

CNo 10371

RECHERCHE SUR LE MILDIOU DU MIL  
(SCLEROSPORAGRAMINICOLA)

RESULTATS DE LA CAMPAGNE AGRICOLE  
1 9 7 7

Par

Abdou1 Aziz SY

Laboratoire de Pathologie végétale

Juin 1978

Centre National de Recherches Agronomiques  
de BAMBEY

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

## AVANT • PROPOS

-- oOo---

Dans les conditions actuelles, aucun génotype ne peut être considéré comme "FINI" s'il inclut ou n'intègre préalablement la résistance à S. granicola; et ce, en ce qui concerne l'impact économique du mildiou sur la productivité du mil.

Le présent rapport traite des interactions génotype-environnement, des méthodes d'obtention de l'inoculum oospore, de l'adoption d'une échelle de notation à la lumière des observations effectuées au cours de la campagne agricole écoulée, de l'efficacité relative de différentes techniques d'inoculation artificielle, de l'estimation des dégâts imputables à S. granicola; toutes ces composantes étant comprises au sens large et d'importance dynamique pour une meilleure appréhension des relations hôte-parasite.

Les résultats afférents au problème de dormance, à celui de la présence ou de l'absence d'inoculum primaire dans l'environnement Fanaye enfin, à celui de son rôle des sources secondaires d'infection feront l'objet d'une brochure qui sera publiée ultérieurement.

L'orientation et le contenu du programme de recherche 1978 ont été dictés d'une part par les résultats consignés dans le présent rapport, d'autre part, par une compréhension prospective des objectifs de la sélection.

## S O M M A I R E

\*\*\*\*\*

	<u>Pages</u>
AVANT PROPOS .....	1
C: HAPITRE PREMIER : Essai variabilité .....	4
11 - Résumé .....	4
12 - Préliminaire .....	4
121 - Intérêt de l'expérimentation multilocale.	4
122 - Choix du matériel végétal .....	5
123 - Choix des environnements .....	6
124 - Dispositif expérimental .....	7
125 - Techniques culturales .....	7
126 - Modèle statistique d'interprétation .....	7
13 - Résultats : Discussion .....	8
131 - Examen des relations hôte-parasite .....	8
132 - Analyse de variance .....	ICI
1321 - Comportement des géotypes .....	10
1322 - Intéraction géotype-environnement.	11
1323 - Comparaison des hôtes .....	11
14 - Evolution spatio-temporelle de la pression de sélection .....	17
141 - Expression numérique des résultats .....	17
142 - Expression graphique .....	18
143 - Discussion .....	18
15 - Surveillance de l'évolution des maladies autres que le mildiou .....	20
16 - Conclusions générales .....	22
<u>CHAPITRE DEUXIEME</u> : Technique d'obtention de l'inoculum oospore .....	23
21 - Intérêt .....	23
22 - Méthodologie .....	23
23 - Résultats .....	24
24 - Discussion .....	24
<u>CHAPITRE TROISIEME</u> : Examen critique et ajustement de l'échelle d'appréciation des relations hôte-parasite .....	26
31 - Préliminaire .....	26
32 - Examen critique .....	27
33 - Adoption d'une nouvelle échelle de notation...	27
<u>CHAPITRE QUATRIEME</u> : Efficacité relative de différentes techniques d'inoculation artificielle .....	30
41 - Intérêt .....	30
42 - Matériels et méthodes .....	30

421 - Matériel végétal .....	30
422 - L'inoculum parasite .....	30
423 - Méthodologie .....	30
43 - Résultats : Discussion .....	31
431 - Résultats bruts .....	31
432 - Interprétation des résultats .....	31
433 - Discussion .....	32
4331 - Traitement T <sub>1</sub> = Témoin .....	32
4332 - Analyse des effets blocs .....	33
4333 - Analyse des effets traitements .....	33
<u>C: H-APITRE CINQUIEME</u> : Estimation des dégâts .....	35
51 - Préliminaire .....	35
52 - Résultats : Discussion .....	35
CONCLUSIONS GÉNÉRALES .....	37
REMERCIEMENTS .....	38
BIBLIOGRAPHIE .....	39

CHAPITRE PREMIERESSAI VARIABILITE11 - Résumé

Ce travail de base constitue une des premières approches de notre programme d'étude du mildiou du mil (Sclerospora graminicola); afin de cerner le spectre de répartition du parasite, de révéler la pression de sélection inhérente à chacun des environnements testés et d'apprécier les interactions génotype-environnement; 36 hôtes de structure lignée ou population ont été semés dans les cinq environnements suivants : Bambey, Darou, Fanaye, Nioro, Thilmakha.

L'analyse des résultats révèle au 46<sup>e</sup> jour d'observation une pression de sélection (incidence et sévérité de mildiou) décroissante dans le sans Bambey, Darou, Nioro, Thilmakha et nulle pour Fanaye.

L'évolution spatio-temporelle de la pression de sélection semble étroitement liée aux conditions écologiques ayant prévalu durant notre période d'expérimentation.

Au terme de ce criblage, les hôtes 16 576 AF C/S 77 ; 16 703 AF C/S 77 ; 16 660 AF C/S 77, 16 567 AF C/S 77, 15 676 AF, 15 401 AF C/S 77, 700516, SN 29/9, 114-1-R, SN 305, SDN 634 et SDN 347-1 s'avèrent être ceux les plus intéressants tant du point de vue résistante à S. graminicola que stabilité par rapport à ce facteur.

12 - Préliminaire121 - Intérêt de l'expérimentation multilocale

- cerner le spectre de répartition de S. graminicola
- évaluer la pression de sélection mildiou dans chacun des sites écologiques considérés ;
- étudier le comportement relatif de structures génétiques différentes ;
- apprécier la stabilité du matériel végétal (lignée et populations) au terme des interactions génotypes-environnements ;
- choix de matériel de base permettant d'aborder entre autres le problème des mécanismes de résistance du mil à S. graminicola (cf essai diallèle réalisé pendant la 2<sup>e</sup> contre-saison et à exploiter au cours de l'hivernage 1978) ;
- révéler le matériel intéressant (sous l'angle du comportement vis-à-vis du mildiou) et pouvant être impliqué dans un programme de sélection ou de vulgarisation ; étant entendu que la réaction vis-à-vis du mildiou ne constitue qu'un critère parmi d'autres et qu'en définitive tout choix de matériel devra résulter de l'intégration judicieuse de tous les critères intéressants (ex. comportement vis-à-vis du mildiou, productivité, précocité, résistance à la sécheresse, souplesse adaptative etc...) ceux jouant le rôle de facteurs limitant devant nécessairement être considérés comme facteurs prioritaires.

Cependant, la comparaison d'une série d'hôtes placés sous différents environnements comporte une difficulté : l'interaction génotype-environnement rend difficile l'établissement de la supériorité d'un matériel par rapport à l'autre ; plusieurs méthodes ont été proposées pour palier cette difficulté :

- stratification du milieu en zones à l'intérieur desquelles tous les paramètres du milieu (notamment température, pluviométrie, sol) sont à peu près identiques ;

- sélection de génotypes suffisamment stables pour rendre minimum l'interaction avec le milieu ; au terme de ce screening, l'utilisation des génotypes les plus stables devrait faciliter le choix ultérieur des génotypes supérieurs.

#### 122 - Choix du matériel végétal

\* Les 36 entrées (25 provenant de la collection du groupe Amélioration du Mil et 10 de celle de SR/Patho) sont caractérisées par une structure génétique soit de type lignée, soit de type population. La liste exhaustive de ce matériel figure sur le tableau n°4.

\* L'infestation est réalisée par prévélation de l'inoculum primaire caractéristique de chaque environnement (aucune inoculation artificielle n'est réalisée faute de disposer d'un matériel oospore caractéristique de chacun des sites choisis ; par ailleurs, nous avons tenu à ne transférer aucun inoculum d'un site à un autre pour éviter d'infester des sites jusque là vierges de mildiou ou de transférer des races physiologiques éventuelles) ; pour ce faire, on utilise couramment un matériel connu pour sa haute sensibilité, ce qui engendre l'inconvénient suivant : dans les conditions de hivernage, le matériel hautement sensible (exemple TIFTON '239 d<sub>2</sub> B<sub>2</sub>, THIOTANDE etc..) extériorise très précocement la maladie (en cas bien entendu de présence de l'inoculum primaire dans le substrat ; le cas échéant, à la suite d'une infection artificielle par oospores ou zoospores) et se trouve lui-même précocement détruit en raison de sa haute sensibilité ; ce qui réduit d'autant la pression de sélection eu égard au rôle important joué par l'inoculum secondaire (zoospores) ; d'un autre côté, l'usage d'une variété moyennement résistante (exemple E683 B) équivaut à différer l'intervention de l'inoculum secondaire, ce qui n'est pas négligeable puisque les jeunes plantes à tester ne sont pas nécessairement réfractaires à la présence d'inoculum secondaire.

Pour palier ces deux lacunes, nous avons choisi d'employer un MELANGE INFESTANT composé de telle manière qu'il y ait un recouvrement des spectres d'intervention de ses composantes ; ainsi, ce système de relais permet de garantir des récoltes permanentes de zoospores qui constitueront autant de "douches" déversées sur le matériel testé,

Chaque ligne de matériel testé est encadrée à droite et à gauche par une ligne du mélange vecteur composé de 25 % de E 683 B, 37,5 % de TIF. 239 d<sub>2</sub> B<sub>2</sub>, 37,5 % de mil d'oasis de Mauritanie (Atar + Ksar Torchane + Taéagref) et qui est semé environ 15 jours avant implantation de l'essai proprement dit (excepté pour Fanaya en raison de la pluviométrie tardive, courte, aléatoire et insuffisante) ; à noter qu'un décalage trop élevé entre les dates de semis engendre une compétition nuisible aux hôtes semés en deuxième date.

\* Le témoin de sensibilité : le témoin de sensibilité est une entrée connue pour sa haute sensibilité et couramment semée par endroit (une ligne sur dix par exemple) afin de matérialiser la manifestation réelle de la pression de sélection dans les conditions de l'expérimentation et ce, par appréciation du taux d'infestation de l'hôte considéré.

Dans l'essai qui nous concerne, l'évaluation effectuée sur TIF.239 d<sub>2</sub>B<sub>2</sub> présent dans le mélange infestant a permis de révéler des taux d'infestation supérieurs à 20 %, souvent même, il y a une destruction précoce de TIF.239 d<sub>2</sub>B<sub>2</sub> (excepté pour Fanaye) ; en toute rigueur cependant, ce témoin de sensibilité aurait dû être semé à la même date que le matériel testé.

### 123 - Choix des environnements

Le choix des environnements revêt une importance particulière en matière de résistance aux maladies ; en effet l'identification et l'établissement d'une résistance stable dans le temps et dans l'espace supposent une confrontation préalable du matériel végétal avec une multitude de populations parasites ; les environnements devront être retenus en raison de la haute pression de sélection qui les caractérisent.

C'est notamment dans les centres de diversification d'une culture que se rencontre couramment la plus forte variation éventuelle de virulence des populations parasites ; le succès d'un screening pour la résistance aux maladies dépend dans une certaine mesure de l'implication d'un spectre de "variabilité" pathogémique large, donc de l'envergure et de la représentativité des environnements considérés au terme de leur interaction avec les génotypes testés.

Pour ce qui nous concerne, l'idéal aurait été de stratifier l'ensemble du milieu écologique sénégalais en zones à l'intérieur desquelles tous les paramètres du milieu (gradient thermique, pluviométrie, type de sol etc...) soient stables ; cette opération étant difficile voire impossible en raison des contraintes multiples (notamment : personnel scientifique et techniques, équipement de base, aspects matériels divers), nous avons retenus les cinq sites expérimentaux suivants : Bambey, Diakou, Fanaye, Nioro, Thilmakha caractérisés par une pluviométrie relativement différente (cf tableau n°1).

Tableau n°1 : Répétition mensuelle de la pluviométrie pour les 5 environnements précités au cours de la campagne hivernale 1977.

Périodes						
	Juin	Juillet	Août	Septemb.	Octobre	Total
Envirts						
Bambey	8,5	63,8	138,4	120,7	46,3	377,7
Darou	17,7	117,9	220,2	274,3	7,8	637,9
Fanaye	0,0	2,2	45,6	97,0	0,0	144,8
Nioro	18,0	65,1	162,5	246,5	22,0	514,1
Thilmakha	3,5	113,6	85,5	122,0	0,0	324,6

N.B. : Faute de données complètes, nous n'avons pu figurer le tableau des gradients thermiques au cours de la même période.

#### 124 - Dispositif expérimental

Chacune des quatre répétitions d'un site comporta 36 parcelles élémentaires (soit 36 entrées) ; chaque parcelle élémentaire compte 5 lignes de 20 poquets (soit 100 plants) semés à 30 x 60 cm ; ce même dispositif est valable pour chacun des cinq environnements. L'infestation est réalisée par encadrement de chaque ligne test par deux lignes révélatrices infestantes ; le mélange infestant est défini dans le paragraphe (122).

125 - Techniques culturales : cf document intitulé "Fiches techniques établies en vue de la réalisation de l'expérimentation agronomique ; campagne 1977-78" ; publiée en juin 1977 par ISRA/Bambey.

#### 126 - Modèle statistique d'interprétation

Lorsque des tests de performance réalisés sous une série d'environnement sont analysés de manière conventionnelle, ils fournissent une information convenable sur les interactions génotype-environnement mais ne permettent pas d'apprécier la stabilité des entrées prises individuellement. Le modèle d'EBERHART et RUSSEL qui définit les comportements du matériel végétal placé sous une série d'environnements permet de palier à cette lacune ; ainsi, si

$\bar{N}_i$  = moyenne de la ième variété sous les  $n$  environnements,

$B_i$  = coefficient de régression mesurant la réponse de la ième variété sous divers environnements,

$I_j$  = indice d'environnement obtenu en faisant la différence entre la moyenne de toutes les variétés sous le jème environnement et de la grande moyenne,

$\mathcal{N}_{ij}$  = déviation issue de la régression de la ième variété sous le jème environnement,

alors, la performance moyenne  $Y_{i,j}$  de la ième ( $i = 1, 2, \dots, v$ ) variété placée sous le jème ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) environnement est évaluée par la relation :



$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij} \quad \text{avec}$$

$$\beta_i = \frac{\sum_{j=1}^n Y_{ij} I_j}{\sum_{j=1}^n I_j^2}$$

$$I_j = \left[ \sum_{i=1}^v i_{ij}/v \right] \left[ \sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^n Y_{ij}/vn \right]$$

$$\text{avec } \sum_{j=1}^n I_j = 0$$

L'analyse détaillée des résultats portera sur la date d'observation n°3 correspondant au 46ème jour après levée ; nous examinerons globalement les autres dates pour tenter de cerner l'évolution du mildiou ainsi que la discrimination spatio-temporelle opérée par la série d'hôtes impliquée.

### 13 - Résultats et discussion

L'analyse des résultats est faite de manière à intégrer les informations relatives aussi bien à l'incidence qu'à la sévérité du mildiou (sauf précision contraire) au travers des environnements sélectionnés et pour les 36 hôtes.

#### 131 - Examen des relations hôte-parasite sous l'angle de l'indice d'environnement (cf tableau n°2)

Tableau n°2 : Répartition spatiale des indices d'environnement et des moyennes y afférentes pour les cinq environnements testés

Paramètres	Incidence		Sévérité	
	$I_j$	$\bar{Y}_{.j}$	$I_j$	$\bar{Y}_{.j}$
Environnement				
Bambey	10,770	20,498	9,385	16,963
Darou	4,146	13,874	3,426	11,004
Fanaye	- 9,728	0,0	- 7,578	0,0
Nioro	2,525	12,252	0,765	8,343
Thilmakha	- 7,713	2,015	- 5,998	1,581

Remarques :

1/ - L'incidence (I) traduit le pourcentage de plants malades quelque soit par ailleurs le degré de gravité de la maladie.

$$I (\%) = \frac{\text{Total des plants malades} \times 100}{\text{Total des plants observés (= sains + malades)}}$$

2/ - La sévérité S matérialise la gravité de la maladie ; ainsi , si :

$x_i$  désigne les catégories de notre échelle d'appréciation des relations hôte-parasite :  $x_i = 1, 2, \dots, 9$

$E(x_i)$  = étendue de l'échelle, soit 9 dans notre cas

$Y_i$  = effectif (= nombre de plants entrant dans la catégorie  $x_i$ ) de la catégorie  $x_i$

$N$  = nombre total de plants observés, la sévérité est alors évaluée par la relation

$$S = \frac{\sum_{i=1}^9 [x_i - 1] Y_i}{[E(x_i) - 1] \times N} \times 100$$

3/ - Sauf rares exceptions (mauvaise levée, déprédations diverses), I et S sont évalués sur un total de plants variant entre 200 et 320.

Au vu du tableau précédent, la pression de sélection (incidence et sévérité) est d'autant plus forte que l'indice d'environnement  $I_j$  est élevé ; les divers environnements peuvent être classés dans l'ordre des pressions de sélection décroissantes :

Bambey ( $I_j = 10,770$  et  $9,385$  par rapport à l'incidence et à la sévérité respectivement), Darou ( $4,146$  et  $3,426$ ), Mioro ( $2,525$  et  $0,765$ ), Thilmakha ( $-7,713$  et  $-5,998$ ), Fanaye ( $-9,729$  et  $-7,578$ ).

Cette hiérarchisation des sites dans les conditions qui ont prévalu au cours de notre expérimentation se trouve corroborée par les moyennes générales respectivement par rapport aux environnements et aux critères d'appréciation des relations hôte-parasite (incidence et sévérité) : ainsi, Bambey caractérisé par l'indice d'environnement le plus élevé révèle également la moyenne générale la plus forte pour les deux paramètres mesurés.

Par contre, l'indice d'environnement le plus faible est observé pour Fanaye qui extériorise une moyenne générale nulle tant pour l'incidence que pour la sévérité naturellement ; ce constat exprime une absence de mildiou dans les conditions d'expérimentation à Fanaye ; à ce propos, nos observations, quoi qu'elles soient portées sur un nombre considérable de sujets (environ 14.400 plants de l'essai patho, parcelles du GAM, champs paysans disséminés sur le parcours Fanaye-Dagana) n'ont jamais révélé la présence d'un quelconque inoculum ; ce dernier résultat nous autorise à formuler les trois hypothèses suivantes :

- absence totale d'inoculum primaire dans l'environnement considéré : il faudra dans ce cas éviter toute contamination à partir des secteurs déjà infestés ;

- l'inoculum primaire, quoique présent à Fanaye n'a pu se manifester en raison notamment des facteurs cosmiques (humidité et température notamment) drastiques ne coïncident pas avec les exigences de S. graminicola : phénomène d'inhibition ; dans une expérience fine de laboratoire (cf "Test de révélation de l'inoculum primaire sur substrat caractéristique des sites d'implantation de l'essai variabilité") et sous conditions contrôlées (lumière, température, hygrométrie), nous tenterons de circonscrire ce phénomène ;

- enfin, absence de spécificité entre l'inoculum primaire éventuellement présent à Fanaye et la série d'hôtes impliqués de sorte que les interactions hôte<sup>2</sup>parasite ne se traduisent par aucune manifestation pathologique perceptible. Cette hypothèse dont la vérification nécessite des délais relativement plus longs que la précédente, suppose l'existence de races physiologiques de S. graminicola.

Par ailleurs, la pression de sélection observée pour Bambej est supérieure à celles caractéristiques de Darou et Nicro en dépit d'une pluviométrie supérieure dans les deux derniers environnements (il ne faudrait cependant pas en déduire que la manifestation de mildiou soit d'autant plus importante que la pluviométrie est élevée ; il semble que cette corrélation soit effective au sein d'une fourchette et que, passé un certain seuil, l'engorgement précoce du substrat soit corollaire d'une réduction, voire d'une annulation du taux d'infestation par phénomène d'inhibition de l'inoculum primaire ; c'est en tout cas ce que tendent à confirmer nos observations réalisées en septembre 1977 à KANPUR dans l'état de UTTAR PRADESH) : cela tiendrait - du moins en partie - au fait que la fréquence de la culture de mil amélioré plus ou moins sensible et nettement plus élevée à Bambej, d'où une teneur nettement plus élevée en inoculum primaire dans cet environnement.

### 132 - Analyse de variance

#### 1321 - Comportement des génotypes

\* Résultats (cf tableau n°3)

Tableau n°3 : Effets variétal et d'environnement

Paramètres	Incidence				Sévérité			
	d.d.l.	S.C.E.	carré moyen	F	d.d.l.	S.C.E.	Carré Moyen	F
Analyse variance	31-e*							
Sources variation								
Traitements	179	150972,01			179	105476,86		
Variétés(=V.)	35	5826,69	1672,19	77,45	35	39829,11	1137,97	85,74
ENV.+V.xEnv.	144	92445,31			144	65647,76		
ENV.(Linéaire)	1	26107,00			1	19984,70		
V.xEnv.(Line.)	35	64006,60	1828,76	84,70	35	44229,58	1263,70	95,21
Déviations cumulées	108	2331,72	21,59		3108	1433,48	13,27	

\* discussions : Les F calculés sont de 77,45 et 85,74 respectivement pour l'incidence et la sévérité ; la valeur seuil de F correspondant au couple d.d.l. 35 et 108 s'élève à  $F_{0,05} = 1,55$ ;  $F_{0,01} = 1,86$ ;  $F_{0,001} = 2,26$  la différence très hautement significative exprime que les 36 hôtes testés diffèrent significativement de par leur base génétique.

### 1322 - Intéraction génotype-environnement (cf tableau 3)

Les F calculés sont de 84,70 et 95,21 respectivement pour l'incidence et la sévérité ; la comparaison par rapport aux valeurs seuil permet de conclure à une différence très hautement significative voulant dire que les environnements testés exercent une action très hautement significative sur les génotypes impliqués du point de vue de l'incidence et de la sévérité de mildiou.

### 1323 - Comparaison des hôtes

13231 Résultats (cf tableau n°4)

Tableau n°4 : Comparaison du comportement des hôtes

N°	Paramètres Hôtes	Incidence			Sévérité		
		b	$\bar{y}_i$	$S^2_{d_i}$	b	$\bar{y}_i$	$S^2_{d_i}$
1	PS 60 (2)	0,88	- 7,87	- 2,00	- 0,69	- 5,09	- 3,27
2	PS 90 (1)	0,57	- 5,44	- 6,46	- 0,46	- 3,13	- 9,45
3	PS AC	0,19	- 2,73	- 28,81	- 0,14	- 2,06	- 20,70
4	E 18-E25 AF	1,95	+ 19,99	+ 83,42	+ 1,95	+ 15,75	+ 31,33
5	E 18-E23RH76 AF	3,25	+ 28,55	+ 276,91	+ 3,44	+ 22,58	+ 183,82
6	E 18-E 32 AF	2,16	+ 20,32	+ 64,69	+ 2,49	+ 17,45	+ 45,95
7	PMR Djib. 76	0,41	- 5,84	- 26,96	- 0,36	- 4,88	- 40,17
8	E 18-E24 AF	3,05	+ 28,76	+ 432,85	+ 3,35	+ 22,51	+ 220,47
9	SL 90 Prospect 76	0,98	- 13,53	+ 125,06	+ 0,92	+ 10,12	+ 50,32
10	SL 75 Prospect 76	1,32	+ 11,89	+ 20,84	+ 1,35	+ 9,82	+ 27,77
11	SL 2 Prospect 76	1,28	+ 14,71	+ 55,67	+ 1,35	+ 11,81	+ 8,10
12	SL 221 Prospect 76	1,31	+ 16,79	+ 134,95	+ 1,18	+ 12,65	+ 107,52
13	16576 AF C/S 77	0,31	- 2,98	- 4,34	- 0,22	- 2,02	- 6,06
14	16715 AF C/S 77	1,74	+ 15,31	+ 144,78	+ 1,89	+ 12,36	+ 57,67
15	16703 AF C/S 77	0,44	- 4,41	- 9,32	- 0,42	- 11,36	-
16	16660 AF C/S 77	0,02	- 0,44	- 1,24	- 0,02	- 0,42	- 1,24
17	16.567 AF C/S 77	0,50	- 4,86	- 9,92	- 0,30	- 2,80	- 9,71
18	60J x J104 C/S 77	0,32	- 3,83	- 80,46	+ 0,23	- 2,37	- 31,90
19	SL 212 Prospect 76	1,48	+ 16,97	+ 189,68	+ 1,43	+ 13,35	+ 60,39
20	E18-E26 AF	2,90	+ 26,18	+ 116,01	+ 2,93	+ 21,01	+ 38,60
21	17199 AF C/S 77	0,75	- 8,22	- 69,06	+ 0,60	- 5,71	- 45,34
22	14960 AF	1,57	+ 14,19	+ 79,94	+ 1,78	+ 12,42	+ 86,94
23	15320 AF C/S 77	0,59	- 4,86	- 3,67	- 0,61	- 3,64	- 5,34
24	15 356 AF	1,23	+ 9,89	+ 29,68	+ 1,18	+ 7,67	+ 11,30
25	73 676 AF	0,11	- 1,51	- 8,60	- 0,07	- 0,65	-
26	15 401 AF C/S 77	0,32	- 3,48	- 19,45	- 0,19	- 2,18	- 18,35
27	700 516	0,01	- 0,14	- 0,38	- 0,00	- 0,05	- 0,05
28	SN 29/9	0,23	- 1,85	- 1,13	- 0,29	- 1,64	- 2,94

.../...

29	16 363	0,13	-	2,23	-	32,56	-	0,11	-	1,63	-	22,69	-
30	16 373	0,48	-	4,40	-	3,29	-	0,37	-	2,88	-	3,69	-
31	Lignée Souna	1,10	t	9 32	-	113,50	+	1,11	+	6,94	-	73,04	+
32	E 683 B	3,74	+	33 34	+	140,90	+	4,00	+	28,12	+	191,83	+
33	114-1-R	0,06	-	0 33	-	1,09	-	0,05	-	0,22	-	0,43	-
34	SN 305	0,035	-	0 34	-	0,19	-	0,02	-	0,14	-	0,02	-
35	SDN 634	0,53	ma-	t-- 4 01	-	12,50	-	0,45	-	2,61	-	3,69	-
36	SDN 347-1	0,07	-	0 69	-	1,41	-	0,06	-	0,47	-	0,75	-
$\bar{b} ; \bar{Y}.., \bar{S}^2_{d_i}$		0,028	!	9 727	!	64,770	!	0,900	!	7,578	!	39,816	!

Remarques :

1/ - Les entrées n° 5, 8, 12, 14, 19 et 32 présentent des Variations significativement différentes de zéro au seuil de 5 %.

2/ - Le signe plus (+) affecte à une moyenne variétale générale (= pour cette variété considérée dans l'ensemble des sites) exprime qu'une telle valeur est supérieur à la grande moyenne (évaluée sur la base de l'ensemble des hôtes places dans l'ensemble des environnements) ; ce que nous pouvons traduire par :

$$\sum_{i=1}^v y_{i.} / n > \sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^n y_{ij} / vn$$

3/ - Le signe moins (-) exprime la relation inverse.

13232 | Discussion (cf tableau n°4)

Il eût été particulièrement intéressant de pouvoir étudier la régression mildiou-rendement afin de déterminer le seuil critique d'incidence et ou de sévérité au-delà duquel la diminution de rendement s'avère suffisamment significative d'un point de vue économique pour justifier une intervention ; cette étude n'a cependant pu être réalisée en raison des dégâts supplémentaires occasionnés par le déficit et la mauvaise répartition pluviométriques, l'échaudage, les oiseaux de même que les attaques par Arnsacta moloneyi ; de telles interférences rendaient difficile voire impossible l'appréciation objective de la chute de rendement imputable au seul mildiou.

Plusieurs types de profils se dégagent au terme de cette interaction hôte-parasite au travers des environnements impliqués :

\* Le profil idéal caractérisé par :

- une bonne réaction au mildiou ; en l'occurrence, un taux et une sévérité de mildiou faibles (inférieurs à la grande moyenne notamment) voire nuls ;

- une régression (b) la plus faible possible signifiant que la bonne performance précitée est stable quel que soit l'environnement considéré ;

- une déviation cumulée ( $S^2_{d_i}$ ) la plus faible possible et notamment très peu différente de zéro ; ce qui signifie que la variance de l'hôte impliqué est faible ou encore que les caractéristiques précédemment observées sont quelque peu prévisibles et reproductibles.

De manière générale, nous pouvons donc figurer ce matériel idéal par la matrice :

Paramètres	Signes
$b_i < \bar{b}$	(-)
$y_{i.} < \bar{y}_{..}$	(-)
$S^2_{d_i} < \bar{S}^2_{d_i}$	(-)

En vertu de cette analyse, nous retiendrions a priori tous les hôtes affectés du signe (-) pour tous les paramètres mesurés et ce, aussi bien pour l'incidence que pour la sévérité ; cependant, dans le but de n'inclure dans cette catégorie que du matériel doté d'une haute résistance et stabilité, nous avons choisi de n'admettre que les hôtes présentant des caractéristiques inférieures ou égales à 50 % des grandes valeurs moyennes.

Aussi, les hôtes :

- (13) 16 576 AF C/S 77
- (15) 16 703 AF C/S 77
- (16) 16 660 AF C/S 77
- (17) 16 567 AF C/S 77
- (25) 13 676 AF
- (26) 15 401 AF C/S 77
- (27) 700 516
- (28) SN 29/9
- (33) 114 - 1 - R
- (34) SN 305
- (35) SDN 634
- (36) SDN 347-1

constituent un excellent matériel tant du point de vue résistance que stabilité par rapport à S. graminicola, ce matériel se révèle être le plus approprié pour ce qui a trait à la résistance au mildiou dans le cadre soit d'un programme de sélection, soit de pré vulgarisation, étant entendu que l'on ne doit à aucun prix perdre de vue les autres dimensions du problème : résistance à la sécheresse, précocité, productivité, qualités technologiques du grain etc...)

Cette catégorie supérieure de matériel peut-être figurée par les matrices suivantes.

Incidence	
$b \leq 0,54 < \bar{b}$	(-)
$\bar{y}_i \leq 4,863 < \bar{y}..$	(-)
$s^2_{d_i} \leq 32,385 < \bar{s}^2_{d_i}$	(-)

Sévérité	
$b \leq 0,45 < \bar{b}$	(-)
$\bar{y}_i \leq 3,789 < \bar{y}..$	(-)
$s^2_{d_i} \leq 19,908 < \bar{s}^2_{d_i}$	(-)

Remarquer les valeurs particulièrement faibles voire nulle (cf b pour la sévérité affectant l'hôte 700 516) des cinq entrées soulignées qui démontrent aussi leur très nette supériorité.



De plus, le matériel satisfaisant aux trois exigences de base précédemment définies mais possédant des valeurs supérieures aux seuils codifiés par les deux matrices incidence et sévérité précitées ne sera pas à négliger en raison de son intérêt indéniable ; ce matériel fera l'objet d'une observation pendant au moins une campagne supplémentaire.

\* Par contre, tous les hôtes caractérisés par des valeurs moyennes supérieures à  $\bar{b}$ ,  $\bar{Y}_{..}$  et  $S^2_{di}$  (d'où le signe + qui leur est affecté conformément au tableau n°4) sont inintéressant en raison :

- de l'incidence et de la sévérité particulièrement élevées traduisant une trop forte sensibilité au mildiou
- d'un coefficient de régression très puissant d'où une forte influence de l'environnement sur l'expression du génotype
- d'un  $S^2_{di}$  très élevé manifestant une variance trop forte et partant d'importantes fluctuations.

Pour ce type de matériel, nous pourrions citer entre autres :

- (5) E 18-E 23 RH 76 AF
- (19) SL 212 Prospect. 76
- (32) E 683 B

Un tel matériel serait soit à éliminer définitivement, soit (au cas où il présenterait un intérêt agronomique autre) à exploiter après amélioration de la résistance au mildiou.

\* L'usage de la lignée (21) 17 199 AF s'avère aléatoire en dépit d'une incidence :

$(\bar{Y}_{i.} = 8,22$  avec  $b = 0,75)$  et d'une sévérité :

$(\bar{Y}_{.i} = 5,71$  avec  $b = 0,60)$  relativement faibles et en raison d'une variance trop forte :

$S^2_{d_i} = 69,06$  et  $45,34$  respectivement.

\* Les souna locaux (10) SL 75 Prospect. 76, (11) SL 217 Prospect. 76 et la lignée (24) 15 356 AF soit dotés d'une stabilité moyenne parallèlement à leur mauvaise performance : leur sensibilité est élevée même sous une pression de sélection relativement faible.

\* Enfin, la lignée Souna (31) Lignée souna, en dépit d'une infestation relativement faible ( $I = 9,32$  ;  $S = 6,94$ ) est inacceptable par rapport aux deux paramètres de stabilité ( $1,11$  et  $113,50$  ;  $1,11$  et  $73,04$  respectivement pour l'incidence et la sévérité.

#### Remarques :

1/ - Par soucis d'une meilleure sécurisation, nous avons volontairement fait preuve d'une extrême sévérité dans le choix du matériel résistant.

2/ - La bonne stabilité observés chez les hôtes résistants pourrait être sous tendue entre autres par l'une des deux propositions suivantes sur le plan physiopathologie :

- l'inoculum rencontré est le même quel que soit le site considéré ; chacun des hôtes est doté du ou des gènes de résistance correspondant (s)

- l'inoculum rencontré est variable d'une site à l'autre : les hôtes résistants possèdent chacun l'assortiment complet de gènes efficaces contre la gamme éventuelle de races physiologiques du parasite.

3/ - La stabilité d'un sujet (cf b) exprime que ce dernier se comporte relativement de la même manière sous un large spectre d'environnements ou encore, qu'une tel hôte réalise la meilleure performance (comparativement aux autres variétés) sous les conditions d'adversité (= pression de sélection forte) et que, place sous des conditions idéales, sa performance ne "crève pas le plafond" (comparativement au matériel qui "répondrait" à cet environnement :  $\bar{b}$  élevé) ; la stabilité du sujet traduit donc une bonne rusticité et une plasticité qui en font par excellence le matériel de choix pour l'ensemble des environnements testés.

#### 14 - Evolution spatio-temporelle de la pression de sélection

Dans ce paragraphe, nous nous contenterons de comparer l'évolution des indices d'environnement au cours de la campagne hivernale.

#### 141 - Expression numérique des résultats (cf tableau n°5)

Tableau n°5 : Evolution de l'indice d'environnement pour l'incidence et la sévérité de mildiou au cours de la campagne agricole 1977.

Age ; paramètre	Date n°1 = 25 jours		D2 = 34 jours		D3 = 46 jours	
	Incidence	Sévérité	Incidence	Sévérité	Incidence	Sévérité
//////////	$I_1$	$S_1$	$I_2$	$S_2$	$I_3$	$S_3$
Bambey	7,863(1)	6,825(1)	10,413(1)	9,163(1)	10,770(1)	9,385(1)
Darou	-1,640(2)	-1,469(3)	-2,855(3)	-2,519(3)	4,146(2)	3,426(2)
Fanaye	-2,332(5)	-1,973(5)	-5,035(5)	-4,033(5)	-9,728(5)	-7,578(5)
Nioro	-1,675(3)	-1,427(2)	0,818(2)	0,129(2)	2,525(3)	0,765(3)
Thilmakha	-2,216(4)	-1,955(4)	-3,342(4)	-2,740(4)	-7,713(4)	-5,998(4)

N.B. : Les chiffres entre parenthèses expriment les rangs : on attribue le rang (1) à l'indice le plus élevé et celui (5) pour l'indice le plus faible.

142 - Expression graphique (cf figure 1)

143 - Discussion

\* C'est le site de Bambey qui déploie la pression de sélection la plus puissante dans le temps et dans l'espace prospectés.

La supériorité précoce de la pression exercée à Bambey (et ce, en dépit de conditions pluviométriques plus favorables au mildiou à Darou et Nioro qu'à Bambey) pourrait s'expliquer par le fait que le stress hydrique enregistré en début de campagne à Bambey aurait engendré un "démasquage" de certaines potentialités génétiques de S. graminicola, lequel au lieu d'être inhibé par ces conditions relativement défavorables, se trouve "dérepressé" : nous assistons alors à un démarrage rapide l'épidémie à Bambey.

Le maintien du niveau supérieur de maladie dans ce site (par rapport à Darou et Nioro) tiendrait alors au fait que l'inoculum ayant gardé tout son pouvoir infectieux, conserve également toute sa suprématie après installation définitive d'une pluviométrie normale et ce, d'autant plus que la flambée précoce de la maladie aura eu pour conséquence l'édification des sources secondaires d'infection particulièrement efficaces dans le maintien et l'extension de l'épidémie.

\* L'état stationnaire afférent à Fanaye traduit une absence permanente de manifestations perceptibles de mildiou.

\* Le niveau relativement faible caractéristique de Thilmakha s'expliquerait d'une part par le niveau faible d'inoculum (le matériel végétal le plus fréquemment utilisé étant de type local, naturellement sélectionné et présentant une bonne tolérance au mildiou ; l'inoculum persiste donc en équilibre avec l'hôte et sans que son niveau et sa répartition soient aussi importants que pour des sites tels que Bambey), d'autre part, par les conditions notamment écologiques ne coïncidant pas avec les exigences cosmiques du parasite.

\* Sous sa forme incidence, la pression de sélection est plus puissante à 25 jours pour Darou que pour Nioro tandis que la composante sévérité obéit à une répartition inverse. Cette inversion (meilleure efficacité de l'inoculum caractéristique de Nioro par rapport à celui de Darou) pourrait entra autres s'expliquer par le phénomène de dérepression dont nous avons fait mention plus haut.

La pression de sélection observée au 46e jour est cependant supérieure à Darou qu'à Nioro en raison probablement des conditions de milieu plus conformes aux besoins du parasite ; du reste, Darou aura été l'une des rares stations à bénéficier d'une pluviométrie "normale".

De manière générale, l'évolution spatio-temporelle de la pression de sélection semble liée à la stratification écologique de base, à la tendance de l'hivernage, aux pratiques culturales couramment utilisées dans chacune des strates considérées (l'implication d'un matériel amélioré comme le retour de ce type de matériel sur lui-même sont plus fréquents et remontent à une période bien plus reculée pour Bambey que pour Thilmakha ou Fanaye à fortiori), aux caractéristiques

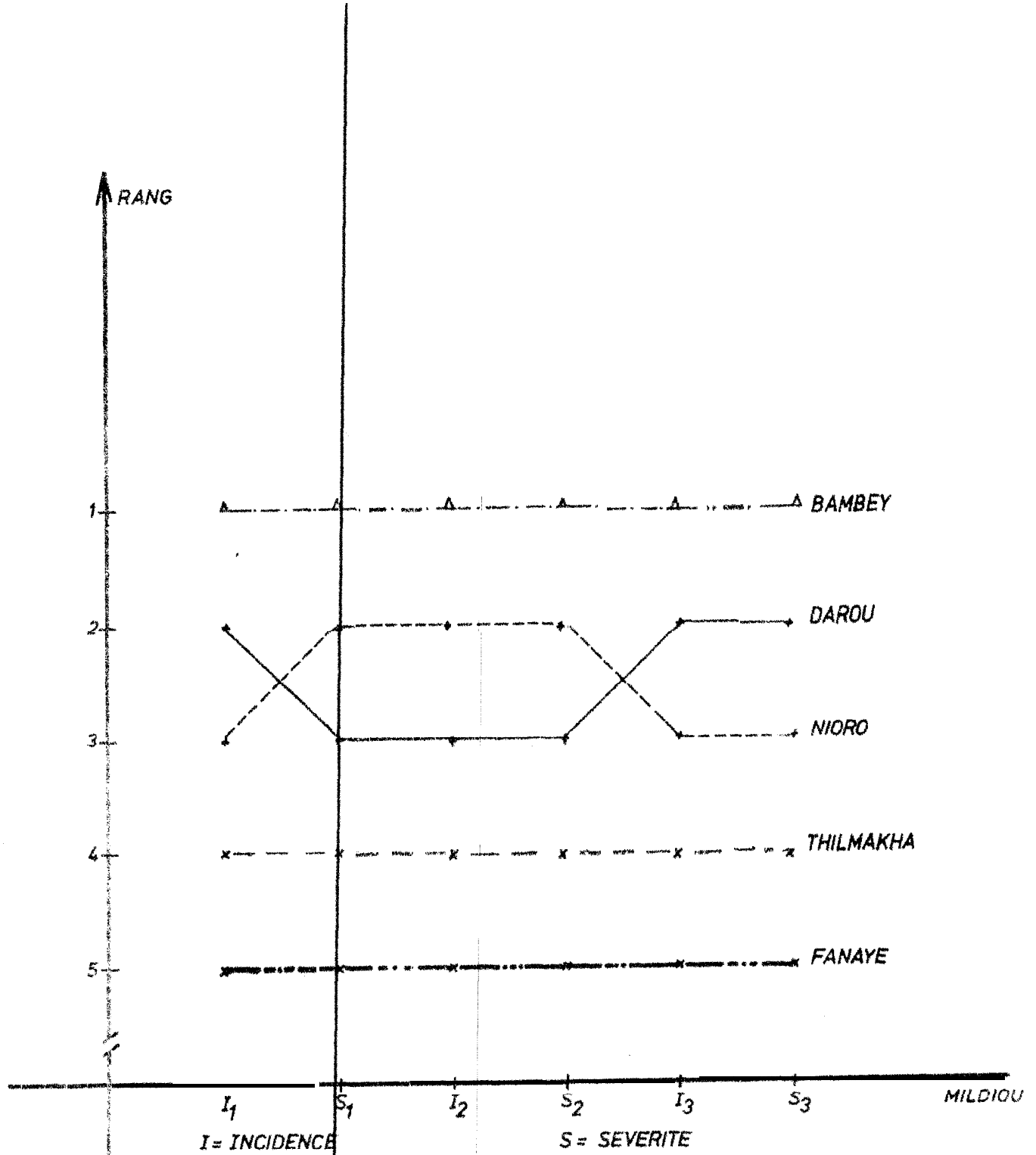


Fig.1: COURBES DE TENDANCE DE L'EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE LA PRESSION DE SELECTION AU COURS DE LA CAMPAGNE AGRICOLE 1977

agro-pédologiques, à la présence et à l'importance de l'inoculum primaire etc...

Nous en tiendrons là pour cet aspect ; par ces remarques, nous voulions simplement approcher voire cerner la dynamique du phénomène étudiée dans le temps et au travers des environnements testés.

15 - Surveillance de l'évolution des maladies autres que le mildiou

Ces observations, réalisées dans les seuls sites de Nioko et Darou, n'ont fait l'objet d'aucun protocole expérimental ; simplement nous avons tenu à identifier et à apprécier les autres maladies [charbon, Pyriculariose, rouille, gloeocercosporiose engendrés respectivement par Tolyposporium penicillariae, Pyricularia grisea, Puccinia penniseti, Gloeocercospora sorghi ; nous avons également tenu compte d'une maladie foliaire (X) jusque là indéterminée mais qui semble relativement fréquente].

Les notes 1, 2 et 3 sont réparties selon les seuils suivants:

taux	<	5 %	: 1
taux	<	25 %	: 2
taux	>	25 %	: 3

par souci de brièveté, ne figurera dans cette liste que le matériel doté du profil idéal pour ce qui est de la résistance au mildiou (cf tableau n°6).

Tableau n°6 : Surveillance de l'évolution des maladies autres que le mildiou.

Matériel	Environnts	Charbon	Pyricul	Rouille	Gloeoc.	X
(13) 16576 AFC/S77	Darou	1	1	1	1	2
	Nioro	1	1	1	1	3
(15) 16703 AFC/S77	Darou	1	1	1	1	1
	Nioro	1	1	1	1	1
(16) 16660 AFC/S77	Darou	2	2	1	1	1
	Nioro	2	2	1	1	1
(17) 16567 AFC/S77	Darou	2	1	1	1	1
	Nioro	2	2	1	1	2
(25) 13676 AF	Darou	1	2	1	1	1
	Nioro	1	2	1	1	1
(26) 15401 AFC/S77	Darou	1	1	1	1	1
	Nioro	1	1	1	1	1
(27) 700 516	Darou	1	1	1	1	1
	Nioro	1	2	1	1	1
(28) SN 29/9	Darou	1	1	1	1	1
	Nioro	1	1	1	1	1
(33) 114-1-R	Darou	1	1	1	1	1
	Nioro	1	1	1	1	3
(34) SN 305	Darou	1	1	1	1	1
	Nioro	1	1	1	1	2
(75) SDN 634	Darou	1	2	1	1	1
	Nioro	1	1	1	1	2
(36) SDN 347-1	Darou	1	1	1	1	1
	Nioro	1	2	1	1	2

Nous nous attacherons à l'identification et à la définition précise de la maladie (X) en raison de son importance non négligeable (comparativement à la gloeocercosporiose ou à la rouille mêmes qui semblent peu graves dans les conditions de la campagne agricole 1977, tout au moins pour les 5 environnements prospectés).

La pyriiculariose et le charbon ont des manifestations qui méritent d'être suivies dans les années à venir.

## 16 - Conclusions générales

L'essai variable, dans sa conception comme dans sa réalisation pratique constitue un travail de base ayant permis de circonscrire :

le spectre de répartition de Pyricularia graminicola  
 le spectre de résistance du matériel végétal au terme des interactions hôte-parasite ainsi que la révélation des hôtes intéressants en ce qu'ils extériorisent une "résistance non spécifique" au mildiou quel que soit l'environnement considéré.

L'essai diallèle établi en deuxième contre-saison et qui sera testé en vraie grandeur pendant la campagne hivernale 1978 se compose de lignées judicieusement choisies à la lumière des informations acquises dans le présent chapitre.

Cet essai nous aura en outre permis une meilleure orientation dans le choix des environnements devant manifester une pression de sélection élevée, tels que Bambey, Darou, Nioro en vue d'un screening ultérieur.

L'étude des interactions génotype-environnement sera affinée et prolongée par l'essai diallèle précité ; cependant, cette étude, pour être effectivement valorisée, exige un équipement de laboratoire minimum permettant d'effectuer un certain nombre de tests fins qui devraient déboucher, par éliminations progressives sur la circonscription du problème combien important de l'existence éventuelle de races physiologiques (le résultat de cette investigation conditionnera dans une large mesure la stratégie à adopter en matière d'amélioration de la résistance, celui de l'inhibition ou de la dormance éventuelles de l'inoculum primaire quand ce ne sera pas tout simplement d'établir la présence ou l'absence d'inoculum (cf Fanayo) ; ici comme ailleurs, la démarche scientifique devra nécessairement être comprise dans sa globalité recherches fondamentale et appliquée s'engendrant mutuellement l'une l'autre.

CHAPITRE DEUXIEME

TECHNIQUE D'OBTENTION DE L'INOCULUM OOSPORE.

21 - Intérêt :

La fiabilité des expériences, leur reproductibilité, la définition des mécanismes impliqués au cours des interactions hôte-parasite etc..., justifient "s'il en était besoin" tout l'intérêt des techniques artificielles de confrontation de l'hôte et du parasite.

L'efficacité d'une technique d'inoculation artificielle dépend de plusieurs facteurs pouvant chacun jouer un rôle de facteur limitant :

- base génétique de l'hôte générateur de matériel infecté (sensibilité plus ou moins grande vis-à-vis de S. graminicola en l'occurrence)
- nature des organes de base (appareils radiculaires, foliaire, reproducteur) dont est issue la source d'inoculum;
- conditions de l'édification dudit inoculum primaires sur les structures de base (température, hygrométrie)
- conditions et méthode de prélèvement des échantillons infestés
- conditions et méthode de préparation et de stockage du matériel
- choix du sujet à infester artificiellement
- technique d'application (en l'occurrence, enrobage, adjonction, mélange au substrat etc...)
- conditions prédominantes au cours de la confrontation de l'hôte avec l'inoculum.

22 - Méthodologie

- Echantillonnage : seuls sont prélevés les fragments nécrotiques caractéristiques de mildiou et supposés être riches en oospores
- séchage : le séchage est réalisé au soleil, à l'abri des poussières et des pollutions exogènes
- criblage : avant broyage, le matériel est trié à nouveau pour éliminer tous les fragments d'organes pauvres en oospores
- broyage : nous avons expérimenté le broyage mécanique au mortier et celui directement manuel (entre les doigts)
- calibrage : le tamisage nous a permis d'obtenir :
  - une "poudre oospore" dont les particules possèdent une taille inférieure ou égale à 50 microns (pour enrobage ou détermination de la concentration notamment)
  - une "poudre oospore" dont les éléments ont une taille supérieure à 50 microns mais inférieure ou égale à 250 microns (pour adjonction dans les poquets)



- détermination de la concentration en oospores :

$5 \times 10^{-2}$  gramme de "poudre oospore" à 50 microns est placé dans 5 ml d'eau distillée stérile ; après homogénéisation la concentration est évaluée à l'hématimètre de Malassez ; si ce n'est le nombre d'oospores comptés dans  $10^{-3}$  ml de suspension le nombre total N d'oospores par gramme de "poudre oospore" à 50 microns est fourni par la relation :

$$N = \frac{1 \times n \times 10^3 \times 5}{5 \times 10^{-2}}$$

et stockage : dans des flacons fermés et sous conditions de laboratoire.

### 23 - Résultats

- La teneur en oospores est plus faible pour une poudre obtenue par broyage au mortier que celle obtenue par broyage entre les mains

- La teneur en oospores est plus élevée pour une poudre issue d'un hôte moyennement sensible que celle provenant d'un hôte hautement sensible (TIF 239 d<sub>2</sub>B<sub>2</sub>)

- À concentration égale, l'inoculum oospore issu d'un hôte moyennement sensible E 683 B est plus efficace que celui provenant d'un hôte hautement sensible (TIF. 239 d<sub>2</sub>B<sub>2</sub>).

### 24 - Discussion

- Le broyage au mortier augmente la quantité de particules "stériles" fines qui constituent un "facteur de dilution" de la teneur en oospores ;

- L'inoculum obtenu par cette méthode (matériel de base E 683 B ; l'hôte inoculé étant TIF.239 d<sub>2</sub>B<sub>2</sub> : adjonction de  $2 \times 10^{-2}$  gramme de poudre 150 microns + enrobage de 100 grammes de semences par 1 gramme de poudre 50 microns dont la concentration de base est de  $42.10^5$  oospores/gramme) s'est révélée efficace dans les tests de laboratoire (Jour : 27°C, 70 % d'humidité et 25.000 lux à un mètre du plafonnier ; Nuit : gradient thermique allant de 27 à 22°C, humidité saturante, obscurité totale)

- cependant, nos observations révèlent que les oospores issus de TIF 239d<sub>2</sub>B<sub>2</sub> (hautement sensible) n'engendre aucune manifestation de mildiou alors que la même concentration détermine la maladie sur TIF 239 d<sub>2</sub>B<sub>2</sub> lorsque l'inoculum oospore provient de E 683 B (moyennement sensible).

De plus, les tests réalisés par 10 CMI (Commonwealth, Micological Institute) ont établi la très nette supériorité des oospores issues de E 683 B par rapport aux inocula provenant d'autres régions.

A la lumière de ces quelques remarques qui méritent certes d'être approfondies, nous pourrions formuler l'explication suivante : l'hôte hautement sensible est très précocement attaqué et détruit par la maladie de sorte qu'il n'autorise :

- ni une bonne maturation physiologique des oospores

si une abondante prolifération de ce type de matériel ainsi, donc, l'hôte hautement sensible fournissait des oospores peu ou prou fonctionnelles et de surcroît en quantité relativement faible (ex :  $34 \cdot 10^5$  oospores par gramme de "poudre oospores pour TIF.239d<sub>2</sub>E<sub>2</sub>) par rapport à l'hôte moyennement sensible ( $42 \cdot 10^5$  oospores/g pour E 683 B), lequel confère au parasite la possibilité de différencier des organes sexués de reproduction physiologiquement murs et partant fonctionnels.

Dès lors, nous devrions reconsidérer la notion de "SICK-PLOT" cette unité est couramment ensemencée par du matériel sensible pour assurer une bonne persistance de la maladie dans le sol afin d'y entretenir une très forte pression de sélection ; les quelques remarques qui précèdent révèlent l'importance toute particulière du choix des hôtes à implanter sur le lieu d'un "sick-plot" pour lui conférer un pouvoir infectieux élevé : mélange de matériel végétal de comportement variable vis-à-vis de S. graminicola.

CHAPITRE. TROISIEME

EXAMEN CRITIQUE ET AJUSTEMENT DE L'ECHELLE  
D'APPRECIATION DES RELATIONS  
HOTE-PARASITE

31 - Préliminaire

A la veille de notre première expérimentation, nous avons conçu une échelle de notation permettant d'apprécier l'interaction hôte-parasite ; cette grille comporte 9 catégories définies selon le diagramme suivant :

- 1 - Absence de symptômes perceptibles
- 2 - Une repousse axillaire attaquée
- 3 - Plusieurs repousses axillaires attaquées
- 4 - Symptômes nets se manifestant sur moins de 25 % des talles principales
- 5 - Les talles principales sont infestées dans des Proportions supérieures ou égales à 25 % mais inférieures à 50 %
- 6 - Les talles principales sont manifestées dans des proportions supérieures ou égales à 50 % mais inférieures à 75 %
- 7 - Les talles principales sont infestées dans des proportions supérieures ou égales à 75 % mais inférieures à 100 %
- 8 - La plante survit en dépit d'une attaque de 100 %
- 9 - Destruction précoce de l'hôte.

C'est au travers de cette grille que nous sommes parvenus à quantifier la maladie par le biais de l'incidence I (taux d'infestation) et de la sévérité S (intensité de l'infestation) évaluées par les relations :

$$I (\%) = \frac{\text{Total malades}}{\text{total plants observes}} \times 100$$

$$S = \frac{\sum_{i=1}^9 [x_i - 1] Y_i}{[E(x_i) - 1] \times N} \times 100 \quad \text{avec}$$

$x_i$  = les catégories de notre échelle d'appréciation des relations hôte-parasite :  $x_1 = 1, 2, \dots, 9$

$E(x_i)$  = Etendue de l'échelle, soit Y dans notre cas

$Y_i$  = Effectif (= nombre de plants entrant dans la catégorie  $x_i$ ) de la catégorie  $x_i$

N = Nombre total de plants observes.

Toutes les observations ont été faites sur les mêmes sujets : pour chaque hôte et chaque type de traitement : 50 plants minimum par répétition déterminés au hasard et fixés une fois pour toutes en début d'expérience : une telle démarche nous permet d'apprécier l'évolution de l'incidence et de la sévérité de mildiou au cours du temps.

### 32 - Examen critique

L'étendue de cette échelle (9 catégories) avait été dictée par le souci de saisir de manière la plus exhaustive, la discrimination des génotypes testés au terme de leur confrontation avec S. graminicola.

A l'avantage d'être relativement complète et opérationnelle quel que soit le stade physiologique considéré,, cette échelle allie l'inconvénient d'une lourdeur de maniement sur le terrain eu égard au nombre et à la dimension des essais implantés.

D'un autre côté, il nous semblait prématuré d'établir une échelle de courte étendue qui, à l'avantage d'un maniement aisé sur le terrain, conjurerait l'inconvénient d'une moindre précision.

La perception prospective du programme d'amélioration de la résistance du mil à S. graminicola, l'aspect qualitatif des interactions hôte-parasite observées (sous l'angle pression mildiou) de même que les critères de choix de matériel hautement résistant adoptés au terme des interactions génotypes-environnements (cf résultats afférents à l'essai variabilité) appellent de notre part un réajustement de la grille de notation eu égard par ailleurs à l'impact économique réel :

- les catégories n° (2) et (3) : Dans nos conditions de culture, les talles axillaires n'interviennent que tardivement et ne revêtent pas une importance économique fondamentale ; nous pouvons dès lors estimer qu'une variété ne manifestant que des attaques liées à ces deux catégories est dotée d'une excellente tolérance vis-à-vis de S. graminicola, il n'y a aucun intérêt particulier à dissocier ces deux types de manifestations qui désormais seront identifiées par rapport à une même catégorie ;

- les catégories n° (8) et (9) : au cours de notre expérimentation, nous n'avons jamais observé de plants atteints à 100 % (la totalité des talles sont affectés) et qui soient porteurs de chandelles productives indemnes à 100 % de maladie ; ainsi donc, les plants entrant dans la catégorie n°8 ne présenteraient aucune importance particulière quant à leur résistance au mildiou ;

- enfin, l'étendue bornée par les catégories n°3 et 7 appelle un ajustement tenant compte notamment des implications économiques réelles et de l'intérêt de ce type de matériel dans les programmes d'amélioration.

### 33 - Adoption d'une nouvelle échelle de notation

C'est à la lumière des observations précédentes que nous avons décidé d'adopter une nouvelle échelle qui devra nécessairement résulter de l'intégration des trois lignes de force apparemment divergentes mais fortement liées sur les plans scientifique et économique :

- l'importance économique devra être matérialisée : la détection de cultivars dotés d'une haute résistance et stabilité amène l'expérimentateur à privilégier ce type de matériel et à opter pour une grille dont l'étendue et la répartition des repères se trouvent fortement influencées du point de vue qualitatif et quantitatif;

- nous sommes à l'aube de l'édification d'une plateforme de base pour un programme national, voire régional d'amélioration du mil et dont le prolongement international n'est plus à démontrer ; du fondement de cette plateforme dépendent la solidité et la fiabilité de l'édifice donc, son efficacité : l'étendue de l'échelle devra être suffisante pour visualiser au mieux toutes les nuances de comportement des géotypes tant il est vrai que deux sujets à base génétique différente peuvent parvenir à la même cible par des voies partiellement ou totalement différentes ; cette dimension revêt une importance capitale en ce qu'elle débouche sur une meilleure compréhension des interactions hôte-parasite pour une définition précise des mécanismes de résistance - nous allons dire, pour une recherche de méthode efficiente de lutte contre S. graminicola. A y regarder de près, cet aspect est primordial en ce qu'il conditionne - de manière prospective il est vrai - la productivité de l'hôte.

Ici également, recherches fondamentale et appliquée s'engendrent mutuellement l'une, l'autre et se révèlent être les deux facettes d'un même problème de fond : il importera d'en respecter l'équilibre;

- enfin, il nous faut admettre la nécessité de tenir compte de l'hôte dans son identité et son entité afin d'apprécier laquelle des phases physiologiques (à défaut de pouvoir travailler à l'échelle plus fine du stade physiologique) conditionne le plus la résistance et la productivité. Du fait que l'implication d'une échelle unique privilégie l'une ou l'autre des manifestations biologiques d'un même sujet, force nous est de concevoir une échelle qui intègre ce tournant que constitue l'avènement de la phase reproductivo. Cette déviation demeure indissolublement liée à la précédente du fait que les primordia initiés au cours de la phase végétative trouvent leur plein épanouissement au cours de la phase reproductive.

La stratégie ainsi définie nous permettra d'établir et de cerner les corrélations éventuelles :

- . Rendement-Pression de sélection exercée au cours de la phase végétative
- . Rendement-Pression de sélection exercée au cours de la phase reproductive
- . Pression de sélection exercée au cours de la phase végétative - pression de sélection exercée au cours de la phase reproductive.

Ainsi, nous devrions parvenir à saisir quelque peu les composantes génétiques et économiques conditionnant la résistance et/ou la productivité.

Nous avons en définitive opté pour l'échelle de notation ci-dessous codifiée.

Catégories	Phase végétative	Phase reproductive
1	Absence de symptômes perceptibles	Absence de symptômes perceptibles
2	Une ou plusieurs talles axillaires attaquées	Une ou plusieurs chandelles axillaires attaquées I-I
3	Talles principales attaquées dans une proportion inférieure ou égale à 5 %	Chandelles principales attaquées dans une proportion inférieure ou égale à 5 % I-II-L
4	Talles principales attaquées dans une proportion supérieure à 5 % mais inférieure ou égale à 25 %.	Chandelles principales attaquées dans une proportion supérieure à 5 % mais inférieure ou égale à 25 %
5	Talles principales attaquées dans une proportion supérieure à 25 % mais inférieure ou égale à 50 %	Chandelles principales attaquées dans une proportion supérieure à 25 % mais inférieure ou égale à 50 % -II-
6	Talles principales attaquées dans une proportion supérieure à 50 % ; ou totalement détruites	Chandelles principales attaquées dans une proportion supérieure à 50 % ou totalement absentes,

Remarques :

- l'évaluation de l'incidence et de la sévérité repose sur le même principe

- en cas de litige : lorsque par exemple un plant comportant cinq talles compte 2 talles principales, et 1 talle axillaire (portée par une talle principale saine), malades, le rapport est majoré comme si la talle principale porteuse d'une talle axillaire infestée était elle-même malade ; ainsi dans l'exemple précité, nous compterions 3 talles principales malades et non pas 2 sur un total de 5 talles observées.

- du fait que les hôtes testés sont caractérisés chacun par un cycle de développement qui lui est propre, les notations seront désormais effectuées en fonction des stades physiologiques ; la notation réalisée en fonction de l'âge après levée manquant manifestement de rigueur scientifique.

CHAPITRE QUATRIEME

EFFICACITE RELATIVE DE DIFFERENTES TECHNIQUES  
D'INOCULATION ARTIFICIELLE

41 - Intérêt

En vue de l'établissement d'une méthode de lutte intégrée contre le parasite, force nous est de cerner quelque peu la nature des relations hôte-parasite afin de nous imprégner des mécanismes de résistance et d'agression des organismes impliqués.

Le présent chapitre vise à définir la ou les technique(s) d'inoculation artificielle la ou les plus efficace(s) et reproductible(s) pour une meilleure appréhension des mécanismes d'interaction hôte-parasite,

L'efficacité d'une technique sera évaluée par son aptitude à engendrer une pression de sélection (incidence et/ou sévérité) forte; cependant, nous avons volontairement privilégié les techniques qui semblent les plus conformes aux conditions naturelles de confrontations de l'hôte et du parasite; c'est ainsi que, délibérément, nous avons éliminé la technique qui consistait en une injection intratissulaire de suspension de zoospores au niveau des cornets de sujets à tester: nous pensons, qu'outre le pouvoir infectieux ainsi transmis, le traumatisme morpho-physiologique engendré par cette méthode modifie le comportement d'un hôte même résistant.

42 - Matériel et méthodes

421 - Matériel végétal

L'hôte à inoculer est une lignée choisie pour sa résistance moyenne (E 683 B) vis-à-vis de S. graminicola.

422 - L'inoculum parasite

- La "poudre oospore" est issue du sick-plot 1976  
la suspension de zoospores provient de la lignée  
P 105 (Mil d'oasis venant de Mauritanie) connue pour sa haute sensibilité au mildiou;  
l'infestante (cf traitement T6) est obtenue à partir  
d'un mélange de souches :  
E 683 9 = 25 % ; IFTON 239 d<sub>2</sub>B<sub>2</sub> = 37,5 % ; (P 105 + P 106 + P 107) = 37,5 %.

423 - Méthodologie

Six traitements ont été appliqués à Bambey :

T<sub>1</sub> = Témoin (sans apport d'inoculum)

T<sub>2</sub> = Semences enrobées de "poudre oospore" à raison de 1 g de poudre 50 microns pour 100 g de semence; la teneur en oospores de la poudre mère s'élève à 34 x 10<sup>5</sup> oospores/g.

- T<sub>3</sub> = Adjonction de  $2 \times 10^{-2}$  g de poudre (Sick-plot 1976)  
250 microns par poquet
- T<sub>4</sub> = T<sub>2</sub> t T<sub>3</sub>
- T<sub>5</sub> = Dépot (à l'aide d'une pissatte) d'environ 6 ml d'une suspension de zoospores de concentration égale à 140.000 zoospores/ml ; les zoospores ont été prélevées sur la lignée P 105 (Atar ville) ; l'inoculation a eu lieu au 18e jour et répétée au 23e jour après levée.
- T<sub>6</sub> = Lignes infestantes issues de mélange de semences (cf § 422).

Tableau n°7 : Etude comparative de plusieurs techniques d'inoculation de *S. graminicola* : T1 = Témoin ; T2 = Inoculation par enrobage ; T3 = Adjonction d'inoculum oospore dans les poquets ; T4 = T2 t T3 ; T5 = Injection de suspension de zoospores dans les cornets ; T6 = Utilisation de lignes infestantes

I = Incidence (%) ; S = Sévérité (%)

Traitement	T1		T2		T3		T4		T5		T6	
Paramètres	(I)	S	(I)	S	(I)	S	(I)	S	(I)	S	(I)	S
Agro (J)												
23	0,0	0,0	0,30	0,26	0,0	0,0	0,0	0,0	1,21	0,80	1,16	1,04
27	0,0	0,0	0,60	0,45	0,0	0,0	0,31	0,10	1,21	0,80	1,20	1,04
30	0,32	0,16	1,86	1,36	0,57	0,28	0,50	0,32	4,13	3,46	3,27	2,81
34	0,62	0,19	2,16	1,39	2,86	1,95	2,25	1,05	5,79	3,51	9,19	7,84

#### 43 - Résultats : Discussion

431 - Résultats bruts : cf tableau n°7

432 - Interprétation des résultats ; analyse de variance (cf tableau: n° 8 et 9 .

Incidence

Tableau n°8 : Incidence mildiou analyse de variance

Origine	d. d. l.	pdes carrés des écarts	Variance	F calc	F théorique	
					5 %	1 %
Blocs	3	44,05845	14,68615	8,53	3,29	5,42
Traitement	5	39,48829	7,89766	4,59	2,90	4,56
Erreur	15	25,82883	1,72192			
Total	23	109,37556				

Remarques :  $\bar{x} = + 0,656$  ; C.V. = 79,5 % avec  $\bar{X} = 1,65$



## - Sévérité

Tableau n°9 : Sévérité mildiou ; analyse de variance.

Origine	d.d.l	$\sum$ des carrés des écarts	Variance	F calc.	F théorique	
					5 %	1 %
Blocs	3	21,12918	7,04306	4,91	3,29	5,42
Traitements	5	29,09742	5,81948	4,06	2,90	4,56
Erreur	15	21,49530	1,43302			
Total	23	71,72190				

Remarques :  $\bar{x} = \pm 0,599$  ; C.V. = 99,8 avec  $\bar{X} = 1,20$

433 - Discussion4331) - Le traitement T<sub>1</sub> = Témoin

L'infestation observée sur le témoin en dehors de toute introduction artificielle d'inoculum exogène et en dépit de la présence de barrières (SN 29/9 connue pour sa haute résistance) implantées trois semaines auparavant tiendrait aux hypothèses suivantes :

- présence d'inoculum primaire (oospores notamment) dans le sol
- utilisation de semences souillées intérieurement et/ou extérieurement par des oospores et/ou du mycélium
- attaque par une source secondaire d'infection propagée par un vecteur quelconque (vent, insectes, eau d'irrigation etc...)
- conjugaison de partie ou totalité des éventualités précédentes.

Compte tenu : du protocole afférent à l'essai variabilité (usage de lignées infestantea révélatrices de l'inoculum primaire naturellement présent dans le sol), des manifestations de mildiou observables dans des parcelles non inoculées artificiellement (parcelles des sélectionneurs et champs paysans), compte tenu par ailleurs des résultats partiels fournis par l'essai intitulé "Tests de révélation de l'inoculum primaire caractéristiques des sites d'implantation de l'essai variabilité", nous pouvons affirmer que, dans les conditions actuelles, le sol de Bambej est naturellement infesté par S. graminicola sous sa forme inoculum primaire en raison d'une contamination primaire associée à une fréquence élevée de successions mil amélioré sur mil amélioré ; ce qui constitue un facteur de persistance du parasite dont la longévité irait jusqu'à 10 ans (BORCHHARDT, 1927).

soignées

L'hypothèse semences extérieurement serait très peu probable : les semences sont issues de chandelles saines (en tout cas, ne présentant aucune manifestation perceptible) récoltées sous des conditions peu favorables (contre-saison) au mildiou au point que même des hôtes hautement sensibles tels que TIFTON 239 d<sub>2</sub>B<sub>2</sub> ou THIOTANDE arrivent à fructifier normalement ; vue sous cet angle, la transmission interne par les semences, non encore rigoureusement établie, se révèle également peu probable.

L'installation de barrières de résistance avait pour but d'amenuiser l'implication de sources secondaires d'infection ; il nous est impossible de stipuler la non implication de ce type d'interférence et ce, en dépit de la faible durée de vie des organes asexués de reproduction (24 h selon SAFEULLA et al, 1963).

Il ressort de cette analyse que le sol caractéristique de Bambey est relativement infeste et que dans les conditions actuelles, les artéfacts inductibles par l'inoculum primaire naturel tendent à masquer les différences d'efficacité imputables aux différents traitements ; il faudrait dès lors :

- soit planter ce type d'essai en terre vierge de tout inoculum naturel ; ce qui est à exclure en raison des risques encourus par contamination de l'environnement considéré ;
- soit employer un fongicide dont le rôle revient à "couvrir" le témoin contre les attaques de ce type ;
- soit enfin opérer sous conditions contrôlées au laboratoire ou en serre avant de pouvoir expérimenter en vraie grandeur sur le terrain ; notre latitude de manoeuvre est considérablement réduite voire nulle eu égard au sous-équipement exagéré en équipement de laboratoire.

La compréhension des résultats obtenus dans cet essai devra, sous peine d'imperfection, tenir compte de cet effet Tampon imputable à l'inoculum primaire naturel inhérent au site expérimental.

#### 4332 - Analyse des effets blocs (cf tableaux n° 8 et Y)

Ces effets sont significatifs aux seuils de 5 % et 1 % :  
 $F_{calculé} = 8,53$  et  $4,91$  respectivement pour l'incidence et la sévérité tandis que les valeurs seuils sont de 3,29 et 5,42 et 3,29 et 5,42 pour l'incidence et la sévérité respectivement ; il n'y a rien d'extraordinaire à ce que les différences soient significatives entre dates d'observation.

#### 4333 - Analyse des effets traitements (cf tableaux n° 8 et Y)

L'analyse de variance révèle une différence significative pour les deux paramètres mesures au seuil de 5 %.

L'application de la PPDS ( $PPDS_{0,05} = 0,928 \times 2,131 = 1,98$  ;  $PPDS_{0,01} = 0,928 \times 2,947 = 2,73$ ) comme celle du test de KEULS permettent de matérialiser les différences entre traitements ; ainsi, avec le test de KEULS, nous avons :

Incidence

$T_i$	$\bar{T}_i$	5 %	1 %
	0,24		
$T_2$	0,77		
$T_3$	0,86		
$T_4$	1,23		
$T_5$	3,09		
$T_6$	3,71		

Sévérité

$\bar{T}_i$	5 %	1 %
0,09		
0,37		
0,56		
0,87		
2,14		
3,18		

Remarques :

Les traitements non reliés par un trait différent significativement au seuil indiqué.

Au seuil de 5 %, les traitements n°5 (zoospores dans les cornets) et n°6 (infestantes) manifestent leur supériorité par rapport aux autres traitements; ce résultat tend à corroborer le rôle important joué par les zoospores dans le processus infectieux donc dans la persistance et l'extension de l'épidémie.

L'usage de variété sensible servant d'une part de révélateur d'un inoculum primaire présent dans le sol ou ajouté artificiellement, d'autre part de vecteur de la maladie par le biais des organes asexués de reproduction, nous paraît être la technique la plus rationnelle d'entretien d'une pression de sélection élevée; de plus, c'est la technique qui reproduit le plus fidèlement possible le phénomène tel qu'il se produit dans les conditions naturelles relativement à l'importance qui semble liée aux sources secondaires d'infection.

## CHAPITRE CINQUIEME

### ESTIMATION DES DEGATS

#### 51 - Préliminaire

Le but essentiel de cet essai était d'apprécier l'impact réel du mildiou sur le rendement ; pour ce faire, nous avons opéré avec un génotype choisi pour sa sensibilité moyenne (E 683 El) et semé en 4 répétitions, chacune comportant un bloc élémentaire traitement (inoculé) et un bloc élémentaire témoin (non inoculé) comptant chacun 10 lignes de 40 plants semés à 30 x 60 cm.

En raison des contraintes spatiales (hétérogénéité de terrain), l'inoculation artificielle initialement prévue par éta-blissement préalable (15 jours) de lignes infestantes, a été réalisé par enrobage + adjonction de "poudre oospore" (de 50 et 250 microns respectivement) ; le précédent cultural était l'arachide. Chaque bloc élémentaire était ceinturé par trois lignes de SN 29/9 connue pour sa bonne résistance et jouant le rôle de barrière vis-à-vis de l'inoculum exogène.

#### 52 - Résultats : discussion

Nous avons suivi l'évolution du tallage jusqu'au 35e jour après Levé et avons évalué l'incidence et la sévérité, ces résultats ne feront pas l'objet d'une interprétation du fait que plusieurs facteurs sont entrés en jeu pour rendre impossible l'appréciation de la chute de rendement imputable au seul S. graminicola ; parmi ces sources d'artefacts, nous citerons :

- un stress hydrique très prolongé avant et pendant toute la période du tallage (période du 8 juillet au 14 août) et ce, en dépit d'un arrosage manuel visant à "sauver" l'essai ;

- de graves attaques par Amsacta moloneyi (chenille poilue du niébé)

- l'échaudage déterminant une stérilité partielle ou totale de nombre de chandelles

- des attaques d'oiseaux.

L'insertion de l'incidence et de la sévérité dans le présent chapitre ne présente aucun intérêt dès lors que le rendement avait été biaisé par les facteurs précités et que par ailleurs, E 683 El était inclus dans l'essai variabilité (cf chapitre n°I).

De plus, toutes les observations réalisées dans l'environnement Bambeï (celles réalisées sur l'essai "Dégâts" notamment) permettent d'affirmer que le sol est infesté en inoculum primaire ; de la sorte, la maladie se manifeste même dans les parcelles témoin ; ce qui constitue une restriction supplémentaire pour l'évaluation de l'incidence du mildiou sur le rendement ; à ce propos, cette appréciation ne pourrait se concevoir que relativement aux parcelles témoin, elles-mêmes infestées de mildiou ; à l'avenir, pour réaliser ce test il faudrait :

- soit disposer d'un fongicide efficace permettant une discrimination entre parcelles infestées et parcelles saines (par traitement fongicide) ; notre programme 1978 inclura l'étude de l'efficacité de produits fongicides en relation avec diverses techniques d'application ;

- soit, implanter les parcelles infestées dans une zone caractérisée par une forte pression de sélection (Bambey en l'occurrence) et celles témoin (non traitées) dans une aire caractérisée par une pression de sélection faible voire nulle (exemple : Fanaye) ; une telle démarche impliquerait que les deux composantes de l'essai soient soumises à deux écologies différentes, ce qui matérialise un manque de rigueur scientifique ; néanmoins, nous pensons que le contrôle du facteur eau (irrigation d'appoint) permettrait une approche relativement satisfaisante du problème.

## CONCLUSION GENERALE

\*\*\*\*\*

Il est évident que l'ensemble de ce rapport devra être compris comme une UNITE, chaque composante interférant de manière significative avec les autres et réciproquement ; ainsi, la technique d'inoculation usitée, celle d'obtention de l'inoculum oospore de même que les critères d'appréciation des relations hôte-parasite, influent significativement sur les résultats des interactions génotypes-environnement.

Dans cette optique, notre programme de recherche 1978 [exploitation multilocale d'un diallèle 6 X 6 avec test des croisements directs et réciproques avec géniteurs de base à inclure, tests fongicides, essais coopératifs internationaux ] constitue une tentative de prolongement et d'approfondissement de notre travail de base auquel sera étroitement associé le sélectionneur du Groupe Amélioration du Mil.

REMERCIEMENTS

Pour la conception et/ou la réalisation de ce programme, nous voudrions remercier tout particulièrement :

- J.-C. GIRARD (SR/Patho-Sorgho)
- A. SARR (GAM/Amél)
- L'ensemble du personnel SR/Patho :

- . L.D. FALL
- . N. NGING
- .. .. SAMB
- . N. SENE
- . 5. SY

- S. ANNE (GAM/Amél)
- DIOP (Stagiaire SAED)
- NDIAYE ( " ENCR)

pour leur collaboration scientifique et technique inestimable./-

## BIBLIOGRAPHIE

- EBERHART S.A., RUSSEL W.A. (1966)  
Stability Parameters for Comparing Varieties - Crop Science, January - February 1966, vol. 6, 36 - 40.
- ICRISAT (1977)  
Breeding for downy mildew resistance in pearl millet. Governing Board Program Review, February 28 - March 1, 1-31
- ISRA/CNRA/BAMBEY/SENEGAL (1977)  
Fiches techniques établies en vue de la réalisation de l'expérimentation agronomique (campagne 1977-78). 1-5.
- SINGH S.D., THAKUR R.P., WILLIAMS R.J. (1977)  
Screening pearl millet for resistance to downy mildew, ergot and smut. AICIYIP, Annual workshop, Bhubaneswar, Orissa April 7-10 1977, 1-21.
- SY A.A. (1977)  
Le mildiou du mil (Sclerospora graminicola)  
I - Etat actuel des recherches  
II- Projet de programme de recherche  
ISRA/CNRA/Bambey/Sénégal, 1-44.
- WILLIAMS R.J., SINGH S.D., THAKUR R.P. (1976)  
Rating scales and standard drawings for incidence and severity assessment of pearl millet diseases : downy mildew, ergot and smut. August, 1976 (PMP-10), 1-9.
- WILLIAMS R.J., SINGH S.D., THAKUR R.P. (1976)  
Rating scales and standard drawings for incidence and severity assessment of pearl millet diseases : Downy mildew, Ergot and Smut. ICRISAT, Cereal Improvement program August 1976.
-