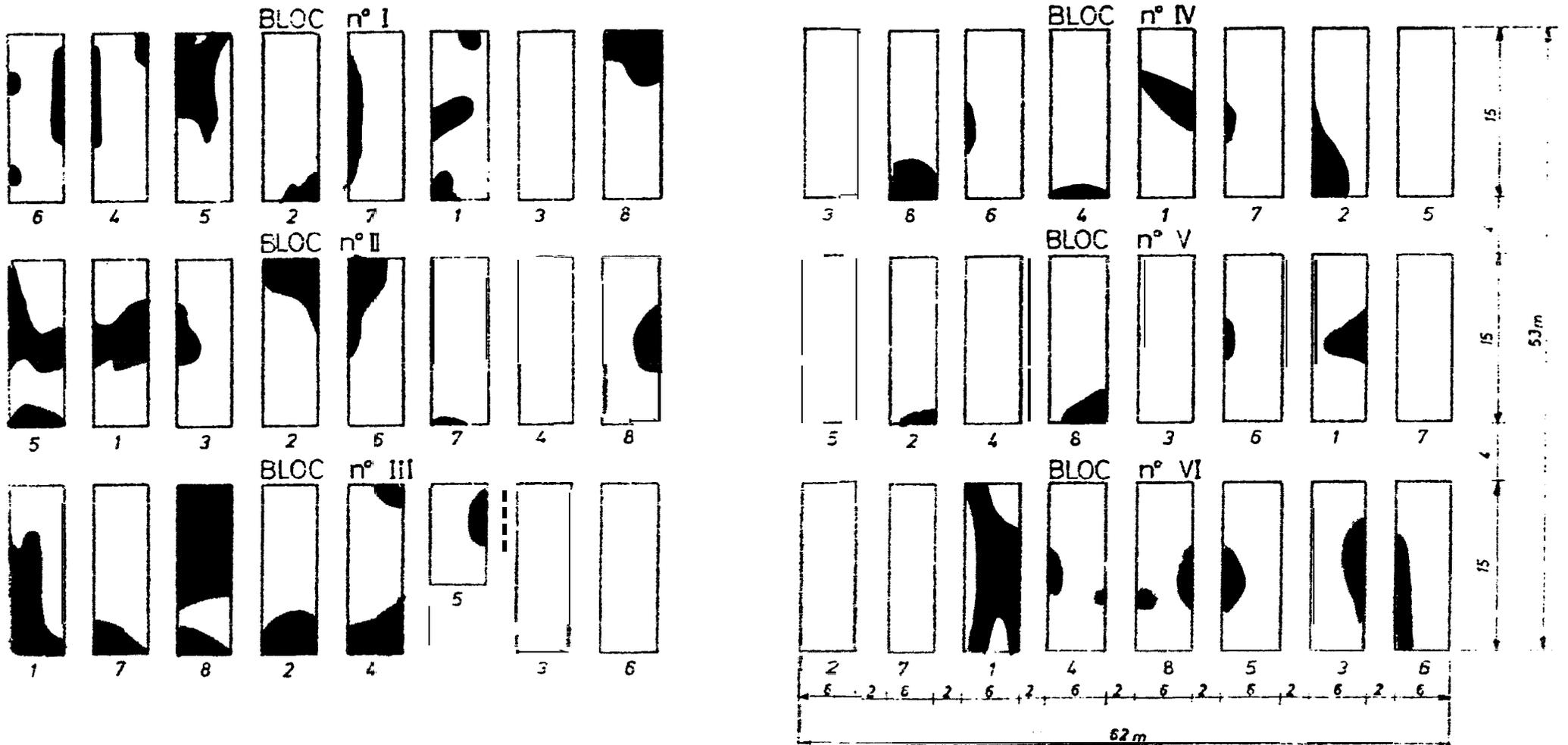
Lieu THILMAKHA

Année : \_\_\_\_\_

Observations taches jaunes \_\_\_\_\_

Culture : ARACHIDE

le 1975



# INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE

Fig. 28

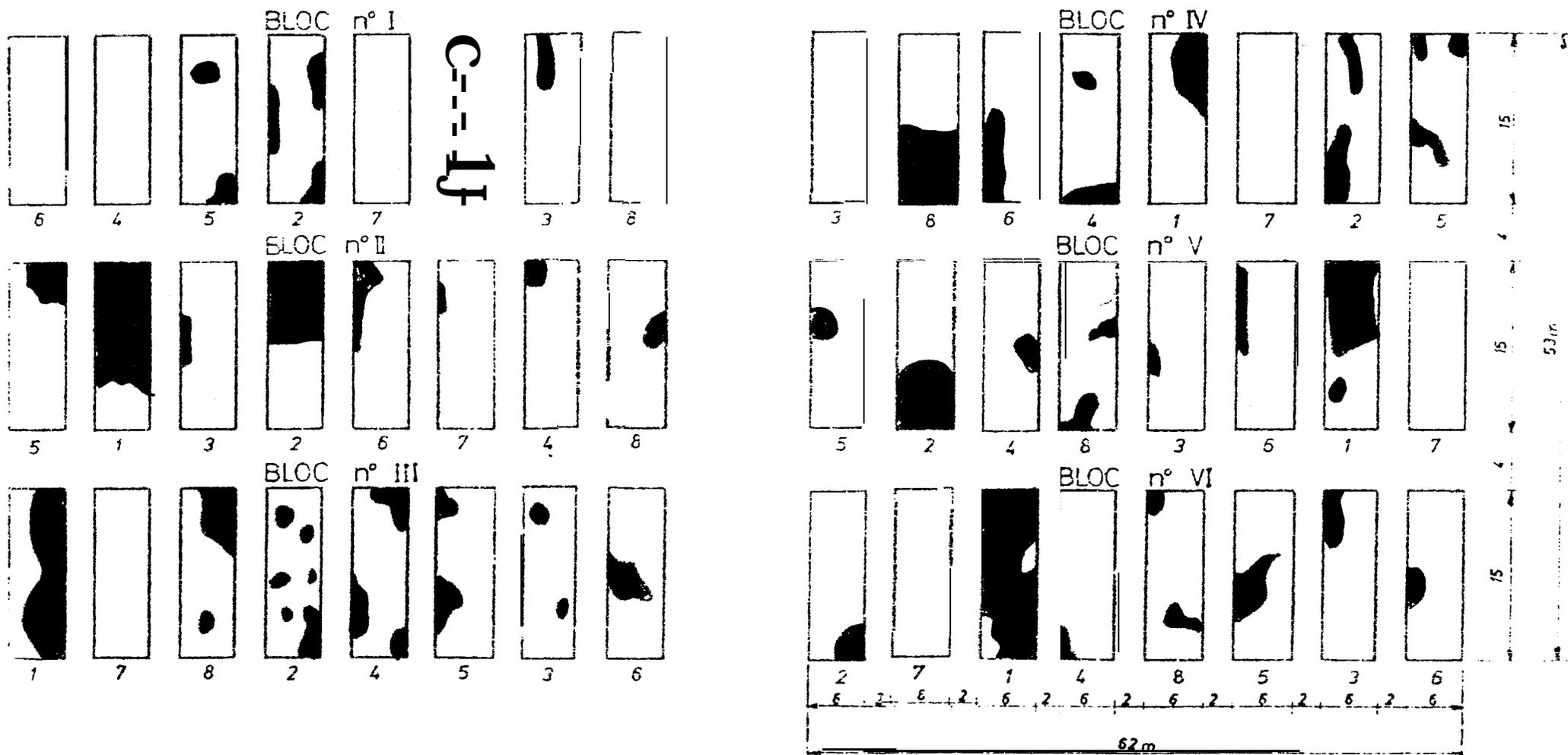
Lieu : THILMAKHA

Année

Observations taches jaunes

Culture : ARACHIDE

le 1977 (19 août)



# INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE

Fig. 29

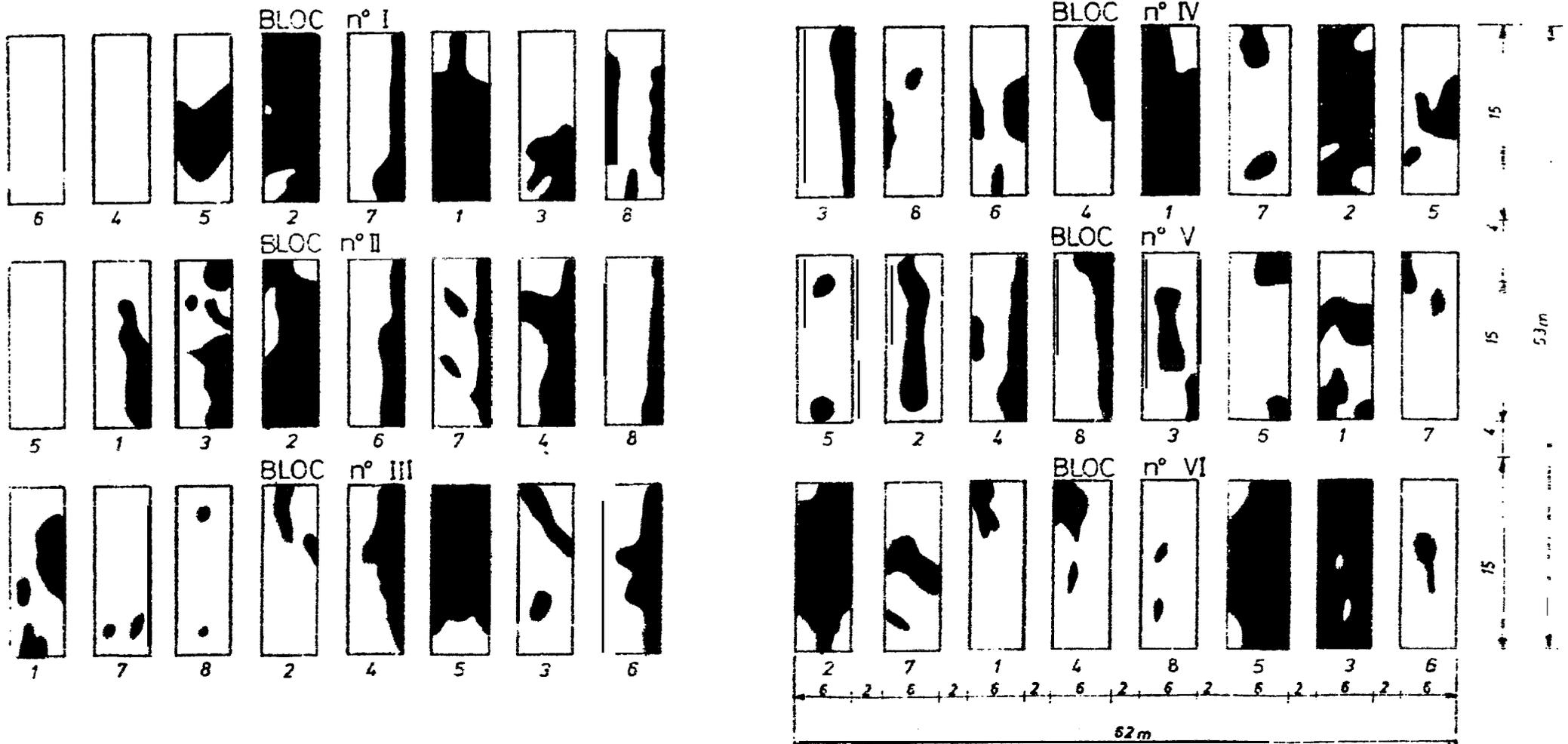
Lieu : THILMAKHA

Année : \_\_\_\_\_

Observations taches jaunes \_\_\_\_\_

Culture : ARACHIDE

le 1974 (24 Août)



# INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE

Fig. 30

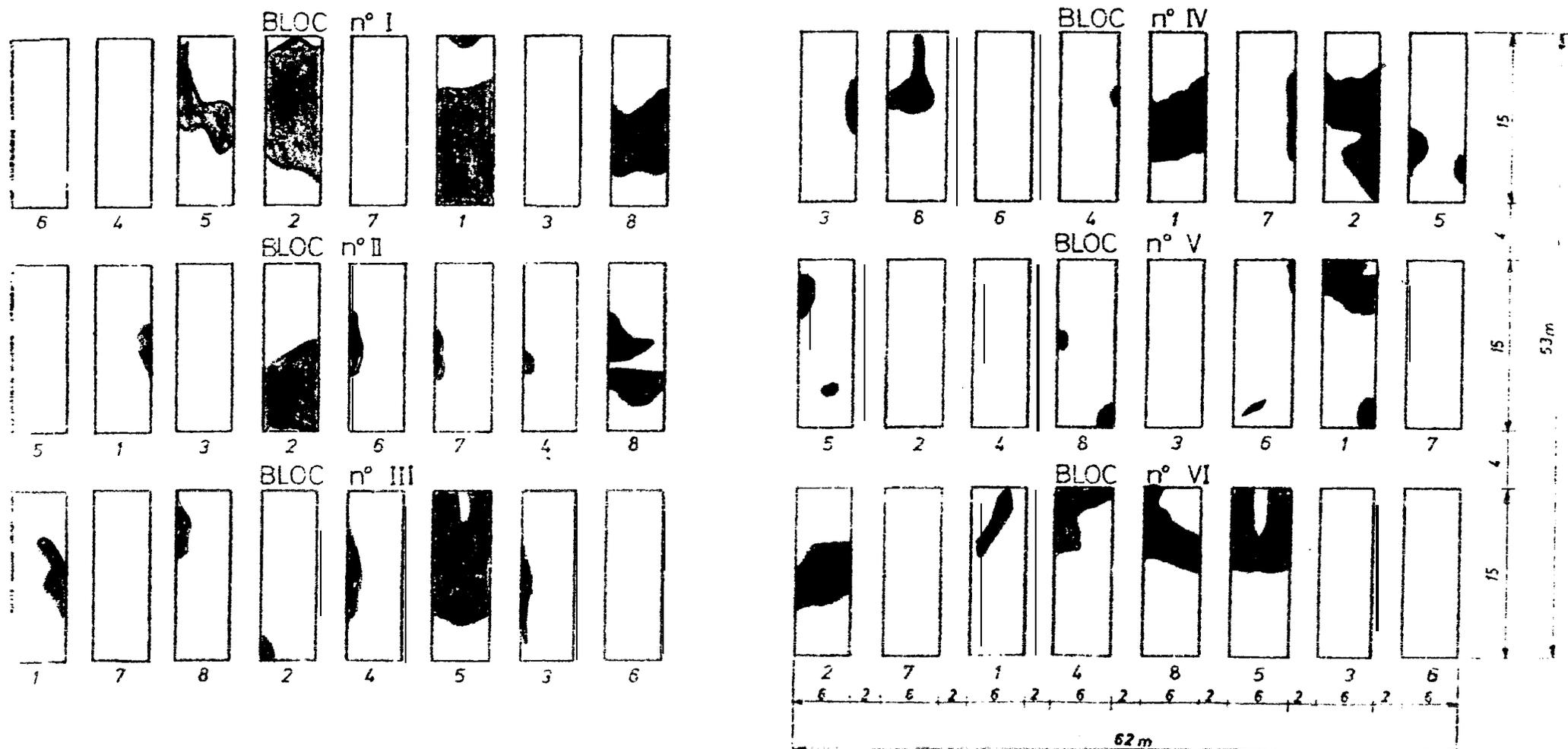
Lieu : HILMAKHA

Année : \_\_\_\_\_

Observations taches jaunes

Culture : ARACHIDE

le 1946 (28 Septembre)



188

53m

15

62m

BE/T

# INFLUENCE DES FAÇONS CULTURALES SUR LA NODULATION DE L'ARACHIDE

Fig. 31.

Lieu : THILMAKHA

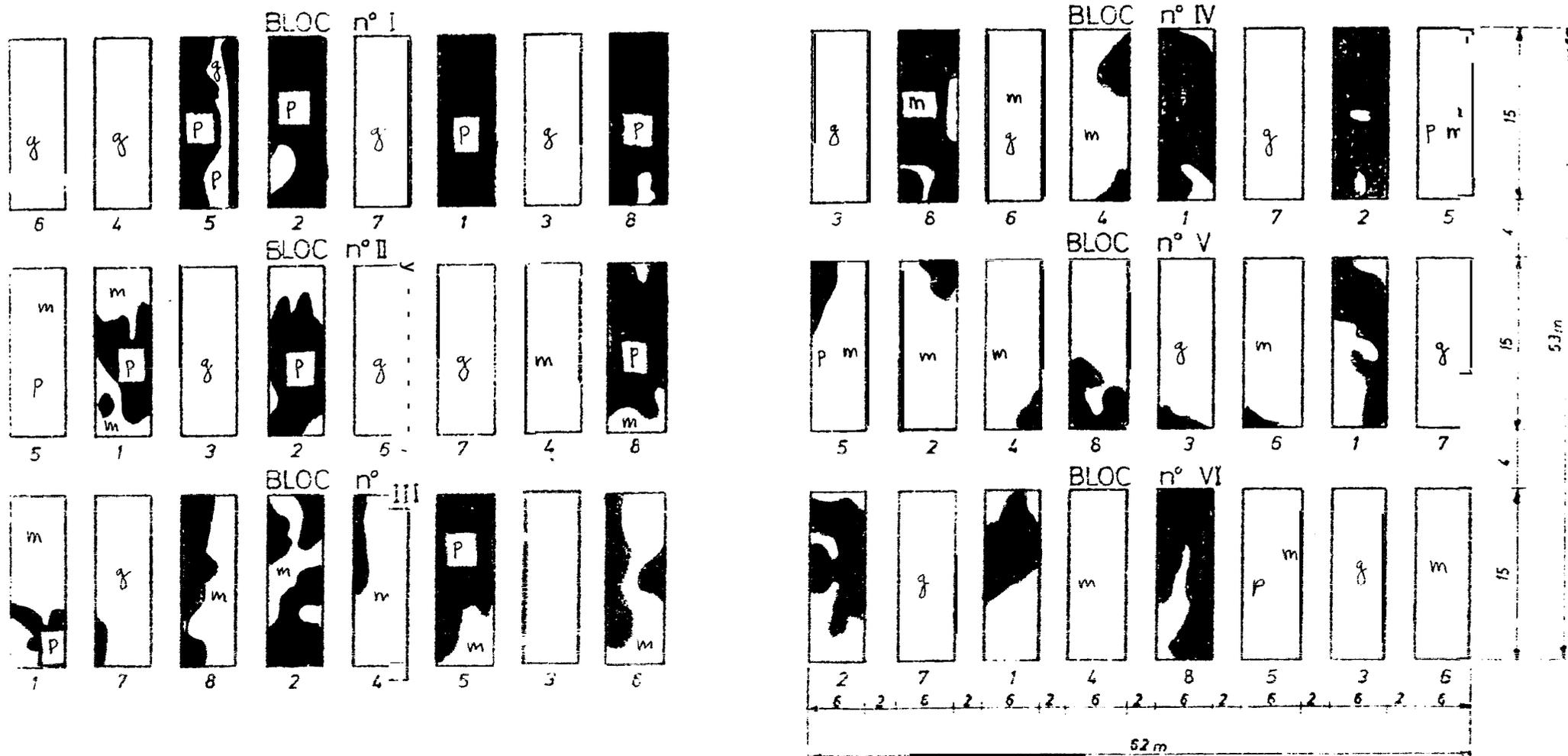
Année : \_\_\_\_\_

Observations taches jaunes \_\_\_\_\_

Culture : ARACHIDE

le 1978 (13 septembre)

taille des plants : g. adulte  
 m. moyenne  
 p. jeune



En 1977, toutes les parcelles 2 et 1 ont au moins une tache de plantes chlorotiques alors que ce n'était pas le cas en 1973.

- un recul assez général des étendues de plantes chlorotiques dans les parcelles 4 et 6, avec cependant des "taches jaunes" encore présentes en 1977, mais de taille réduite.

- une moindre extension initiale des "taches jaunes" sous traitement 3 et 7, est un recul dans certaines parcelles mais néanmoins la présence encore en 1977 de "taches jaunes" de taille réduite.

Les cartes de la deuxième série (Arachide en 1974, 1976-1978) confirment les observations ci-dessus pour les parcelles 1 et 2 où les "taches jaunes" recouvrent les surfaces très étendues en 1978, et pour les parcelles 4 et 6 où malgré un recul très net des "taches jaunes" et aucune apparition nouvelle, on distingue encore quelques taches de rémanence en particulier en bordure des parcelles. Par contre, dans les parcelles 3 et 7 il y a une disparition très nette des "taches jaunes" (à l'exception de 3 parcelles où en extrême bordure, on peut distinguer quelques plantes chlorotiques) .

En conclusion, à la lecture des cartes établies de 1973 à 1978, il apparait que les "taches jaunes" s' étendent dans les parcelles recevant une fumure minérale seule ou fumure minérale + labour. Elles reculent dans les parcelles recevant en plus en chaulage, mais des traces subsistent. Elles disparaissent beaucoup plus nettement, après la 3ème année dans les parcelles recevant une fumure organique enfouie que ce soit avec ou sans chaulage.

Les mesures de rendement à l'hectare sur le poids sec de gousses, sont également les plus élevées dans les parcelles 3 et 7 de l'essai, avec environ une production équivalente à 2 T/ha de gousses. Dans les parcelles 4 et 6, le rendement est inférieur avec 1,1 T/ha en 4 (chaulage seul) et 1,5 T/ha en 6 (chaulage + labour) non significativement différents. Enfin, dans les parcelles 1 et 2, le rendement est nettement et significativement inférieur, voisin de 600 Kg/ha. (Tab. 49 p ).

Dans la mesure où les phénomènes à l'origine de la chlorose azotée de l'arachide sur "tache jaune" seraient les seuls facteurs limitants du rendement variant; d'une parcelle à l'autre, alors ces résultats sur les rendements confirmeraient: le recul observé des "taches jaunes" sous apport de chaux et: plus nettement encore sous fumure organique. Mais quelle preuve avons-nous que les différences de rendement observées ne soient pas dues essentiellement à l'influence des "histoires culturales" sur un facteur du rendement qui ne serait pas directement en relation avec la déficience de fixation symbiotique ? (en particulier, la fumure organique apporte des quantités importantes d'azote).

Ces différences d'étendues de "taches jaunes" selon les histoires culturales sont appuyées par l'observation visuelle de la taille de la végétation non chlorotique dans les parcelles. Celle-ci est très généralement de plus grande taille dans les 3 et 7, qu'en 4 et 6 où parfois elle est de taille moyenne .

Tab. 49. - PRODUCTION D'ARACHIDE DANS LES DIFFERENTES  
PARCELLES DE L'ESSAI DE THILMAKHA.

1978. Moyenne de 6 répétitions  
parcelle utile de 58,50 m<sup>2</sup>

POIDS SEC DE GOUSSES      Kg/ha.

Traitement	1	2	3	4	6	7
Moyenne	560	601	2105	1118	1466	2011
$\sigma^2$ n - 1	391	559	220	265	378	218

Tab. 50. - NODULATION DE L'ARACHIDE DANS LES DIFFERENTES  
PARCELLES DE L'ESSAI DE THILMAKHA.

'Thilmakha 1979.

Moyenne de 60 plantes

NOMBRE DE NODOSITES PAR PLANTES 18.9.79.

Traitement	1	2	3	4	6	7
Moyenne	15	24	55	36	57	58
$\sigma^2$ n - 1	23	27	31	40	43	53

Afin de mesurer plus précisément l'influence des pratiques culturales sur l'extension des "taches jaunes" de l'arachide, un dénombrement de nodosités a été réalisé en 1979 sur 10 plantes/parcelles prélevées dans chaque parcelle de l'essai. On note : (tab. 50 p 192 )

- un nombre légèrement plus élevé de nodosités par plante dans les parcelles 4 par rapport aux parcelles 1 **et 2**.

- un nombre nettement plus élevé de nodosités dans les parcelles 3.6. et 7, qui est 3 fois supérieur au nombre moyen de nodosités dans les parcelles 1 et 2.

Ces différences de nodulation peuvent s'expliquer de 2 manières différentes :

, la différence de nombre moyen de nodosités par plante entre deux parcelles s'expliquerait uniquement par la différence d'étendue des "taches jaunes" (où l'on sait que le nombre de nodosités est très faible) dans chacune des parcelles

, les différences observées sont également dues aux différences de nodulation des plantes dans les parties "hors tache jaune" dans les deux parcelles.

En toute rigueur, l'influence des histoires culturales sur le rendement, où la nodulation nous apparaît devoir être étudiée séparément dans chacun des sites "tache jaune" et "hors tache jaune" des parcelles avant de pouvoir interpréter les effets mesurés au niveau de l'ensemble de la parcelle.

Néanmoins, ceci ne serait pas le cas si l'on parvenait à démontrer que la chlorose de l'arachide sur "tache jaune" est l'extériorisation extrême de l'état de facteurs du milieu qui sont les principaux facteurs limitants du rendement "hors tache jaune".

Or, les cartographies annuelles et surtout l'observation détaillée de; "taches jaunes" dans les parcelles de l'essai de Thilmakha permet de conclure à une disparition des plantes chlorotiques après la 3<sup>ème</sup> année d'une rotation arachide-Mil dans les parcelles recevant sur arachide une fumure organique à la dose de 10 T/ha de fumier. Le recul des "taches jaunes" est également très net en 5<sup>ème</sup> année de la même rotation dans les parcelles recevant sur arachide un chaulage par enrobage des graines à une dose équivalente à 600 Kg/ha. Toutefois on peut encore distinguer dans ces parcelles, que ce soit avec ou sans labour, des taches d'étendue non négligeable en bordure de ces parcelles. Leur extension est cependant apparue moins nettement en 1978 qu'en 1977, en particulier dans les parcelles 6. En fin, la progression des "taches jaunes" est nette dans les parcelles 1 et 2, recevant la fumure minérale avec et sans labour, sans complément ni de chaux, ni de fumure organique.

Sachant que l'origine de la chlorose azotée de l'arachide sur "tache jaune" est une déficience de nodulation, les mesures de nodulation dans les différentes parcelles confirment bien le résultat précédent; au moins au niveau des parcelles 1.2 et 3.6. En effet, le nombre moyen de nodosités par plante dans les parcelles recevant une fumure organique est de 55,60 en moyenne contre 15-25 en moyenne dans les parcelles témoin (avec ou sans labour). Par contre, il n'est que de 36 dans les parcelles 4 recevant un chaulage seul. élevé, avec un nombre de 57 dans les parcelles 6 recevant chaulage, et labour.

Ainsi le seul chaulage ne suffirait pas à inhiber l'action de l'ensemble des facteurs à l'origine de la chlorose azotée de l'arachide. D'où l'augmentation relativement faible du nombre de nodosités par plante résultant de son application.

Or, l'apport de chaux corrige deux facteurs qui sont apparus liés à l'état chlorotique des plantes sur "tache jaune". :

- la carence en chaux
- l'excès d' ions Aluminium (ils sont précipités par suite de l'augmentation de pH)

Un autre facteur limitant parmi ceux identifiés au paravant peut expliquer cet effet limité de l'application de calcium.

Soit la population de rhizobium serait trop faible en de nombreux points du sol ; par suite, de nombreux sites d'infection ne seraient pas contaminés (malgré que les facteurs limitants de l'activité de rhizobium soient levés).

Soit le ou les facteurs sensibles à l'action du nématode (nématodes ou autres) non inhibé par l'application du chaulage continuerait à avoir un effet limitant vraisemblablement au niveau du système racinaire. Cet effet se traduirait par une diminution de la probabilité de rencontre site d'infection-rhizobium, ou une modification telle du site qu'il ne pourrait plus remplir son rôle en présence de rhizobium.

L'effet du labour s'expliquerait alors par son action sur ces facteurs biotiques ci-dessus, ou encore par son effet direct sur le système racinaire.

L'extension des "taches jaunes" dans les parcelles 1 et 2, confirmés par la faible nodulation des plantes résulte de l'évolution des facteurs physico-chimiques et biotiques d'un sol Dior dans une rotation culturale bisannuelle arachide-mil, sous fumure minérale avec ou sans labour. La faible nodulation de l'arachide étant associée à un état acide du sol, qu'elle résulte finalement d'une toxicité aluminique ou d'une carence en calcium, celles-la confirment les observations antérieures sur l'acidification des sols du centre Nord du Sénégal,

Mais le développement des "taches jaunes" dans les parcelles 1 et 2 montre de plus que l'acidification des sols est l'origine d'une baisse de rendement importante de la production d'arachide sur sol Dior et sous climat sahélo-soudanien dans les parcelles dont l'histoire se limite à une rotation arachide-mil et une fumure minérale. L'introduction du labour dans cette histoire culturale ne modifierait pas significativement l'évolution défavorable des facteurs édaphiques pour la culture.

De plus, les observations précédentes permettent de mettre en évidence une modification importante des facteurs biologiques du sol, sous l'effet de l'acidification. Celle-ci apparaît nette à partir des dénombrements de rhizobium dans les différents sols. Elle nous semble moins bien établie pour les nématodes. En effet, l'infection plus forte des plantes sur "taches jaunes" pourrait résulter d'une moindre défense de plantes chlorotiques ou déjà affectées par une carence azotée. De plus, les nématodes sont présents en nombre élevé dans les sols de parcelles recevant calcium ou fumure organique. Ceci est attesté par les dénombrements d'une part et la présence générale de "protubérances" sur les racines (sauf sous traitement nématicide).

Ainsi la présence de "taches jaunes" dans une parcelle ou dans un milieu donné correspondrait à un processus de dégradation importante des sols. Elle représenterait un stade avancé d'acidification des sols et d'évolution des facteurs bio-édaphiques en sol acide.

Dans le cadre des systèmes de production agricole du centre Nord, en référence en particulier aux espèces et variétés de plantes qui y sont cultivées et aux techniques agricoles qui les caractérisent, l'acidification des sols et le développement des "taches jaunes" se traduit par une chute nette de la production d'arachide.

Elle constitue une baisse de fertilité des sols, en regard des techniques agricoles et systèmes culturaux pratiqués actuellement.

Le recul très net des "taches jaunes" démontrerait l'effet primordial de la fumure organique dans l'histoire culturale ci-dessous. Cet effet mesuré également sur la nodulation, suggère un effet spécifique de la matière organique sur les facteurs biotiques du sol (rhizobium, nématodes ou autre microorganisme sensible au nématicide) ou/et sur l'enracinement. Toutefois, remarquons que l'apport de 10 T/ha de fumier contenant 1 à 2 % d'azote organique, équivaldrait à une fumure azotée de 100 à 200 unités d'azote minérale à 1 hectare. Cette dose suffirait à combler le déficit d'azote des plantes sur "tache jaune" et à faire disparaître les symptômes de chlorose. Néanmoins, les mesures de nodulation en cours de cycle (cf chapitre 1) sur des plantes prélevées en parcelles 3 et 7, montrent que les plantes sont bien nodulées dès le 10<sup>ème</sup> jour, et par la suite, que l'apport de matière organique corrige effectivement les facteurs à l'origine du déficit de nodulation sur "tache jaune". On note alors qu'il n'y a pas inhibition de la nodulation par cet apport d'azote organique, alors qu'un apport à la même dose sous forme de nitrate aurait réduit nettement le nombre de nodosités par plante.

On peut songer que outre son effet sur le pH du sol et l'apport de calcium et magnésium en résultant, la fumure organique introduirait des rhizobium dans le sol, ou favoriserait la multiplication de ceux déjà présents (en petit nombre sur "tache jaune"), ou encore réduirait l'importance des nématodes (ou autres microorganismes sensibles au nématicide), ou finalement favoriserait un plus grand enracinement.

L'utilisation des différentes mesures de nodulation, sur lesquelles s'appuient les hypothèses ci-dessus ne serait, cependant, possible que sans autre facteur limitant de la nodulation "hors tache jaune" que ceux-la mêmes qui sont à l'origine de la chlorose azotée de l'arachide sur "tache jaune",

Ainsi l'augmentation de rendement sur les parcelles fumées résulterait d'un effet spécifique nutritionnel de la matière organique en dehors de toute action réelle sur le milieu. De plus, les infections des nématodes réduiraient le développement racinaire. Il en résulte certes une moindre nodulation mais aussi une moindre prospection racinaire. Cette dernière expliquerait largement l'effet spécifique du némagon, en dehors de son action sur la nodulation (qui peut être nulle si les rhizobium sont absents ou inactivés dans le milieu - cf. Chapitre II).

Il ressort de ce suivi que l'évaluation de l'évolution de la fertilité des sols Dior, nous paraît pouvoir s'appuyer utilement sur l'étude des "taches jaunes" de l'arachide. Celle-ci permet en effet, sur un des éléments centraux de la fertilité des sols dans le cadre des systèmes de production agricole actuels du Sénégal, il savoir sa capacité à permettre l'établissement d'une symbiose active entre les rhizobium et les variétés d'arachide actuellement cultivées, d'identifier les facteurs édaphiques à l'origine même d'une chute importante de fertilité.

Quant aux mesures générales sur le rendement, elles vont dans le même sens que celles sur la nodulation en fonction des différents traitements. A ce niveau, néanmoins, elles ne nous permettraient pas d'interpréter l'influence des différentes histoires culturales sur l'évolution de la fertilité des sols, à moins que nous ayons démontré que le déficit de nodulation est le facteur limitant expliquant principalement la différence de rendement entre les parcelles. A ce stade, l'apport d'azote organique pourrait expliquer la différence de rendement observée entre les parcelles chaulées et celles fumées, par delà tout l'effet des différences de nodulation (en particulier sur les parcelles 6 et 7 le nombre moyen de nodosités par plante est identique et cependant le rendement moyen des parcelles fumées est de 2 T/ha de gousses contre 1,5 T/ha pour les parcelles chaulées avec labour).

## II - Choix de différentes pratiques culturales d'intervention sur les déficiences de nodulation de l'arachide dans le centre Nord du Sénégal

Les "taches jaunes" de l'arachide observées à Thilmakha, sont l'extériorisation d'une déficience de nodulation qui apparait à un certain terme d'une dégradation des sols Dior sous culture.

Les modifications essentielles sur les facteurs édaphiques à l'origine ou en rapport avec cette évolution du sol et la déficience de nodulation seraient :

- . la baisse des teneurs en calcium et magnésium,
- . la solubilisation de cations Aluminium en dessous d'un pH de 5,5 et leur excès dans la solution du sol au delà d'un certain taux de saturation du complexe absorbant par l'aluminium échangeable.
- . la faible activité des rhizobium du sol et la baisse de leur population éventuellement consécutive à une moindre nodulation de l'arachide ou/et à une faible survie pendant la saison sèche.
- . l'augmentation de la population de nématodes, qui en infectant les racines limitent leur développement,

Les observations et mesures réalisées jusqu'à présent apparaissent cohérentes avec l'hypothèse explicative suivante :

sous culture, il s'opère une acidification du sol.

La baisse de teneur en calcium et magnésium, ou l'excès d'aluminium échangeable dans ces conditions de pH sont à l'origine soit par carence soit par toxicité sur les rhizobium présents dans le sol, d'un retard de croissance de la population moyenne de rhizobium dans le sol, et par suite d'un retard de nodulation des plantes. (cf. Chapitre II).

Les nématodes présents dans les sols (en plus grand nombre éventuellement en sol acide) en infectant les plantes provoquent un ralentissement du développement racinaire. L'infection par les nématodes, ou/et son effet sur le développement racinaire est d'autant plus forte que la plante est carencée en azote par suite d'une déficience de nodulation.

A un moment plus avancé dans le cycle végétatif où la population de rhizobium en sol acide est plus abondante et où le système racinaire a pu se développer, il peut y avoir nodulation. La plante reverdit et sa croissance s'accélère ; elle redemarre. Si le système racinaire est très limité par suite d'une attaque violente de nématodes, la probabilité de rencontre d'un site d'infection avec un point du sol où la population de rhizobium est suffisante, est d'autant diminuée. Il y a peu ou pas de nodulation, la plante jaunit ou dépérit.

Cette déficience de nodulation résulte à terme en une baisse progressive de la population de rhizobium du sol, et une augmentation éventuelle de celle de nématodes.

Il s'agirait donc d'une déficience progressive de nodulation sur sol acide avec à un certain terme apparition des symptômes de chlorose azotée.

Les taches jaunes s'étendent alors et le foyer des "taches jaunes" se caractérise par un nanisme jaune (absence totale de nodulation-dégradation profonde du système racinaire).

Parmi les différentes pratiques agronomiques d'intervention dans cette histoire culturale, le chaulage est étudié de longue date. A la dose de 600 kg/ha, il permet de compenser le manque de calcium, de relever le pH au dessus de 5,5 et d'éliminer tout excès d'aluminium échangeable dans la solution du sol. Il permettrait d'éviter que s'installe une déficience de nodulation par suite de l'acidification du sol. Toutefois, en cas d'intervention à un stade avancé de dégradation où déjà des taches jaunes sont en place, la présence partielle de plantes chlorotiques et l'accroissement lent du nombre de nodosités après chaulage amène à penser que la faible population de rhizobium ou l'excès de nématodes dans ces sols exigent d'être corrigés.

Le labour dans ces conditions, en favorisant le développement racinaire, permettrait d'accroître la nodulation, d'accélérer conséquemment la croissance de la population de rhizobium du sol. De fait, l'effet du chaulage est significatif sur le rendement et la nodulation.

L'application de nématicide seule se traduit par un très net effet sur le système racinaire. Mais en cas de population trop faible de rhizobium ou d'inactivation des rhizobium en sol acide, il y a toujours déficience de nodulation et chlorose. Son effet sur chaulage mériterait d'être étudié. Appliqué assez tôt dans cette évolution, il pourrait également: ralentir largement la baisse de population de rhizobium, en compensant la faible activité des rhizobiums par un plus grand développement racinaire que sur le témoin.

L' inoculation enfin, permettrait sur parcelle chaulée de relever rapidement la population de rhizobium du sol. Elle permettrait également de compenser le retard d'augmentation de la population de rhizobium en début de cycle à moins que les conditions défavorables du milieu (faibles teneurs en Ca et Mg, excès d'Aluminium) ne provoque une forte mortalité des rhizobium introduits. Un essai d'inoculation dans différentes demi-parcelles de l'essai de Thilmakha a été donc mené en 1979.

1. Essai courbe de réponse à des doses croissantes de fumier Thilmakha.

INTRODUCTION, Objectifs et principes d'une tentative d'établissement de courbe de réponse au fumier.

L'importance agronomique des apports de matière organique dans une rotation arachide-mil sur sol Dior et sous climat sahélo-soudanien, est largement admise à la suite des travaux menés au CRA de Bambey qui montrent un effet positif des différentes fumures organiques sur les rendements des cultures.

Le suivi des "taches jaunes" de l'arachide à Thilmakha depuis 1973 confirme cette action bénéfique sur les cultures et fournit par ailleurs des indications importantes concernant son action différents facteurs édaphiques qui déterminent le rendement de l'arachide.

Celui-la met donc en évidence un effet spécifique de la fumure organique sur l'évolution de la fertilité des sols Diors dans le domaine sahélien sénégalais, et indique les facteurs du milieu à prendre en compte pour évaluer l'état de fertilité du sol au cours de l'histoire étudiée. \*

Mais les différents essais de fumure organique qu'il s'agisse de paille brute, de composts ou de fumier ont très généralement été réalisés avec des doses élevées de l'ordre de 10 T/ha. Celles-ci sont largement supérieures aux quantités de matières organiques effectivement restituables disponibles dans les systèmes de production agricole actuels du Sénégal. Celles-ci seraient en effet de l'ordre de 7 tonnes de fumier dans les conditions techniques avancées de l'association agriculture-élevage avec: traction bovine pour un carré de 8 ha cultivés.

En conséquence, il a été décidé de mettre en place un dispositif d'essai permettant d'étudier les effets de doses limitées de fumier allant de 1 T à 7 T de matière sèche à l'hectare, appliquées chaque deux ans dans une rotation arachide-mil.

\* La mesure du seul rendement sans mesure plus précise au niveau des facteurs déterminants de rendement ne permettrait pas de distinguer entre un effet direct de la fumure organique sur la nutrition de la plante (type apport d'azote assimilable) d'un effet général et plus permanent sur le milieu édaphique. La mesure des effets résiduels sur le rendement le ou les années suivantes en donnerait néanmoins une certaine évaluation.

Parmi les effets des matières organiques, il convient de distinguer des effets annuels sur le rendement de la culture recevant la fumure organique, des effets sur le milieu dont l'incidence sur la fertilité du sol est éminemment pluriannuelle. Celle-ci peut s'évaluer à travers l'évolution des rendements dans les histoires culturales correspondant aux différentes doses de matière organique, par l'apparition éventuelle de symptômes caractéristiques de certaines évolutions du milieu sous culture (type chlorose azotée de l'arachide), la mesure directe de facteurs du milieu identifiés comme déterminants du rendement des cultures pratiquées.

Dans ces conditions, un tel essai doit viser à proposer des doses, fréquences et localisations d'apports de fumier dans une rotation arachide-mil, afin d'entretenir, voire de redresser la fertilité des sols dans les conditions actuelles de l'agriculture sénégalaise en zone soudano-sahélienne. D'où le dispositif ci-dessous :

#### MATERIEL ET TECHNIQUE.

##### a/ dispositif d'essai.

L'essai est pluriannuel. La fumure organique est apportée au plus chaque deux ans (à discuter après les résultats de 2<sup>ème</sup> année), dans une rotation biennale arachide-mil.

On distingue deux séries :

- l'une débute avec le mil qui est cultivé avec apport de matière organique,
- l'autre débute avec l'arachide qui reçoit dans ce cas l'apport de fumier.

Chaque série est menée en bloc de Fischer de 8 répétitions ;  
et comporte 5 traitements différents.

Tab. 5 1 . - TRAITEMENT DE L'ESSAI. "Courbe de réponse au fumier".

Dose de fumier	Avant mil 1 <sup>er</sup> série	Avant arachide 2 <sup>ème</sup> série
0. t. M.S. /ha	M <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>
1. t. M.S. /ha	M <sub>2</sub>	A <sub>2</sub>
3. t. M.S. /ha.	M <sub>3</sub>	A <sub>3</sub>
5. t. M.S. /ha	M <sub>4</sub>	A <sub>4</sub>
7. t. M.S. /ha	M <sub>5</sub>	A <sub>5</sub>

La variété de mil est le Souna III, la variété d'arachide, la 55 437 (Thilmakha).

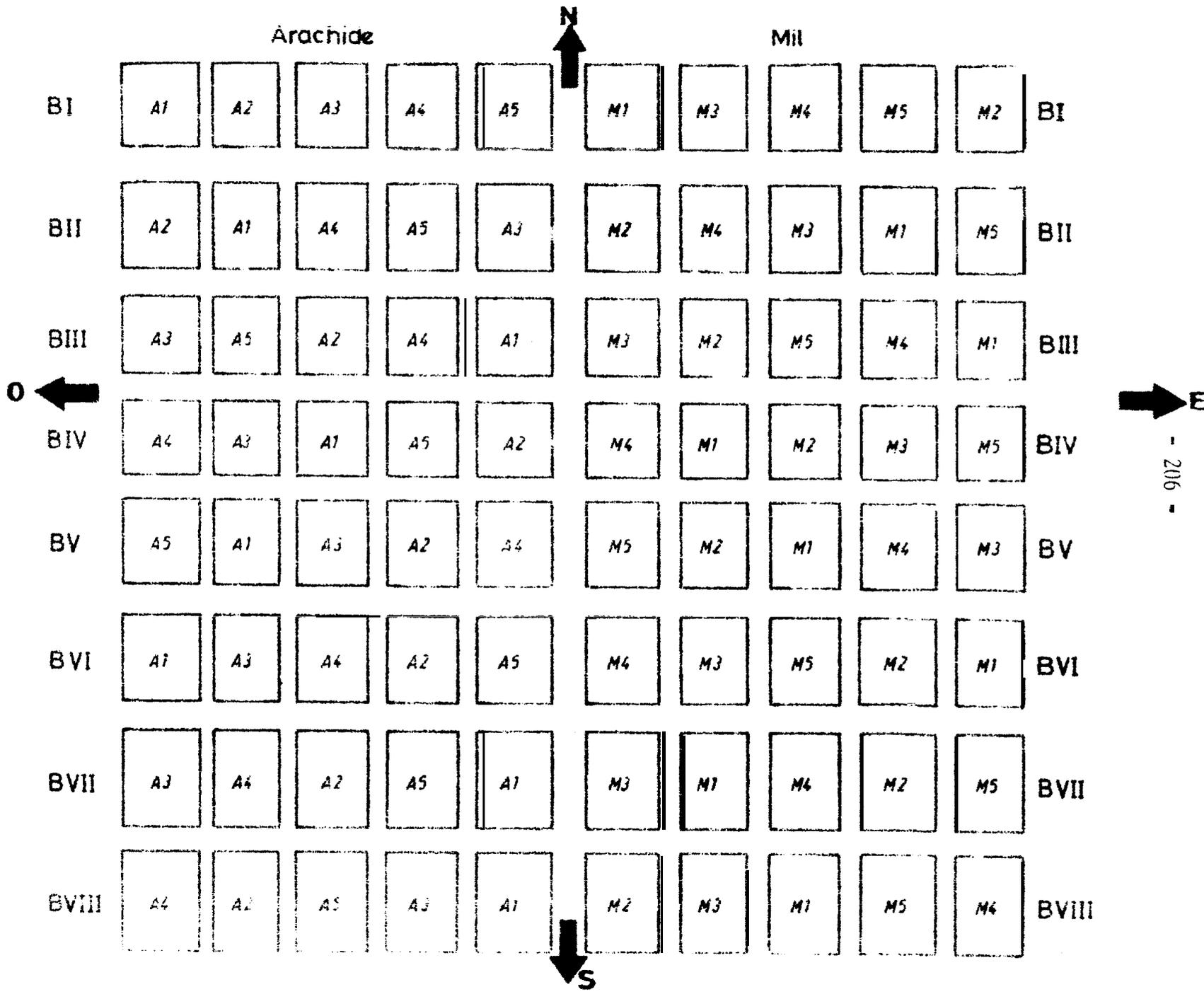
b. Caractéristiques pédoclimatiques des points d'implantation de l'essai.

Deux zones agroclimatiques différentes avaient été choisies. Un essai était implanté à Thyssé Kayemor (département de Kaolack) dans le PAPEM (point d'appui à l'expérimentation multilocale) de l'ISRA. Le coefficient de variation très élevé des résultats, lié principalement à une grande hétérogénéité du champ d'essai n'autorise pas d'exploitation possible de ces données. Le deuxième point d'essai est à Thilmakha, également.

Fig. 32-

THILMAKHA - Année 1978

Traitements témoin	
A1 et M1: 1 <sup>er</sup>	M.S./ha
A2 et M2: 3 <sup>er</sup>	M.S./ha
A3 et M3: 5 <sup>er</sup>	M.S./ha
A4 et M4: 7 <sup>er</sup>	M.S./ha
A5 et M5: 9 <sup>er</sup>	M.S./ha
<b>Arachide</b>	
100kg de 8. 18. 27/ha	
<b>Mil</b>	
150kg de 14. 7. 7/ha	



Tab. 52 - Etat physico-chimique initial du sol dans  
l'essai courbe de réponse au fumier.

Thilmakha 1978.

Moyenne de 15 échantillons.

	pH eau 1/2,5	Al. ech.* meq/100 g	CEC meq/100 g	C Total ‰	N Total ‰	C/N	Argilo- limono %
HORIZON				5-20 an			
Moyenne	5,7	0,07 *	1,60	1,78	0,14	13	5,4
n - i	0,3	0,10	0,26	0,22	0,03	2	1,8

Les caractéristiques de pluviométrie et température sont celles de Thilmakha dans la zone sahélo-soudanienne.

Le sol du champ d'essai est un sol Dior caractéristique du domaine sahélien du Sénégal.

Un prélèvement initial a été réalisé en 15 points différents du champ d'essai, et dans deux horizons 5-20 cm et 20-40 cm.

Le très faible pourcentage d'éléments fins (5 %), la faible teneur en matière organique (moins de 2 ‰ de carbone total) et un azote total (0,14 ‰) sont caractéristiques d'un sol Dior sous culture. Le pH initial est de 5,7 en moyenne (pH eau 1/2,5). (cf. Tab. 52).

#### c. Caractéristiques des fumures organiques.

Les matières organiques retenues pour cet essai sont des fumiers grossiers produits dans une litière de paille de sorgho à Thyssé Kayenor, de paille de mil sous bovins en stabulation libre à Bambey pour Thilmakha .

Le fumier utilisé à Thilmakha est caractérisé par une teneur en azote de 1 % environ et en calcium de 0,7 %.

1 T. M.S. de ce fumier équivaut donc à 10 unités d'azote sous forme organique et 7 kg de calcium.

#### d. Pratiques culturales .

A Thilmakha, le fumier est enfoui par un labour en sec appliqué sur toutes les parcelles.

Les fumures minérales pratiquées sont 1 SO Kg/ha de 10/21/21 sur mil, et 100 kg/ha de 8/18/27 sur arachide.

#### RESULTATS ET DISCUSSION.

A Thyssé Kayemor, il n'apparait aucune différence significative entre les différents traitements de l'essai. Le fait même qu'un labour d'enfouissement de fin de cycle sur Mais ait été réalisé dans le champ d'essai en fin d'hivernage 1977, pourrait expliquer la non extériorisation d'effets liés aux traitements (Tab. 53).

Mais les coefficients de variation très élevés enregistrés dans cet essai conduit à rechercher d'autres explications. Les hétérogénéités très grandes de terrain en seraient une, qui rend totalement inexploitable le dispositif pour l'année 1978.

A Thilmakha des résultats beaucoup plus intéressants ont été obtenus en 1978. (Tab. 54) .

• sur arachide (2ème série) il n'apparait aucun effet annuel de la fumure organique, quelle que soit la dose. Ce résultat signifierait que dans l'état actuel du milieu édaphique et sous le climat de 1978, à Thilmakha, il n'y a pas de facteur limitant du rendement de l'arachide qui soit sensible à l'action de la matière organique. En particulier, au niveau de la nutrition azotée, il n'y aurait pas eu de déficience par rapport aux besoins de la plante. En effet, l'apport de doses croissantes de fumier aurait compensé cette déficience, sachant que le sol est très pauvre en azote, que la fumure organique apporte de l'ordre de 10 unités d'azote par tonne, et qu'elle n'entraîne aucune inhibition de la nodulation.

Tab. 53 Essai coube de réponse au foin.

1er Août 1979.

THYSSE KAYENER, SCHYRROG.

CEREALE - FAIS

Poids sec de grains/ha

	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>
Moyenne kg/ha	1945	2098	1995	2318	1933
σ <sup>2</sup> n - 1	728	701	603	741	262

Poids sec de pailles/ha

	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>
Moyenne kg/ha	1816	1939	1941	2123	1930
σ <sup>2</sup> n - 1	624	444	586	481	375

Rapport paille/grain

Moyenne	0,93	0,92	0,97	0,92	0,95
---------	------	------	------	------	------

ARACHIDES Poids sec de gousses/ha

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>
Moyenne kg/ha	1211	1739	1793	1923	2093
σ <sup>2</sup> n - 1	350	410	173	388	299

Poids sec de foin/ha

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>
Moyenne	3707	3370	3101	3562	3593
σ <sup>2</sup> n - 1	251	194	577	352	401

Rapport foin/gousses

Moyenne	1,94	1,91	1,89	1,86	1,72
---------	------	------	------	------	------

Toutefois, ce résultat annuel ne permet pas de conclure sur l'influence de la fumure organique sur la fertilité du sol. L'étude de la fonction nitrogénasique nous a amené à formuler l'hypothèse d'une baisse de nodulation progressive par suite d'une acidification du sol. Celui-ci ne peut s'extérioriser qu'à partir d'un certain terme de l'histoire culturale des parcelles.

Dans ce cas précis, nous savons que des mesures directes sur le milieu, en particulier la mesure du pH et du taux de saturation du complexe absorbant par l'aluminium échangeable, accompagnées de mesures de nodulation, permettraient, compte tenu des informations fournies par l'étude des "taches jaunes", de suivre avec davantage de précision, l'évolution de la fertilité du sol sous culture avec différentes doses de matière organique.

De plus, la mesure de la population de nématodes, combinée aux mesures précédentes apporterait des éléments indispensables à la compréhension de l'évolution du milieu sous culture en zone sahélo-soudanienne, ainsi qu'à celle des conditions écologiques déterminantes de la fixation symbiotique dans cette zone.

Ces mesures complémentaires nous apparaissent d'autant plus importantes qu'en cas d'une déficience de fixation symbiotique d'azote due à l'évolution des facteurs édaphiques sous culture, l'apport de matière organique par la fumure azotée qu'elle constitue pourrait empêcher l'extériorisation de cette déficience, sans pour autant n'avoir aucun effet sur les facteurs mêmes, qui en constituent l'origine. (Toutefois, l'observation des effets résiduels sur rendement permettrait éventuellement de lever cette ambiguïté à l'interprétation).

- sur mil (1er série) , il apparait une réponse linéaire du rendement en grain à la dose de fumier apportée (mesuré par le poids sec des épis).

Fig. 32.

Les différents résultats obtenus permettent d'établir une relation linéaire hautement significative entre la variable Y (poids sec des épis en Kg/ha) et X (dose de fumier en t . n. s. /ha) avec pour équation :

$$Y = 51 X + 804$$

Chaque apport d'une tonne de fumier augmente de 50 kg/ha le rendement en grain de l'arachide.

Cette réponse nous paraît pouvoir être interprétée comme une réponse de l'azote apportée par la fumure organique, en dehors de tout effet spécifique de la matière organique sur d'autres facteurs limitants du rendement du mil.

La non extériorisation de ces autres effets éventuels de la matière organique sur le milieu peut être due au fait que les facteurs édaphiques sur lesquels celle-ci agirait ne sont pas à ce stade de l'histoire culturale, des facteurs limitants du rendement de mil.

Aucun effet significatif n'apparaît sur le rendement de paille, qui s'établit en moyenne à 3650 kg/ha.

En l'absence des analyses de sol (résultats non parvenus) et dans l'attente de résultats pluriannuels, il ne nous apparaît pas possible à la vue de ces résultats d'évaluer l'influence de doses de fumier sur l'évolution de la fertilité du sol.

La réponse annuelle du mil, bien que limitée apparaît néanmoins un moyen intéressant de valoriser le travail de l'apport de la fumure organique, indépendamment de tous les effets à long terme et moins directement perceptible qui s'opèrent sur le milieu.

Teb. 54 ESSAI COURBE DE REPONSE AU FUMIER  
THILMAKHA 1<sup>er</sup> année. 1978-

CÉREALE = MIL

Poids sec de grains kg/ha

	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>
Moyenne	765	877	983	1073	1136
n-1					

Poids sec de paille kg/ha

	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>
Moyenne	3422	3686	3422	3788	3937
n-1	569	497	503	258	396

Rapport paille/grain

Moyenne	4,5	4,2	3,5	3,5	3,5
---------	-----	-----	-----	-----	-----

ARACHIDE

Poids sec de gousses kg/ha

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>
Moyenne	2022	2114	2146	1926	21094
n-1	187	300	184	191	216

Poids sec de fanes kg/ha

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>
Moyenne	1733	1658	1749	1517	1702
n-1	296	283	272	250	243

Rapport gousses/fanes

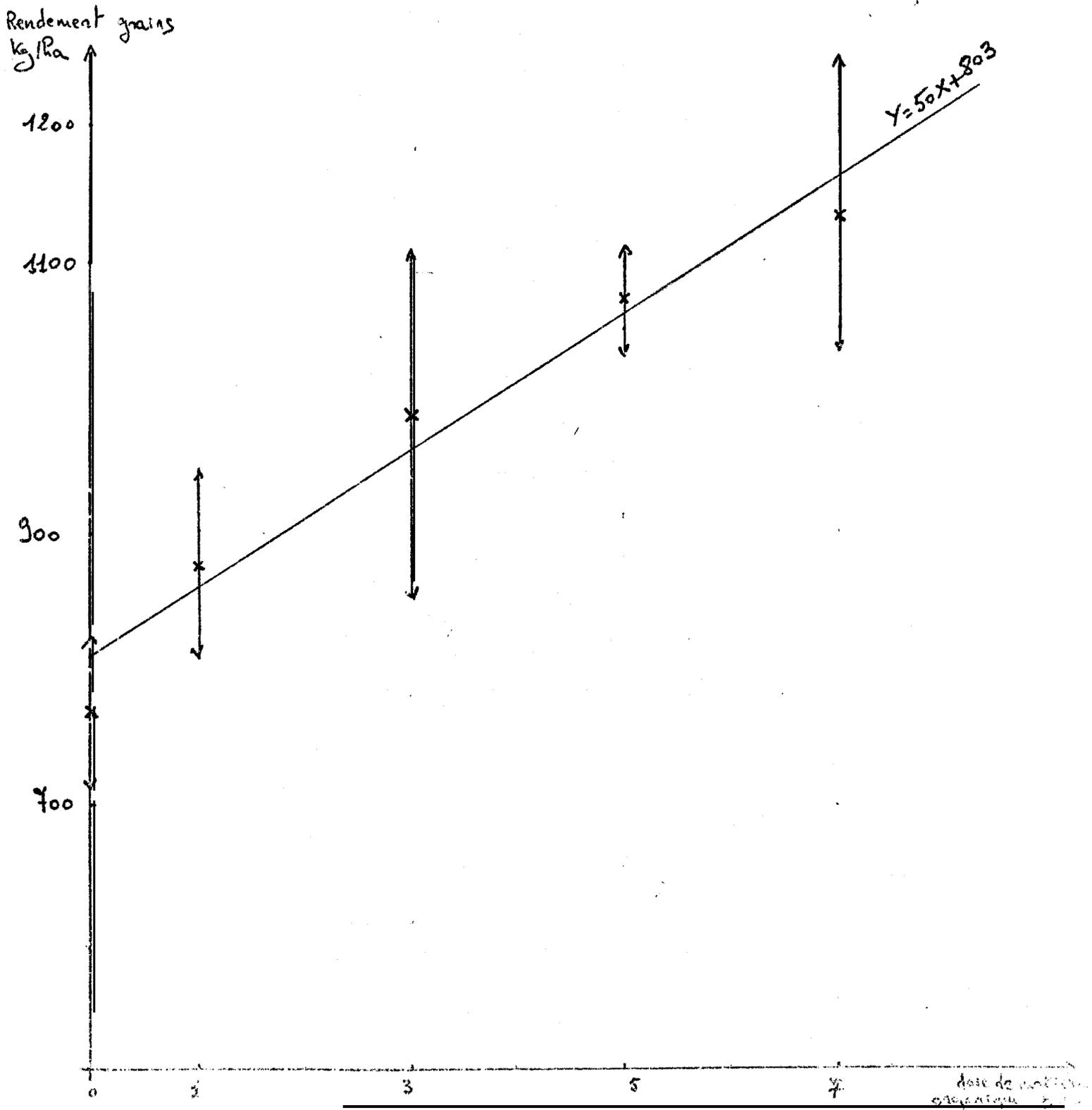
Moyenne	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
---------	-----	-----	-----	-----	-----

- Thi l makha -

Fig.33. - COURBE DE REPONSE AU FUMIER -

MIL 1978

THI LMAKHA.



CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS :

Le phénomène de "tache jaune" de l'arachide observé à Thilmakha, dans le Centre Nord du Bassin nrrachidier du Sénégal, est une chlorose azotée. Il apparaît résulter d'une défiance à fixation d'azote, consécutive à une faible nodulation de l'arachide dans des conditions de sol particulières caractérisées par un pH eau voisin ou inférieur à 5,0.

L'observation détaillée de la végétation au cours du cycle végétatif en 1978 a mis en évidence un retard caractéristique de nodulation des plantes dès le 12ème jour, dans des sites où en 1974, 1976 et plus tard en 1978, les plantes étaient chlorotiques. Alors que dans les plantes voisines non chlorotiques, la fixation symbiotique de l'azote devenait significative avant le 20ème jour, subvenant aux besoins de la nutrition azotée jusque la couverts essentiellement par l'azote cotylédonaire, les plantes sur sites "tache jaune" souffrent d'un manque d'azote entre le 20ème et le 30ème jours. Il s'en suit un fléchissement des courbes de croissance et de nutrition azotée de l'apparition d'un palissement général des feuilles vers le 25ème jour.,

L'origine de cette chlorose, dont il a été montré parallèlement qu'elle est liée à des conditions spécifiques de sol, serait donc à rechercher dans l'action de facteurs édaphiques sur l'émission des premières nodosités.

Le suivi. des populations de rhizobium du sol a montré un nombre plus faible en début de cycle et un retard de croissance de la population de rhizobium pendant les 20 premiers jours du cycle, dans le rhizoplan des plantes sur "tache jaune". Le bas niveau de cette population (10 rhizobium par gramme de sol) expliquerait le retard de nodulation observé. Et le démarrage exponentiel plus ou moins tardif de cette population serait à l'origine des reverdissements de plantes chlorotiques observés en différents points à Thilmakha jusqu'au 55ème jour ,

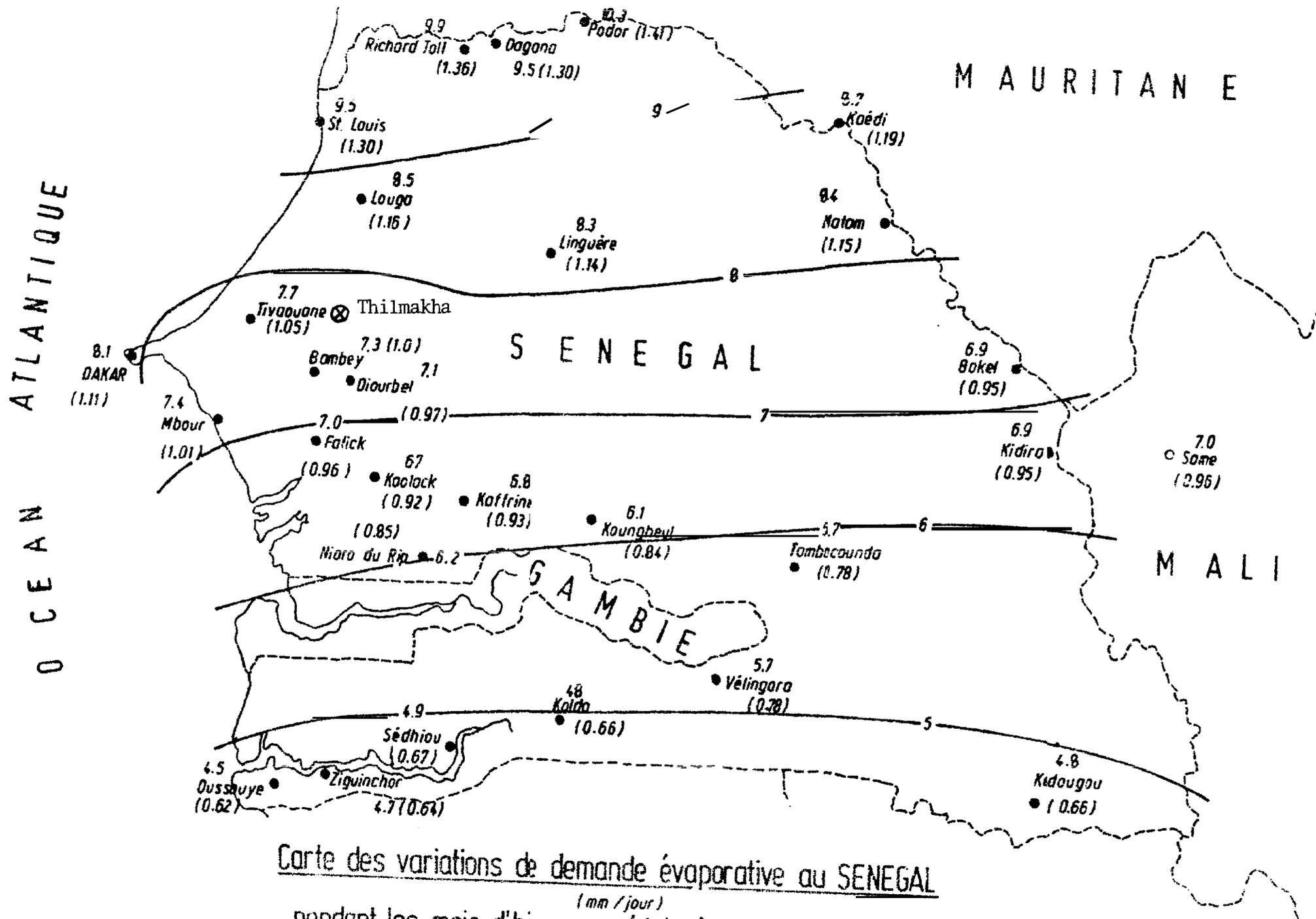
Parmi les nématodes présents à Thilmakha, Scutellonéma cavenessi attaque les racines d'arachide. L'infection beaucoup plus forte des plantes chlorotiques, apparaît être la cause de la dégradation du système raciné<sup>oiv</sup> de ces plantes (peu de radicules, subérification et présence de nombreuses protubérances)

et de l'état prononcé de cette dégradation ou delà du 50ème jour. Ces attaques sur le système racinaire, qui seraient d'autant plus forte que la plante est affaiblie par une carence azotée, aurait un effet inhibiteur sur la nodulation en limitant les possibilités de rencontre rhizobium-site d'infection. Elles seraient à l'origine de la faible nodulation des plantes chlorotiques après le 30ème jour, alors même que la population de rhizobium a démarré. L'effet très net du traitement némagon sur le rendement s'explique bien par la suppression des dégradations sur le système racinaire. Le fait que des plantes chlorotiques étaient encore observables sous traitement au némagon confirme que d'autres facteurs que les nématodes infectieux participent à l'origine de la chlorose azotée de l'arachide dans le Centre Nord du Sénégal.

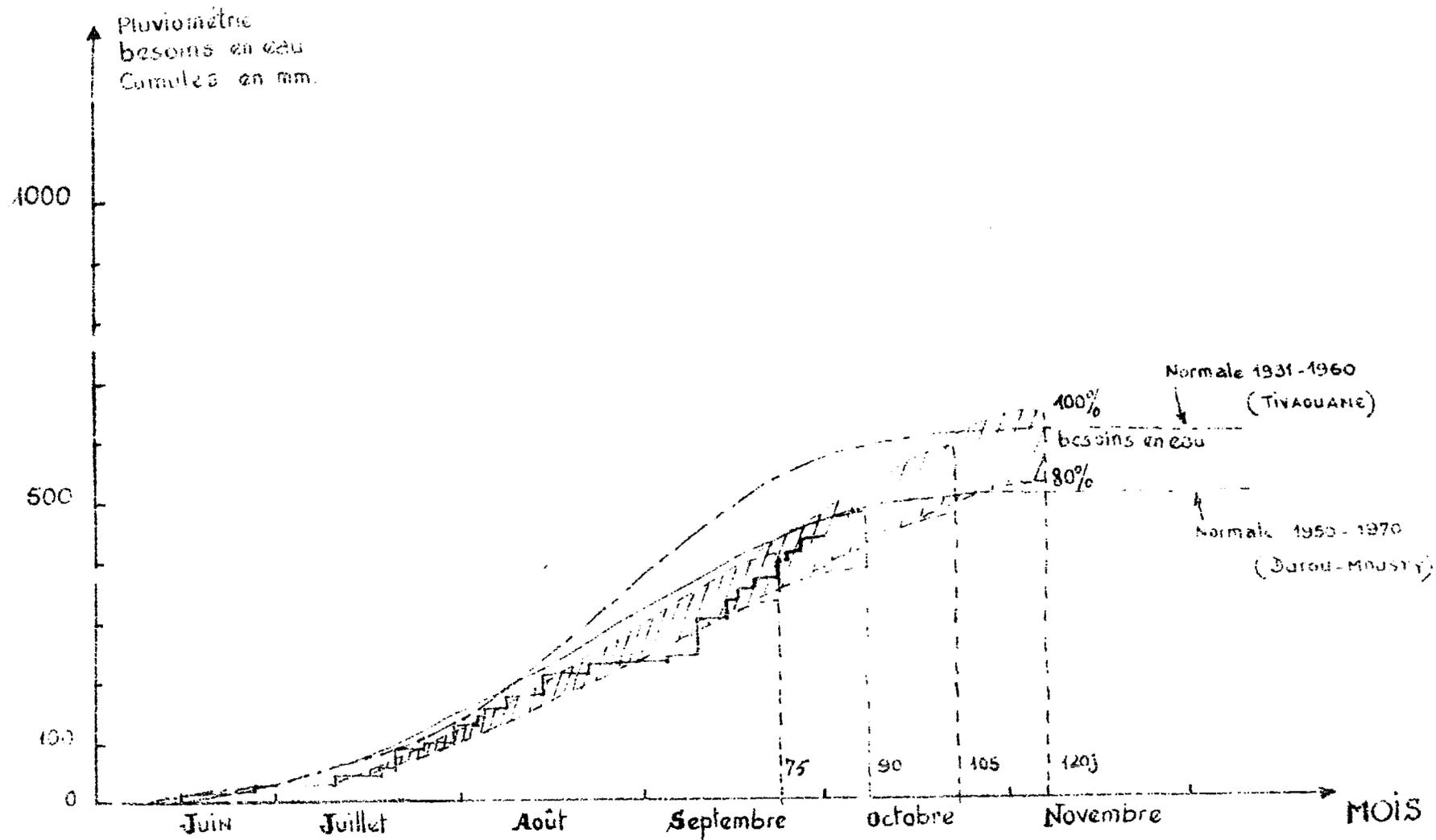
La multiplication des observations sur la nodulation et l'activité nitrogénasique de l'arachide, la population de rhizobium et de nématodes du sol pendant les 30 premiers jours permettrait de préciser ces hypothèses. La mesure parallèle de l'état physico-chimique des sols permettrait de (comprendre quel état du milieu est la cause de la faible activité de rhizobium et de la forte population de nématodes du sol.

L'approfondissement de cette étude permettrait de mieux comprendre les mécanismes qui sont à l'origine de dépérissement de l'arachide, de la baisse des rendements et de la fertilité des sols observée sous culture en sol Dior. Elle devrait donc être menée dans des dispositifs pluriannuels, comme celui de l'établissement d'une courbe de réponse du mil et de l'arachide à des doses croissantes de fumure organique à Thilmakha. Elle permettrait ainsi de mettre au point des techniques précises d'intervention (chaulage + inoculation, matière organique au paquet + inoculation, variété résistante aux nématodes + chaulage + inoculation) à adapter aux possibilités actuelles des systèmes de production agricole de la zone Centre-Nord du Sénégal. Elle apporterait un complément de connaissance important sur l'évolution de l'état biologique des sols sous culture en zone sahélo-soudanienne, en rapport avec la baisse générale de fertilité largement observée dans les systèmes actuels.

Cette connaissance apporterait de plus des informations importantes pour la réussite de l'inoculation des légumineuses en Afrique de l'Ouest.



Carte des variations de demande évaporative au SENEGAL  
(mm / jour)  
pendant les mois d'hivernage (Juin à Octobre compris)



Pluie de semis le 10 Juillet (22.0 mm.)

**N.B.** : - Besoins estimés à  $\pm 10\%$  compte tenu des variations climatiques.

- Cultures de type arachides, mils, sorghos, niébé.

- Normale TIVAGUANE NON DISPONIBLE.

THILMAKHA 1978

JJD/MS

WORKSHOP ON NITROGEN CYCLING IN THE WEST AFRICAN ECOSYSTEMS  
I. I. T. A. IBADAN - DECEMBER 1978

-----

A DEFICIENCY OF THE SYMBIOTIC NITROGEN FIXATION IN A DRY TROPICAL  
AGROSYSTEM--THE NITROGEN CHLOROSIS OF GROUNDNUT  
(ARACHIS HYPOGAEA) IN SENEGAL

J.J. Drevon  
Service de Rhizobiologie  
C.N.R.A. - Bambey (Sénégal)

SUMMARY

Various types of chlorosis on groundnut occur in Senegal. One that spreads over the Northern mid Senegal is described here, and identified as a nitrogen chlorosis due to a deficiency of  $N_2$  fixation resulting from poor nodulation.

This chlorosis arises in acid soils, where there may be aluminium and manganese toxicity. No micronutrient deficiency has been found so far. Biotic factors among which the inadequacy of the rhizobium population and the attacks of nematodes may be responsible while the existing antagonism of actinomycetes toward Rhizobium would not interfere.

Liming and above all, organic matter application have proved to be means of control of the chlorosis.

RESUME

Il y a différents types de chlorose de l'arachide au Sénégal. L'une d'elle répandue dans le Centre-Nord du Sénégal, est décrite ici puis identifiée comme une chlorose azotée par suite d'une déficience de la fixation symbiotique d'azote résultant d'une faible nodulation.

Cette chlorose s'observe en sols acides, avec toxicité aluminique et manganique. Aucune déficience en oligo-éléments n'a encore été trouvée. Les facteurs biologiques parmi lesquels l'état de la population de Rhizobium et les attaques de nématodes peuvent être en cause, tandis que l'antagonisme existant des actinomycètes vis-à-vis du Rhizobium n'aurait pas d'effet.

Le chaulage et surtout, l'apport de matière organique constituent des moyens de lutte contre cette chlorose.

## I - INTRODUCTION

In Senegal, different types of chlorosis of groundnut have been observed. They generally show up in well defined areas often known as "yellow patches" (1).

A first type of chlorosis is related to a high soil pH. It occurs :

- at sites of burning where houses were located years ago (2) or where the crops residues (straw) have been burnt before the rainy season,

- at the place of termite mounds recently leveled

- in soils where irrigation with water containing large amounts of basic cations increased pH well above 8,0.

A second type of chlorosis may occur in areas where waterlogging prevented diffusion of oxygen in the soil, thus inhibiting nodulation and nitrogen fixation. This type of chlorosis has been observed in Casamance in shallow depressions which favor waterlogging.

A third type of chlorosis which will be described here, occurs in acid soils. It was observed in the regions of Touga, Thies and Diourbel and in the northern part, of Sine Saloum, which are characterised by an irregular rainfall of 300 to 700 mm during 3 months from July to October and usually a groundnut millet rotation sometimes accompanied by a one or two years fallow.

## II - SYMPTOMS OF THE CHLOROSIS OCCURRING IN ACID SOILS

Symptoms of this chlorosis are described here from observation made during the 1978 rainy season at Thilmakha (region of Thies) where the average rainfall is 500 mm, The soil is a dior soil.

Tab. I : Physico-chemical characteristics of the Dior soil.

Organic matter	clay + limon	Sand	C.	N	C/N	Exchangeable bases	pH $w_2$ "3
0,3 %	3,3 %	96,4 %	2 %	0,018 %	11 g	0,713 méq	5,5

Yellow patches made up of chlorotic groundnuts were compared with non chlorotic adjacent areas which were used as controls.

Faint yellowing of leaves is first seen between the 20th and the 30th day after sowing. The plant growth and emergence of new leaves is slowed down. The severity of this type of chlorosis is variable :

(1) - The plant may turn yellow and remain dwarf. It wilts and consequently dies after the 60th day.

(2) - The plant may be less affected by the chlorosis. It turns yellow but keeps growing slowly (fig.2).

(3) - Faint yellowish plants may recover after the 30th day (fig 1) (such a recovery was also observed in green-house experiments after the 55th day). New green leaves emerge and normal growth rate is rapidly restored.

The total number of flowers produced by the chlorotic plants is lower than by the non chlorotic ones and the rate is slower (fig.3). The number of nuts in the chlorotic plants is 40 % less than in the non-chlorotic ones.

The root system of chlorotic plants is more or less atrophied. Two kinds of atrophied root systems were observed.

(1) - Root systems made up of the top root with only one or two lateral roots, no radicles (fig.4). Type I

(2) - Root systems with many lateral roots but only a few radicles. Type II

There were very few nodules on the roots of chlorotic plants. While the number of nodules grew steadily till the 70th day on the non chlorotic plants, it stayed at a low level after the 30th day on the chlorotic plants (fig.6) : on the 70th day, the average number of nodules (mean of 20 plants) is 130 on the non chlorotic plants and 10 only on the chlorotic ones.

Moreover a great number of brown protrusions were found on chlorotic plant's roots (fig.5). The exact nature of these 0,5 mm long cone-shaped protrusions, which are filled up with bacteria, is still obscure.

### III - INDUCTION OF THE CHLOROSIS BY A NITROGEN DEFICIENCY

By applying 100 kg N/ha as ammonium nitrate to field grown groundnuts, BLONDEL (1968) obtained a satisfactory recovery of chlorotic plants.

Under green house conditions, the chlorosis was reproduced on a soil from Thilmakha. Urea application (equivalent to 100 kg N/ha nitrogen) eliminated the chlorosis symptoms.

Therefore, the chlorosis studied here appears to result from a nitrogen deficiency.

This conclusion was confirmed by nodules counts (fig.6) and by acetylene reducing activity expressed per plant, which was significantly lower in chlorotic plants than in non chlorotic plants (fig.7).

Moreover, the specific acetylene reducing activity of nodules from chlorotic plants was generally lower than that of nodules from non chlorotic ones (table II). It may be attributed either to infection by less efficient strains or to a decrease of the photosynthetic activity which caused a reduction in the energy supply of the nodules of chlorotic plants.

Table I I : Specific acetylene reducing activity (micromoles acetylene /mg nodules dry weight/hour) -, Thilmakha 78 - average of 20 plants.

Number of days after sowing	35	47	55	62	70	81
Chlorotic plants	192	626	267	232	119	166
Non chlorotic plants	721	121*	509	317	406	306

\* This low level of activity is due to a 15 days drought which affected much more the well developed non chlorotic plants than the chlorotic ones.

#### IV - CAUSE OF THE DECREASE OF NITROGEN FIXATION IN CHLOROTIC PLANTS

Groundnut is more affected by chlorosis when the rainfall is inadequate or when the seeding is delayed. However, chlorosis being reproduced on soil samples under green house conditions, the soil itself seems to be mainly responsible for this deficiency. The different soil characteristics that have been thought to cause the decrease of nitrogen fixation by groundnut are as follows:

##### 1/ - The mineral status of the soil

The soils in which the chlorosis is mostly observed are of the Dior type tropical ferruginous and deep soils. They are mainly sand (96 %) with only 3 to 4 % of clay and 0,3 % of organic matter.

They progressively become acid under cultivation with specific intensive agricultural practices (9. 10. 11.)

##### 3 - Soil acidity

BLONDEL (3) first noticed that in the case of yellow dwarf plants of groundnut, the pH (water pH 1/2,5) was below 5,0 (3).

Later PIERI (8) showed that there was only a loose relation between water pH and the chlorosis of groundnut, around the value of 5,0 (measured by the water PH 1/2,5 method) and that this pH varies much in the soil profile.

Measures of pH made on rhizosphere soils (Thilmakha 1978) showed that in most cases the pH of the chlorotic plant rhizosphere stays between 4,7 and 5,2, but some values as high as 5,7 were also found. Besides, the pH of the non chlorotic plant rhizosphere sometimes was as low as 5,4 to 5,0.

##### b - Aluminium toxicity

According to PIERI (8) a better approach of the noxious effects of soils acidity would be to measure the saturation of absorbing complex with exchangeable aluminium. In an experimental study in glasshouse, he showed, that aluminium is toxic to the nodulation when the rate of saturation of the absorbing complex is more than 30 %, and to the plant itself when it is more than 50 %, in the case of the 57422 variety of groundnut.

Exchangeable aluminium appears in the Dior soils when the measure of water pH is well below 5,5. But the pH KCl which measures the exchange acidity is then more suitable.

c - Manganese toxicity

Mineral analysis of the aerial vegetation reveals a higher proportion of manganese in the chlorotic plants. (777 ppm) in comparison to non chlorotic plants (267 ppm), at the 21st day after sowing (Thilmakha 1978 - PANTIER).

The manganese would be toxic to the groundnut when the proportion in the leaves is more than 600 ppm (15).

d - The microelement nutrition

The chlorosis is observed in condition of mineral fertilization: 150 kg/ha of 0.1 U.2 7 (containing also sulfur) on groundnut and 150 kg/ha of 14.7.7. on millet in rotation.

But some micronutrients are necessary for the nodulation of groundnut, among them molybdenum, Boron, Cobalt, Iron, Copper and Zinc.

A significant effect of Molybdenum was obtained in field trials (16). But it was not in condition of chlorosis.

On the opposite, 3 foliar spreading of a complete micronutrient solution for legumes, has no effect on the chlorosis (Thilmakha 1978).

2/ - The influence of biotic factors

a - Inadequacy of the rhizobium population

At Thilmakha, rhizobium population was shown to be ten times lower in soils with chlorotic plants than in soils with non chlorotic plants. On the other hand WEY (personal communication) eliminated chlorosis by inoculating groundnuts with CB 756 strain.

But this result could not be confirmed in the field. Since nodulation of hydroponically grown groundnuts inoculated by a suspension of soil with chlorosis plants did not differ from nodulation of plants inoculated by a suspension of control soil, Rhizobium populations alone were not thought to be responsible for the poor nodulation that occurred in the field in chlorotic plots.

b - Microorganisms antagonistic to rhizobium

PANTIER (12) found actinomycetes antagonistic to rhizobium in soils of Senegal.

But the numbers of these antagonistic actinomycetes in soils where chlorosis is observed did not differ from that existing in soils where no chlorosis occurred (PANTIER - Table III).

Table III - Number of actinomycetes antagonistic to Rhizobium in one gram of soil - Thilmakha (1978 average of 5 soil samples)

	Actinomycetes	Antagonistic actinomycetes
Soil with chlorotic plants	1,7 10 <sup>5</sup>	9,5 10 <sup>3</sup>
Soil with non chlorotic plants	2,3 10 <sup>5</sup>	9,4 10 <sup>3</sup>

Therefore the interference of actinomycetes probably cannot be held responsible for the lower nitrogen fixation of chlorotic plants.

c - Influence of nematodes

In Upper Volta chlorosis was clearly shown to be caused by nematode attacks (17).

In Senegal, according to the nematodes counts by GERMANI, the contamination of roots by Scutellonema cavanossi is much greater in chlorotic plants than in non chlorotic ones.

Table IV - Number of nematodes Scutellonema cavanossi in the roots of chlorotic and non chlorotic plants - Thilmakha (1978 - average of 50 plants)

i - Area with :	j - Number of nematodes	
	Soil	Root
No chlorotic plants	200	2 580
chlorotic plants	880	20 951
Chlorotic plants years before + no treatment with nemagon	506	16 420
Chlorotic plants years before + treatment with nemagon	0	0

Up to now, it has not yet been possible to reproduce the chlorosis by inoculation of a non chlorotic (normal) soil with nematodes in laboratory conditions.

In a field trial the fumigation with nemagon restored the vegetative growth of groundnuts. Nevertheless, chlorosis was not eliminated on the chlorotic areas treated with nemagon. The plants had a perfectly well developed root system without protrusions but very few nodules.

Table V : Effect of soil fumigation with a nematicide (Thilmakha - 1978 - average of ten plants)

Area with	Dry weight plants gr	Number of nodules	Type of root (fig.4)	pH
No chlorotic plants	8,04	28,1	III	5,4
No chlorotic plants + nemagon	18,12	39,8	III	5,4
Chlorotic plants	3,27	2,5	I- II	5,0
Chlorotic plants + nemagon	11,81	1,0	III	5,1

#### V - CONTROL OF CHLOROSIS

Two methods for controlling chlorosis have been empirically found to be efficient : liming and organic matter application.

In a field trial at Thilmakha, liming was applied at the rate of 600 kg/ha, by pelletizing each grain of groundnut. The area covered by the chlorosis has been reduced in the plots treated with lime, but still some yellow plants could be seen and the vegetation had not totally recovered.

Farm-yard manure has also been applied since 1973 in the same trial. Every two years, the plots have received 10 tons dry matter per hectare before groundnut planting. After the second application of manure, yellow patches had been reduced considerably, and after the third application, 5 years later, not a single symptom of chlorosis could be seen.

Nevertheless this rate of manure application is very high, compared to the quantity of organic matter the senegalese farmers can rely on (18).

#### VI - CONCLUSION

This symptom of chlorosis which occurs in acid soils appears to be related to the following characteristics

- (1) - Mineral toxicities
- (2) - Low rhizobium populations
- (3) - High nematode populations.

It is not yet known whether the decrease in nodulation and  $N_2$  fixing activity of the legume results (1) from a poor growth of the plant (due to mineral deficiencies or nematode attacks) - (2) from low Rhizobium populations or from some mechanism preventing infection and nodulation.

Further investigations are needed in order to elucidate the interactions between the plant, soil mineral factors and soil microorganisms. The results of such investigations should help to develop cultural practices which could promote N<sub>2</sub> fixation by preventing the effect of limiting factors in Sahelo-soudanian agro-systems.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to MM. WEY, GRNRY, SIBAND and DIATTA of C.N.R.A. Bamby and MM. BOURREAU, MUGNIER, PANTIER and GERMANI of ORSTOM, of the soil microbiology and nematology laboratories for their comments and their collaboration.

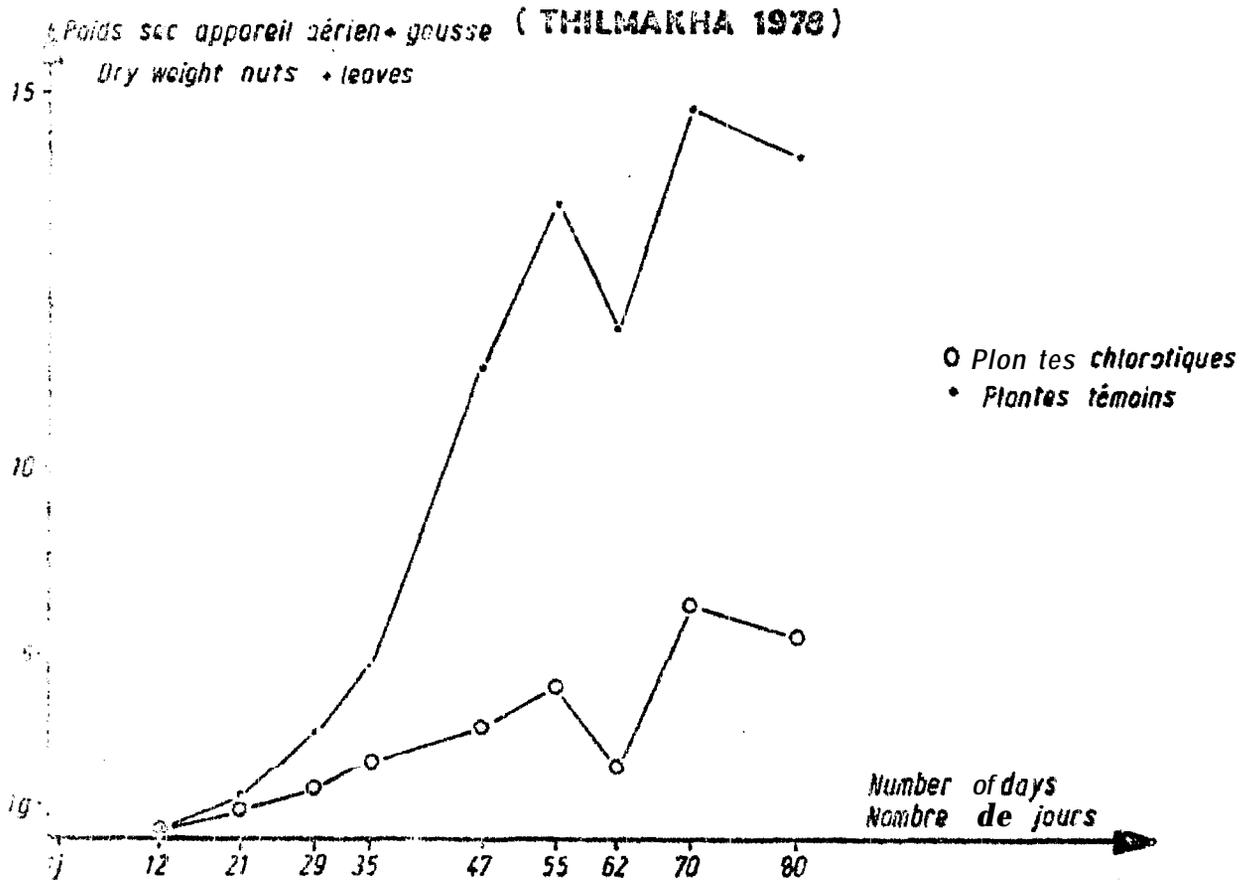
We owe much to M. DOMMERGUE for his criticisms of the manuscript and his attention during the course of the research.

We are greatly indebted to A. DIABAYE who has given technical assistance to this work.

We thank M. NIANG for photographs, M. GADIACA for drawings and Mrs SECK for type writing.

# FIG. 2: POIDS SEC DES PLANTES

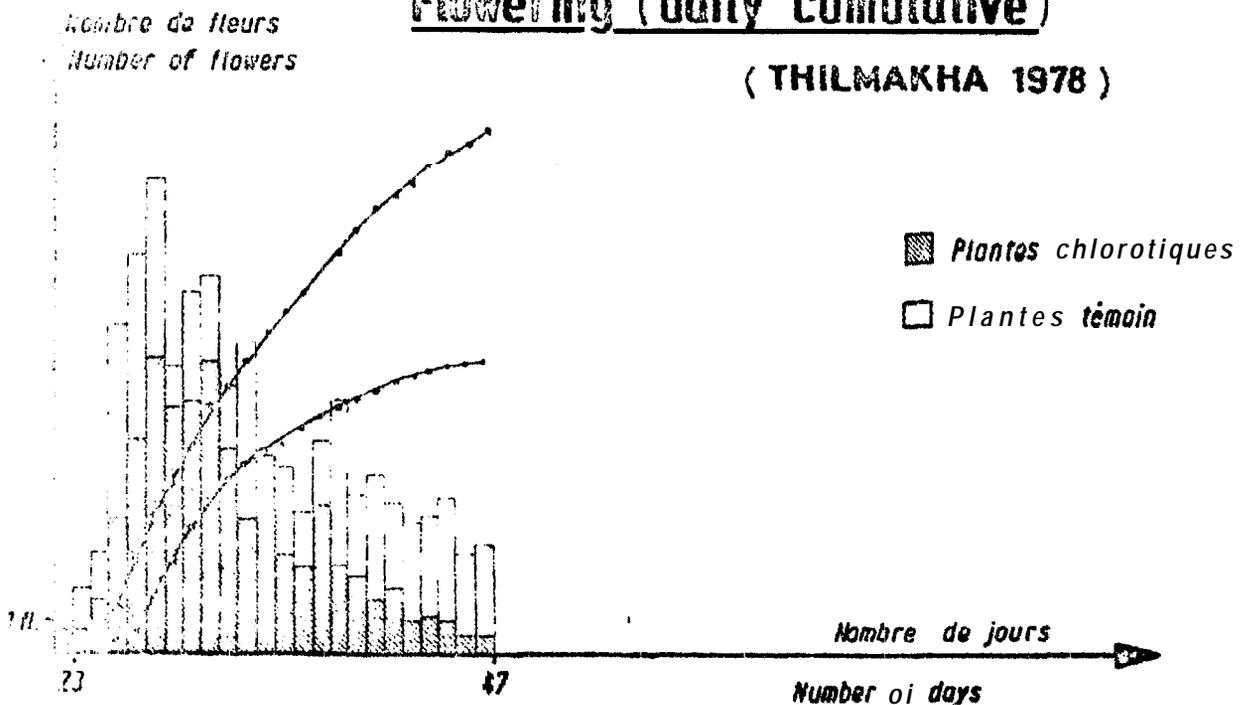
## DRY WEIGHT OF THE PLANTS



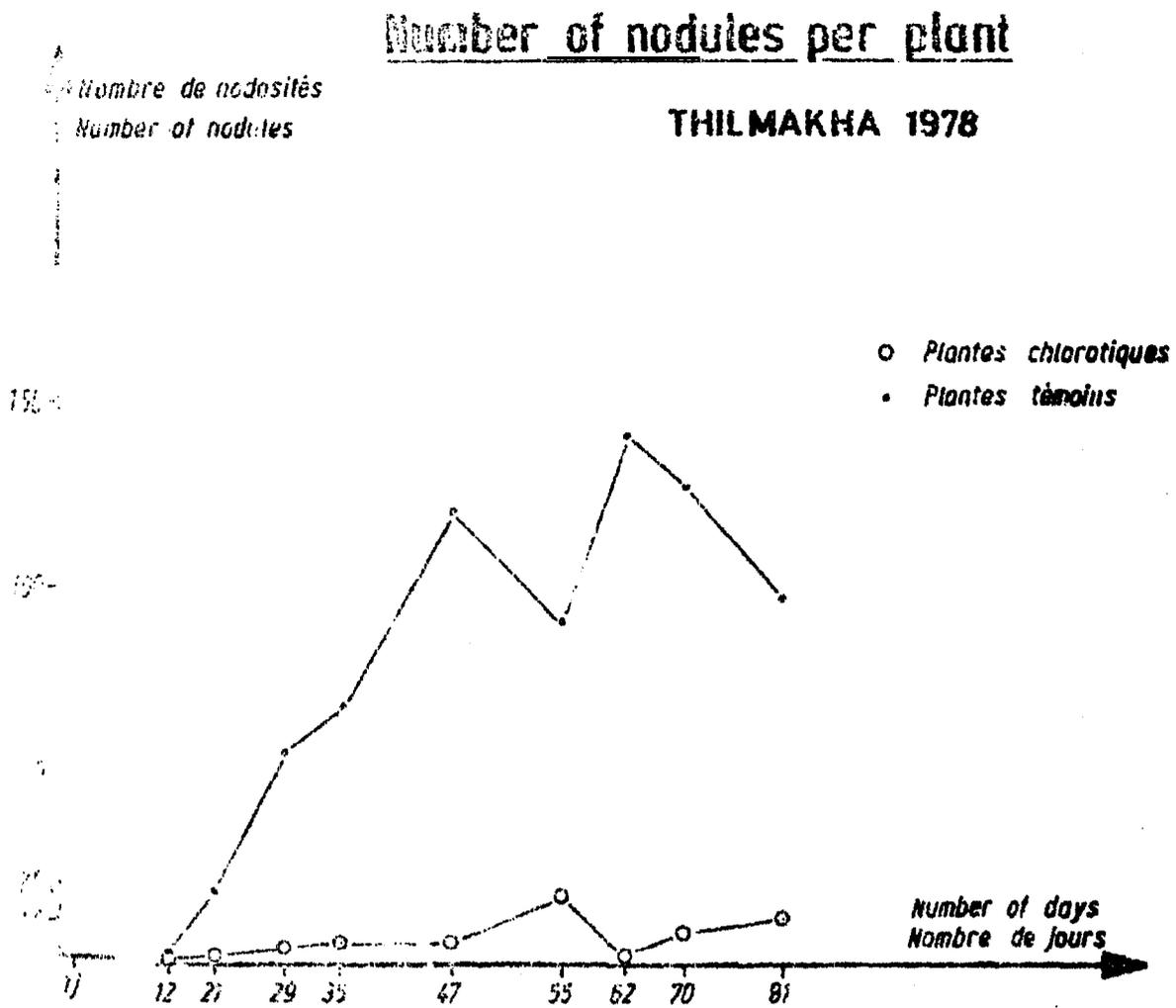
# FIG. 3: FLORAIISON ( journalière - cumulée )

## Flowering ( daily cumulative )

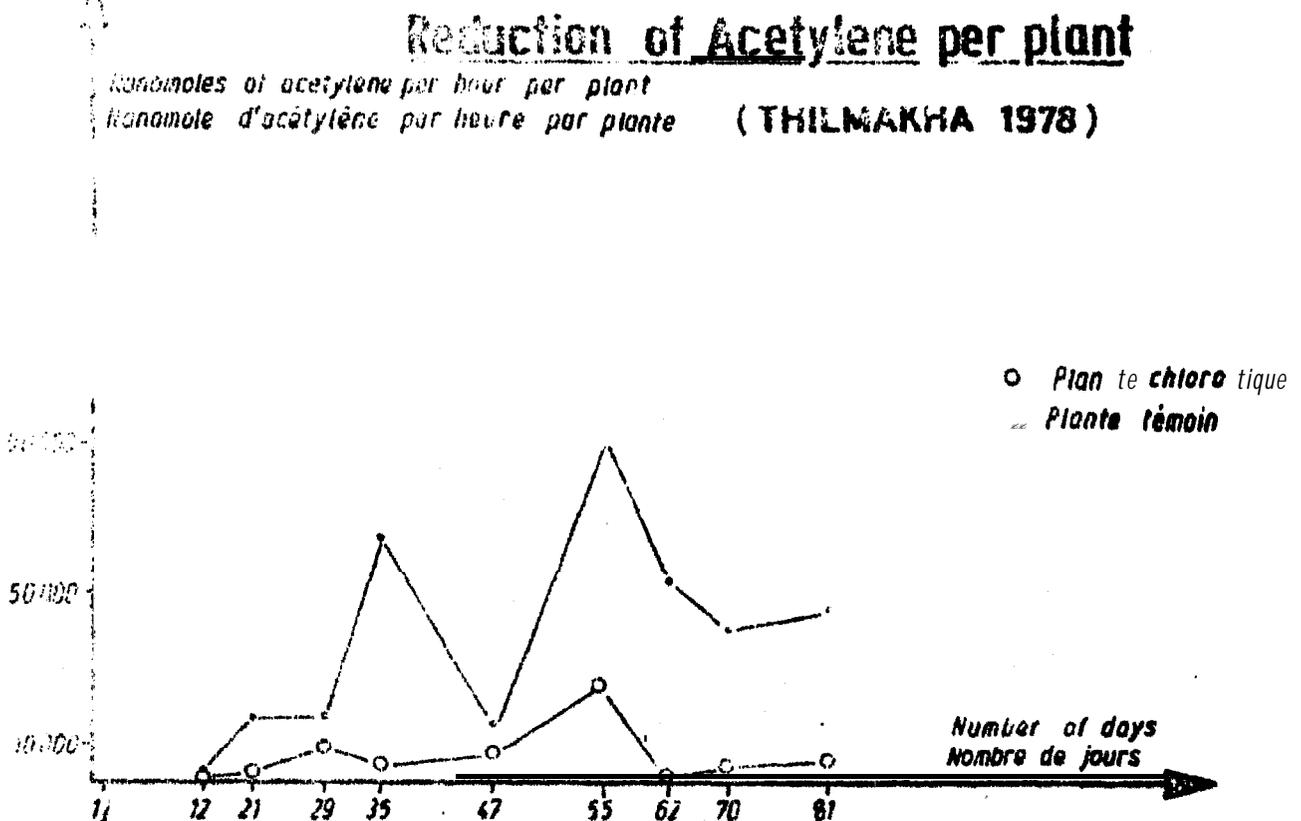
( THILMAKHA 1978 )



**FIG. 6 : NOMBRE DE NODOSITES PAR PLANTE**

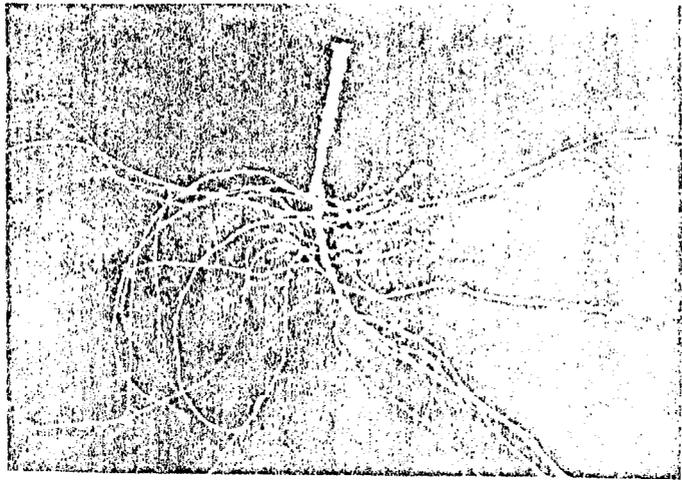


**FIG. 7 : ACTIVITE REDUCTRICE ACETYLENE PAR PLANTE**



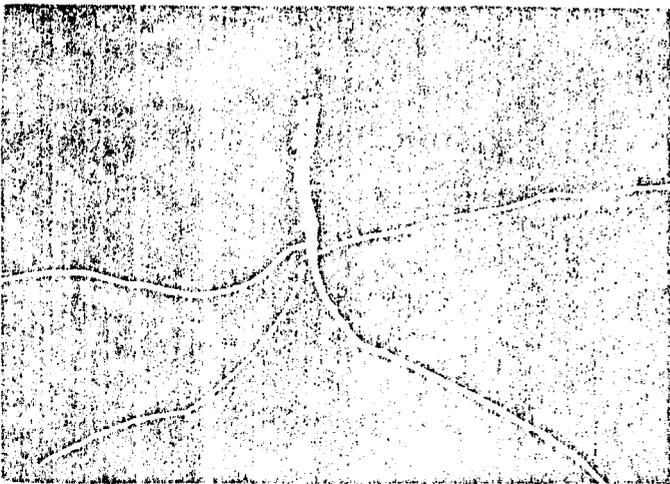
(FIG. 4) RACINES D'ARACHIDE (56e JOUR)

ARACHIS ROOTS



*TYPE III*

Plante non chlorotique - Non chlorotic plant



*TYPE I*

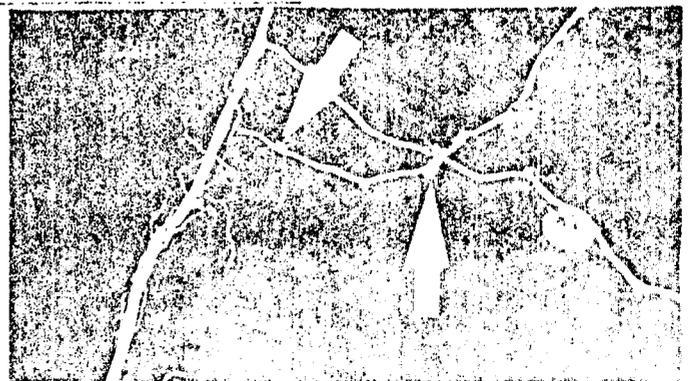
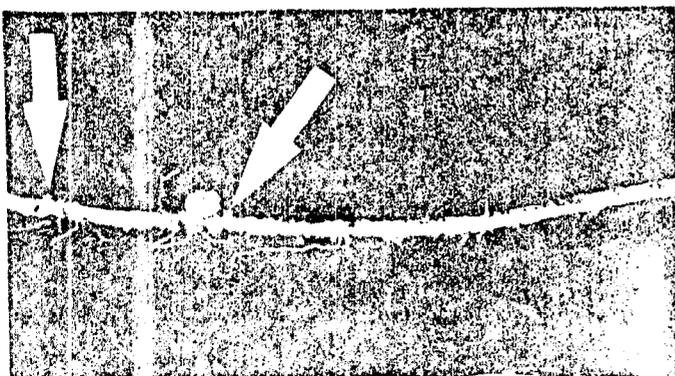


*TYPE II*

Plantes chlorotiques - Chlorotic plants

(FIG 5) RACINES LATERALES "PROTUBERANCES"

SIDE ROOTS "PROTRUSIONS"



R E F E R E N C E S

- (1) - BOUHOT 1978/  
Le rabougrissement de l'arachide - Agro. Trop, XXIII  
n°11
- (2) - GERMANI 1975  
"Effets des brulis sur la végétation de l'arachide au  
Sénégal" - Académie d'agriculture de France - Extrait  
de procès verbal de la séance du 19 novembre 1975.
- (3) - BLONDEL (D), 1970  
"Relation entre la "Nanisme jaune" de l'arachide on  
sol sableux (Dior) et le pH. Définition d'un seuil  
pour l'activité de rhizobium.  
Agron. Trop. XXV, n°6-7.
- (4) - DUCERF (P.), 1973  
"Synthèse des travaux effectués sur la modélisation de  
la fixation d'azote d'une culture d'arachide au  
Sénégal - Ronéo ISRA / IRAT/Sénégal.
- (5) - CHARREAU (C.), NICOU (R.), 1971  
"L'amélioration du profil cultural dans les sols sa-  
bleux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche  
Ouest africaine et ses incidences agronomiques.  
Bull. Agron. n°2 3 ENRA-Dambey - IRAT/Sénégal.
- (6) - PIERI (C.), 1974  
"Premiers résultats expérimentaux sur la sensibilité  
de l'arachide à la toxicité aluminique"  
Agron. Trop. XXIX n°6-7.
- (7) - NDIAYE (J.F.), 1973  
"Enquête fertilité on milieu paysan dans la région lu  
Sine-Saloum - Ronéo ISRA. / IRAT/Sénégal.
- (8) - PIERI (C.), 1976  
"L'acidification d'un sol Dior cultivé du Sénégal et  
ses conséquences agronomiques" Agron. Trop. XXXI - 3
- (9) - POULAIN (J.F.)  
"Résultats obtenus avec les engrais et les amendements  
calciques. Acidification des sols et correction" -  
Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Ed,  
IRAT, 1968.
- (10) - POULAIN (J.F.)  
"Premier bilan des essais urée-sulfate : résultats  
agronomiques de quatre années 1966-1969. Doc. ronéo  
IRAT-Sénégal.
- (11) - CHARREAU (C.), 1971  
"Nécessité agronomique et intérêt économique d'une  
intensification des systèmes agricoles au Sénégal".  
Doc. ronéo IRAT/Paris.

- (12) - PANTHIER (J.J.), DIEM (H.E.), DOMMERGUES (Y.R.), 1978  
"A rapid method of enumerating actinomycetes antagonistic toward rhizobia"  
Laboratoire de microbiologie des sols ORSTOM/Dakar
- (13) - GERMANI (G.), GAUTREAU (J.), 1976  
"Résultats agronomiques obtenus par des traitements nématicides sur arachide au Sénégal"  
Cahiers ORSTOM Série biologie vol. XI n°3. p.
- (14) - WEY (J.), OGATON (P.), 1976  
"Incidences de quelques techniques culturales sur l'activité fixatrice d'azote et le rendement de l'arachide"  
Agron. Trop. XXXIII, n°2. p...
- (15) - PREVOT, OLLAGNIER, AUBERT, BAUCIERES (1955)  
"Dégradation des sols et toxicité manganique" Oléagineux vol X n°4.
- (16) - MARTIN (G.), FOURRIER (P.), 1965  
"Les oligoéléments dans la culture de l'arachide du Nord-Sénégal" Oléagineux XX n°5. p...
- (17) - GERMANI (G.), DHERY (M.), 1973  
"Observation et expérimentation concernant le rôle des nématodes dans deux affections de l'arachide en Haute Volta, la "chlorose" et le "clump". Oléagineux 29/235-242.
- (18) - DREVON (J.J.), 1978  
"Eléments pour une étude des apports de matière organique aux sols dans le bassin arachidier du Sénégal".  
Rondeo ISRA./CIRAD SARRELY ... p.
-