

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

CENTRE UNIVERSITAIRE  
POLYTECHNIQUE DE  
BOBO-DIOULASSO

INSTITUT  
DU DEVELOPPEMENT RURAL

CENTRE NATIONAL DE  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNOLOGIQUE

INSTITUT D'ETUDES ET  
DE RECHERCHES AGRICOLES  
(IN. E. R. A.)

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du  
DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option: AGRONOMIE

*Mem  
133  
210*

THEME:

ETUDE DE L'EFFICACITE DE TROIS SUBSTANCES  
NATURELLES CONTRE LE MILDIOU (*SCLEROSPORA*  
*GRAMINICOLA* (SACC) SCHROET.) DU MIL.  
CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DES RELATIONS  
HOTE-PATHOGENE

JUIN 1996

ZIDA Pawindé Elisabeth

## SOMMAIRE

Pages

### **INTRODUCTION GENERALE** ..... 1

#### PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE MIL ET SUR LE MILDIOU DU MIL.

1.1 - LE MIL .....	3
1.1.1 - La culture du mil au Burkina .....	3
1.2 - LE MILDIOU DU MIL .....	6
1.2.1 - Importance économique .....	6
1.2.2 - Biologie, épidémiologie et cycle de développement .....	6
1.2.3 - Les moyens de lutte .....	10
1.3- CONCLUSION A L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE .....	17

#### DEUXIEME PARTIE : EVALUATION DE L'EFFICACITE DE LA POUDRE DE NERE, DES RESIDUS D'EXTRACTION DE BEURRE DE KARITE ET DE LA POUDRE DE FEUILLES D'HOLAR-RHENE CONTRE LE MILDIOU DU MIL.

2.1 - INTRODUCTION .....	19
2.2 - MATERIELS ET METHODES .....	21
2.2.1 - Matériels .....	21
2.2.2 - Méthodes .....	21
2.2.2.1 - Les traitements .....	21
2.2.2.2 - les pratiques culturales .....	23
2.2.2.3 - Les observations .....	24
2.2.2.4 - Les méthodes d'évaluation de l'efficacité des produits utilisés--	25

	Pages
2.3 - RÉSULTATS -----	28
2.3.1 - Evaluation de l'efficacité de la poudre de néré contre le mildiou du mil -----	28
2.3.2 - Evaluation de l'efficacité des résidus d'extraction de beurre de karité contre le mildiou du mil -----	40
2.3.3 - Evaluation de l'efficacité de la poudre de feuilles d'holarrhène contre le mildiou du mil -----	48
2.4 - DISCUSSION -----	51
2.4.1 - La poudre de néré -----	51
2.4.2 - Les résidus d'extraction de beurre de karité--	54
2.4.3 - La poudre de feuilles d'holarrhène -----	55
2.5 - CONCLUSION PARTIELLE -----	56

TROISIEME PARTIE : CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DE  
QUELOUES ISOLATS DE SCLEROSPORA  
GRAMINICOLA ET DE QUELOUES  
VARIETES DE MIL.

3.1 - INTRODUCTION -----	58
3.2 - MATERIELS ET METHODES -----	59
3.2.1 - Matériels biologiques -----	59
3.2.2 - Méthodes -----	61
3.2.2.1 - Extraction des protéines -----	61
3.2.2.2 - Techniques électrophorétiques -----	61
3.2.2.3 - Analyse des profils protéiques ----	63
3.3 - RESULTATS -----	64
3.3.1 - Les profils d'estérases de <u>Sclospora</u> <u>graminicola</u> -----	64
3.3.2 - Les profils d'estérases des variétés de mil --	68

	Pages
3.4 - DISCUSSION -----	73
3.4.1 - Les profils d'estérases de <u>Sclerospora</u> <u>graminicola</u> -----	73
3.4.2 - Les profils d'estérases des variétés de mil---	74
3.5 - CONCLUSION PARTIELLE -----	74
<u>QUATRIEME PARTIE : CONCLUSION GENERALE</u> -----	76
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES -----	78
ANNEXES -----	86

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé à l'Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles (INERA) du Burkina-Faso.

Les expérimentations de terrain ont été conduites aux stations de Kamboinsé, de Kouaré et de Farako-bâ. Les analyses électrophorétiques ont été faites au laboratoire de phytopathologie de Kamboinsé. Des personnes m'ont apporté leur concours. Ainsi, je tiens à remercier :

Monsieur SEREME P., phytopathologiste, directeur de l'INERA, mon maître de stage, et Monsieur DICKO O. I., professeur au Centre Universitaire Polytechnique de Bobo-Dioulasso, directeur de l'IDR, mon directeur de mémoire, pour la sympathie, l'entière disponibilité dont ils m'ont témoigné tout au long de ma formation. En cours de rédaction du document, j'ai bénéficié de leur attention critique et de leurs conseils. Connaissant leurs nombreuses contraintes professionnelles, je leur en suis très reconnaissante. De plus, je ne saurais oublier les moyens matériels mis à ma disposition pour la saisie de ce document.

Les techniciens, les observateurs et les manoeuvres du programme SOMIMA à Kamboinsé, Kouaré et Farako-bâ, pour leur participation aux études de terrain.

Monsieur DIASSO G., ingénieur agronome à la station de Kamboinsé pour sa contribution aux analyses électrophorétiques.

Monsieur SOME A. pour l'attention critique lors de la rédaction et notamment à l'exploitation des données biochimiques.

Monsieur SANWIDI R., dont l'appui et la disponibilité m'ont été précieux pour le traitement statistique des données.

Mesdames YONI S., BEOGO F. et Monsieur ZABRE B. pour l'entière disponibilité dont ils ont fait preuve lors de la mise en forme et de la multiplication du document.

Ma famille, mes amis, mes parents, mes collègues et tout le personnel de l'INERA, qui, de manières diverses, ont apporté leur concours à la réalisation de ce travail.

## RESUME

Une étude sur l'efficacité de trois substances naturelles (poudre de néré, résidus d'extraction de beurre de karité, poudre de feuilles d'holarrhène) traditionnellement utilisées dans la lutte contre le mildiou (Sclerospora graminicola) du mil au Burkina-Faso, a été menée à Kamboinsé et à Kouaré (2 sites de criblage au mildiou) en 1995. Les résultats révèlent qu'au champ, l'emploi de ces substances ne réduit pas significativement l'incidence de la maladie sur le mil. Par contre, dans les conditions contrôlées de laboratoire, l'application de la poudre de néré semble freiner sensiblement la production des zoosporanges du champignon. Aussi, au champ, les techniques permettant un contact effectif entre la suspension de poudre de néré et la feuille de mil sont à améliorer.

Une analyse isoenzymatique d'isolats de S. graminicola provenant des deux sites montre l'existence de plusieurs types de populations du champignon dans chacune des localités.

La technique d'électrophorèse appliquée aux protéines foliaires de cinq variétés de mil cultivées sur 3 sites (Kamboinsé, Kouaré et Farako-bâ) met en évidence des ressemblances entre les profils enzymatiques des variétés suivant leur sensibilité au mildiou.

### Mots-clés:

- Sclerospora graminicola
- Mil Pennisetum glaucum
- Evaluation de méthodes traditionnelles de lutte
- Substances naturelles
- Caractérisation biochimique

**INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

Le mil, [Pennisetum glaucum (L.) R.Br.], est annuellement cultivé sur 26 millions d'hectares dans les zones tropicales semi-arides d'Afrique et de l'Inde où il assure la subsistance de millions d'agriculteurs (THAKUR, 1987). Il occupe le huitième rang des céréales produites dans le monde après le blé, le riz, le maïs, l'orge, le sorgho, l'avoine et le seigle (TARDIEU, 1985).

Au Burkina-Faso, sa superficie emblavée (1 075 554 hectares pour la campagne 1994/1995 soit 46,6% des superficies dévolues aux céréales) et sa production en grain (692 387 tonnes soit 36,2% de la production céréalière), en font la seconde céréale après le sorgho (DSAP, 1995). La production du mil est malheureusement sujette à plusieurs types d'aléas que sont les mauvais régimes pluviométriques, la pauvreté des sols, les infestations par des plantes parasites, les attaques d'insectes et les maladies. Parmi les maladies affectant la productivité du mil, le mildiou, causé par Sclerospora graminicola (SACC) SCHROET., est la plus importante et la plus répandue dans les zones de culture de la céréale (WILLIAMS, 1984; THAKUR, 1987).

Un effort considérable a été déployé au cours des dix dernières années par les instituts nationaux et internationaux dans la recherche de solutions aux dégâts dûs au mildiou. Parmi celles-ci, l'on peut citer la mise au point de plusieurs méthodes de lutte. Cependant, d'énormes contraintes freinent l'application de la plupart de ces méthodes par le paysan. Par exemple, la lutte chimique est onéreuse et/ou néfaste pour l'environnement. Certaines pratiques culturales recommandées, comme les labours profonds, nécessitent l'emploi d'un matériel agricole lourd. La progression d'utilisation des variétés résistantes est très lente car ne répondant pas toujours aux attentes des producteurs (cycle, exigences, goût, etc).

Toutes ces contraintes ont conduit plusieurs structures nationales de recherches agricoles, dont l'Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles (IN.E.R.A.) du Burkina-Faso, à s'inté-



resser à de nouvelles approches de lutte, notamment l'utilisation de méthodes traditionnelles de lutte en vue de leur valorisation. L'utilisation des méthodes traditionnelles présente le double avantage de facilité d'adoption par les producteurs (principaux initiateurs des dites méthodes) et de sauvegarde de l'environnement.

Notre travail a consisté à vérifier dans un environnement propice au développement du mildiou, l'efficacité de trois méthodes traditionnelles de lutte contre la maladie au Burkina, à les valider scientifiquement afin de mettre à la disposition des producteurs des moyens de contrôle fiables et à leur portée. Ces méthodes consistent à l'emploi de substances naturelles que sont la poudre de néré (Parkia biglobosa (JACQ.) BENTH.), les résidus d'extraction de beurre de karité (Vitellaria paradoxa (GAERTN.f.) syn. (Butyrospermum paradoxum) et la poudre de feuilles séchées d'holarrhène (Holarrhena floribunda (G. DON.) et SCHINZ).

Pour une meilleure compréhension des relations Sclerospora graminicola-Pennisetum glaucum, nous avons aussi entrepris des études biochimiques de quelques isolats du champignon et de quelques variétés de mil. L'objectif visé ici s'inscrit dans le cadre de l'élargissement des critères d'appréciation du pouvoir de variation du champignon en vue de mieux caractériser ses principales populations. Cette caractérisation permettra une meilleure conception de stratégies efficaces de lutte contre la maladie.

Le présent mémoire est présenté suivant le plan ci-dessous:

- Une première partie donnant un aperçu bibliographique sur la culture du mil au Burkina et sur le mildiou.
- Une deuxième partie portant sur une évaluation de l'efficacité de trois produits végétaux contre le mildiou du mil.
- Une troisième partie axée sur la caractérisation biochimique de quelques isolats de Sclerospora graminicola et de variétés de mil présentant des niveaux de résistance différents au mildiou.
- Une quatrième partie présentant la conclusion générale et les perspectives.

**PREMIERE PARTIE :      REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE  
MIL ET SUR LE MILDIOU DU MIL.**

## LE MIL ET LE MILDIOU DU MIL

### 1.1 - LE MIL.

Le mil, [Pennisetum glaucum (L.) R.Br. (syn. P. americanum (L.) LEEKE, P. typhoides (BURM.) STAPF et HUBB.] est une céréale adaptée aux zones tropicales semi-arides.

Treize espèces de mil cultivées ont été reconnues par STAPF et HUBBARD en 1934, mais cette liste fut réduite à une seule espèce (Pennisetum americanum) par CLAYTON en 1972 (De WET, 1987). Les mils pénicillaires appartiennent à :

- La Classe des MONOCOTYLEDONES.
- L'Ordre des GLUMALES.
- La Famille des POACEAE (GRAMINEES)
- La Sous-famille des PANICACEAE.
- Le Genre PENNISETUM.

Le genre PENNISETUM est distribué dans les zones tropicales et subtropicales du monde (De WET, 1987).

L'Afrique et l'Inde sont les plus grands producteurs de mil dans le monde. Près d'un tiers de la production mondiale provient de l'Afrique; l'Afrique de l'Ouest fournissant 70% de la production du continent (SPENCER et SIVAKUMAR, 1987). Le Nigeria, le Niger, Le Mali, le Burkina-Faso, le Sénégal et le Tchad sont les principaux pays ouest-africains producteurs de mil.

En Inde, le mil occupe le quatrième rang des céréales (HARIRYANA, 1987).

#### 1.1.1 - La culture du mil au Burkina

Au Burkina, le mil occupe le second rang des céréales après le sorgho (tableau I.1), constituant ainsi un aliment de base dans ses zones de culture.

Il est plus riche que le sorgho (protéines 12,1%, glucides 69,4%, lipides 5%, fibres et cendres 4,7%), et sa valeur énergétique est

l'une des plus élevées parmi les céréales (784 cal/kg) (ROONEY et MCDONOUGH, 1987).

Son utilisation culinaire est variée: pâte (tô), bouillie, couscous, galettes, gâteaux, "zoom-koom" (boisson locale à base de farine de mil), etc.

Les tiges servent de fourrage pour les animaux domestiques, de combustibles pour les ménages.

Adapté aux zones semi-arides, le mil est cultivé dans toutes les régions du Burkina à des degrés divers, et où, il occupe généralement les terres les plus sèches et moyennement fertiles. Ainsi, cette céréale occupe 75% des superficies cultivées au Nord, 35% au Centre et 21% au Sud (ZANGRE *et al.*, 1990).

La culture du mil, à l'image de l'ensemble de l'agriculture burkinabè (type traditionnel), est marquée par l'emploi d'un matériel rudimentaire et un faible usage d'intrants. En outre, la pluviométrie aléatoire et erratique, les infestations des champs par le striga (*Striga hermonthica*), les insectes (cantharides), les maladies (mildiou surtout) sont des facteurs qui limitent énormément la productivité de la plante dans les conditions paysannes et dont le rendement en grains atteint à peine (600 kg/ha) (figure 1).

**Tableau I.1 :** Superficies emblavées (en hectares) et productions (en tonnes) de trois principales céréales (sorgho, mil, maïs) au Burkina, de 1990 à 1994.

années	sorgho		mil		maïs	
	sup.	prod.	sup.	prod.	sup.	prod.
90/91	1287900	750500	1022000	449000	176500	257900
91/92	1362000	1238300	1208500	848500	186800	315100
92/93	1454889	1292100	1142834	783500	212004	341300
93/94	1523520	1228380	1141890	763690	306140	418460
94/95	1360234	1063015	1075554	692387	307959	364602

Source : Direction des statistiques agro-pastorales (DSAP, 1991; 1992; 1993; 1994; 1995).

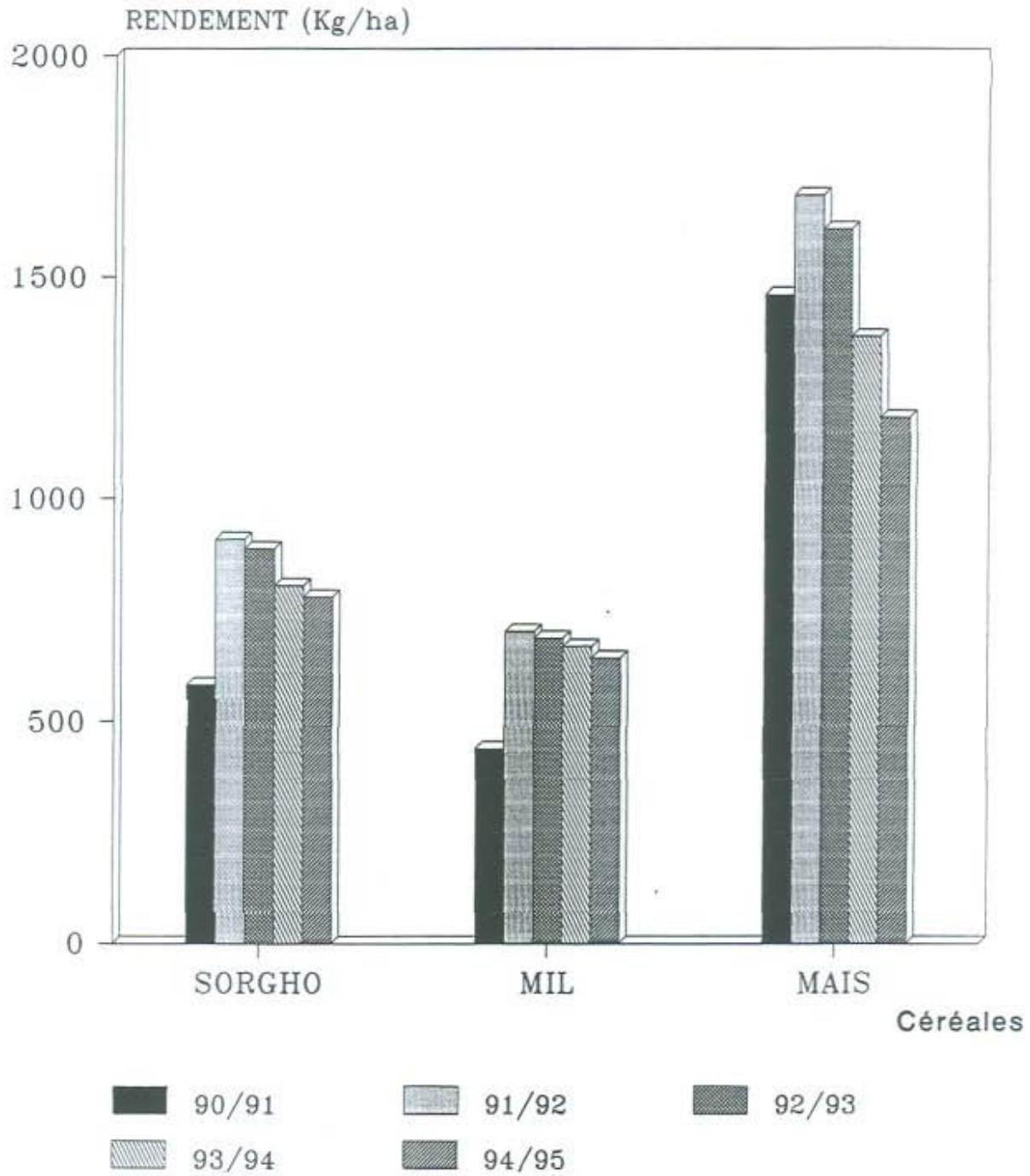


Figure 1 : Rendement moyen (kg/ha) de 3 céréales au Burkina-Faso de 1990 à 1994 (DSAP, 1991; 1992; 1993; 1994; 1995).

## 1.2 - LE MILDIOU DU MIL.

### 1.2.1 - Importance économique

Le mildiou, causé par Sclerospora graminicola, est la maladie du mil la plus importante et la plus répandue dans toutes ses zones de culture (THAKUR, 1987).

En 1973 et 1983 de graves épidémies de mildiou ont entraîné en Inde des pertes de rendement de 10 à 45% sur des hybrides (SINGH et al., 1987).

Des baisses de production allant de 6 à 10% ont été estimées en Afrique de l'Ouest (N'DOYE et al., 1986).

Des taux de mortalité atteignant 50 et 90% ont été notés dans les régions Nord-Ouest et Sud-Ouest du Burkina (FROWD et SEREME, 1981).

Des baisses fréquentes de rendement de 21 et 30% ont été enregistrées respectivement dans les champs de paysans aux alentours de Kamboinsé et en station (SEREME, 1987). Dans la région Est du pays (CRPA de l'Est), des pertes de production de l'ordre de 60% ont été enregistrées (SEREME, 1995a).

### 1.2.2 - Biologie, épidémiologie et cycle de développement

#### Description

Initialement appelé Protomyces graminicola, le champignon responsable du mildiou a été rebaptisé Sclerospora graminicola par SCHROET en 1979. C'est un champignon inférieur de la classe des SIPHOMYCETES appartenant à l'Ordre des PERONOSPORALES et à la famille des PERONOSPORACEAE. Il produit deux types de spores:

- Les oospores issues de la reproduction sexuée, sont globuleuses et mesurent entre 19 et 60  $\mu\text{m}$  de diamètre (KENNETH, 1975). Elles peuvent conserver leur pouvoir infectieux pendant dix ans (WILLIAMS, 1984).

- Les zoosporanges issus de la reproduction asexuée sont incolores, ovoïdes et ont des dimensions de 15 à 22 x 12 à 18  $\mu\text{m}$ . Ils abritent les zoospores responsables de l'infection secondaire au champ (SINGH et WILLIAMS, 1980).

### Symptômes

Les symptômes de mildiou sont variables. La plantule attaquée présente d'abord une décoloration du feuillage (aspect chlorotique ou jaunâtre) (figure 2). A la faveur d'une forte humidité de l'air, on observe une sporulation blanche sur la face inférieure des feuilles (figure 2). Ce sont les sporanges contenant les zoospores.

Lorsque l'infection survient très tôt ou lorsqu'elle est très sévère, la plupart des plantules infectées meurent. A l'épiaison, les inflorescences des plantes infectées peuvent être entièrement ou partiellement virescentes suite à l'hypertrophie des organes floraux qui prennent alors un aspect foliacé (figure 3).

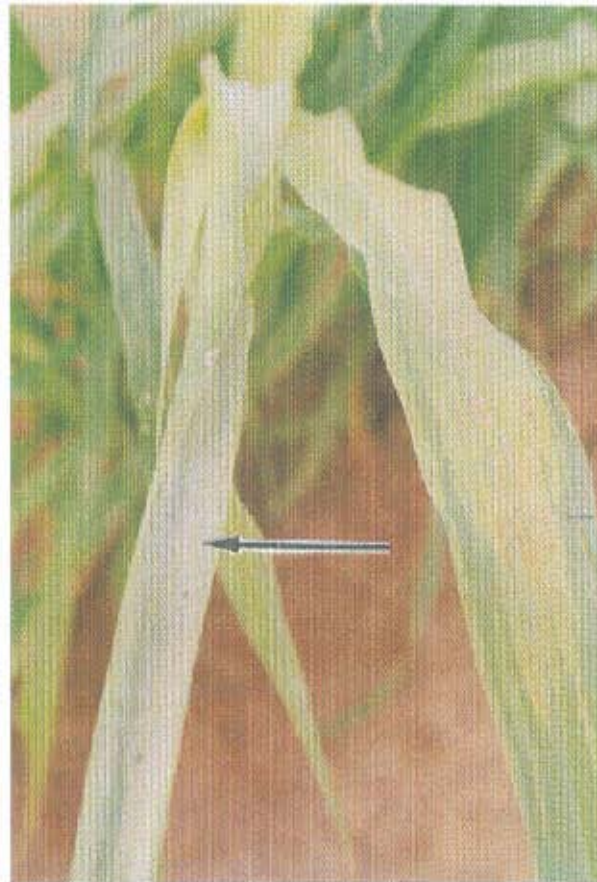
### Transmission

Les oospores contenues dans les débris végétaux et les semences infectés constituent la source d'inoculum primaire au niveau du sol. Les spores pénètrent dans les tissus de la plante par les stomates ou par les racines. Le stade plantule est le stade le plus propice à l'infection qui est systémique (ANONYME, 1977).

Les zoosporanges, formés à partir des feuilles infectées lorsque les conditions sont favorables (humidité relative saturante avec une température voisine de 25°C (NENE et SSINGH, 1976)), constituent l'inoculum secondaire. Disséminés sur plusieurs centaines de mètres par l'eau de pluie et le vent, les zoosporanges libèrent les zoospores qui initient une nouvelle infection en envahissant les méristèmes des jeunes plantes ou des talles, assurant ainsi la propagation de la maladie au cours de la même saison (SINGH et WILLIAMS, 1980; WILLIAMS, 1984).



a



b

Figure 2 : Symptômes de mildiou sur feuilles de mil :  
décoloration du feuillage (a), présence d'une  
efflorescence blanche (zoosporanges) sur la face  
inférieure d'une feuille infectée (b).





a



b



c

Figure 3 : Différents types de symptômes de mildiou sur épis de mil : épi partiellement difforme (a), épis complètement difformes (b) et (c).

### Variabilité du pathogène

L'existence d'une variabilité a d'abord été prouvée dans le cas du couple mil-mildiou, grâce aux travaux de BALL et al. (1986). Dans une étude avec des isolats de mildiou en provenance de diverses régions de culture de mil (Inde, Afrique de l'Ouest, de l'Est et du Sud) ils ont montré que les isolats de l'Afrique de l'Ouest, exceptés ceux du Sénégal, sont plus virulents que ceux de l'Inde.

D'autres travaux en Afrique de l'Ouest ont révélé des différences de pathogénicité entre les isolats de la région (BALL, 1983 ; ICRISAT, 1987) et même à l'échelle d'un même pays (SEREME, 1988). En effet, des tests de criblage au mildiou effectués au niveau des sites de Kamboinsé, de Farako-bâ et de Kouaré ont permis de noter des différences de pathogénicité entre les isolats de ces localités, ceux de Kouaré s'étant montrés plus virulents que ceux des deux premières.

Une spécialisation physiologique du champignon a aussi été prouvée par les travaux de KENNETH (1975) qui révèlent que les isolats de Sclerospora graminicola issus du mil semblent attaquer uniquement cette graminée. KENNETH (1975), NENE et SINGH (1976) indiquent également que les isolats de Setaria spp. et de Panicum spp., autres hôtes de Sclerospora graminicola, n'attaquent pas Pennisetum americanum et vice-versa, sauf une exception signalée en Inde.

### Cycle de développement du parasite (figure 4)

#### 1.2.3 - Les moyens de lutte

Les principales méthodes potentiellement applicables au Burkina sont les suivantes:

#### Les techniques culturales

L'élimination des plantes malades en cours de végétation et à la récolte permet de réduire le risque de propagation de la maladie au cours de la saison et des années suivantes, (SINGH et WILLIAMS, 1980). Cependant, l'efficacité de cette technique dépend de la rapidité d'intervention et de la mobilisation de

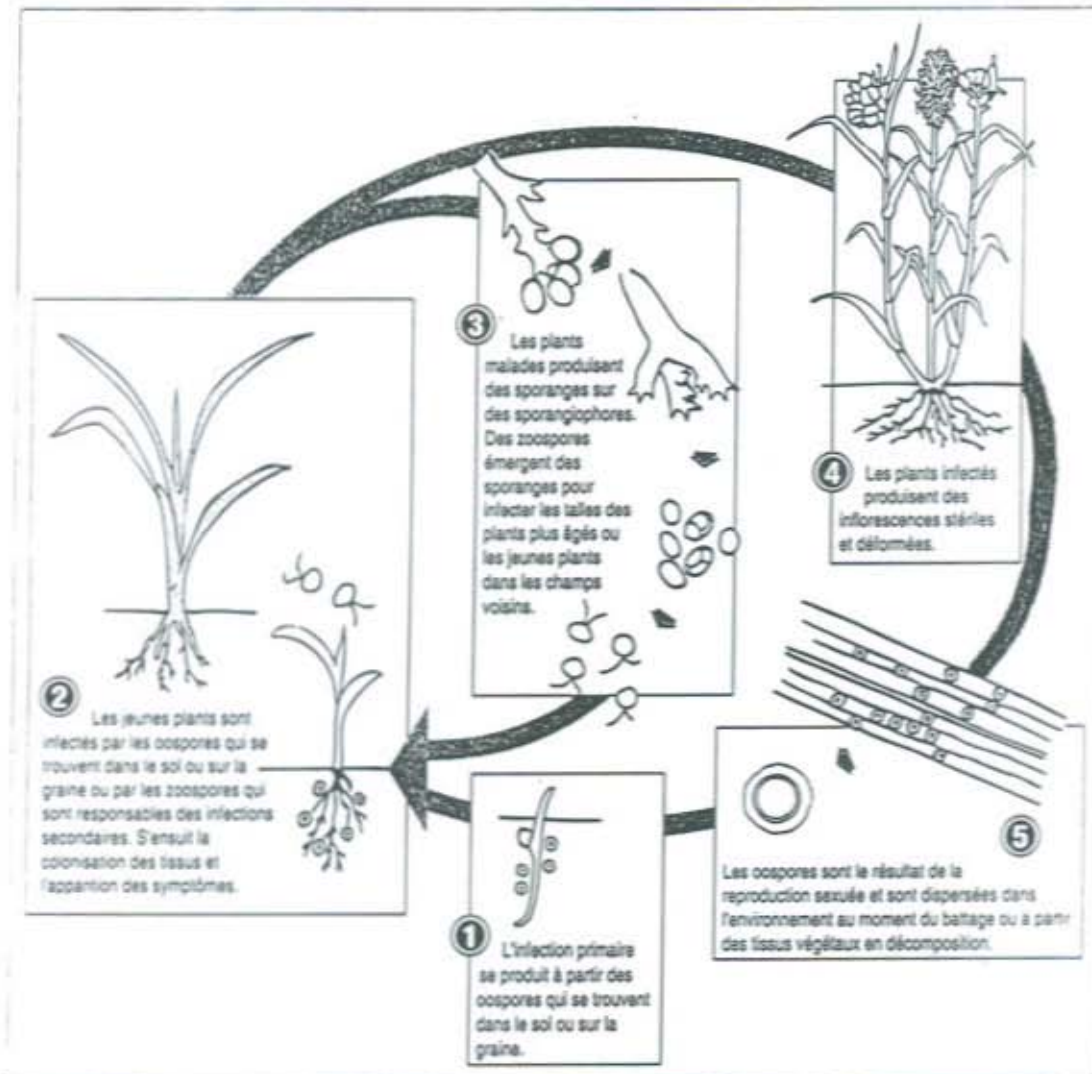


Figure 4 : Cycle évolutif du mildiou du mil (*Sclerospora graminicola*)  
(Modifié d'après le croquis de WILLIAMS, 1984)

l'ensemble des producteurs de la zone. Les travaux du ROCAFREMI menés au Burkina-Faso, au Mali et au Sénégal, montrent que les arrachages précoces des plantes attaquées présentent un intérêt sur la limitation de la propagation de la maladie mais pas pour la production en grains (ROCAFREMI, 1993).

#### La lutte chimique

La mise au point de fongicides anti-siphomycètes dotés de propriétés systémiques permet d'envisager de nos jours de manière plus économique l'utilisation de la méthode chimique.

Parmi ces fongicides, l'"Apron<sup>R</sup> Plus 50 DS" (Methyl N-(2,6-dimethyl-phenyl) -N-(2'methoxyacetyl) -D,L-alaninate), mis au point par une firme suisse (CIBA-GEIGY), s'est révélé efficace contre le mildiou à la dose de 15 g de produit par kilogramme de semences après plusieurs années d'expérimentation au Burkina (INERA, 1993). Composé d'insecticide (34% de Furathiocarbe) et de fongicides (10% de Métalaxyl, 6% de Carboxine), l'Apron Plus protège également les semences contre d'autres microorganismes et insectes susceptibles d'affecter leur germination. Le contrôle de la maladie par l'Apron Plus a permis de dégager en milieu paysan, un gain de rendement grains de 23% à kamboinsé sur Kapèlga, variété locale de mil de la dite localité (INERA, 1993).

Cependant, compte-tenu de l'apparition de souches résistantes à ce fongicide comme ce fut le cas avec le couple sorgho- Perenospora sorghi (CRAIG et ODVODY, 1987), le Métalaxyl ne devrait pas être recommandé pour des variétés sensibles. Il est plus indiqué de l'associer aux variétés plus résistantes pour minimiser ces risques d'apparition de nouvelles souches.

En outre, cette méthode n'est pas toujours accessible à la majorité des producteurs burkinabè.

#### La lutte génétique

Cette méthode qui consiste à utiliser des variétés résistantes, est de nos jours, la moins onéreuse et plus pratique pour les paysans. Un effort important déployé par les instituts de recherche (ICRISAT, INERA) a permis de mettre au point des variétés résistantes (IKMV 8201, IKMC-1) à modérément résistantes

(IKMP1, IKMP3, IKMP5) au mildiou. Ces matériels sont actuellement proposés à la vulgarisation. Cependant, certaines de leurs caractéristiques (cycle, goût, exigences en éléments nutritifs, etc.) ne répondent pas toujours aux attentes des producteurs, limitant ainsi leur adoption par ces derniers.

#### **Stratégies paysannes de lutte contre le mildiou**

Plusieurs méthodes traditionnelles de lutte contre le mildiou ont été recensées auprès des producteurs burkinabè de mil dans différentes régions du pays (SEREME, 1993; 1994; 1995b). Ces méthodes portent sur les pratiques culturelles telles que les rotations culturales, les jachères, l'élimination des talles malades, l'arrachage des plantes malades. Certaines substances naturelles telles que la poudre de néré (Parkia biglobosa), les tourteaux ou résidus d'extraction de beurre de karité (Vitellaria paradoxa) et la poudre des feuilles séchées d'holarrhène (Holarrhena floribunda) sont utilisées par les producteurs comme des phyto-fongicides dans le cadre de la lutte contre le mildiou. Ils utilisent aussi des méthodes mystiques comme par exemple "éviter de semer le mil pendant la pleine-lune", "jeter du sel dans le champ avant le premier sarclage", etc.

Parmi les méthodes inventoriées, celles relatives à l'utilisation de substances naturelles pour contrôler la maladie, retiennent notre attention car se révélant être très répandues et plus pratiquées par les paysans. Il s'agit de l'utilisation de la poudre de néré, des résidus d'extraction de beurre de karité et de la poudre des feuilles séchées d'holarrhène.

#### La poudre de néré

Le néré (Parkia biglobosa (JACQ.) BENTH.) appartient à la famille des MIMOSACEAE. C'est une espèce végétale de la région sahélienne d'Afrique. Cet arbre procure des produits alimentaires de grande valeur nutritionnelle aux populations rurales de son aire de distribution (BONKOUNGOU, 1987a).

Les graines, riches en protéines (35%) et en lipides (29%) sont surtout utilisées sous forme de condiment préparé après fermentation ("soubala") (TOURY, cité par KERHARO et ADAM, 1974).

En toxicologie, des études ont montré que:

- L'exocarpe des gousses contient une substance toxique utilisée pour tuer les poissons des mares.
- L'écorce de l'arbre et les cosses des fruits contiennent un principe cristallisé, la parkine qui serait un alcaloïde pour certains et un glucoside pour d'autres (KERHARO et ADAM, 1974).
- L'exocarpe des gousses est utilisé dans le crépissage des murs.

En thérapeutique africaine, les écorces et les racines soignent plusieurs maux tels que la stérilité, les trachéites, les pneumonies, la lèpre, les maladies vénériennes, etc.

Les feuilles sont utilisées contre les dermatoses, les filarioses, les oedèmes et les bronchites.

La farine de la pulpe a des propriétés laxatives. De par sa composition chimique (tableau I.2), la pulpe, riche en saccharose (80,7% de glucides totaux), constitue un excellent aliment énergétique.

La farine de la pulpe est aussi utilisée en traitement des semences comme moyen de lutte contre le mildiou par des paysans de plusieurs régions du Centre, du Centre-Nord, du Centre-Sud, de l'Est, du Centre-Est et du Sud-Ouest du Burkina (SEREME, 1993; 1994; 1995b).

Les travaux de SEREME en 1993 portant sur la vérification de l'efficacité de cette méthode contre le mildiou, menés dans les stations de kamboinsé et de kouaré ont montré que la dose de 25 g de poudre de néré par kilogramme de semences dépréciait la levée des plantes de mil dans ces deux stations. En outre, il a été possible de voir dans les conditions de Kouaré que l'utilisation du produit freinait la progression de la maladie. Cependant, avec l'emploi de doses plus faibles (15 g, 10 g et 5 g de poudre de néré/kg de semences) on supprimait et l'effet de dépréciation de la levée et l'effet protecteur contre le mildiou (SEREME, 1994). D'autres études menées au laboratoire de phytopathologie de Kamboinsé sur l'incidence de la poudre de néré sur le développement du mildiou en conditions contrôlées ont montré que le produit utilisé en suspension liquide semblait freiner la production de zoosporanges du champignon (SEREME, communication personnelle).

Tableau I.2 : Composition chimique de la poudre de néré  
(D'après TOURY, cité par KERHARO et ADAM,  
1974).

constituants	Quantité en %
protéines	12,5
protides	3,4
lipides	0,5
glucides	80,7
cellulose	12,6
matières minérales	2,9
vitamine A	1,2
vitamine C	0,26
thiamine	0,001
niacine	0,001
riboflavine	0,001

#### Les résidus d'extraction de beurre de karité

Le karité (*Vitellaria paradoxa* (GAERTN.f.) syn. *Butyrospermum paradoxum*) est une espèce spontanée de la région soudano-sahélienne d'Afrique, surtout connue pour son beurre. Il appartient à la famille des SAPOTACEAE.

Les utilisations du karité sont nombreuses ce qui lui a valu le nom d'"arbre à usages multiples" (BONKOUNGOU, 1987b).

L'amande (55% de matières grasses) constitue la principale substance oléagineuse d'origine végétale la plus communément utilisée dans les régions sèches d'Afrique avant l'introduction du sésame et de l'arachide (BOGNOUNOU, 1988).

Le bois est utilisé en ébénisterie.

Les sous-produits tels que les tourteaux servent à la construction, au crépissage des maisons, aux soins des animaux, d'insecticide (notamment contre les termites), de combustible. Les tourteaux sont aussi utilisés comme compost pour fertiliser les champs. Outre ces usages, les tourteaux sont employés en milieu paysan au Burkina-Faso pour lutter contre le mildiou du mil. Cette pratique existe notamment dans les villages de Niou, Boussé et Dapelgo, au centre du pays. Les enquêtes indiquent que les paysans utilisent les tourteaux en épandage dans le champ, autour du champ, ou encore autour du champ puis en diagonales dans le champ, dès l'apparition des symptômes de la maladie (SEREME, 1993).

Cette méthode expérimentée en stations en 1994 a permis une faible protection des plantes contre l'infection (SEREME, 1994).

#### La poudre de feuilles d'holarrhène

L'holarrhène [Holarrhena floribunda (G. DON) DUR et SCHINZ var. floribunda (syn. H. africana DC., H. wulfsbergii STAPP, Rondeletia floribunda DON] est une APOCYNACEAE rencontrée un peu partout dans les forêts sèches. L'holarrhène est un arbre atteignant 15 mètres de haut en région guinéenne, mais ne dépassant pas 3 à 4 mètres dans les savanes boisées.

En médecine traditionnelle cette plante est réputée principalement pour ses propriétés antiparasitaire, diurétique et fébrifuge. Le principal alcaloïde actif extrait des écorces du tronc et des racines est la conessine reconnue efficace contre les protozoaires (KERHARO et ADAM, 1974). Des études menées au Burkina ont montré que les feuilles ne contiennent pas de conessine (DUEZ et al., 1987).

Des acides phénoliques (acide p-hydroxybenzoïque, acide p-coumarique) sont retrouvés dans les feuilles et les graines (PARIS et DURET, cités par BEVER, 1986).

Les travaux d'inventaires des méthodes traditionnelles de lutte contre le mildiou du mil au Burkina de SEREME (1995b) mentionnent que la poudre des feuilles séchées d'holarrhène est utilisée en traitement des semences contre la maladie, principalement dans la région Sud-Ouest du pays (CRPA de la Comoé). La dose employée par les paysans est de deux poignées de poudre pour une quantité de semences de mil égale à la contenance d'une grosse boîte (2 kg) de purée de tomate, ce qui correspond à environ 45 g de poudre pour un kilogramme de semences.



### 1.3 - CONCLUSION A L'ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Au terme de cette étude bibliographique, il ressort que la culture du mil (seconde céréale après le sorgho) au Burkina est fortement handicapée par le mildiou, maladie la plus importante de la plante. Diverses raisons (coût, inadaptation, ...) freinent l'application des méthodes de lutte déjà mises au point contre cette maladie. Aussi la recherche de stratégies présentant le double avantage de sauvegarde de l'environnement et la facilité d'adoption par les producteurs demeure la préoccupation majeure. Certaines substances naturelles (poudre de néré, résidus d'extraction de beurre de karité, poudre des feuilles séchées d'holarrhène) sont utilisées par les producteurs de cette céréale pour lutter contre la maladie (SEREME, 1993; 1994; 1995b).

Les expérimentations entreprises sur la poudre de néré montrent que cette substance, utilisée en traitement de semences, ne semble pas offrir une garantie de protection des plants contre la maladie (SEREME, 1993; 1994). Il serait par conséquent plus indiqué de chercher à définir d'autres modes d'action et des conditions optimales d'utilisation de ce produit.

Les résidus d'extraction de beurre de karité, testés en 1994 contre le mildiou en stations ont montré une efficacité limitée (SEREME, 1994). Cependant, il faut remarquer que l'épandage des résidus n'a eu lieu qu'après l'apparition des premiers symptômes de la maladie dans la parcelle. Aussi, est-on tenté de se demander s'il n'était pas plus indiqué que les résidus soient en contact avec l'inoculum primaire du mildiou au niveau du sol, vu les nombreux usages de ce produit par les paysans particulièrement dans la protection du bois et autres maisons ou greniers en paille contre divers organismes (notamment les termites).

La poudre de feuilles séchées d'holarrhène utilisée par les paysans du Sud-Ouest du Burkina pour lutter contre le mildiou du mil (SEREME, 1995b), pourrait être prise en compte dans l'élaboration de nouvelles stratégies de lutte contre la maladie. Mais auparavant, son efficacité mérite d'être prouvée.

Le développement de stratégies efficaces de lutte contre le mildiou nécessite également une bonne connaissance des relations entre la culture et son pathogène. Des différences de pathogénicité sont notées entre des isolats de différentes zones écologiques (BALL, 1983; BALL et al., 1986; SEREME, 1988). Néanmoins, un élargissement des critères d'appréciation du pouvoir de variation du pathogène est nécessaire pour mieux caractériser ses principales populations ainsi que leurs relations avec la plante-hôte.

DEUXIEME PARTIE : EVALUATION DE L'EFFICACITE DE LA  
POUDRE DE NERE, DES RESIDUS  
D'EXTRACTION DE BEURRE DE  
KARITE ET DE LA POUDRE DE  
FEUILLES D'HOLARRHENE CONTRE  
LE MILDIOU DU MIL.

DEUXIEME PARTIE : EVALUATION DE L'EFFICACITE DE LA POUDRE DE NERE, DES RESIDUS D'EXTRACTION DE BEURRE DE KARITE ET DE LA POUDRE DE FEUILLES D'HOLARRHENE CONTRE LE MILDIOU DU MIL.

2.1 - INTRODUCTION

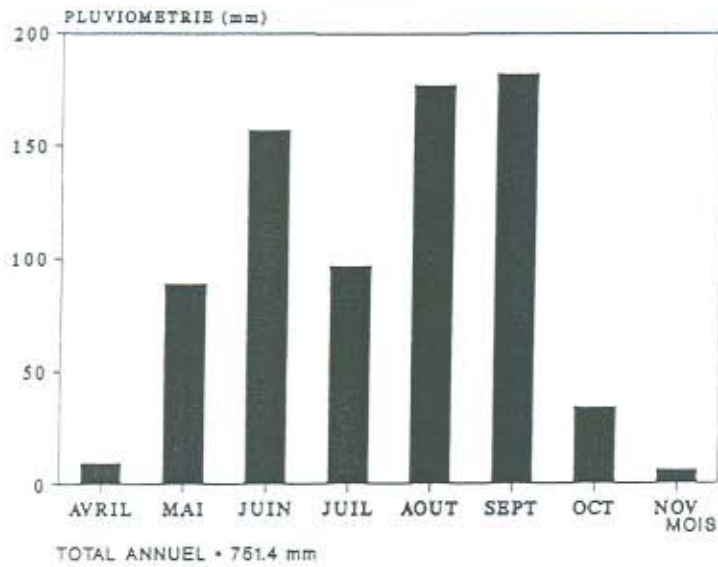
Le mildiou est une des contraintes majeures à la production du mil au Burkina. Pour lever tant soit peu cette contrainte, les paysans ont développé diverses stratégies parmi lesquelles l'emploi de la poudre de néré, des résidus d'extraction de beurre de karité et de la poudre de feuilles d'holarrhène. Ces stratégies sont d'autant plus encourageables qu'elles permettent la sauvegarde de l'environnement et un potentiel de vulgarisation auprès des producteurs. Cependant, des questions persistent quant à l'efficacité de ces méthodes et à l'optimisation de leur utilisation: sont-elles réellement efficaces contre le mildiou? Sont-elles employées de façon optimale par leurs utilisateurs ?

Le travail que nous avons entrepris vise à apporter un début de réponse à ces différentes interrogations. A cet effet, le Centre de Recherches Agricoles et de Formation de Kamboinsé (CRAF) et la station de Recherches Agricoles de Kouaré, situés dans la zone de climat nord-soudanien et constituant également des sites de criblage au mildiou, ont été retenus comme cadres d'étude.

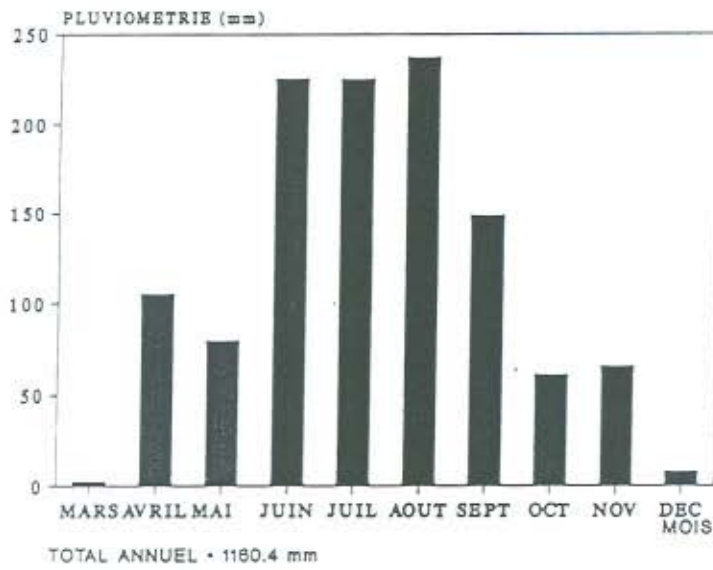
Le Centre de Recherches Agricoles et de Formation de Kamboinsé est situé dans la zone centrale du Burkina, à une quinzaine de kilomètres de Ouagadougou sur l'axe Ouaga-Kongoussi. La station de Recherches Agricoles de Kouaré est située dans le Centre Régional de Recherches Agricoles (CRRA) de l'EST du pays, à environ 13 km de Fada-N'gourma sur l'axe Fada-Komianga.

La pluviométrie annuelle est de 600-800 mm et 600-1000 mm à Kamboinsé et à Kouaré respectivement (figure 5).

ZU  
KAMBOINSE



FARAKO-BA



KOUARE

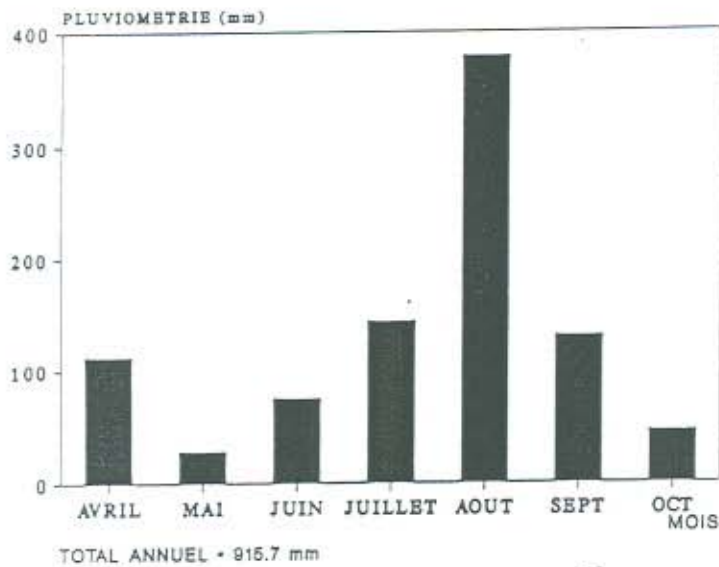


Figure 5 : Pluviométrie (mm) du CRAF de Kamboinsé, des stations de Farako-Bâ et de Kouaré durant la campagne 1995/1996

## 2.2 - MATERIELS ET METHODES

### 2.2.1 - Matériels

Le matériel végétal utilisé comprend:

- La variété locale de mil, Kapèlga, originaire de Kamboinsé dans la région centrale du pays et sensible au mildiou;
- la poudre de néré (Parkia biglobosa), achetée sur le marché;
- les résidus d'extraction de beurre de karité (Vitellaria paradoxa), achetés auprès d'une productrice de beurre de karité;
- la poudre de feuilles d'holarrhène obtenue à partir de la récolte des feuilles à Douna (Sud-Ouest du pays).

Le fongicide chimique, l'Apron<sup>R</sup> Plus 50 DS, a été utilisé en traitement des semences (15 g/kg de semences) comme témoin de référence par rapport auquel l'efficacité des trois produits contre le mildiou a été comparée.

### 2.2.2 - Méthodes

#### 2.2.2.1 - Les traitements

Au champ, la poudre de néré a été employée en application foliaire sur les plants de mil. Le dispositif utilisé est un split-plot à quatre répétitions avec les traitements suivants:

Parcelles principales : dates d'application foliaire (3):

- D1: 15 jours après semis.
- D2: 30 jours après semis.
- D3: 45 jours après semis.

Parcelles secondaires: doses de poudre néré (3 doses plus un témoin de référence et un témoin absolu):

- T0: témoin absolu (pulvérisation à l'eau).
- T1: 10 g de poudre de néré par litre d'eau et par parcelle élémentaire.
- T2: 20 g de poudre de néré par litre d'eau et par parcelle élémentaire.
- T3: 40 g de poudre de néré par litre d'eau et par parcelle élémentaire.

T4: témoin de référence (15 g d'Apron Plus par kilogramme de semences).

Les parcelles principales et les parcelles secondaires ont mesuré respectivement 75 et 9 m<sup>2</sup>.

La vérification de l'efficacité des résidus d'extraction de beurre de karité contre le mildiou a également pris en compte la détermination d'un mode d'application approprié du produit.

Ainsi les résidus ont été utilisés sous deux formes (sèche et liquide) à la dose unique de 50 kg à l'hectare.

L'expérimentation a été menée suivant un dispositif split-plot à quatre répétitions avec les modes d'application des résidus en parcelles principales et les dates d'application en parcelles secondaires.

Parcelles principales : modes d'application (3) :

M1: épandage des résidus séchés sur toute la parcelle.

M2: épandage des résidus séchés sur les lignes de semis.

M3: épandage des résidus liquides sur les lignes de semis.

Parcelles secondaires : dates d'application (2 dates plus un témoin absolu et un témoin de référence):

d0: témoin absolu .

d1: épandage des résidus 7 jours avant semis.

d2: épandage des résidus au semis.

d3: témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

Les parcelles principales et les parcelles secondaires ont mesuré respectivement 54 et 9 m<sup>2</sup> chacune.

La poudre de feuilles d'holarrhène a été utilisée en traitement des semences selon le dispositif expérimental en blocs-FISHER à quatre répétitions, comportant les traitements suivants:

T0: témoin absolu.

T1: 22,5 g de poudre de feuilles d'holarrhène par kilogramme de semences.

T2: 45 g de poudre de feuilles d'holarrhène par kilogramme de semences (dose des paysans).

T3: 90 g de poudre de feuilles d'holarrhène par kilogramme de semences.

T4: témoin de référence (15 g d'Apron Plus par kilogramme de semences).

Les parcelles élémentaires ont été de 9 m<sup>2</sup> chacune.

Au laboratoire, l'expérience a consisté en une quantification des zoosporanges de mildiou après traitement de feuilles de mil infectées à plusieurs concentrations de la suspension liquide de poudre de néré. Pour ce faire, de jeunes feuilles de mil infectées (ici de la variété kapèlga), issues de plantes âgées respectivement de 30, 45 et 60 jours, ont été immergées dans les suspensions liquides de poudre de néré (10 g, 20 g et 40 g de poudre de néré/litre d'eau) en présence d'un témoin absolu (immersion dans l'eau) pendant dix minutes. Les feuilles ont ensuite été mises en incubation pendant 12 heures, à l'obscurité, à une température de 20°C et une forte humidité relative (>80%), conformément à la technique de production de zoosporanges de mildiou au laboratoire décrite par SINGH et al. (1987).

Après incubation, les feuilles ont été découpées en rondelles de 1,33 cm<sup>2</sup> de surface chacune et les nouveaux zoosporanges formés ont été récoltés par lavage des portions de feuilles dans l'eau distillée (4 rondelles pour 10 ml d'eau). La quantification des zoosporanges a été faite au microscope (grossissement x 100) à l'aide d'un haemocytomètre (cellule de MALASSEZ) de dimensions: 0,2 mm de profondeur et 0,0025 mm<sup>2</sup> de superficie. Le nombre total de zoosporanges par millilitre a été obtenu en multipliant le nombre compté sur la cellule par 10<sup>3</sup>. La concentration a été exprimée en nombre de zoosporanges par cm<sup>2</sup> de surface foliaire.

#### 2.2.2.2 - Les pratiques culturales

Les semis ont été faits sur billons à Kamboinsé et à plat à Kouaré après le labour.

Les parcelles expérimentales ont été choisies au sein des parcelles infestantes de mildiou des deux sites expérimentaux. Les parcelles infestantes ont été localisées au sein d'anciens



champs de mil dans lesquels de forts taux d'attaque de mildiou ont été enregistrés en 1976 (Kamboinsé) et 1985 (Kouaré) et depuis lors, les résidus des récoltes y sont régulièrement enfouis pour permettre la conservation du pathogène dans le sol (selon la procédure élaborée par WILLIAMS et al., 1981). Pour amplifier l'épidémie au champ au cours de la saison culturale, des lignes dites "infestantes" de mildiou sont mises en place une à trois semaines avant l'implantation des lignes expérimentales. Ces lignes (pourvoyeuses de l'inoculum secondaire) sont ensemencées par un mélange de semences de la variété locale sensible à la maladie (kapèlga) et de la variété extrêmement sensible, 7042 (d'origine tchadienne). Une ligne infestante est implantée avant et après quatre lignes expérimentales. Cette technique permet d'obtenir, de façon naturelle une répartition homogène de l'inoculum secondaire sur les lignes à tester durant le stade plantule (période de plus grande vulnérabilité).

Chaque parcelle élémentaire a comporté 4 lignes de 4 mètres de long. Les écartements ont été de 0.75 mètre entre les lignes et 0.20 mètre entre les poquets.

La mise en place des essais s'est déroulée selon le calendrier indiqué par le tableau II.1.

La fumure a consisté à un apport de NPK (15-20-15) à la dose de 100 kg/ha au labour et à un apport d'Urée (50 kg/ha) à la montaison.

Un démariage a été effectué 15 jours après semis à raison d'une plante par poquet.

A kamboinsé un traitement au Décis a été mené contre les cantharides au stade début-épiaison.

Les sarclages ont été effectués à la demande.

#### 2.2.2.3 - Les observations

Les observations ont été faites sur les deux lignes centrales et ont essentiellement porté sur:

. Le nombre total de plantes par parcelle élémentaire après le démariage (15 jas).

- . Le nombre de plantes présentant des symptômes de mildiou 30, 45 et 60 jas.
- . La sévérité de mildiou au stade grain-laiteux
- . Le poids des grains

Tableau II.1 : Dates de semis et de démariage du mil dans les essais de Kamboinsé (KBSE) et Kouaré (KRE) - 1995.

essai	site	dates de semis		date démariage
		L.I. <sup>1</sup>	L.T. <sup>2</sup>	
poudre de nééré	KBSE	4/7/95	14/7/95	29/7/95
	KRE	9/7/95	19/7/95	3/8/95
résidus de beurre karité	KBSE	4/7/95	17/7/95	1er/8/95
	KRE	9/7/95	19/7/95	3/8/95
poudre des feuilles d'holarrhène	KBSE	4/7/95	14/7/95	29/7/95
	KRE	9/7/95	19/7/95	3/8/95

<sup>1</sup> lignes Infestantes

<sup>2</sup> Lignes Tests

#### 2.2.2.4 - Les méthodes d'évaluation de l'efficacité des produits utilisés contre le mildiou

Deux paramètres ont été utilisés pour évaluer l'efficacité des produits contre le mildiou du mil :

##### L'incidence de mildiou

Elle exprime le pourcentage de plantes présentant des symptômes de mildiou aux 30ème, 45ème et 60ème jours après semis. Elle permet de suivre l'évolution de la maladie dans le temps et est obtenue par la formule suivante:

$$I = \frac{n}{N} \times 100$$

où : n = nombre de plantes malades observées

N = nombre total de plantes observées

I = indice d'infection (en %).

### La sévérité de mildiou

Exprimant à la fois l'incidence et le degré de gravité de la maladie, la sévérité a été évaluée à partir de la maturité laiteuse des grains selon l'échelle à cinq classes mise au point par l'ICRISAT (ICRISAT, 1978). Cette évaluation a consisté à affecter à chaque plante observée une note suivant le degré d'attaque de la maladie (figure 6).

- 1 = pas de symptômes,
- 2 = symptômes sur les repousses axillaires seulement,
- 3 = symptômes sur les talles principales avec moins de 50% des épis attaqués,
- 4 = symptômes sur les talles principales avec plus de 50% des épis attaqués,
- 5 = symptômes sur toutes les tiges avec un manque d'épiaison effective ou plante entièrement morte au jeune âge (présence de paille ou de vide).

La sévérité générale exprimée en pourcentage a été obtenue selon la formule utilisée par WILLIAMS et SINGH (1981):

$$S = \frac{\sum_{i=1}^5 (x_i - 1) \times n_i}{[E(x_i) - 1] \times N} \times 100$$

où:  $x_i$  = note de la maladie pour chaque plante appartenant à la catégorie  $x_i$

$n_i$  = effectif de la catégorie  $x_i$

$E(x_i)$  = étendue de l'échelle de notation (5)

$N$  = effectif total observé

$S$  = indice de sévérité de la maladie (en %).

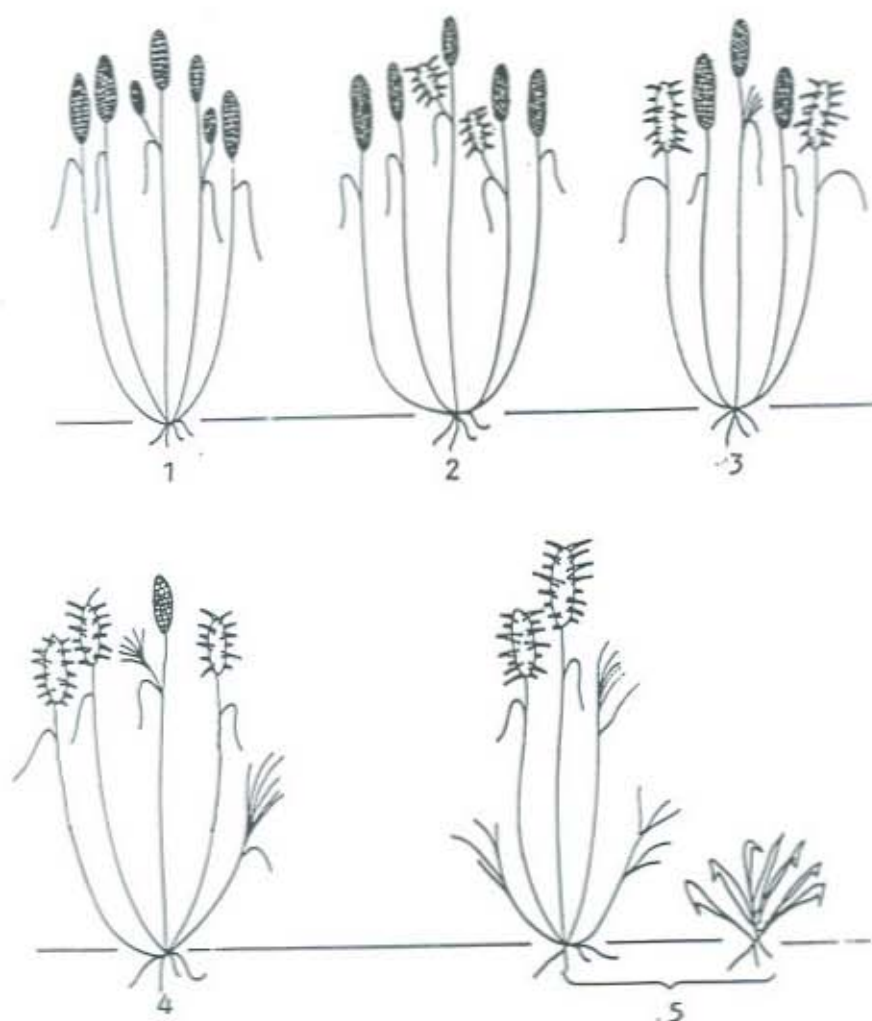


Figure 6 : Echelle pour la sévérité du mildiou (D'après ICRISAT, 1978)

- 1 : Pas de symptôme
- 2 : Symptômes sur les repousses **axillaires** seulement
- 3 : Symptômes sur moins de 50 % des tiges principales
- 4 : Symptômes sur plus de 50 % des tiges principales
- 5 : Symptômes sur plusieurs ou toutes les tiges avec manque d'épiaison effective ; plante entièrement morte au jeune âge.

## 2.3 - RESULTATS

### 2.3.1 - Evaluation de l'efficaciteit de la poudre de néré contre le mildiou du mil.

#### Résultats au champ

Les tableaux II.2 et II.3 illustrent les pourcentages d'attaque de mildiou dans les parcelles lors des différentes périodes d'observation (30, 45 et 60 jours après semis) à Kamboinsé et à Kouaré. En général, les incidences de mildiou ont été plus élevées à Kamboinsé qu'à Kouaré aux 45ème et 60ème jours après semis.

Statistiquement, les stades phénologiques de la plante auxquels les suspensions de poudre de néré ont été appliquées n'ont pas eu d'effet significatif sur les taux d'infection de mildiou (tableau II.4).

Les différentes doses de néré apportées en traitement foliaire n'ont pas entraîné une réduction des indices d'infection de mildiou comparativement au témoin absolu, et ce, dans les deux zones agro-climatiques que sont Kamboinsé et Kouaré (tableau II.5).

Seuls les taux d'attaque dans les parcelles T4 (témoin de référence) ont été significativement plus faibles que ceux observés dans les autres traitements (doses de poudre de néré et témoin absolu) dans les deux sites expérimentaux (tableau II.5).

Les pourcentages de sévérité de mildiou consignés dans le tableau II.6 indiquent que, d'une manière générale, les taux de sévérité ont été plus élevés à Kamboinsé qu'à Kouaré.

Les indices de sévérité dans les deux localités ont été relativement élevés (> 25%) toutes doses de néré confondues et quelle que soit la date d'application.

Tableau II.2 : Effet d'application à différentes dates<sup>1</sup> et doses, de suspensions de poudre de néré sur l'incidence de mildiou de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé en 1995.

Trait <sup>2</sup>	Incidences de mildiou (%) à 30 , 45 et 60 jas								
	30 jas			45 jas			60 jas		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
T0	27,17	22,39	26,73	36,36	42,56	37,90	43,65	49,08	42,60
T1	23,81	18,67	20,50	41,90	29,45	30,16	45,46	37,51	35,63
T2	15,11	26,85	17,98	22,68	40,70	33,60	24,56	42,53	42,54
T3	29,61	18,54	25,01	40,99	30,42	41,36	44,71	40,63	45,94
T4	1,25	0,00	0,00	1,88	2,74	1,19	5,58	3,93	4,16

<sup>1</sup> D1 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 15 jours après semis (jas), D2 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 30 jas, D3 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 45 jas.

<sup>2</sup> T0 = témoin absolu (pulvérisation à l'eau), T1 = 10 g de poudre de néré/litre d'eau, T2 = 20g de poudre de néré/litre d'eau, T3 = 40 g de poudre de néré/litre d'eau, T4 = témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

**Tableau II.3 :** Effet d'application à différentes dates<sup>1</sup> et doses, de suspensions de poudre de néré sur l'incidence de mildiou de la variété de mil Kapèlga à Kouaré en 1995.

Trait <sup>2</sup>	Incidences de mildiou (%) à 30 , 45 et 60 jas								
	30 jas			45 jas			60 jas		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
T0	23,78	20,73	28,74	28,01	21,89	28,74	31,00	27,97	34,96
T1	18,99	23,50	24,48	23,42	28,95	29,17	26,61	31,39	30,68
T2	19,26	31,74	22,02	27,98	31,74	28,60	30,63	37,43	29,92
T3	28,84	23,50	32,17	28,84	26,46	32,90	31,58	32,37	39,49
T4	5,63	4,89	6,82	6,85	11,43	6,82	10,00	14,47	8,02

<sup>1</sup> D1 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 15 jours après semis (jas), D2 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 30 jas, D3 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 45 jas.

<sup>2</sup> T0 = témoin absolu (pulvérisation à l'eau), T1 = 10 g de poudre de néré/litre d'eau, T2= 20g de poudre de néré/litre d'eau, T3 = 40 g de poudre de néré/litre d'eau, T4 = témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

**Tableau II.4 :** Effet d'application à différentes dates, de suspensions de poudre de néré sur l'incidence moyenne de mildiou de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Dates <sup>1</sup> d'appl.	KAMBOINSE				KOUARE			
	NP <sup>2</sup>	Incidences mildiou (%) à 30, 45 et 60 jas			NP	Incidences mildiou (%) à 30,45 et 60 jas		
		30 jas	45 jas	60 jas		30 jas	45 jas	60 jas
D1	35	18,59a	28,76a	32,79a	38	19,30a	23,02a	25,97a
D2	34	17,29a	29,17a	34,74a	39	20,87a	24,09a	28,72a
D3	32	18,04a	28,84a	34,17a	37	22,04a	25,25a	28,60a
Moy.		17,97	28,92	33,90		20,73	24,12	27,76
E.T.		10,40	14,21	14,33		9,08	6,23	10,20
CV(%)		57,80	49,10	42,30		43,30	25,80	36,70

<sup>1</sup> D1 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 15 jours après semis (jas), D2 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 30 jas, D3 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 45 jas.

<sup>2</sup> Nombre de plantes observées.

Les chiffres d'une même colonne affectés de la même lettre alphabétique ne sont pas différents au seuil de 5%.



**Tableau II.5 :** Effet d'application à différentes doses, de suspensions de poudre de néré sur l'incidence moyenne de mildiou de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Traitements <sup>1</sup>	KAMBOINSE				KOUARE			
	NP <sup>2</sup>	Incidences mildiou (%) à 30, 45 et 60 jas			NP	Incidences mildiou (%) à 30,45 et 60 jas		
		30 jas	45 jas	60 jas		30 jas	45 jas	60 jas
T0	33	24,10a	38,94a	45,11a	38	24,41a	26,21a	31,28a
T1	31	21,00a	33,84a	39,53a	38	22,32a	27,18a	29,56a
T2	33	19,98a	32,33a	36,54a	35	24,34a	29,44a	32,66a
T3	32	24,38a	37,59a	43,76a	37	28,17a	29,40a	34,48a
T4	41	0,42b	1,93b	4,56b	41	5,78b	8,36b	10,83b
Moy.		17,83	28,92	33,90		21,00	24,13	27,76
E.T.		9,27	10,52	10,38		7,93	9,06	10,86
CV(%)		51,60	36,40	30,60		37,80	37,60	39,10

<sup>1</sup> T0 = témoin absolu (pulvérisation à l'eau), T1 = 10 g de poudre de néré/litre d'eau, T2= 20g de poudre de néré/litre d'eau, T3 = 40 g de poudre de néré/litre d'eau, T4 = témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

<sup>2</sup> Nombre de plantes observées.

Les chiffres d'une même colonne affectés de la même lettre alphabétique ne sont pas différents au seuil de 5%.

**Tableau II.6 :** Effet d'application à différentes dates<sup>1</sup> et doses, de suspensions de poudre de néré sur les pourcentages de sévérité de mildiou de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Trait <sup>2</sup>	KAMBOINSE						KOUARE					
	Dates d'application des suspensions de néré						Dates d'applications des suspensions de néré					
	D1		D2		D3		D1		D2		D3	
	NP <sup>3</sup>	sév(%)	NP	sév(%)	NP	sév(%)	NP	sév(%)	NP	sév(%)	NP	sév(%)
T0	32	37,77	35	44,70	31	41,66	37	33,59	41	26,30	37	30,87
T1	29	40,34	32	33,79	33	33,33	39	25,21	40	28,42	36	32,94
T2	39	25,54	32	40,99	29	36,37	37	33,76	34	32,46	36	33,46
T3	35	45,23	31	34,17	29	42,02	37	31,50	40	26,61	35	36,93
T4	41	6,14	40	5,30	42	4,90	40	12,05	41	17,74	41	11,16

<sup>1</sup> D1 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 15 jours après semis (jas), D2 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 30 jas, D3 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 45 jas.

<sup>2</sup> T0 = témoin absolu (pulvérisation à l'eau), T1 = 10 g de poudre de néré/litre d'eau, T2 = 20g de poudre de néré/litre d'eau, T3 = 40 g de poudre de néré/litre d'eau, T4 = témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

<sup>3</sup> Nombre de plantes observées.

Les analyses statistiques des données, après transformation angulaire en arcsinus des pourcentages de sévérité (DANG et al., 1983) et la séparation des moyennes par le test de NEWMAN-KEULS, confirment que les doses de néré quelle que soit la date d'application n'ont pas entraîné une réduction sensible du mildiou, comparativement au témoin absolu (tableaux II.7 et II.8). Seul l'Apron Plus (témoin de référence) a permis une réduction significative de la maladie, cette réduction étant plus importante à Kamboinsé qu'à Kouaré (tableaux II.8).

De manière générale, les rendements en grains ont été plus élevés à Kamboinsé (1075-2175 kg/ha) qu'à Kouaré (875-1792 kg/ha) (tableau II.9). Les productions dans les parcelles non traitées (témoin absolu) ont globalement été comparables à celles des parcelles traitées au néré.

A Kamboinsé, l'emploi de l'Apron Plus (témoin de référence) a permis d'obtenir un gain de rendement significatif (de 17,68 à 32,72%) par rapport aux autres traitements, ce qui n'est pas le cas à Kouaré (tableau II.8). Dans la dernière localité, les productions dans les parcelles T4 n'étaient significativement plus élevées que celles obtenues au traitement T2 (20 g de poudre de néré/litre d'eau).

**Tableau II.7 :** Effet d'application à différentes dates<sup>1</sup>, de suspensions de poudre de néré sur les pourcentages de sévérité de mildiou et le rendement en grains de la variété de mil Kapèlga à Kouaré en 1995.

Dates <sup>1</sup>	Kamboinsé			Kouaré		
	Sévérité(%)	RDT(kg/ha)		Sévérité(%)	RDT(kg/ha)	
D1	31,29	(18,24)a	1482a	27,31	(15,85)a	1192a
D2	32,06	(18,70)a	1691a	26,33	(15,27)a	1525a
D3	31,91	(18,61)a	1716a	29,18	(16,97)a	1283a
Moy.	31,76	(18,52)	1630	27,61	(16,03)	1333
E.T.	12,56	(7,22)	173	6,67	(3,83)	465
CV(%)		39,00	10,60		23,90	34,90

<sup>1</sup> D1 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 15 jas, D2 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 30 jas, D3 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 45 jas.

( ) Arcsinus des pourcentages de sévérité de mildiou sur lesquels ont porté les analyses de variance.  
Les chiffres d'une même colonne affectés de la même lettre alphabétique ne sont pas différents au seuil de 5%.

**Tableau II.8 :** Effet d'application à différentes doses, de suspensions de poudre de néré sur les pourcentages de sévérité de mildiou et le rendement en grains de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Trait <sup>1</sup>	Kamboinsé			Kouaré		
	Sévérité(%)	RDT(kg/ha)		Sévérité(%)	RDT(kg/ha)	
T0	41,38	(24,45)a	1653a	30,27	(17,62)a	1153ab
T1	35,83	(21,00)a	1587a	28,86	(16,78)a	1444ab
T2	34,38	(20,11)a	1551a	33,23	(19,41)a	1083b
T3	40,51	(23,90)a	1351a	31,71	(18,49)a	1320ab
T4	5,44	(3,12)b	2008b	13,65	(7,85)b	1667a
Moy.	31,7	(18,52)	1630	27,61	(16,03)	1333
E.T.	9,94	(5,71)	374	10,48	(6,02)	483
CV(%)		30,80	22,90		7,60	36,20

<sup>1</sup> T0= témoin absolu (pulvérisation à l'eau), T1 = 10 g de poudre de néré/litre d'eau, T2 = 20 g de poudre de néré/litre d'eau, T3 = 40 g de poudre de néré/litre d'eau, T4 = témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

( ) Arcsinus des pourcentages de sévérité de mildiou sur lesquels ont porté les analyses de variance.  
Les chiffres d'une même colonne affectés de la même lettre alphabétique ne sont pas différents au seuil de 5% .

Tableau II.9 : Effet d'application à différentes dates<sup>1</sup> et doses, de suspensions de poudre de néré sur le rendement en grains de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Trait <sup>2</sup>	Rendement en grains (kg/ha)					
	Kamboinsé			Kouaré		
	Dates d'appl. du néré			Dates d'appl. du néré		
	D1	D2	D3	D1	D2	D3
T0	1 532	1 784	1 644	1 083	1 292	1 083
T1	1 395	1 630	1 735	1 458	1 750	1 125
T2	1 485	1 579	1 588	875	1 208	1 167
T3	1 075	1 538	1 441	1 083	1 625	1 250
T4	1 925	1 925	2 175	1 458	1 750	1 792

<sup>1</sup> D1 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 15 jours après semis (jas), D2 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 30 jas, D3 = application foliaire de suspensions de poudre de néré 45 jas.

<sup>2</sup> T0 = témoin absolu (pulvérisation à l'eau), T1 = 10 g de poudre de néré/litre d'eau, T2 = 20 g de poudre de néré/litre d'eau, T3 = 40 g de poudre de néré/litre d'eau, T4 = témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

## Résultats au laboratoire

Le tableau II.10 illustre les résultats de l'incidence de la poudre de néré sur la production des zoosporanges de mildiou en conditions contrôlées à Kamboinsé et à Kouaré. Globalement, dans les deux localités, la production de zoosporanges a été plus abondante sur les feuilles issues de plantes de mil âgées de 30 jours que sur celles âgées de 45 et 60 jours. Le nombre de zoosporanges produits par unité de surface foliaire a été plus élevé à Kamboinsé qu'à Kouaré.

Le nombre de zoosporanges produits a été généralement plus élevé sur les feuilles non traitées (T0) que sur celles traitées au néré. L'analyse statistique des résultats indique que les traitements T3 et T2 (40 g et 20 g de poudre de néré/litre d'eau respectivement) ont permis de diminuer significativement la production des zoosporanges sur les feuilles de mil à Kamboinsé, indépendamment de l'âge des plantes (figure 7). A Kouaré, seul le traitement T3 (40 g de néré/litre d'eau) a provoqué une réduction significative du nombre de zoosporanges produits sur les feuilles de mil (figure 7).

Nous avons voulu savoir si des résultats similaires pouvaient être obtenus avec une durée moins longue d'immersion des feuilles dans les suspensions de néré. Aussi, avons-nous réalisé un essai dans ce sens dans le seul site de Kamboinsé portant sur des feuilles issues de plantes cultivées dans des pots pendant la contre saison et âgées de 30 et 45 jours. La durée d'immersion retenue a été de deux minutes. Les résultats obtenus (tableau II.11) montrent qu'une immersion réduite de deux minutes des feuilles dans les suspensions de néré a également permis de freiner la multiplication des zoosporanges de mildiou. Cependant, le nombre de zoosporanges formés sur les feuilles a été relativement plus faible dans cette expérience comparativement à celui obtenu dans l'expérience où la durée d'immersion était de dix minutes.

Tableau II.10 : Nombre de zoosporanges produits ( $\times 10^3$ ) par  $\text{cm}^2$  de surface foliaire après dix minutes d'immersion des feuilles de mil de la variété Kapèlga, dans différentes suspensions de poudre de néré à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Traitements <sup>1</sup>	Nombre de zoosporanges produits/ $\text{cm}^2$ de feuille à différents stades phénologiques de la plante					
	Kamboinsé			Kouaré		
	30jas	45jas	60jas	30jas	45jas	60jas
T0	222,75	81,25	158,25	198,50	76,25	63,50
T1	260,75	111,75	203,75	172,75	84,50	34,00
T2	198,25	65,50	96,25	131,00	91,00	35,00
T3	164,50	52,00	83,25	113,25	46,75	36,00

<sup>1</sup> T0 = témoin absolu (immersion dans l'eau), T1 = 10 g de poudre de néré/litre d'eau, T2 = 20 g de poudre de néré/litre d'eau, T3 = 40 g de poudre de néré/litre d'eau.

Tableau II.11 : Nombre de zoosporanges produits ( $\times 10^3$ ) par  $\text{cm}^2$  de surface foliaire après deux minutes d'immersion des feuilles de mil de la variété Kapèlga dans différentes suspensions de poudre de néré à Kamboinsé en 1995.

Traitements <sup>1</sup>	Nombre de zoosporanges produits/ $\text{cm}^2$ de feuille à différents stades phénologiques de la plante	
	30jas	45jas
T0	50,25	54,00
T1	39,25	19,50
T2	31,75	16,00
T3	40,25	16,00

<sup>1</sup> T0 = témoin absolu (immersion dans l'eau), T1 = 10 g de poudre de néré/litre d'eau, T2 = 20 g de poudre de néré/litre d'eau, T3 = 40 g de poudre de néré/litre d'eau.

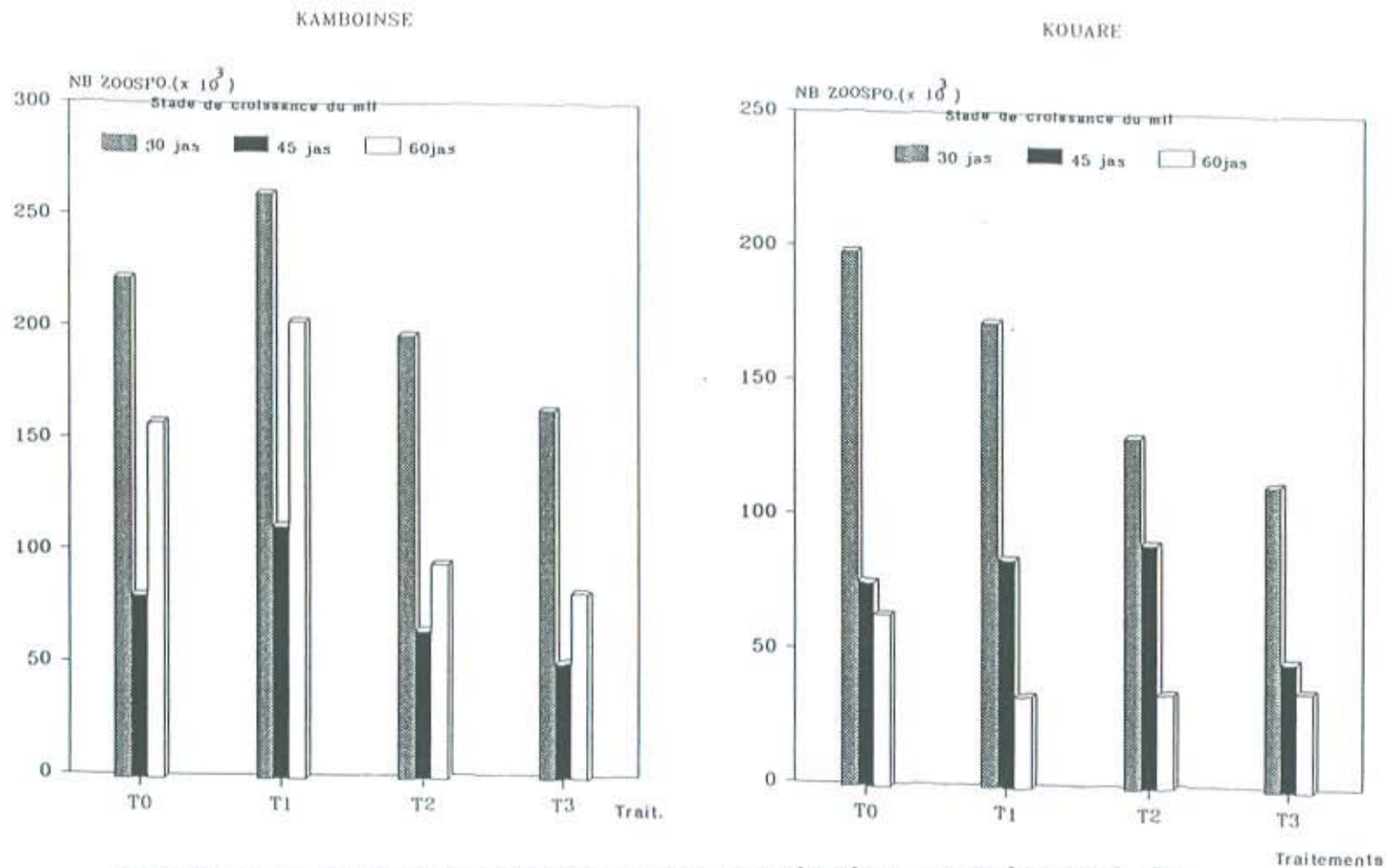


Figure 7 : Nombre de zoosporanges de mildiou produits/cm<sup>2</sup> de feuille de mil à différents stades phénologiques à Kamboinsé et à Kouaré (1995), après 10 mn d'immersion des feuilles dans différentes suspensions de poudre de néré: témoin absolu (T0), 10 g de poudre de néré/litre d'eau (T1), 20 g de poudre de néré/litre d'eau (T2), 40 g de poudre de néré/litre d'eau (T3).



### 2.3.2 - Evaluation de l'efficacité des résidus d'extraction de beurre de karité contre le mildiou du mil

Les taux d'infection de mildiou relevés lors des trois périodes d'observation (30ème, 45ème et 60ème jours après semis) à Kamboinsé ont été supérieurs à 25% dans les parcelles traitées aux extraits de beurre de karité dès le 30ème jour après semis pour atteindre 56% à la troisième observation (60jas) (tableau II.12). A Kouaré, les indices d'infection ont été inférieurs à 21% à la première observation (30 jas) et limités à 38% à la troisième évaluation (tableau II.13).

Statistiquement, les résultats révèlent que les modes d'application des résidus n'ont pas eu d'effet significatif sur les taux d'attaque de mildiou dans les deux sites expérimentaux (tableau II.14).

Les traitements d1 (application des résidus 7 jours avant semis) et d2 (application des résidus au semis) n'ont pas permis de réduire les taux d'infection comparativement au témoin absolu (d0) (tableau II.15). Seul le traitement des semences à l'Apron Plus (témoin de référence) a entraîné une réduction significative de la maladie (tableau II.15).

Le tableau II.16, illustrant l'impact des traitements d'extraits de beurre de karité sur la sévérité de mildiou, indique que les indices de sévérité de la maladie ont été plus importants à kamboinsé (40-61%) qu'à Kouaré (22-35%).

Les résultats statistiques montrent que les taux de sévérité dans les parcelles traitées aux extraits de beurre de karité, indépendamment des modes et des dates d'application, ont été similaires à ceux obtenus dans le témoin absolu (tableaux II.17 et II.18). Comparé au témoin absolu, le traitement des semences par l'Apron Plus (témoin de référence) a, ici aussi, permis de contrôler efficacement la maladie à Kamboinsé et dans une moindre mesure à Kouaré (tableau II.18).

Tableau II.12 : Effet d'application à différents modes<sup>1</sup> et dates, des résidus d'extraction de beurre de karité sur l'incidence de mildiou de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé en 1995.

Dates <sup>2</sup> d'appl.	Incidences de mildiou (%) à 30, 45 et 60 jas								
	30 jas			45 jas			60 jas		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
d0	29,03	25,28	33,95	42,79	40,97	46,17	49,75	44,33	51,23
d1	31,15	39,38	36,12	49,32	51,28	49,89	50,97	55,22	56,42
d2	29,99	30,57	31,88	41,17	45,93	44,89	43,95	53,42	46,31
d3	0,00	0,00	0,00	4,52	1,22	3,82	6,37	8,81	9,90

<sup>1</sup> M1 = épandage des résidus séchés sur toute la parcelle, M2 = épandage des résidus séchés sur les lignes de semis, M3 = épandage des résidus liquides sur les lignes de semis.

<sup>2</sup> d0 = témoin absolu, d1 = épandage des résidus 7 jours avant semis, d2 = épandage des résidus au semis, d3 = témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

Tableau II.13 : Effet d'application à différents modes<sup>1</sup> et dates, de résidus d'extraction de beurre de karité sur l'incidence de mildiou de la variété de mil Kapèlga à Kouaré en 1995.

Dates <sup>2</sup> d'appl.	Incidences de mildiou à 30, 45 et 60 jas								
	30 jas			45 jas			60 jas		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
d0	14,95	19,51	14,32	24,44	29,91	32,61	30,60	34,67	35,74
d1	19,35	20,98	21,34	30,17	35,87	33,47	35,21	37,81	33,47
d2	8,22	17,02	14,46	21,01	27,38	31,65	25,29	28,81	35,13
d3	6,40	5,77	2,52	9,40	14,22	7,42	12,78	18,12	14,61

<sup>1</sup> M1 = épandage des résidus séchés sur toute la parcelle, M2 = épandage des résidus séchés sur les lignes de semis, M3 = épandage des résidus liquides sur les lignes de semis.

<sup>2</sup> d0 = témoin absolu, d1 = épandage des résidus 7 jours avant semis, d2 = épandage des résidus au semis, d3 = témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

Tableau II.14 : Effet d'application à différents modes, des résidus d'extraction de beurre de karité sur l'incidence moyenne de mildiou de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Modes <sup>1</sup> d'appl.	KAMBOINSE				KOUARE			
	NP <sup>2</sup>	Incidences mildiou (%) à 30, 45 et 60 jas			NP	Incidences mildiou(%) à 30, 45 et 60 jas		
		30jas	45jas	60jas		30jas	45jas	60jas
M1	32	22,54a	34,60a	37,76a	38	12,23a	21,26a	25,97a
M2	32	23,81a	34,85a	40,44a	36	15,82a	26,84a	29,85a
M3	32	25,49a	36,19a	40,96a	35	13,16a	26,29a	29,74a
Moy.		23,94	35,21	39,72		13,74	24,80	28,52
E.T.		3,89	10,05	10,35		6,22	5,89	7,02
CV(%)		16,20	28,50	26,00		45,30	23,70	24,60

<sup>1</sup> M1 = épandage des résidus séchés sur toute la parcelle, M2 = épandage des résidus séchés sur les lignes de semis, M3 = épandage des résidus liquides sur les lignes de semis.

<sup>2</sup> Nombre de Plantes observées.

Les chiffres d'une même colonne affectés de la même lettre alphabétique ne sont pas différents au seuil de 5%.

**Tableau II.15** : Effet d'application à différentes dates, des résidus d'extraction de beurre de karité sur l'incidence moyenne de mildiou de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Dates <sup>1</sup> d'appl.	KAMBOINSE				KOUARE			
	NP <sup>2</sup>	Incidences mildiou(%) à 30, 45 et 60 jas			NP	Incidences mildiou(%) à 30, 45 et 60 jas		
		30jas	45jas	60jas		30jas	45jas	60jas
D0	31	29,42a	43,31a	48,44a	37	16,26ab	28,99a	33,67a
D1	27	35,55a	50,16a	54,20a	36	20,56a	33,17a	35,50a
D2	32	30,81a	44,20a	47,89a	33	13,23b	26,68a	29,74a
D3	40	0,00b	3,19b	8,36b	40	4,89c	10,35b	15,17b
Moy.		23,94	35,21	39,72		13,74	24,80	28,52
E.T.		7,86	11,35	10,70		5,65	9,64	10,64
CV(%)		32,80	32,20	26,90		41,10	38,90	37,30

<sup>1</sup> d0 = témoin absolu, d1 = épandage des résidus 7 jours avant semis, d2 = épandage des résidus au semis, d3 = témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

<sup>2</sup> Nombre de Plantes observées.

Les chiffres d'une même colonne affectés de la même lettre alphabétique ne sont pas différents au seuil de 5%.

**Tableau II.16 :** Effet d'application à différents modes et dates, des résidus d'extraction de beurre de karité sur les pourcentages de sévérité de mildiou de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Dates <sup>2</sup> d'appl	KAMBOINSE						KOUARE					
	Modes <sup>1</sup> d'application des résidus						Modes d'application des résidus					
	M1		M2		M3		M1		M2		M3	
	NP <sup>3</sup>	sév(%)	NP	sév(%)	NP	sév(%)	NP	sév(%)	NP	sév(%)	NP	sév(%)
D0	33	47,76	32	44,12	28	50,45	40	23,87	37	28,22	34	29,59
D1	26	50,95	30	53,02	25	61,36	37	25,92	38	35,03	33	30,67
D2	31	40,31	28	48,89	37	47,10	37	21,90	32	22,43	31	30,40
D3	40	7,93	40	8,82	40	10,14	39	12,34	40	16,54	40	13,36

<sup>1</sup> M1= épandage des résidus séchés sur toute la parcelle, M2 = épandage des résidus séchés sur les lignes de semis, M3 = épandage des résidus liquides sur les lignes de semis.

<sup>2</sup> d0 = témoin absolu, d1 = épandage des résidus 7 jours avant semis, d2 = épandage des résidus au semis, d3 = témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

<sup>3</sup> Nombre de Plantes observées.

**Tableau II.17** : Effet d'application à différents modes, des résidus d'extraction de beurre de karité sur les indices moyens de sévérité de mildiou et le rendement moyen en grains de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Modes <sup>1</sup> d'appl.	KAMBOINSE			KOUARE		
	Sévérité(%)	RDT(kg/ha)		Sévérité(%)	RDT(kg/ha)	
M1	37,25 (21,87) a	1589a		21,03 (12,14) a	733a	
M2	39,28 (23,13) a	1693a		25,61 (14,84) a	764a	
M3	43,08 (25,52) a	1516a		26,08 (15,12) a	800a	
Moy.	39,89 (23,51)	1599		24,24 (14,03)	766	
E.T.	13,72 (7,89)	390		7,77 (4,46)	340	
CV(%)	33,60	24,40		31,80	44,40	

<sup>1</sup> M1 = épandage des résidus séchés sur toute la parcelle,  
M2 = épandage des résidus séchés sur les lignes de semis,  
M3 = épandage des résidus liquides sur les lignes de semis.

( ) Arcsinus des pourcentages de sévérité de mildiou sur lesquels ont porté les analyses de variance.  
Les chiffres d'une même colonne affectés de la même lettre alphabétique ne sont pas différents au seuil de 5% .

**Tableau II.18** : Effet d'application à différentes dates, des résidus d'extraction de beurre de karité sur les indices moyens de sévérité de mildiou et le rendement moyen en grains de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Dates <sup>1</sup> d'appl.	KAMBOINSE			KOUARE		
	Sévérité(%)	RDT(kg/ha)		Sévérité(%)	RDT(kg/ha)	
D0	47,47 (28,34) a	1611a		27,23 (15,80) a	782a	
D1	55,19 (33,50) a	1579a		30,57 (17,80) a	746a	
D2	45,46 (27,04) a	1441a		24,94 (14,44) a	725a	
D3	8,96 (5,14) b	1765a		14,09 (8,10) b	810a	
Moy.	39,89 (23,51)	1599		24,24 (14,03)	766	
E.T.	11,52 (6,62)	365		9,77 (5,61)	233	
CV(%)	28,20	22,80		40,00	30,50	

<sup>1</sup> d0 = témoin absolu, d1 = épandage des résidus 7 jours avant semis, d2 = épandage des résidus au semis, d3= témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

( ) Arcsinus des pourcentages de sévérité de mildiou sur lesquels ont porté les analyses de variance.  
Les chiffres d'une même colonne affectés de la même lettre ne sont différents au seuil de 5%.

Les rendements en grains ont été dans l'ensemble supérieurs à 1300 kg/ha à Kamboinsé dans toutes les parcelles alors qu'à Kouaré, même le témoin de référence (d3) n'a permis l'obtention que de 1000 kg de grains à l'hectare dans certaines parcelles (tableau II.19).

L'analyse de variance des rendements indique cependant que les différents modes d'application des résidus n'ont pas eu d'effet sur la production dans les parcelles dans les deux sites expérimentaux (tableau II.17). L'analyse révèle également que les rendements dans les parcelles traitées aux résidus d'extraction de beurre de karité ou à l'Apron Plus ont été similaires à ceux obtenus dans le témoin absolu (tableau II.18).

**Tableau II.19 :** Effet d'application à différents modes<sup>1</sup> et dates, des résidus d'extraction de beurre de karité sur le rendement en grains de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Dates <sup>2</sup> d'appl.	Rendement en grains (kg/ha)					
	KOUARE			KAMBOINSE		
	Modes d'application			Modes d'application		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
D0	775	913	658	1464	1897	1473
D1	821	625	792	1468	1815	1454
D2	742	683	750	1560	1403	1362
D3	596	833	1000	1864	1657	1775

<sup>1</sup> M1 = épandage des résidus séchés sur toute la parcelle,  
M2 = épandage des résidus séchés sur les lignes de semis,  
M3 = épandage des résidus liquides sur les lignes de semis.

<sup>2</sup> d0 = témoin absolu, d1 = épandage des résidus 7 jours avant semis, d2 = épandage des résidus au semis, d3 = témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).



### 2.3.3 - Evaluation de l'efficacité de la poudre de feuilles d'holarrhène contre le mildiou du mil

L'impact de la poudre de feuilles d'holarrhène sur l'incidence du mildiou est illustré dans le tableau II.20. Les indices d'infection dans les parcelles traitées à la poudre de feuilles d'holarrhène ont été de 25-53% à Kamboinsé contre 5-29% à Kouaré.

Statistiquement, les résultats révèlent que les doses de poudre d'holarrhène ont offert une protection limitée aux graines et aux plantules contre l'infection. De même, elles ont peu freiné l'évolution de la maladie comparé au témoin absolu (tableau II.20). A Kamboinsé, le traitement T4 (témoin de référence) a assuré la meilleure protection des plantes contre la maladie contrairement à Kouaré (tableau II.20).

Confirmant les conclusions atteintes lors de l'évaluation des incidences du mildiou, les pourcentages de sévérité dans les parcelles ayant reçu la poudre d'holarrhène ont été proches de ceux des témoins absolus dans les deux localités (tableau II.21). A Kouaré, le traitement T4 (témoin de référence) a engendré une faible protection des plantes contre l'infection comparativement au témoin absolu et aux autres traitements. A Kamboinsé par contre, une réduction significative de la sévérité de mildiou a été observée dans les parcelles de référence (6% d'indice de sévérité) (tableau II.21).

Les rendements ont été globalement plus élevés à Kamboinsé (1190-1725 kg/ha) qu'à Kouaré (675-1467 kg/ha) (tableau II.21); la production la plus élevée à Kamboinsé a été obtenue par le traitement T1 (22,5 g de poudre de feuilles d'holarrhène/kg de semences). A Kouaré, le meilleur rendement a été observé dans le traitement T3 (90 g de la poudre de feuilles d'holarrhène/kg de semences) et le plus faible au témoin de référence. Cependant, les résultats statistiques révèlent qu'il n'y a pas de différence significative entre les rendements dans les différentes parcelles de traitements dans les deux sites (tableau II.21).

**Tableau II.20** : Effet à différentes doses de poudre de feuilles d'holarrhène sur l'incidence de mildiou de la variété de mil Kapèlga à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Trait. <sup>1</sup>	KAMBOINSE				KOUARE			
	NP <sup>2</sup>	Incidences de mildiou (%) à 30, 45 et 60 jas			NP	Incidences de mildiou (%) à 30, 45 et 60 jas		
		30jas	45jas	60jas		30jas	45jas	60jas
T0	33	25,37a	50,18a	53,31a	37	5,13a	21,53a	22,82a
T1	30	25,43a	41,17a	50,10a	35	14,39a	28,66a	28,66a
T2	28	32,83a	46,29a	51,92a	36	16,88a	21,10a	23,48a
T3	25	24,51a	47,31a	49,81a	35	11,59a	14,45a	20,10a
T4	42	0,00b	2,41b	6,03b	39	4,95a	8,93a	8,93a
Moy.		21,63	37,47	42,23		10,59	18,93	20,81
E.T.		8,19	9,47	9,94		6,20	8,66	9,27
CV(%)		37,90	25,30	23,50		58,60	45,80	44,50

<sup>1</sup> T0 = Témoin absolu, T1 = 22,5 g de poudre de feuilles d'holarrhène/kg de semences, T2 = 45 g de poudre de feuilles d'holarrhène/kg de semences, T3 = 90 g de poudre de feuilles d'holarrhène/kg de semences, T4 = Témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

<sup>2</sup> Nombre de plantes observées.

Les chiffres d'une même colonne affectés de la même lettre alphabétique ne sont pas différents au seuil de 5% .

**Tableau II.21 :** Effet à différentes doses de poudre de feuilles d'holarrhène sur la sévérité de mildiou et le rendement en grains de la variété de mil kapèlga à Kamboinsé et à Kouaré en 1995.

Trait. <sup>1</sup>	KAMBOINSE			KOUARE		
	Sévérité (%)		RDT (kg/ha)	Sévérité (%)		RDT (kg/ha)
T0	47,44	(28,32) a	1190a	20,71	(11,95) a	708a
T1	42,81	(25,35) a	1725a	26,74	(15,51) a	975a
T2	48,60	(29,08) a	1449a	15,49	(8,91) a	1125a
T3	47,07	(28,64) a	1387a	16,60	(9,56) a	1467a
T4	5,86	(3,36) b	1328a	8,26	(4,74) a	675a
Moy.	38,99	(22,95)	1381	17,60	(10,14)	990
E.T.	9,61	(5,52)	299	4,20	(2,41)	349
CV(%)		24,10	21,60		23,80	35,30

<sup>1</sup> T0 = Témoin absolu, T1 = 22,5 g de poudre de feuilles d'holarrhène/kg de semences, T2 = 45 g de poudre de feuilles d'holarrhène/kg de semences, T3 = 90 g de poudre de feuilles d'holarrhène/kg de semences, T4 = Témoin de référence (15 g d'Apron Plus/kg de semences).

( ) Arcsinus des pourcentages de sévérité de mildiou sur lesquels ont porté les analyses de variance.

Les chiffres d'une même colonne affectés de la même lettre alphabétique ne sont pas différents au seuil de 5% .

## 2.4 - DISCUSSION

### 2.4.1 - La poudre de néré

De Juin à Novembre 1995, la pluviométrie a été plus faible, mais mieux répartie à Kamboinsé, 653 mm d'eau tombés en 51 jours, qu'à Kouaré, 745,3 mm d'eau tombés en 37 jours (tableau II.22). Durant cette même période, à Kamboinsé, les températures ont été comprises entre 23 et 36°C et l'humidité relative saturante (85-99%) (tableau II.23). Ces facteurs climatiques expliqueraient partiellement les proportions de plants attaqués par le mildiou ainsi que la gravité de la maladie globalement plus importantes à Kamboinsé qu'à Kouaré. En effet, selon NENE et SINGH (1976), la répartition de la pluviométrie pendant la saison culturale est plus importante pour la production des zoosporanges de mildiou et l'expression de la maladie en conditions réelles que la quantité totale d'eau tombée. THAKUR et al. (1978) affirment que des températures allant de 25 à 30°C et une hygrométrie élevée (>85%) sont propices au développement du mildiou au champ. Ces conditions avantageuses ont probablement entraîné une production importante d'inoculum secondaire (les zoosporanges), contribuant ainsi à augmenter la pression de la maladie à Kamboinsé. Cependant, le manque de données relatives aux températures et à l'hygrométrie à Kouaré ne nous permet de comparer objectivement les pressions de la maladie dans les deux sites expérimentaux.

Les productions ont été relativement plus faibles à Kouaré qu'à Kamboinsé malgré le faible niveau d'attaque des plantes par le mildiou dans la dernière localité. La mauvaise répartition de la pluviométrie (50% de la quantité totale d'eau sont tombés au cours du seul mois d'Août) a été probablement un facteur limitant la productivité des plantes à Kouaré comparé à Kamboinsé.

Plusieurs auteurs rapportent que le Métalaxyl est un fongicide efficace contre les mildious des céréales (WILLIAMS et SINGH, 1981 ; DANG et al., 1983 ; SINGH, 1983). CRAIG et ODVODY (1987) rapportent aussi que l'emploi répété du Métalaxyl sur des variétés sensibles de sorgho entraîne l'apparition de pathotypes résistants.

Tableau II.22 : Pluviométrie mensuelle (mm) relevée aux stations de Kamboinsé et de Kouaré de Juin à Novembre 1995

Mois	Pluviométrie (mm)	
	Kamboinsé	Kouaré
Juin	157,1	75,5
Juil	96,4	114,4
Août	177,2	378,1
Sept	182,3	131,2
Oct	34,0	46,1
Nov	6,0	0
Total:	653,0	745,3
Nb de jours de pluie:	51	37

Source : Stations météorologiques de Kamboinsé et de Kouaré, campagne agricole 1995/1996.

Tableau II.23 : Températures minimale, maximale, et humidité relative (moyennes mensuelles) relevées à la station de Kamboinsé de Juin à Octobre 1995.

Mois	Température (°C)		Humidité relative (%)
	Mini	Maxi	
Juin	25,90	34,98	85,23
Juil	24,14	32,23	89,29
Août	23,36	31,31	90,03
Sept	23,42	33,11	93,40
Oct	22,60	35,86	98,66

Source : Station météorologique de Kamboinsé, campagne agricole 1995/1996.

L'Apron Plus a été expérimenté au Burkina de 1986 à 1992 (INERA, 1993). Les travaux de SEREME (1991; 1992) ont démontré spécifiquement l'efficacité de ce produit contre le mildiou à Kouaré et à Kamboinsé. Cependant, nos résultats actuels montrent que l'Apron Plus semble présenter une certaine limite dans le contrôle de la maladie à Kouaré malgré la pression relativement faible du mildiou dans cette localité. Cette différence d'efficacité apparente du produit suscite certaines interrogations :

- Cette différence est-elle liée au fait que des populations différentes du pathogène de mildiou prévalent dans les deux sites, l'Apron Plus étant plus efficace sur celles de Kamboinsé que sur celles de Kouaré ?

- L'utilisation répétée de l'Apron Plus dans les deux sites (la première utilisation datant de 1986) a-t-elle conduit à l'apparition de souches résistantes de mildiou à Kouaré ?

- Même si la manifestation de la maladie a été plus importante à Kamboinsé, les facteurs favorables au mildiou ne sont-ils pas aussi favorables à l'action du produit, permettant ainsi d'assurer un gain de rendement ?

Les réponses à ces questions nécessiteraient que les populations du pathogène des deux sites soient confrontées aux semences traitées à l'Apron Plus dans les mêmes conditions expérimentales.

Au laboratoire, la faible production des zoosporanges sur les feuilles de mil à Kouaré comparativement à Kamboinsé pourrait être liée au fait qu'à Kamboinsé les feuilles ont été immédiatement traitées au laboratoire après leur prélèvement au champ, ce qui n'est pas le cas pour celles de Kouaré. En effet, les feuilles récoltées à Kouaré devaient être acheminées à Kamboinsé (soit environ 3 à 4 heures après prélèvement) pour ensuite être traitées au laboratoire. Ces conditions ont peut-être limité la viabilité du champignon dans les feuilles.

Le faible développement de mildiou sur les feuilles utilisées dans l'expérience où la durée d'immersion était de deux minutes justifie probablement les nombres relativement peu élevés de zoosporanges produits par unité de surface foliaire dans cette

expérience comparés à ceux obtenus dans l'expérience où la durée d'immersion était de dix minutes. En effet les feuilles provenaient de plantes cultivées en pots de Janvier à Février 1996, période à laquelle les températures (14-36°C en Janvier; 19-38°C en Février) étaient peu favorables au développement de la maladie.

Nos résultats, indiquant que les suspensions de néré semblent freiner le développement du champignon, sont en accord avec ceux de SEREME (communication personnelle).

Cependant, le manque de concordance de nos résultats actuels (résultats au champ et résultats au laboratoire) pourrait découler du fait que le mode d'utilisation des suspensions de néré au champ (pulvérisation foliaire) n'a pas permis un contact effectif entre les gouttelettes et le champignon, comme c'est le cas au laboratoire où les feuilles infectées sont restées immergées dans les suspensions pendant deux à dix minutes. En outre, au champ, les plantes sont soumises à un flux continu d'inoculum.

#### 2.4.2 - Les résidus d'extraction de beurre de karité

Les conditions pluviométriques à Kamboinsé pendant la période de l'étude, évoquées plus haut, ont probablement favorisé le développement du mildiou dans cette localité, conduisant ainsi à une progression rapide de l'épidémie.

Les proportions de plantes malades dans les parcelles traitées aux extraits de beurre de karité ont été similaires à celles observées dans les parcelles témoins (témoin absolu) dès le 30ème jour après semis. Ce manque de différence s'expliquerait par le fait que le contact entre les extraits de beurre de karité et l'inoculum primaire de mildiou dans le sol (les oospores) n'a pas permis de préserver de façon appréciable les graines et les plantules de l'infection primaire dans nos conditions expérimentales. Cette hypothèse semble être vérifiée aux différentes dates d'apport du produit dans le sol. Nos résultats actuels concordent avec ceux de SEREME (1994) qui a indiqué que

les extraits de beurre de karité semblent présenter peu d'intérêt dans la lutte contre le mildiou du mil.

Cependant, quelques interrogations subsistent quant à la dose optimale de produit à employer. En effet, l'unique dose de 50 kg de résidus d'extraction de beurre de karité à l'hectare utilisée dans la présente expérimentation a peut-être été insuffisante pour produire un effet perceptible dans le contrôle du mildiou? Dans la mesure du possible, l'impact des résidus sur l'incidence de mildiou devrait être testé au laboratoire par l'emploi de plusieurs doses du produit sur des semences contaminées par les oospores du champignon avant de conclure à l'efficacité ou non de ce produit contre le mildiou du mil.

L'utilisation de l'Apron Plus en traitement des semences (témoin de référence) semble une fois de plus mieux contrôler la maladie à Kamboinsé qu'à Kouaré. Cependant, le contrôle effectif de la maladie n'a pas occasionné un gain de rendement dans le premier site comme ce fut le cas dans l'expérience précédente (poudre de néré). L'emplacement de l'essai dans la parcelle infestante de mildiou (en haut de pente) pourrait être à l'origine de cette différence de production. En effet, le sol dans cette partie du champ semble avoir une faible capacité de rétention en eau ce qui n'a probablement pas permis une bonne expression du rendement dans les parcelles. Par contre, dans le second site, les résultats statistiques ont été globalement similaires à ceux obtenus dans le test précédent. Les conditions pluviométriques (irrégularité des pluies) et le contrôle du mildiou par l'Apron Plus relativement limité (précédemment évoqués), sont des facteurs pouvant justifier la faible productivité du mil en général et la non amélioration du rendement dans les parcelles de référence comparées au témoin absolu.

#### 2.4.3 - La poudre de feuilles d'holarrhène

La quantité d'eau importante, voire excessive, tombée pendant le mois d'Août à Kouaré a affecté très tôt (approximativement 30 jours après l'implantation de l'essai) le



développement des plantes dans la plupart des parcelles. Ces conditions ont probablement limité les rendements dans les parcelles et ont peut-être aussi été défavorables à l'expression de la maladie, justifiant ainsi la lente progression de l'épidémie dans cette localité.

L'une des raisons probables du manque d'amélioration de rendement constaté à Kamboinsé dans les parcelles de référence malgré la protection efficace des plantes contre la maladie assurée par l'Apron Plus, pourrait être liée ici aussi, à la faible capacité de rétention en eau du sol où était implanté l'essai.

A Kouaré, l'absence de protection efficace contre le mildiou, même faible, par l'Apron Plus, serait liée aux différentes raisons évoquées dans les deux tests précédents c'est-à-dire la pluviométrie très erratique et la protection relativement limitée offerte par l'Apron Plus.

Les proportions de plantes attaquées par le mildiou et les niveaux de sévérité de la maladie dans les parcelles traitées aux différentes doses de poudre de feuilles d'holarrhène, globalement comparables à ceux des parcelles non traitées (ou témoin absolu), semblent témoigner de l'effet limité de la poudre de feuilles d'holarrhène dans la préservation des graines et des plantes de l'infection de mildiou. Cependant, compte-tenu des conditions particulièrement difficiles survenues au cours de la campagne à Kouaré, et les résultats dans cette dernière localité ne devraient être considérés qu'avec réserve.

## 2.5 - CONCLUSION PARTIELLE

A l'issue de l'évaluation de l'efficacité des trois substances végétales (poudre de néré, résidus d'extraction de beurre de karité et poudre des feuilles d'holarrhène) contre le mildiou du mil, nous pouvons tirer les conclusions partielles ci-après :

Au champ, les suspensions de la poudre de néré en pulvérisation foliaire sur les plantes quel que soit leur stade phénologique offrent peu de protection contre le mildiou.

Au laboratoire, l'immersion de feuilles de mil infectées dans les suspensions de néré pendant dix ou même deux minutes réduit sensiblement la production des zoosporanges de mildiou sur les feuilles.

Les épandages des extraits de beurre de karité dans les parcelles 7 jours avant semis ou au semis ont peu limité l'infection des graines et des plantules par les oospores du champignon. Ils ont aussi peu protégé les plantes contre l'infection secondaire.

Le traitement des semences aux différentes doses de la poudre des feuilles d'holarrhène n'a pas non plus assuré une protection appréciable des graines et des plantes contre la maladie.

De façon générale, la protection des plantes contre le mildiou assurée par le traitement des semences à l'Apron Plus a été plus importante à Kamboinsé qu'à Kouaré.

TROISIEME PARTIE : CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DE  
QUELQUES ISOLATS DE  
SCLEROSPORA GRAMINICOLA ET DE  
QUELQUES VARIETES DE MIL.

TROISIEME PARTIE : CARACTERISATION DE QUELQUES ISOLATS  
DE SCLEROSPORA GRAMINICOLA ET DE  
QUELQUES VARIETES DE MIL.

3.1 - INTRODUCTION

La connaissance des relations hôte-parasite est un aspect important dans l'élaboration de stratégies de lutte. En effet, l'attaque d'une plante par un agent pathogène aboutit soit au développement de l'infection, soit à l'élimination du pathogène. Dans ce dernier cas, on parle de résistance, la plante disposant de deux types de moyens de défense : les moyens préexistant dans la plante avant l'arrivée du parasite et les moyens mis en place suite à l'agression du parasite. Cette dernière forme de résistance est dite induite et est la plus importante (WOOD, 1992).

Au cours de l'infection, les réactions de l'hôte peuvent également induire chez le parasite de "nouvelles armes" pour contrecarrer l'action de défense de l'hôte. Selon FERNANDEZ (1992), la diversité génétique des agents phytopathogènes peut s'exprimer par des types morphologiques distincts ou par des pouvoirs pathogènes très différents. La variabilité du pouvoir pathogène se traduisant, au niveau de l'interaction hôte-pathogène, par des variations au niveau de la virulence et par des variations au niveau de l'agressivité du parasite. Au niveau du couple mil-mildiou, la caractérisation du pouvoir de variation de l'agent pathogène repose habituellement sur des tests de criblage ou de pathogénicité.

Tenant compte des résultats de l'Apron Plus et de la poudre de néré sur les isolats de mildiou des deux localités (Kamboinsé et Kouaré), de l'existence d'une variabilité du pouvoir pathogène de Sclerospora graminicola au Burkina-Faso (SEREME, 1988) et des résultats des études biochimiques dans la caractérisation des populations de certains champignons (SOME et ROUXEL, 1991; SOME et SAMSON, 1991; BONDE et al., 1992), il nous a paru opportun d'appliquer la technique biochimique pour une éventuelle caractérisation des différentes populations de Sclerospora graminicola présentes au Burkina-Faso.

Nous avons également appliqué cette technique à des variétés de mil de sensibilité différente au mildiou en vue d'explorer la possibilité d'utilisation des enzymes et/ou protéines foliaires du mil dans l'identification de marqueurs de résistance ou de sensibilité au mildiou.

### 3.2 - MATERIELS ET METHODES

#### 3.2.1 - Matériels biologiques

Le matériel biologique comprend :

- **Le champignon:** les isolats de Sclerospora graminicola, provenant de deux sites de criblage au mildiou du Burkina (Kamboinsé et Kouaré), ont été utilisés sous forme de zoosporanges, les seuls organes du champignon dont l'on peut disposer aisément. Trois variétés de mil (Kapèlga, IKMP1, 7042) (tableau III.1) ont servi de support au champignon. Pour chaque variété, les semences ont été contaminées par des souches (les oospores) de Sclerospora graminicola provenant de chaque site et isolées sur cette même variété. Les semences ainsi contaminées ont été semées dans des pots contenant de la terre stérilisée à 120°C à l'autoclave pendant 1 heure. Les plantes infectées ont été recouvertes de sacs en plastique préalablement aspergés d'eau et mises en incubation à 20°C pendant 48 heures pour favoriser la production des zoosporanges sur les feuilles malades. Les zoosporanges formés ont été recueillis par lavage des feuilles à l'eau distillée puis filtration sous vide de la suspension.

- **La plante:** cinq variétés de mil que sont: CVP39, CBF32, IKMP1, Kapèlga et 7042 (tableau III.1), ont servi pour l'électrophorèse des protéines foliaires des plantes de mil. Les plantes ont été produites dans les parcelles infestées de mildiou de Kamboinsé, Kouaré et Farako-bâ. Le dernier site se trouve dans le Centre Régional de Recherches Agricoles du Sud-Ouest, situé dans la zone de climat sud-soudanien avec une pluviométrie annuelle variant entre 1000 et 1200 mm (figure 5).

Tableau III.1 : Origine et caractéristiques des variétés de mil.

Variété	origine	cycle	amé/loc <sup>1</sup>	résist/sens <sup>2</sup>	RDT(kg/ha)
KAPELGA	Kamboinsé	long	locale	sensible	600-800
7042	Tchad	court	locale	sensible	négligeable
IKMP1	CMB <sup>3</sup>	inter.	amélio.	tolérante	1500
CVP 39	Dori	court	locale	résistante	350-450
CBF 32	CMB	court	locale	tolérante	1240

<sup>1</sup> Amélioré/locale

<sup>2</sup> Résistante/sensible

<sup>3</sup> Collection des Mils du Burkina, entreprise par l'IBPGR en collaboration avec l'IN.E.R.A. en 1981.

### 3.2.2 - Méthodes

#### 3.2.2.1 - Extraction des protéines

Les protéines ont été extraites à partir de zoosporanges de Sclerospora graminicola et de feuilles des variétés de mil selon le protocole utilisé par SOME et ROUXEL (1991).

**Le champignon :** 500 mg de zoosporanges sont broyés au mortier (préalablement refroidi au congélateur pendant 15 minutes) avec 100 mg de sable de Fontaibleau, 50 mg de Polyvinylpyrrolidone (PVP) insoluble et 1 ml de tampon d'extraction dont la composition est présentée en annexe I. Le broyat est soumis à deux centrifugations de 20 minutes et de 10 minutes respectivement, à 2°C et 10.000 g. Le surnageant contenant les protéines solubles, additionné de glycérol à 10% du volume total, est immédiatement fractionné par électrophorèse ou stocké au congélateur (-18°C) dans des tubes Eppendorf.

La quantité de 500 mg de zoosporanges a été retenue car ayant offert le meilleur profil protéique parmi plusieurs autres quantités testées.

**Les plantes :** les feuilles de mil (800 mg/variété), issues de plantes âgées de 30 jours et fraîchement récoltées ont servi pour l'extraction des protéines suivant la méthodologie précédemment décrite, en utilisant ici, 80 mg de Polyvinylpyrrolidone (PVP) insoluble.

#### 3.2.2.2 - Techniques électrophorétiques

L'appareil utilisé (Tall Mighty Small), composé de plaques de dimensions 70 X 85 X 0,75 mm, offre la possibilité de comparer huit échantillons en une seule migration électrophorétique. La séparation électrophorétique a été réalisée sur gel de polyacrylamide en système monodimensionnel, selon la méthode de LAEMMLI (1970).

### Les gels de polyacrylamide

Les tampons des gels de séparation et de concentration ont été respectivement à PH 8,8 et 6,8. Le gel de séparation a été à 11% et à 12% d'acrylamide pour les extraits du champignon et de plantes respectivement, et le gel de concentration à 3,75% d'acrylamide. Ces teneurs du gel de séparation, ayant offert les meilleurs profils, ont été retenues à l'issue de tests portant sur différentes concentrations. La composition des différents gels et tampons est présentée en annexe I.

### Dépôt des extraits protéiques

Vingt microlitres d'extraits protéiques ont été déposés par échantillon à analyser.

La migration électrophorétique est conduite sous tension constante de 200 volts et à basse température (4°) pendant 1 h 30 min.

### Révélation des protéines

Le système enzymatique utilisé a été celui des estérases (E.C.3.1.1.1.), identifiées comme des marqueurs spécifiques au mil par TOSTAIN et RIANDEY en 1984. Les isoenzymes ont été révélées selon la méthode de SOME (1988) en utilisant le Fast Blue RR Salt comme colorant et  $\alpha$  et  $\beta$ -Naphthyl acetate comme substrats. Le tampon et le protocole de révélation sont décrits en annexe I.

Après immersion du gel dans le mélange de révélation, l'incubation a eu lieu à 37°C, à l'obscurité pendant 40 mn. Le gel a ensuite été rincé à l'eau de robinet avant d'être immergé dans un bain de fixation constitué d'acide acétique à 10% .

L'ensemble des bandes enzymatiques détectées pour l'échantillon est appelé zymogramme ou profil enzymatique. Après fixation, le gel a été photographié puis séché sous cellophane pour conserver intacts les profils obtenus.



## 3.2.2.3 - Analyse des profils enzymatiques

Les profils des échantillons ont été comparés :

- Au plan qualitatif, par la mobilité relative des isoenzymes, une analyse basée sur l'utilisation de l'indice de mobilité Rf (rapport entre la distance parcourue par une protéine et la distance totale parcourue par le front de migration) de GOTTLIEB et HEPDEN (1966).
- Au plan quantitatif, par l'intensité de coloration des bandes.

Les échantillons ont été également comparés à travers les bandes de mobilité électrophorétique différente en utilisant le coefficient (ou indice) de similitude de HANSEN et al. (1986) de formule ci-après:

$$SI = 2 \times \frac{m}{n_1 + n_2} \times 100$$

Où : m = nombre de paires de bandes en commun entre deux échantillons.

n1 = nombre total de bandes de l'échantillon 1.

n2 = nombre total de bandes de l'échantillon 2 .

### 3.3 - RESULTATS

#### 3.3.1 - Les profils d'estérases de Sclerospora graminicola

Un polymorphisme est mis en évidence pour le profil de chaque isolat. Des différences sont observées selon la plante-hôte (figure 8) et suivant la provenance géographique (figure 9) des isolats.

Dans chaque localité (Kamboinsé et Kouaré), les populations isolées sur des variétés de mil différentes ont des profils différents. Les différences concernent aussi bien le nombre, la position que l'intensité de coloration des bandes.

A Kamboinsé, 19, 17 et 3 isoenzymes ont été détectées sur les profils des isolats S-Kapèlga, S-IKMP1 et S-7042 respectivement; à Kouaré, 15, 19 et 4 isoenzymes ont été respectivement mise en évidence (figure 8).

Dans une même localité, une zone d'activité (Rf 0,48 à 0,52) comportant 2 à 4 isoenzymes de forte intensité est commune à tous les isolats. Cette zone d'activité est particulièrement diffuse chez S-7042 dans chaque localité.

Les coefficients de similitude entre isolats sont de 27-94% à Kamboinsé et de 26-88% à Kouaré (tableau III.2).

Sur les deux sites de criblage au mildiou, les populations isolées sur un même hôte ont des profils plus apparentés (figure 9). Dix, seize et trois isoenzymes sont communes aux populations de Sclerospora graminicola provenant des variétés Kapèlga, IKMP1 et 7042 respectivement. Les coefficients de similitude ont été de 59, 84 et 86% respectivement entre les populations du champignon issues de Kapèlga, IKMP1 et 7042 (tableau III.2). Les populations provenant de 7042 sont peu polymorphes comparées à celles obtenues sur Kapèlga et IKMP1.

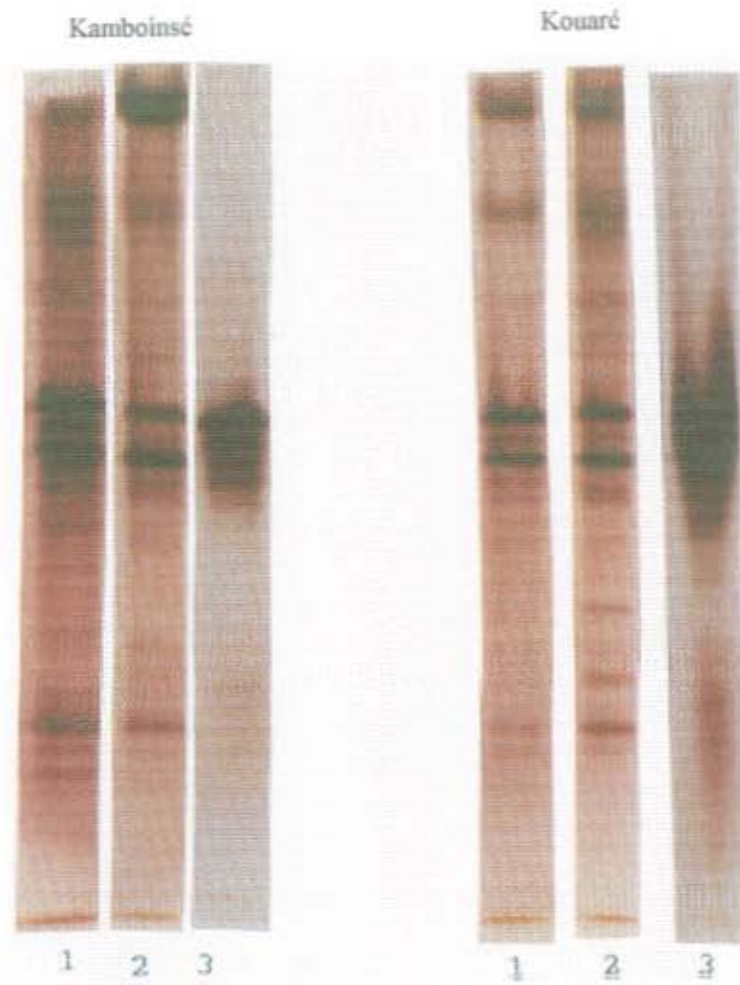


Figure 8 : Zymogrammes d'estérases (zoosporanges) de *Sclerospora graminicola* isolé sur 3 variétés de mil dans une même localité : Kapélga (1), IKMP1 (2), 7042 (3).

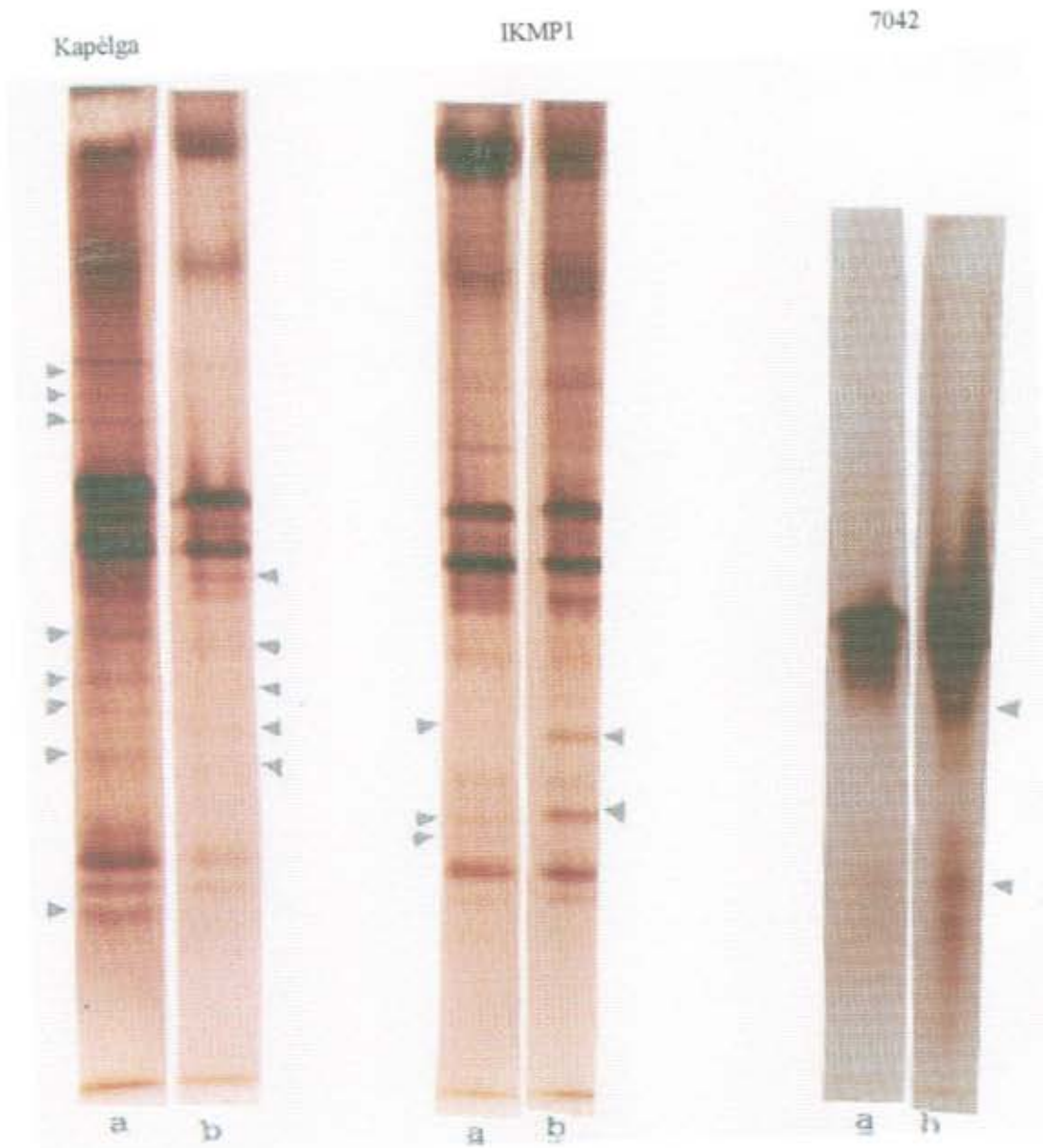


Figure 9 : Zymogrammes d'estérases (zoosporanges) de *Sclerospora graminicola* isolé sur une même variété de mil dans 2 localités : Kamboinsé (a), Kouaré (b).  
 Les flèches indiquent les bandes différentielles entre les isolats.

Tableau III.2 : Indices de similitude (%) entre isolats de Sclerospora graminicola provenant de 3 variétés de mil dans chaque localité. Dans chaque case : au-dessus de la diagonale, en haut (isolats de Kamboinsé), en bas (isolats de Kouaré), en dessous de la diagonale (indice moyen dans les 2 localités), sur la diagonale (indice entre isolats issus de la même variété provenant de 2 sites).

Isolats <sup>1</sup>	S-Kapèlga	S-IKMP1	S-7042
S-Kapèlga	58,82	94,44 88,23	27,27 31,57
S-IKMP1	91,33	84,21	30,00 26,08
S-7042	29,42	28,04	85,71

<sup>1</sup> Le nom de chaque isolat est composé de la lettre "S" (Sclerospora graminicola), suivie du nom de l'hôte d'isolement.

### 3.3.2 - Les profils d'estérases des variétés de mil.

Un polymorphisme est mis en évidence pour le profil de chaque variété indépendamment du site de production des plantes.

Des ressemblances fortes existent entre les profils enzymatiques des cinq variétés dans chaque site de criblage au mildiou (figure 10). Des similitudes existent également entre profils d'une même variété produite sur différents sites (figure 11).

Une zone à forte activité enzymatique plus ou moins diffuse (Rf 0,38 à Rf 0,55) est commune à tous les profils quel que soit le site de culture des variétés de mil.

Sur les sites de Farako-bâ et de Kamboinsé la variété 7042 a des profils peu polymorphes comparés à ceux des autres variétés.

D'une manière générale, une bande de Rf 0,55 est commune aux variétés CVP39, CBF32 et IKMP1 qui ont des profils plus apparentés quel que soit la localité de prélèvement des feuilles. En effet, les coefficients de similitude entre ces variétés sont de 70-96% à Kamboinsé, 51-75% à Kouaré et 63-93% à Farako-bâ (tableau III.3).

Des ressemblances existent également entre les zymogrammes des variétés 7042 et Kapèlga dans les différentes localités, les indices de similitude entre leurs profils respectifs variant entre 62 et 90%. Toutefois, les profils provenant des variétés Kapèlga et 7042 produites à Kouaré sont plus apparentés (SI = 90%) comparés à ceux provenant de ces mêmes variétés produites à Kamboinsé (SI = 61,53%) (tableau III.3).

Le tableau III.3 indique que les plus faibles ressemblances existent à Kamboinsé entre les zymogrammes des variétés CVP39 et 7042 (SI = 33%), à Kouaré entre ceux de CBF32 et 7042 (SI = 57%) et à Farako-bâ entre ceux de IKMP1 et 7042 (SI = 44%).

Les zymogrammes d'une même variété produite dans différentes localités ont montré beaucoup de ressemblances, les indices de similitude entre les profils étant de 57-76% entre Kamboinsé et Kouaré, 63-80% entre Kamboinsé et Farako-bâ et 77-100% entre Kouaré et Farako-bâ (tableau III.4).

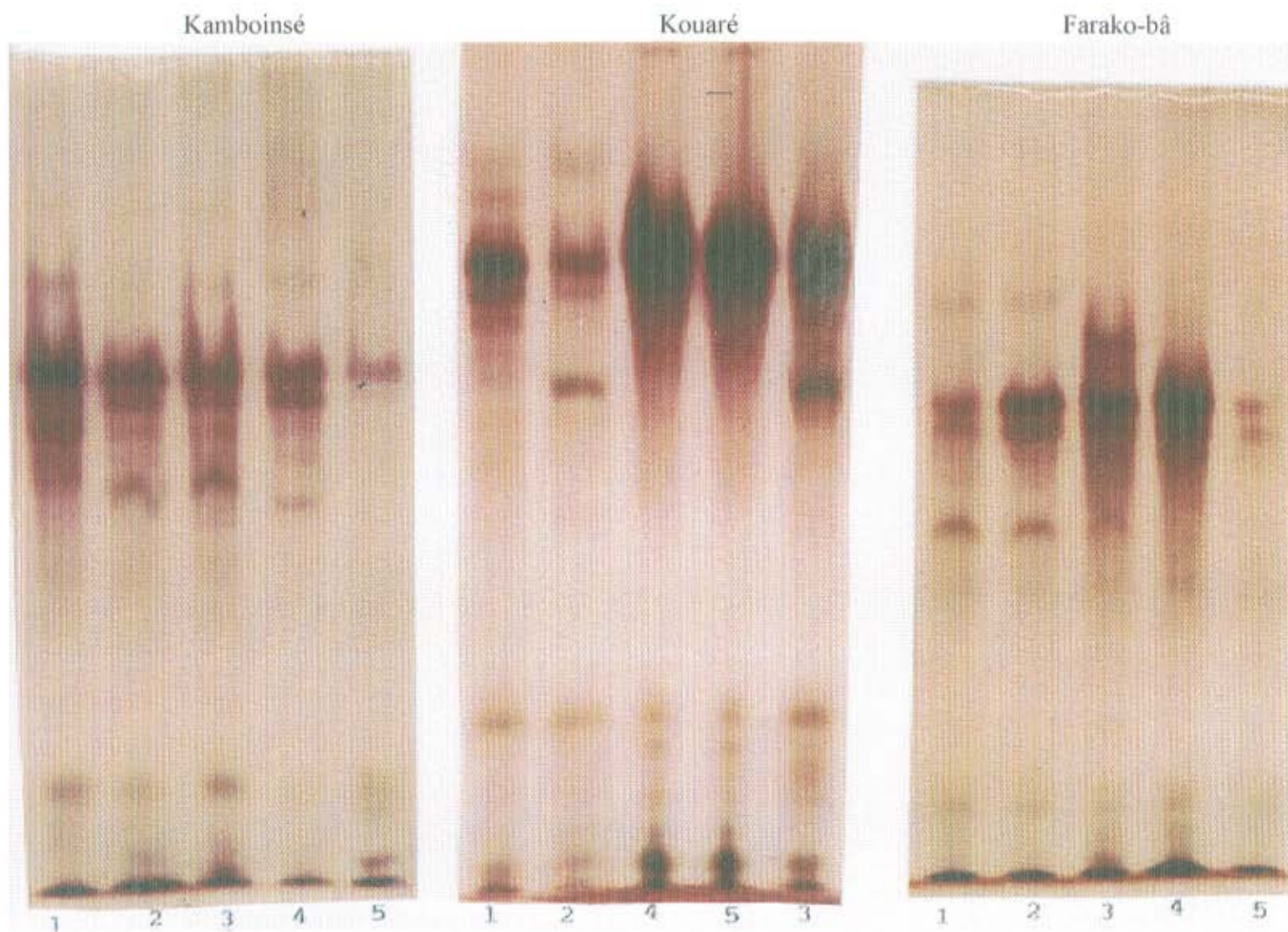


Figure 10 : Profils d'estérases de feuilles de 5 variétés de mil sur un même site de criblage au mildiou : CVP39 (1), CBF32 (2), IKMP1 (3), Kapéga (4), 7042 (5).

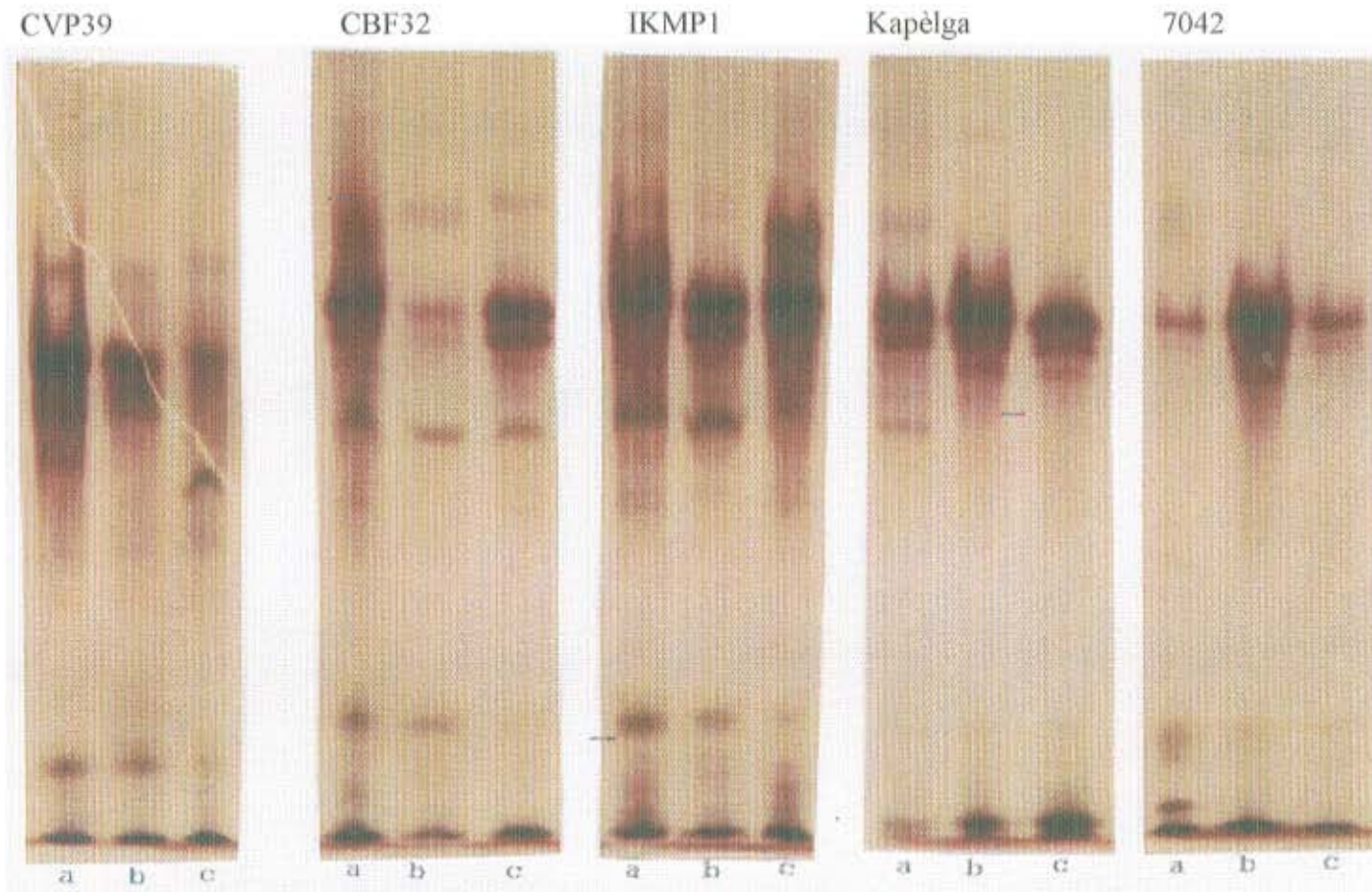


Figure 11 : Profils d'estérases de feuilles d'une même variété de mil sur 3 sites de criblage au mildiou : Kamboinsé (a), Kouaré (b), Farako-bâ (c).



**Tableau III.3:** Indices de similitude (%) entre profils de variétés de mil produites sur 3 sites de criblage au mildiou. Dans chaque case: au-dessus de la diagonale, en haut (variétés produites à Kamboinsé), au centre (variétés produites à Kouaré), en bas (variétés produites à Farako-bâ), en dessous de la diagonale (indice moyen dans les 3 sites).

Variété	CVP39	CBF32	IKMP1	KAPELGA	7042
CVP39		72,72 75,00 93,33	69,56 50,50 63,15	35,29 52,17 57,14	33,33 60,86 61,53
CBF32	80,35		95,65 63,63 70,00	47,05 57,14 66,67	55,55 57,14 57,14
IKMP1	61,07	76,42		44,44 76,19 63,15	55,55 66,67 44,44
KAPELGA	48,20	56,95	61,26		61,53 90,00 76,92
7042	51,90	56,61	55,55	76,15	

Tableau III.4 : Indices de similitude (%) entre profils de la même variété produite sur 3 sites de criblage au mildiou. Dans chaque case: sur la diagonale, en haut (même variété produite à Kamboinsé et à Kouaré), au centre (même variété produite à Kamboinsé et à Farako-bâ), en bas (même variété produite à Kouaré et à Farako-bâ).

Variétés	CVP39	CBF32	IKMP1	Kapèlga	7042
CVP39	76,19 63,15 80,00				
CBF32		66,67 63,15 80,00			
IKMP1			69,56 72,00 81,81		
Kapèlga				62,50 80,00 76,92	
7042					57,14 66,67 100,00

### 3.4 - DISCUSSION

#### 3.4.1 - Les profils d'estérasés des isolats de Sclerospora graminicola

L'analyse électrophorétique met en évidence l'existence de plusieurs types de populations de graminicola. Cette diversité se manifeste dans les deux sites (Kamboinsé et Kouaré) de recouvrement des isolats.

Les populations isolées d'une même variété, quel que soit le site, ont des profils plus apparentés. Les isolats issus des variétés Kapèlga (variété sensible au mildiou) et IKMP1 (variété tolérante) sont plus polymorphes et similaires et se distinguent nettement des isolats obtenus de 7042 (variété très sensible) qui sont peu polymorphes. Ces résultats nous permettent d'émettre l'hypothèse d'une sélection différentielle de populations de S. graminicola en fonction de l'hôte. Cette hypothèse mérite d'être vérifiée par une étude sur un grand nombre d'isolats provenant de plusieurs plantes de la même variété sur différents sites.

Les isolats naturels sont souvent des mélanges de populations. Il conviendrait de mener en parallèle une étude sur des souches bien caractérisées au préalable. L'inoculation du mélange de ces souches sur différentes variétés de mil, leur réisolement et leur caractérisation permettraient de vérifier plus objectivement cette hypothèse de sélection de populations.

Dans les relations hôte-parasite, un autre phénomène peut apparaître, à savoir l'induction de modifications de la composition en protéines et/ou isoenzymes des populations du parasite. Cette hypothèse peut être vérifiée dans le cas de l'interaction mil-S. graminicola en inoculant une souche sur plusieurs variétés puis en la caractérisant après réisolement.

### 3.4.2 - Les profils d'estérasés des variétés de mil

L'électrophorèse des protéines foliaires des variétés de mil a permis de façon générale, de déceler des niveaux de ressemblance variables dans la composition enzymatique des variétés. Aussi, deux groupes composés des variétés CVP39, IKMP1 et CBF32 d'une part, et des variétés Kapèlga et 7042 de l'autre ont des profils apparentés dans chaque site de criblage. La similitude au sein des deux groupes de variétés pourrait être liée au génotype de chaque variété. En effet, le tableau III.1 indique que la variété CVP39 (résistante au mildiou), et dans une moindre mesure les variétés CBF32 et IKMP1 (tolérantes au mildiou) sont dotées d'une bonne résistance au mildiou tandis que Kapèlga et 7042 sont sensible et très sensible, respectivement, à la maladie. Cette hypothèse pourrait être vérifiée par des tests confrontant des variétés de mil à différents isolats de mildiou dans de mêmes conditions expérimentales (température, humidité, ...) et en présence de témoin.

Par contre, les différences décelées (qualitatives comme quantitatives) au niveau des profils d'une même variété prélevée dans les trois sites pourraient être le résultat de l'interaction de la variété avec des populations différentes de l'agent pathogène.

### 3.5 - CONCLUSION PARTIELLE

La comparaison par électrophorèse des isolats de Sclerospora graminicola a permis de déceler des différences entre isolats de même origine géographique mais issus de variétés de mil différentes, indiquant que plusieurs populations cohabitent sur un même site.

Les isolats d'origine géographique différente mais provenant de la même variété de mil ont des profils plus apparentés.

L'analyse électrophorétique des protéines foliaires de variétés de mil cultivées sur différents sites de criblage au

mildiou a fait ressortir de faibles différences dans la composition en isoenzymes des variétés. De fortes ressemblances ont été décelées d'une part, entre les profils des variétés dotées d'une bonne résistance au mildiou et d'autre part, entre les profils de variétés sensibles à la maladie. D'un site à l'autre, les variations notées entre les profils d'une même variété ont été relativement faibles, les causes de ces variations devant être élucidées.

**QUATRIEME PARTIE : CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

Le travail réalisé dans le cadre du présent mémoire a visé deux objectifs principaux :

- Tester l'efficacité de trois produits végétaux (poudre de néré, extraits de beurre de karité et poudre des feuilles d'holarrhène) contre le mildiou du mil dans le but de juger de leur intérêt comme moyen de lutte.
- Caractériser par analyse biochimique les populations de Sclerospora graminicola présentes au Burkina et explorer les possibilités d'utilisation de la technique d'électrophorèse des protéines foliaires des plantes pour rechercher des marqueurs de résistance ou de sensibilité des variétés de mil au mildiou.

En ce qui concerne le premier point, les résultats auxquels nous sommes parvenus nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- Le traitement foliaire au champ avec différentes suspensions de poudre de néré a présenté peu d'intérêt dans la lutte contre le mildiou du mil. Par contre, au laboratoire, l'immersion de feuilles de mil infectées dans les suspensions de poudre de néré de concentration 40 g/litre d'eau et 20 g/litre d'eau, pendant dix ou même deux minutes, a permis de freiner sensiblement la production des zoosporanges du champignon sur les feuilles. Avant de conclure à l'efficacité ou non de la poudre de néré contre le mildiou en milieu réel, l'on pourrait améliorer les techniques permettant un contact effectif entre la feuille de mil et les gouttelettes des suspensions de néré.
- L'épandage des résidus d'extraction de beurre de karité dans la parcelle avant ou au semis a offert une protection limitée aux graines et aux plantules contre l'infection par les oospores de mildiou. Cependant, contrairement à la dose unique utilisée dans la présente étude, l'emploi de plusieurs doses de résidus au laboratoire permettrait de mieux élucider l'impact des extraits de beurre de karité sur l'inoculum primaire de mildiou.
- L'utilisation de la poudre de feuilles d'holarrhène en traitement des semences a faiblement préservé les graines et les plantules de l'infection primaire de mildiou.

Le fongicide chimique "Apron Plus", utilisé dans les différents essais comme témoin de référence a entraîné une réduction plus importante de la maladie à Kamboinsé qu'à Kouaré. Des tests confrontant l'Apron Plus aux isolats de mildiou de différentes localités dans les mêmes conditions expérimentales sont indispensables avant de conclure à l'apparition ou non de souches résistantes au produit.

Concernant le second point du travail, l'analyse électrophorétique a mis en évidence l'existence de plusieurs types de populations du champignon. Dans chaque site de criblage au mildiou, les populations isolées sur des variétés de mil différentes ont des profils différents. Les populations isolées d'une même variété de mil dans différents sites ont des profils plus apparentés. Il semble donc exister une diversité génétique au sein de Sclerospora graminicola. Ces résultats préliminaires nous permettent de suggérer l'utilisation des critères enzymatiques pour une caractérisation des populations du pathogène.

L'électrophorèse des protéines foliaires des variétés de mil cultivées sur différents sites de criblage au mildiou a mis en évidence des ressemblances entre les profils des variétés selon leur sensibilité au mildiou. Les différences entre les profils de la même variété produite sur des sites différents ont été relativement faibles. Ces résultats préliminaires laissent apparaître que l'analyse des protéines foliaires du mil pourrait être utilisée pour caractériser des variétés de mil suivant leur sensibilité au mildiou. A ce effet, des études comparatives entre des profils de plantes saines de sensibilité différente au mildiou et des profils de ces mêmes plantes inoculées par différentes populations du champignon seront indispensables pour mettre en évidence d'éventuels marqueurs de résistance ou de sensibilité au mildiou.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANONYME, 1977. Role of seedling age in downy mildew development of pearl millet. Phytopathological notes, 105.
- BALL S. L., 1983. Pathogenic variability of downy mildew (Sclerospora graminicola) on pearl millet. I. Host cultivar reactions to infection by different pathogen isolates. Ann. appl. Biol. 102, 257-264.
- BALL S. L., PIKE D. J. and BURRIDGE G. Y., 1986. Characterisation of populations of Sclerospora graminicola. Ann. appl. Biol. 108, 519-526.
- BOGNOUNOU O., 1988. De quelques utilisations traditionnelles du karité. In : Séminaire national sur la valorisation du karité pour le développement national. Bilan et perspectives. 15-18 Nov. 1988, IRBET, Ouagadougou, Burkina-Faso, 55-67.
- BONDE M. R., PETERSON G. L., EMMETT R. W. and MENGE J. A., 1991. Isoenzyme comparisons of Septoria isolates associated with Citrus in Australia and United States. Pathology Techniques. 81, N°5, 517-521.
- BONKOUNGOU E. G., 1987a. Monographie du néré (Parkia biglobosa (JACQ.) BENTH.), espèce agroforestière à usages multiples. IRBET/CNRST, Ouagadougou, Burkina-Faso, 45p.
- BONKOUNGOU E. G., 1987b. Monographie du karité (Butyrospermum paradoxum (GAERTN. f.) HEPPER), espèce agroforestière à usages multiples. IRBET/CNRST, Ouagadougou, Burkina-Faso, 67p.
- CRAIG J. and ODVODY G. N., 1987. Current status of control of sorghum downy mildew, 10p.

- DANG J. K., THAKUR D. P. and GROVER R. K., 1983. Control of pearl millet downy mildew caused by Sclerospora graminicola with systemic fungicides in an artificially contaminated plot. Ann. appl. Biol. 102, 99-106.
- De WET J. M. J., 1987. Pearl millet (Pennisetum glaucum) in Africa and India. In : Proceedings of the International Pearl Millet Workshop. ICRISAT and INTSORMIL. 7-11 April 1986. ICRISAT Center, India, 3-4.
- DSAP, 1991. Bilan céréalier de la campagne agricole 1990/1991  
In : Journées de programmation des activités agro-pastorales de la campagne agricole 1991/1992.  
3-4 Avril 1991, Ouagadougou, Burkina-Faso, 9-24.
- DSAP, 1992. Bilan céréalier de la campagne agricole 1991/1992  
In : Journées de programmation des Activités Agro-pastorales de la campagne 1992/1993.  
Ouagadougou, Burkina-Faso, 7-22.
- DSAP, 1993. Bilan céréalier de la campagne agricole 1992/1993  
In : Journées de programmation des Activités Agro-pastorales de la campagne 1993/1994.  
Ouagadougou, Burkina-Faso, 15-24.
- DSAP, 1994. Bilan céréalier de la campagne agricole 1993/1994  
In : Journées de programmation des Activités Agro-pastorales de la campagne 1994/1995.  
31 Mars-1er Avril 1994, Ouagadougou, Burkina-Faso, 50-57.
- DSAP, 1995. Bilan céréalier de la campagne agricole 1994/1995  
In : Journées de programmation des Activités Agro-pastorales de la campagne 1995/1996.  
4-5 Avril 1995, Ouagadougou, Burkina-Faso, 4-11.

- DUEZ P., CHAMART S., LE JOLY J., HANOCQ M., ZEBA B., SAWADOGO M. GUISSOU P. et MOLLE L., 1987. Etude de la variation en conessine des écorces de branches de Holarrhena floribunda au Burkina-Faso. Ann. pharmaceutiques françaises 45 (4), 307-313.
- FERNANDEZ D., 1992. Application des techniques de biologie moléculaire à l'étude de la diversité des champignons phytopathogènes. In : Compte-rendu du séminaire régional sur les Interactions Plantes Microorganismes (IFS/ORSTOM). Dakar (Sénégal) 17-22 Février 1992, 201-202.
- FROWD J. A. et SEREME P., 1981. La recherche pour la résistance aux principales maladies du mil. In : Deuxième atelier sur le sorgho et le mil (OUA/CSTR PC 31 SAFGRAD). Publication spéciale n°1, 101-108.
- GOTTLIEB D. and HEPDEN P. M., 1966. The electrophoretic movement of proteins from various Streptomyces species as taxonomic criterium. J. Gen. Microbiol. 44, 95-104.
- HANSEN E. M., BRASIER C. M., SHAW D. S. and HAMM P. B., 1986. The taxonomic structure of Phytophthora megasperma : evidence for emerging biological species groups. Trans. Br. Mycol. Soc. 87 (4), 557-573.
- HARINARAYANA G., 1987. Pearl millet in Indian agriculture. In : Proceedings of the International Pearl Millet Workshop. ICRISAT and INTSORMIL. 7-11 April 1986, ICRISAT Center india, 5-17.
- ICRISAT, 1978. Report of work for the year 1977-1978. Environmental physics subprogram report, ICRISAT, Patancheru, A.P. India, 155p.

- ICRISAT, 1987. Rapport de la pépinière de l'Afrique de l'Ouest pour l'observation du mildiou (WADMON). ICRISAT Centre Sahélien, Niamey, Niger. 38p.
- INERA, 1993. Résultats actuels de la recherche sur le mil au Burkina. Programme SOMIMA (Equipe Centre), 36p.
- KENNETH R., 1975. Sclerospora graminicola. CMI. Descriptions of pathogenic fungi and bacteria, 452.
- KERHARO J. et ADAM J. A., 1974. La pharmacopée sénégalaise traditionnelle - Plantes médicinales et toxiques. Paris: Vigot Frères, 1011p.
- LAEMMLI U. K., 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. Nature 227, 680-685.
- N'DOYE M., GAHUKAR R. T., CARSON A. G., SELVARAS C. J., M'BAYE D. F. et DIALLO S., 1986. Les problèmes phytosanitaires du mil dans le sahel. In : Compte-rendu du séminaire international du projet CILLS de Lutte Intégrée Niamey (Niger), 6-13 Décembre 1984, 79-94.
- NENE Y. L. and SINGH S. D., 1976. Downy mildew and ergot of pearl millet. Plans 22 (3), 366-385.
- OLIVER-BEVER B. E. P., 1986. Medicinal plants in tropical West Africa. 1ère ed. 1986. Cambridge University Press.
- ROCAFREMI, 1993. Rapport bilan du projet "Amélioration du contrôle du mildiou" (1992-1995). In : Le Réseau Mil, Réalisations et Perspectives.
- ROONEY L. W. and MCDONOUGH C. M., 1987. Food quality and consumer acceptance of pearl millet. In : Proceedings of the International Pearl Millet Workshop. ICRISAT and INTSORMIL. 7-11 April 1986. ICRISAT Center, India.

- SEREME P., 1987. Rapport annuel. Programme SOMIMA. Phytopathologie. Campagne 1987, 21p.
- SEREME P., 1988. Bilan des travaux de recherche sur les maladies du mil au Burkina. In : Deuxième revue globale sur les maladies du sorgho et du mil. ICRISAT, INTSORMIL, ICRISAT/SADCC. Hararé (Zimbabwe) 7-11 Mars.
- SEREME P., 1991. Rapport annuel. Programme SOMIMA. Phytopathologie. Campagne 1991/1992, 29p.
- SEREME P., 1992. Rapport annuel. Programme SOMIMA. Phytopathologie. Campagne 1992/1993, 18p.
- SEREME P., 1993. Rapport d'activités du Projet "Amélioration du Contrôle du Mildiou" au Burkina-Faso. Campagne 1993/1994, 42p.
- SEREME P., 1994. Rapport d'activités du Projet "Amélioration du Contrôle du Mildiou" au Burkina-Faso. Campagne 1994/1995, 47p.
- SEREME P., 1995a. Le mildiou du mil Sclerospora graminicola. In: Guide de gestion phytosanitaire des cultures du Burkina. MARA - MESSRS. Projet Canado-burkinabè de protection des végétaux - Agriculture Canada. 1ère ed., 96-98.
- SEREME P., 1995b. Rapport d'activités du Projet "Amélioration du contrôle du Mildiou" au Burkina-Faso. Campagne 1995/1996, 58p.
- SINGH S. D., 1983. Variable cultivar response to metalaxyl treatment in pearl millet. Plant Disease 67, 1013-1015.

- SINGH S. D. and WILLIAMS R. J., 1980. The role of sporangia in the epidemiology of pearl millet downy mildew. Phytopathology 70 (12), 1187-1190.
- SINGH S. D., GOPINATH R. and PAWAR M. N., 1987. Effects of environmental factors on asexual sporulation of Sclerospora graminicola. Indian phytopath. 40 (2), 186-193.
- SOME A., 1988. Variabilité de la composition en systèmes isoenzymatiques de deux champignons phytopathogènes: Colletotrichum capsici (Syd.) Butler & Bisby et Fusarium spp. Thèse Doc., Université Rennes I, n° 280, 113p.
- SOME A. et ROUXEL F., 1991. Premiers résultats de caractérisation isoenzymatique de Plasmodiophora brassicae WORON, agent de la hernie des Crucifères. ANPP. Troisième conférence internationale sur les maladies des plantes. Bordeaux 3, 4, 5 Décembre 1991.
- SOME A. et SAMSON R., 1991. Critères protéiques et enzymatiques pour la caractérisation de Pseudomonas fluorescents phytopathogènes. C. R. Acad. Sci. Paris (312), Série III, 203-208.
- SPENCER D. S. C. and SIVAKUMAR M. V. K., 1987. Pearl millet in african agriculture. In : Proceedings of the International Pearl Millet Workshop. ICRISAT and INTSORMIL. 7-11 April 1986. ICRISAT Center, India.
- TARDIEU M., 1985. Introduction à l'atelier régional sur l'amélioration du mil. In : Communications de l'atelier régional sur l'amélioration du mil. Centre sahélien de l'ICRISAT Niamey, Niger. 31 Août au 4 Septembre 1984, 3-13.

- THAKUR R. P., 1987. Diseases of pearl millet and their management. Proceedings of pearl millet. National seminar on plant protection in field crops, 29-31 January 1986, CPPTI, Hyderabad (India), 147-158.
- THAKUR D. P., KANWAR Z. S. and MAHESESHWARI S. K., 1978. Effect of downy mildew/green disease (Sclerospora graminicola (Sacc.) Schroet) on yield and other plant characters of bajra (Pennisetum typhoides (Burm f.) Stapf and Hubb.). Haryana Agric. Univ. J. Res. 8, 82-85.
- TOSTAIN S. et RIANDEY M. F., 1984. Polymorphisme et déterminisme génétique des enzymes du mil penicillaire (Pennisetum glaucum). Etude des alcool-déshydrogénases, catalases, endopeptidases et estérases. Agron. Trop. 39 (4), 335-345.
- WILLIAMS R. J., 1984. Downy mildews of tropical cereals. Ad in plant pathology 2, ed. D. S. INGRAM and P. H. WILLIAMS, Academic Press, London and New-York, 103p.
- WILLIAMS R. J. and SINGH S. D., 1981. Control of pearl millet downy mildew by seed treatment with metalaxyl. Ann. Biol. 97, 263-268.
- WILLIAMS R. J., SINGH S. D. and PAWAR M. N., 1981. An improved screening technic for downy mildew resistance in pearl millet. Plant disease 65, 239-241.
- WOOD R. K. S., 1992. Induction of disease resistance. In : Compte-rendu du séminaire régional sur les Interactions Plantes Microorganismes (IFS/ORSTOM). Dakar (Sénégal) 17-22 Février 1992, 246-252.

ZANGRE R. G., SEDOGO M.C., SEREME P., DABIRE L. C. et CISSE Z.,  
1990. Principales contraintes à la production du  
mil et priorités de recherche au Burkina-Faso. In:  
Proceeding of the Regional Pearl Millet Workshop.  
19-21 Sept 1990, ICRISAT Sahelian Center, Niamey,  
Niger, 85-96.



## ANNEXE I

Composition des gels de polyacrylamide.

solutions	gel de séparation		gel de concentration
	11% acry	12% acry	3,75% acry
Acry.-bisacry.	1,375 ml	3,000 ml	0,625 ml
Tampon/gel sép.	0,940 ml	0,940 ml	-
Tampon/gel conc.	-	-	1,250 ml
<b>Persulfate</b>			
d'ammonium (1.5%)	0,375 ml	0,375 ml	0,250 ml
Eau distillée	2,500 ml	2,500 ml	2,875 ml
dégazer le mélange pendant 10 mn avant d'ajouter le TEMED			
TEMED	5 $\mu$ l	5 $\mu$ l	5 $\mu$ l

\* Acrylamide-bisacrylamide

- Acrylamide 30 g
- Bisacrylamide 0,8 g
- H2O désionisée qsq 100 ml

Filtrer et stocker à 4°C à l'abri de la lumière.

\* Tampon d'extraction des protéines (Tris 10 mM; PH 7)

- Tris 605 mg
- EDTA 186 mg
- $\beta$  mercaptoéthanol 131  $\mu$ l
- L. cystéine 100 mg
- H2O désionisée qsq 500 ml

## ANNEXE I (suite)

\* Tampon/gel de séparation (Tris-Hcl 1,5 M; PH 8,8)

- Tris 18,15 g
- Hcl 22 ml
- H2O désionisée qsq 100 ml

Filtrer et stocker à 4°C.

\* Tampon/gel de concentration (Tris-Hcl 0,5 M; PH 6,8)

- Tris 6 g
- Hcl 1N 48 ml
- H2O désionisée qsq 40 ml
- H2O désionisée qsq 100 ml

Filtrer et stockée à 4°C.

\* Tampon de migration (0,025 M Tris, 0,192 M Glycine;PH 8,3)

- Tris 3,03 g
- Glycine 14,40 g
- H2O désionisée qsq 1000 ml

Filtrer et stocker à 4°C.

\* Tampon de révélation

- Na2HPO4, 2H2O ----- 44 ml  
(15,6g/l d'eau dist.)
- Na2HPO4, 7H2O ----- 6 ml  
(53,65g/l d'eau dist.)
- Fast Blue RR Salt ----- 50 mg  
(colorant)
- $\alpha$ -Naphthyl acetate ----- 20 mg  
(substrat)
- $\beta$ -Naphthyl acetate ----- 20 mg  
(substrat)

Filtrer.