

---

**Analyse de la résistance génétique de  
*Pennisetum typhoides* (Staff et Hubbo) à  
*Sclerospora graminicola* (Sacc.) Schröet et  
*Claviceps fusiformis* (Loveless).**

## Introduction

Le mil est la céréale la plus cultivée dans les zones Sahélienne et Soudano guinéenne d'Afrique et de l'Inde (BILQUEZ, 1975 ; SAFEEULLA, 1977) où sa culture remonte à l'époque préhistorique (F.A.O., 1987). Il est l'aliment de base des populations et une partie de l'alimentation des animaux (M'Baye, 1993).

Le mil est cultivé pour la production de grains, essentiellement en Inde et en Afrique de l'ouest, ce qui constitue de loin son utilisation la plus importante (Bezançon et al., 1997).

Le mil représente souvent la base essentielle de l'alimentation des populations en Afrique de l'ouest. Les grains sont consommés en bouillie, en couscous ou encore sous la forme de galettes. Il peut également servir à la fabrication de boissons alcoolisées (bière de mil). La culture du mil s'étend entre les 8ème et 17ème parallèles nord. Dans cette zone, il est le plus souvent la seule céréale à se maintenir dans des conditions de déficit pluviométrique et il apparaît alors comme une céréale de subsistance. Plus au sud, là où les pluies sont plus abondantes, il peut également être cultivé mais se trouve alors en concurrence défavorable avec les autres céréales que sont le sorgho, le maïs et le riz (Clément, et al., 1993).

La culture du mil couvrait en 1994 plus de 30 millions d'hectares, dont 20 millions d'hectares cultivés en Afrique dans les zones arides et semi-arides avec une production de 11,9 millions de tonnes à l'Inde, la production de mil atteint 11 millions de tonnes sur une surface de 13,7 millions d'hectares (F.A.O., 1996).

En Afrique, 70% de la production provient de l'ouest du continent. Les principaux pays producteurs sont, par ordre décroissant ; le Nigeria, le Niger, le Burkina, le Tchad, le Mali et le Sénégal (Bezançon et al., 1997).

Au Sénégal, la production de céréales durant la dernière décennie avant 1994 est presque stagnante, sa croissance (environ 1,4% par an depuis l'indépendance) est restée bien inférieure au taux de croissance de la population de l'ordre de 3% par an (MDRH/Sénégal, 1986). Ainsi pour combler le déficit vivrier, le gouvernement sénégalais est obligé de procéder à une importation d'un tonnage important de céréales par l'intermédiaire du secteur privé (M'Baye, 1994). Le mil représente environ 60% de la production céréalière du pays (voire Tableau I, DISA/DA, 1993 à 1998).

La production insuffisante de mil est due à des rendements à l'hectare très faibles consécutifs à des contraintes biotiques et abiotiques.

Au plan biotique, le mil est victime d'agressions de tous ordres : insectes, maladies, oiseaux granivores et rongeurs nuisibles. La pression parasitaire dans les conditions actuelles de culture du mil dans le Sahel est l'une des principales contraintes à l'élévation de la production de cette céréale (M'Baye, 1993).

Parmi les maladies du mil on peut citer des maladies d'origine biotique (fongique, bactérienne, virale) et abiotique (carence en éléments nutritifs, etc....) des origines diverses. Ainsi les stratégies de lutte doivent impliquer plusieurs méthodes à savoir, les méthodes chimiques (traitement de semence, désinfection des sols et traitement aérien des plants), des méthodes génétiques de création de génotypes résistants ou tolérants aux différentes maladies et des techniques culturales (ajustement des dates et doses de semis, etc...).

L'ISRA, en collaboration avec INTSORMIL, a mené des études sur le mil dont l'objectif est d'améliorer la qualité de vie dans les pays en développement à travers l'accroissement soutenu de la production de grain de mil dans les pays où cette céréale constitue l'aliment de base. Cette amélioration doit passer d'abord par la mise en place de variétés de mil :

- à haut rendement,
- adaptées aux différentes zones écologiques de culture du mil
- résistantes aux maladies

Ainsi notre étude porte sur le dernier volet de ce programme dont l'objectif spécifique est de cribler 40 génotypes de mil vis-à-vis du mildiou et de l'ergot, afin de révéler leur niveau de résistance pour se servir éventuellement comme source de résistance génétique à ces maladies.

Cette étude comprend trois parties : la première, d'ordre bibliographique, porte sur la plante, les systèmes de culture, les maladies et les méthodes de lutte adoptées. La deuxième partie porte sur les méthodes expérimentales employées, et la troisième partie concerne les résultats obtenus, leur analyse et interprétation et les conclusions pour dégager des perspectives de l'étude.

## SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

### I/ Le mil

#### I.1 La plante

Appelé mil à chandelle ou mil pénicillaire, le mil cultivé (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., Syn. ; *Pennisetum typhoides* (Burm) Staff & Hubo et *Pennisetum americanum* (L.) Leeke) est une plante herbacée annuelle (cycle de 45 à 180 jours du semis à la récolte) et appartient à la famille des graminées.

Il possède un nombre chromosomique de base  $n=7$ , bien que chez certaines espèces, on trouve un nombre chromosomique = 9 (Lourd et al., 1984). La plupart des espèces sont diploïdes (Pernes et Lourd, 1984) et quelques unes tétraploïdes (*P. purpureum*) (Gillaumet et Pernes, 1984).

Le mil a un port érigé, pouvant aller de 1 à 6m (Siban, 1981) ; ses tiges sont épaisses (10 à 20 mm à la base) sans lacune médullaire.

Chaque nœud porte un bourgeon axillaire susceptible, dans certaines conditions, de donner une pousse axillaire (talle aérien). Des racines adventives portent des nœuds à la base de chaque tige (en moyenne 25, selon Chopart, 1980). Dans les sols de Bambey, le front racinaire peut atteindre 150 à 200cm (CHOPART, 1980). Selon Ferraris (1973), l'enracinement peut atteindre 360cm de profondeur.

Le mil peut produire jusqu'à 40 tiges par plante (Ramond, 1968). Cependant, seules quelques talles sont fertiles (1 à 7 généralement ; Siban, 1981). L'inflorescence est une panicule contractée ou faux épi (Bono, 1972) en position apicale. La forme grossièrement cylindrique de cette inflorescence, dont l'extrémité du rachis est souvent dépourvue d'épillets, évoque celle du typha, ce qui lui a peut être valu son ancien nom d'espèce typhoïdes (Siban, 1981). Cette panicule est parfois appelée chandelle (M'Baye, 1994).

Le mil est une plante sexuée, hermaphrodite, allogame préférentielle grâce à une protogynie prononcée (Bezançon et al., 1997). Cette protogynie assure la prépondérance de la fécondation croisée qui est anémophile.

Les stigmates apparaissent tout d'abord au tiers supérieur de l'épi et, sur un épi normal, sortent complètement en trois jours. L'apparition des anthères ne peut commencer avant que la sortie des stigmates ne soit terminée ; elle se déroule ensuite de la même manière ; en débutant au tiers supérieur de l'épi. Les stigmates restent réceptifs deux ou trois jours, mais la pollinisation croisée est de règle, environ 80% des fleurs faisant l'objet d'une fécondation croisée naturelle. Cette proportion atteint rarement 100% car les stigmates des talles plus récentes reçoivent souvent le pollen des fleurs de talles plus anciennes et les anthères peuvent parfois féconder les stigmates apparaissant ultérieurement sur le même épi (F.A.O, 1987).

Le mil est une culture des zones chaudes ; pendant son cycle végétatif qui est court (69 – 90 jours ; rarement 120 jours), la température moyenne optimale est de l'ordre de 28°C (MEMENTO de l'Agronome, 1974). Le mil est la céréale la plus tolérante à la sécheresse. Il est cultivé dans des régions où la pluviométrie se situe entre 150 et 800mm (Bezançon et al., 1997). Mais 200mm de pluies suffisent parfois, l'optimum ne dépasse pas 400 à 700mm, et plus de 1200mm entraînent des risques graves de charbon (MEMENTO de l'Agronome, 1974).

Le mil est également bien adapté à la culture irriguée (Harinarayana, 1987). Le comportement photopériodique des variétés détermine le choix de leur implantation. Les variétés semi tardives et tardives restent les plus nombreuses dans la zone Soudano Sahélienne ; les variétés précoces dominent dans la zone climatique typiquement Sahélienne (Clément et al, 1993). Le mil adapté aux conditions du milieu sahélien se caractérise par une forte aptitude à mettre en place des mécanismes physiologiques qui lui permettent de tolérer la sécheresse : ralentissement des pertes en eau au niveau des feuilles supérieures, maintien d'un niveau hydrique favorable au bon remplissage des grains (Winkel et Do, 1992 ; Winkel et al, 1997). La sécheresse compte parmi les facteurs limitants les plus importants de la culture du mil. C'est au moment de son installation (germination et développement de la panicule) et pendant la période qui précède la floraison que la plante est le plus sensible à un manque d'eau (Winkel et Do, 1992).

Le mil est moins exigeant pour la qualité du sol que le sorgho. Il préfère des sols sablo argileux bien drainés d'autant plus riches que le cycle de la variété est plus court (MEMENTO de l'Agronome, 1974).

Suivant la classification adoptée pour les plantes cultivées (HARLAN et WET, 1971), le mil cultivé et le mil sauvage *Pennisetum glaucum* spp. *Monodii* (Maire) Brunken (Syn. *P. violaceum* (Lam.) L. Rich et *Pennisetum mollissimum* (Hochst) forment le premier groupe de gène du genre (Tostain et Marchais, 1993).

Les principaux caractères qui permettent de discriminer les cultivars traditionnels sont la date de la floraison, la hauteur des plantes, le diamètre des tiges, la longueur du premier épi et la production d'épis et de grains. Suivant ces critères, les mils du Niger se rapprochent de ceux du Nigeria et du Sénégal.

Les cultivars traditionnels correspondent à une réalité paysanne et au choix délibéré d'un type plutôt que d'un autre. A titre d'illustration, on peut citer : pour le Sénégal et le Mali, les Souna (variétés précoces), les Sanios (variétés tardives) et la variété Tiotandé spécifique de la vallée du fleuve Sénégal (mil de décrue) mais qui a tendance à disparaître ; pour le Burkina Faso, l'ensemble des Rainis (variétés précoces du nord), l'ensemble des Kazakhs (variétés semi tardives du centre) et l'ensemble des Doufouâs (variétés tardives de l'ouest) (Ouendeba et al., 1995).

Au Sénégal on peut distinguer deux grands groupes de mil cultivé sur la base de la longueur des cycles (Clément et al. 1993) :

- Les Souna, formes précoces qui peuvent être utilisées pour les périodes de soudure (80 – 100 jours du semis à la récolte) ;
- Les Sanio ou formes tardives (130 -150 jours).

Ainsi, le mil Souna occupe environ 85% des surfaces cultivées et est essentiellement réparti dans les zones nord et centre du pays. La culture du Sanio est pratiquée dans les zones sud et Est où la pluviométrie est moins déficitaire (M'Baye, 1994).

## ***1.2 Les systèmes de culture***

Les systèmes sahéliens de production s'inscrivent dans un environnement biophysique caractérisé par la brièveté de la période humide favorable à la croissance végétale, et par de fortes variations interannuelles et saisonnières de la pluviométrie. Le mil tient une place prépondérante dans la plupart de ces systèmes, il peut coexister avec d'autres céréales en particulier le sorgho (en zone soudano-sahélienne), et des légumineuses (Serpantie et Milleville, 1993). Ainsi, au Sénégal, coexistent deux systèmes de cultures : l'un majoritaire, traditionnel et l'autre, plus moderne, intensifié, est encore à l'état embryonnaire. Sur des exploitations agricoles de dimensions variables, la succession habituelle est Mil-Légumineuse (Niébé, arachide,...) avec des rendements faibles (600kg/ha) et fluctuant, assurant des revenus par habitant très bas (Siband, 1981).

L'élevage est souvent combiné à ces systèmes d'exploitation agricole. Le pastoralisme repose sur une mobilité faisant appel à des rythmes saisonniers marqués. Les troupeaux gagnent durant la saison des pluies des zones de parcours plus ou moins éloignées des terroirs cultivés, et reviennent sur les champs dès la fin des récoltes. La consommation des résidus de culture, l'apport de fumure animale, constitue un fondement de relations techniques entre agriculture (et en particulier la culture du mil) et l'élevage (Serpantie et Milleville, 1993). Aussi, l'engrais minéral est utilisé mais son niveau d'utilisation reste encore faible. Au total, il existe trois modes d'entretien de la fertilité : la jachère, la fumure organique et l'utilisation de légumineuses (Diouf, 1990).

Dans le bassin arachidier, l'espace agricole est organisé en trois zones concentriques (Pelissier, 1966 ; Benoit-Catin *et al.*, 1986). Autour des villages, dans une auréole d'étendu variable, le mil est cultivé en continu. Ce sont des champs de case (ou *Tol kër*). Ces parcelles reçoivent régulièrement des apports d'ordures ménagères. En saison sèche, c'est aussi le lieu de parcage nocturne des animaux domestiques. A l'inverse, la défriche récente (ou *Tol gor*), terroir le

plus éloigné, est exploité de façon intensive et assure l'interface entre la zone cultivée et la zone de parcours.

Le terroir intermédiaire, le *Tol jati*, est celui où l'intensification proposée par la recherche est plus spécialement mise en œuvre.

La répartition des parcelles est de 74% pour le *Tol jati*, 13% pour le *Tol jati* et le *Tol gor* (Benoît-Catin *et al.*, 1986). Les principales techniques culturales du mil dans le bassin arachidier se résument au travail du sol avant semis, au semis, au démariage, aux sarclages (entretien et lutte contre les adventices), à la fertilisation minérale et organique et à la récolte et conservation.

## II/ Les maladies du mil

L'un des facteurs de la faible productivité du mil dans le Sahel est la perte causée par les maladies (M'Baye, 1993). Les maladies les plus importantes quant aux dégâts qu'elles occasionnent sur le mil sont : le mildiou, le charbon et l'ergot (Bezançon *et al.*, 1997). Leur gravité varie d'une région à l'autre selon les conditions climatiques (F.A.O, 1987). Les autres maladies (rouille (*Puccinia penniseti* Zimm), pyriculariose (*Pyricularia setariae* Nisikado), tâches zonées (*Gleocercospora sorghi*), virose, bactériose) ne causent que des dégâts plus ou moins variables d'une zone à l'autre et d'une année à l'autre (M'Baye, 1993).

### II.1 Le mildiou (*Sclerospora graminicola*, Sacc. Schroet)

Le mildiou est, sans doute, la maladie la plus dangereuse du mil dans le Sahel. Elle a été signalée dans presque tous les pays de la région. Chaque année elle cause des pertes appréciables sur le rendement du mil (M'Baye, 1993).

#### II.1.1 Taxonomie

Le mildiou ou épi vert du mil est causé par *Sclerospora graminicola* (Sacc. Schoet) qui est un champignon parasite de la classe des Phycomycètes de la sous-classe des Oomycètes de l'ordre des Péronosporales de la famille des Péronosporaceae et du genre *Sclerospora* (Roger, 1951). C'est un parasite obligatoire, c'est-à-dire qui exige toujours des tissus vivants de l'hôte pour se développer. Cette espèce est actuellement la seule bien étudiée du genre *Sclerospora* (Shaw, 1970 ; Dick *et al.*, 1984)

## II.1.2 Importance

Cette maladie existe partout là où il y a les cultures de mil. Ses dégâts signalés depuis longtemps sont souvent importants, 6-10% de perte de rendement au Sahel (King, 1970 ; Selvaraj, 1977) ; 50% de mortalité des plantes due au mildiou au Burkina Faso (Frowd, 1979) ; au Niger, Guthrie (1981) trouve une incidence moyenne de la maladie de 19% autour de Sadoré ; au Sénégal les pertes sur le rendement du mil varient de 0,2-21% (M'baye, 1988).

Les réductions de rendement causées par le mildiou peuvent être importantes et dépendent le plus souvent des conditions climatiques, de la variété cultivée, du pathosystème en présence et des pratiques culturales. Le mildiou constitue la principale maladie du mil, il va sans dire que le contrôle de ses effets sur le rendement est un moyen pour augmenter la production de cette céréale. Ainsi pour améliorer le rendement du mil, plusieurs programmes d'amélioration variétale ont été créés. Compte tenu de la biologie du pathogène, ces programmes d'amélioration portent sur la résistance variétale du mil à *Sclerospora graminicola* qui est une exigence prioritaire de sélection (Bilquez, 1975).

## II.1.3 Les organes

Les organes du parasite sont constitués par le mycélium et les zoosporocystophores.

### II.1.3.1 Le mycélium

Le mycélium ou hyphe du champignon est coenocytique, (inter et intracellulaire) de diamètre variable pouvant atteindre 10µm. Il se développe par formation de haustaria grêles et ramifiés (Girard, 1975). Au niveau des stomates foliaires, le mycélium donne naissance à des zoosporocystophores qui portent des zoosporocystes.

La présence du mycélium est signalée dans tous les organes de la plante ainsi que dans les semences (Waller et Ball, 1982 ; Shetty *et al.*, 1980). On le trouve généralement dans les semences au niveau de la couche à aleurone et dans le scutellum rarement au sein de l'embryon (Shetty *et al.*, 1980). Certains contestent la présence du mycélium de *S. graminicola* dans les semences (Williams *et al.*, 1980). Le mycélium est pourvu de suçoirs digités (Roger, 1951).

### **II.1.3.2 Les zoosporocystophores (sporangiophores)**

Ce sont des organes du champignon qui sortent par les stomates foliaires et portent des zoosporocystes. De ce fait, on les trouve le plus souvent localisés à la face inférieure des feuilles. Leurs dimensions varient de 100 à 300µm au maximum de leur croissance (Girard, 1975).

### **II.1.4 Les types de spores**

#### **II.1.4.1 Les zoosporocystes (sporangies)**

De forme ellipsoïde, de dimension 19 x 16µm environ (Girard, 1975), les zoosporocystes possèdent une papille à leur extrémité. Les zoosporocystes prennent naissance sur les stérigmates des zoosporocystophores. Leur cytoplasme est hyalin. Au sein des zoosporocystes se différencient des zoospores.

#### **II.1.4.2 Les zoospores**

Les zoospores sont réniformes, de diamètre au repos variant de 4 à 10µm (Girard, 1975). Unités d'infection secondaire (Nene et Singh, 1976), les zoospores sont libérées dans un milieu liquide par les zoosporocystes.

Les zoospores sont, en général uninuclées et biflagellées, mais peuvent parfois être multinuclées et multiflagellées si elles proviennent des zoosporocystes conservés à une température d'environ 5°C (Singh et Williams, 1980).

Si les conditions du milieu sont favorables (présence d'eau sur la plante), les zoospores sont libérées rapidement. Ces dernières s'agitent pendant un moment dans le milieu aqueux, puis s'enkystent en perdant leurs flagelles. Elles commencent à germer immédiatement en émettant un tube germinatif. Elles infectent ensuite l'organe contaminé en envahissant ses tissus (M'baye, 1992). Parfois, la zoospore germe à l'intérieur du zoosporocyste avant d'être libérée.

#### **II.1.4.3 Les oospores**

Ce sont les spores sexuelles du champignon. Elles sont produites sur des organes infectés de la plante à la suite de la rencontre de deux thalles complémentaires par différenciation des gamètes mâles et femelles (Girard, 1975). Les oospores sont très résistantes aux fortes températures du sol et peuvent s'y conserver pendant plusieurs années (jusqu'à 10 ans) (Nene et Singh, 1976). Elles constituent les unités d'infection primaire du champignon.

Les inocula primaires proviennent soit des semences de mil contaminées par les spores du champignon, soit du sol après semis par les spores persistantes des restes de cultures (oospores), soit des fientes des animaux nourris de plantes infectées (ROCAFREMI, 1997). Les oospores en contact avec les racines germent, les pénètrent et colonisent les tissus de l'hôte. Quand les conditions du milieu sont favorables, il se produit une sporulation sur la face inférieure des feuilles. Vers la fin de la campagne culturale, quand les conditions du milieu sont défavorables (températures élevées, pluies rares) une nouvelle génération d'oospores est formée dans les tissus de l'hôte par la rencontre de thalles complémentaires.

A la récolte, les oospores tombent sur le sol en même temps que les débris végétaux ou polluent les semences et s'y conservent pendant l'inter campagne. Dès les semis des campagnes suivantes, elles peuvent initier un nouveau cycle d'infection (M'baye, 1993).

Les oospores sont de forme sphérique aux contours irréguliers et de diamètre très variant, de 36 à 53 $\mu$ m (en moyenne 42 $\mu$ m) et de couleur rouge brune. Elles sont constituées d'un cytoplasme entouré généralement de trois parois. On peut observer parfois une quatrième paroi externe, qui est celle de l'oogone (Girard, 1975).

## **II.1.5 Les symptômes**

L'infection se produit d'habitude sur de très jeunes plantes et elle se généralise dans tout l'organe. Cette infection n'est possible que sur les plantules, car très tôt les tissus deviennent réfractaires et par conséquent la transmission de la maladie de plant à plant en cours de culture n'aurait pas lieu (Roger, 1951). Cette maladie peut affecter toutes les parties de la plante ; les symptômes se manifestent sur : les feuilles, les chandelles et la plante entière.

### **II.1.5.1 Au niveau des feuilles**

Les feuilles attaquées présentent une chlorose au niveau de la base du limbe, se couvrant de sporulation duveteuse blanchâtre (ROCAFREMI, 1997). Cette chlorose qui est au départ réduite, devient de plus en plus étendue sur les feuilles suivantes. Les plages chlorotiques se couvrent de sporulation duveteuse blanche (voir photo 1) ; et ces types de symptômes sont appelés systémique. A l'inverse, il y a les symptômes dits localisés où des taches chlorotiques mal circonscrites et de dimensions réduites ont pu être observées (Girard, 1975). Au niveau de ces tâches, on peut observer une sporulation assez intense.

### **II.1.5.2 Au niveau des chandelles**

Quelquefois malgré l'infection précoce, celle-ci ne se manifeste pas sur les feuilles, mais apparaît seulement à l'époque de la floraison (Roger, 1951).

Sur les chandelles la maladie se manifeste par des épillets qui se transforment en organes foliacés plus ou moins allongés. Les chandelles des talles précocement infectées se présentent sous forme de « balai de sorcière ». Ainsi sur l'épi à la place des grains normaux, il apparaît une excroissance feuillue, longue et effilée (ROCAFREMI, 1997).

La gamme des aspects que peut prendre les inflorescences infectées est vaste et dépend de l'époque de l'invasion des primordia floraux par le parasite :

- Les épillets de la base de la chandelle sont transformés en feuillets alors que ceux du sommet sont restés normaux (voir photo 5)
- Tous les épillets de la chandelle sont transformés en feuillets ; la chandelle prend l'aspect d'un « balai de sorcière » (voir photo 2)
- Les hampes florales se transforment en feuillets (voir photo 3)
- La suppression totale de la chandelle qui se transforme en une masse arrondie verte ressemblant à une massue (voir photo 4)

### **II.1.5.3 Au niveau de la plante entière (photo 6)**

Des symptômes du mildiou peuvent être présents soit à la fois sur feuilles et sur chandelles, soit sur chandelles uniquement (Williams, 1984). En général, la maladie se manifeste sur la plante entière par un tallage excessif de celle-ci et par un arrêt de la croissance lors des attaques sévères et précoces. Dans ce cas, les plantules meurent avant tallage (20-21 jours après semis) (ROCAFREMI, 1997).

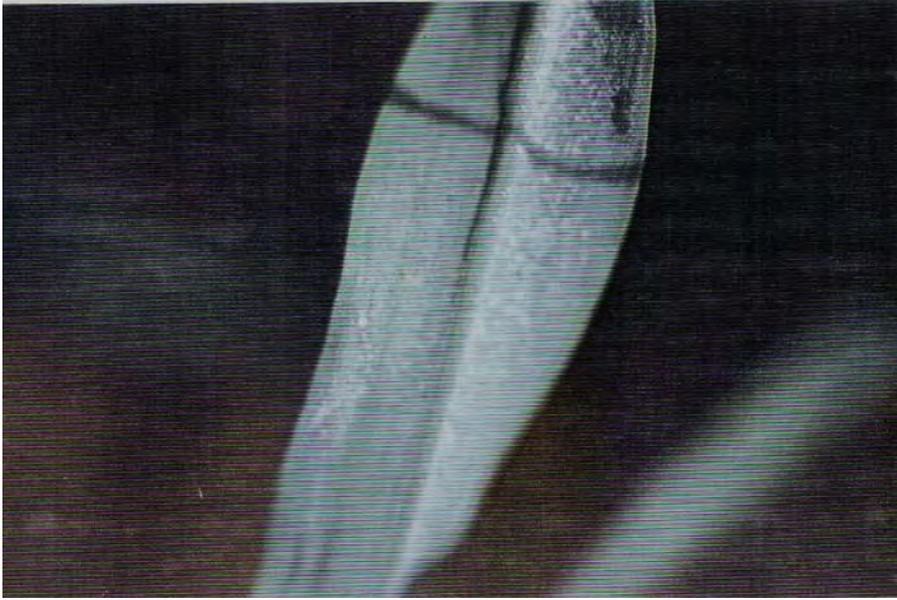


Photo 1 : Symptôme foliaire du mildiou (feutrage blanc sur feuille)



Photo 2: Symptôme sur chandelle (virescence ou « balai de sorcière »)

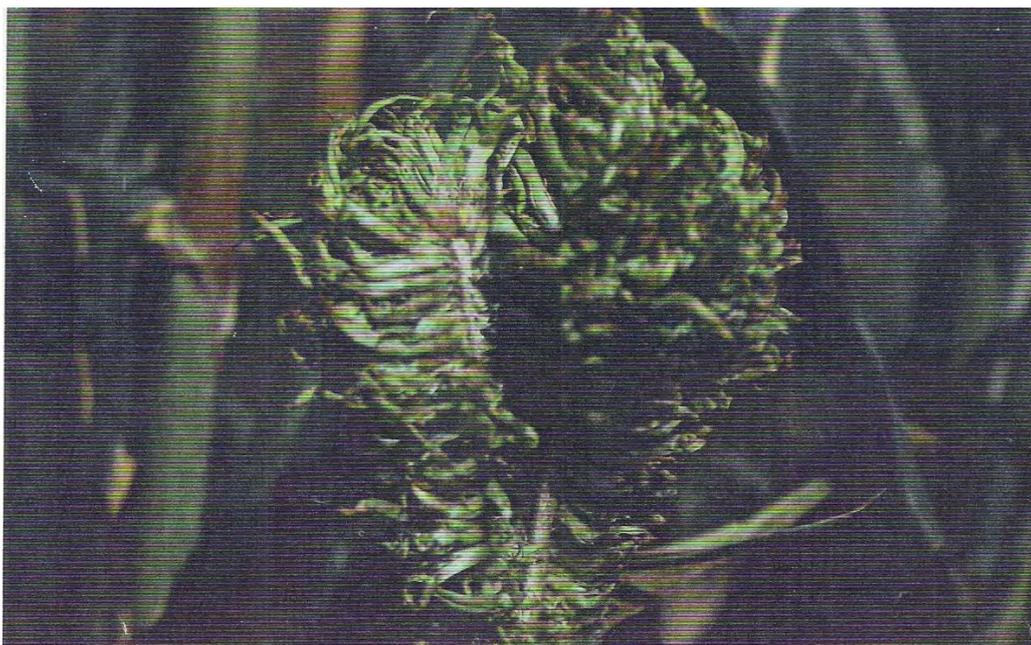


Photo 3 : Symptôme sur chandelle (hampes florales transformées en feuillet).



Photo 4 : Symptôme sur chandelle (suppression de la chandelle qui se transforme en une masse arrondie verte)



Photo 5 : Symptômes sur chandelle (les épillets de base sont transformés en feuillets)



Photo 6 : Symptôme sur la plante entière (la plantule est morte avant le tallage)

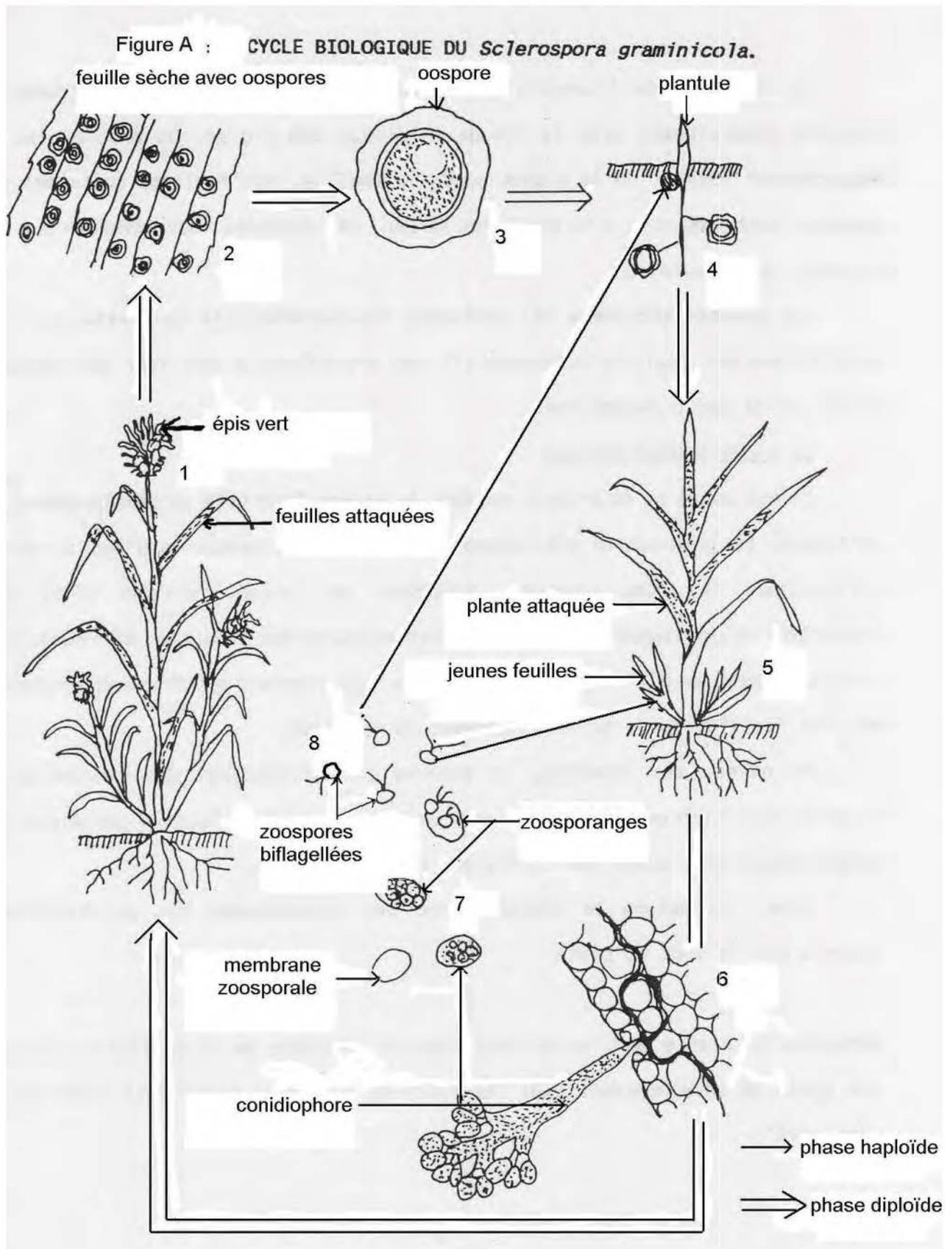


Figure A : Cycle biologique de *Sclerospora graminicola*

## **II.1.6 Les méthodes de contrôle**

Les méthodes de contrôle proposées pour limiter les dégâts du mildiou sont nombreuses et variées ; parmi elles on a : les techniques culturales, le contrôle chimique le contrôle biologique, le contrôle génétique et la lutte intégrée.

### **II.1.6.1 Techniques culturales**

#### **II.1.6.1.1 Rotation**

Cette méthode vise à réduire l'infection primaire, soit par la réduction de la viabilité des oospores avec l'écoulement du temps entre deux cultures de mil, soit par l'utilisation de plantes « pièges » (plantes capables de stimuler la germination des oospores, mais qui ne sont pas infectées par ces dernières). Pour être efficace, cette méthode doit tenir compte de la longévité, de la dormance des oospores et des sources d'inoculum asexué dans les adventices et les autres céréales hôtes dans les champs voisins (Williams, 1984).

Vu la biologie et l'épidémiologie du pathogène et les conditions de culture du mil, cette méthode est difficilement applicable. En effet, le manque de terres oblige des paysans du bassin arachidier à cultiver le mil en monoculture. Ceci a pour conséquence l'augmentation des oospores dans le sol qui peuvent y demeurer viables pendant plusieurs années (M'Baye, 1994).

#### **II.1.6.1.2 Date de semis**

Il a été signalé qu'un retard de semis peut avoir comme conséquence, l'augmentation de l'incidence du mildiou (Chahal *et al.*, 1978 ; Girard, 1975 ; Mbaye, 1985) à cause des effets combinés du nombre de zoospores provenant des plantes précocement infectées et de la sensibilité relative des jeunes plantes (Williams, 1984).

Les saisons sèches longues et très chaudes du Sahel empêchent la survie des zoosporocystes, c'est pourquoi des semis sur une grande échelle dès les premières pluies ou à sec, peuvent aider à contrôler le développement de la maladie (M'Baye, 1994).

### **II.1.6.1.3 Arrachage manuel et destruction des plantes infestées**

La destruction des plantes infectées présente un double avantage : elle permet de réduire ou d'éliminer les inocula primaires et secondaires et elle est simple et rentre dans la plupart des cas, dans l'entretien des champs. Cependant, cette pratique demande beaucoup plus d'attention et de main-d'œuvre de la part des paysans. Pour que cette méthode soit efficace, il faut que le même comportement soit adopté par tous les cultivateurs de la même zone. La difficulté des paysans à appliquer cette méthode réside dans l'identification précoce des symptômes, car le premier mois de développement des cultures est le moment le plus critique (Williams, 1984 ; M'Baye, 1987).

### **II.1.6.1.4 Fumures**

De nombreux travaux effectués dans le cadre de la lutte contre le mildiou par l'application de fumures ont abouti à des résultats contradictoires (Deshmukh et al., 1978 ; Singh, 1974 ; Singh and Aggarwal, 1979). De tous ces travaux, il apparaît que cette méthode est inefficace dans le cas des variétés très sensibles (Williams, 1984).

### **II.1.6.2 Contrôle chimique**

Beaucoup de produits chimiques ont été proposés par des auteurs dans le cadre du contrôle des mildious ; parmi lesquels nous avons : le traitement de semences au chloroneb combiné à plusieurs applications foliaires au bis-dithiocarbamate proposés par Exconde 1975 Frederiksen et Renfro 1977 ; l'enrobage des semences avec de l'Agrosan GN proposé par Thakur (1977) et le Metalaxyl (N-(2-méthoxyacetyl)-N-(2,6-Xylyl)-DL-alamine). Tous ces produits se sont révélés inefficaces à cause soit de leur inapplicabilité technique et économique en milieu paysan, soit de leur protection partielle des cultures au cours de leur cycle de développement (Selvaraj, 1978), ou soit de leur phytotoxicité sur les plantes (Williams, 1984).

### **II.1.6.3 Contrôle biologique**

Des *Chytrides*, *Fusarium spp* et *Curvularia spp* parasitent souvent les oospores des mildious des graminées ; aussi beaucoup de bactéries ont été observées à l'intérieur des oospores (Williams, 1984). Ces parasites peuvent être utilisés dans la lutte contre le mildiou. Cependant, aucune recherche à notre connaissance n'a été menée dans ce sens.

#### **II.1.6.4 Contrôle génétique**

Le contrôle du mildiou par la création de variétés résistantes ou tolérantes est la méthode la plus porteuse d'espoir et la plus accessible au monde paysan africain (Williams, 1984 ; Singh et *al.*, 1983).

Au Sénégal, en trois ans (1983, 1984, 1985), sur 6478 variétés criblées, 3398 se sont révélées résistantes (M'Baye, 1987), de même qu'au Burkina Faso, où quatre variétés testées pendant six ans (1976-1981) ont montré une infection très faible (Frowd, 1981).

Ainsi, dans cette dynamique de lutte contre le mildiou, une pépinière pour l'observation du mildiou a été initiée depuis 1986. Elle a pour but de déceler du matériel ayant une résistance stable au mildiou dans cinq pays (Sénégal, Mali, Niger, Nigeria et Burkina Faso).

Actuellement, même s'il est possible de révéler le niveau de résistance d'un matériel par le criblage, les mécanismes génétiques de cette résistance, sa stabilité dans le temps et sa nature demeurent encore inconnus (M'Baye, 1997) ; d'autant plus que *S. graminicola* possède un haut potentiel de variabilité génétique et d'adaptabilité aux génotypes de nouveaux hôtes (R. P. Thakur, 1995). Les travaux de M'Baye (1994) sur le déterminisme génétique de la résistance du mil au mildiou démontrent que celui-ci est complexe : même s'il existe des gènes majeurs, on peut avoir une résistance quantitative spécifique. Egalement, l'existence d'effets maternels dans l'héritabilité de la résistance au mildiou a été mise en évidence chez certaines variétés.

#### **II.1.6.5 Lutte intégrée**

Cette méthode associe deux ou plusieurs méthodes pour assurer un niveau de contrôle plus élevé et plus durable qu'on ne peut avoir avec chacune des méthodes prises individuellement. L'efficacité des combinaisons de méthodes de lutte dépend à la fois de l'épidémiologie de la maladie dans la région où elle est appliquée et de l'efficacité de chacune des méthodes (Williams, 1984).

Les travaux de M'Baye (1994), montrent qu'une lutte intégrée contre le mildiou du mil est épidémiologiquement, agronomiquement et économiquement envisageable. Ces travaux, cependant, mériteraient d'être complétés par de nouvelles expériences.

## **II.2 L'ergot**

### **II.2.1 Taxonomie**

L'ergot est une maladie causée par un champignon appelé *Claviceps fusiformis* (Loveless). Ce champignon appartient à la classe des Ascomycètes, à l'ordre des Sphaeriales, à la famille des Clavicipitaceae, et au genre *Claviceps* (Roger, 1951).

### **II.2.2 Importance**

Cette maladie existe dans presque tous les pays où se pratique la culture du petit mil. L'ergot est la troisième maladie la plus importante du mil dans le Sahel. Avec le retour des cycles normaux de pluies, la maladie semble reprendre de l'importance. La maladie est redoutable à double titre:

- Sur les chandelles, à la place des grains, il se forme des sclérotés. Le pourcentage de grains perdus peut atteindre 100%.
- Les sclérotés renferment des substances toxiques pour l'Homme et pour les animaux.

Au Sénégal, dans certaines zones, et pendant certaines années, l'ergot occupe la première place parmi les maladies du mil comme se fut le cas dans la région de Louga en 1989 (M'Baye, 1993).

L'incidence et la sévérité de l'ergot dépend fortement des conditions climatiques (humidité relative et température très fortes) qui prévalent au moment de l'anthèse (Thakur, 1987 ; Shetty et al., 1983).

### **II.2.3 Les organes**

#### **II.2.3.1 Le mycélium**

Le mycélium fongique est formé à partir par la germination des ascospores et il est blanc. La fusion de deux mycéliums complémentaires aboutit à la formation de macroconidies qui vont à leur tour donner des microconidies en chaînes.

#### **II.2.3.2 Les capitula globulaires**

Après les premières pluies, Les sclérotés germent en produisant 1 à 16 pédoncules de 6 à 26 mm de long. Chaque pédoncule est terminé par un capitulum globulaire (sorte de chapeau) de couleur claire à brun noir avec des projections périthéciales. La coupe longitudinale des capitula révèle de

nombreux périthèces enrobés dans un tissu somatique dans la région périphérique. A l'intérieur des stroma des capitula, se différencient des ascogones et des anthéridies ; et leur plasmogonie suivi d'une caryogamie aboutit à la formation d'asques.

## **II.2.4 Les types de spores**

### **II.2.4.1 Les ascospores**

Les ascospores sont formées à l'intérieur des asques après une phase de méiose. Elles sont haploïdes, hyalines, effilées et non-septées et mesurent 103,2-176 x 0,4-0,5µm (Thakur et Williams, 1983) ; elles sont à l'origine de l'initiation de l'infection primaire des fleurs au début des campagnes culturales.

### **II.2.4.2 Les conidies**

Les conidies sont constituées de macro et de microconidies. Les macroconidies formées par sporulation du mycélium, donnent les microconidies après germination. Les conidies initient l'infection du mil au stade floraison femelle. Elles contaminent les fleurs en pénétrant par le stigmathe ou par la paroi fine de l'ovaire et détruit celle-ci (F.A.O., 1987). La germination conidiale commence au bout de 16 heures après incubation à 25°C. Les conidies germent en produisant un à trois tubes germinatifs sur les bouts et/ou les côtés du corps conidial et des macro ou des microconidies sont produites au bout des tubes germinatifs (Thakur et Williams, 1983 ; M'Baye, 1985).

### **II.2.4.3 Les sclérotés**

Après 5 à 6 jours de contamination, de petites gouttes de liquide rosâtre ou légèrement couleur de miel, se forment à la place du grain, fréquemment appelées « miellats », elles se tiennent contre les glumes et brillent au soleil.

Une fois le « miellat » formé, sa propagation s'intensifie grâce aux insectes attirés par le goût sucré de ce « liquide ». Les spores collent au corps de l'insecte hôte et sont transmises aux épis sains (F.A.O 1987).

Le « miellat » contient des macro et microconidies, c'est en fait un paquet de suspension de conidies (Kenneth et al., 1980).

Au bout de 10 à 15 jours, le « miellat » s'épaissit et est remplacé par un corps fongique dur, brun sombre, appelé sclérote. Les sclérotés qui sont tombées dans les champs et/ou celles mélangées à la semence initient la maladie à la prochaine campagne culturale (Thakur et Williams, 1983).

La succession des différentes étapes du développement du champignon est illustrée par son cycle (figure B).

## **II .2.5 Les symptômes**

Les symptômes se manifestent uniquement sur les panicules par l'apparition des « miellats » qui seront remplacés par les sclérotés. Les sclérotés peuvent être de différentes couleurs (de brun clair à brun noir), de différentes formes (allongée à arrondie), de différentes compacités (dures à friables) (M'Baye, 1985).

## **II.2.6 Les méthodes de contrôle**

### **II.2.6.1 Les techniques culturales**

Dans le cadre de la lutte contre l'ergot par les techniques culturales, certaines techniques ont été recommandées. Parmi ces techniques il y a :

- L'élimination des adventices hôtes à côté des champs
- Destruction des chandelles portant des sclérotés pour éviter leur consommation ou leur conservation dans le champ. Pour éliminer partiellement les sclérotés des semences, il faut les immerger dans une solution de 20% de sel commercial (Weniger, 1923 ; Kannaiyan et Arjunan, 1975)
- La réduction de la viabilité des sclérotés dans le sol par des labours profonds et fréquents (Sundaram, 1967).
- Les rotations avec des cultures autres que les céréales.
- L'utilisation de l'engrais minérale NPK
- Décalage de la date de semis entre les parents dans le cas des hybrides.

### **II.2.6.2 Contrôle chimique**

Plusieurs modes d'emploi de produits chimiques sont proposés pour contrôler l'ergot. Ainsi, une ou de ux pulvérisations des chandelles au moment de la floraison avec 0,1% de Benlate, 0,25% de DU-TER, 0,25% de Dithane M-45 ou 0,25% de Fytolan ont été indiquées par Kannaiyan et Arjunan (1975). En outre, le Ziram ou le mélange d'oxychlorure de cuivre et du Zinébe (Division de Mycologie et de Pathologie des Plantes, New Delhi) sont utilisés dans ce cas. Toutes ces combinaisons se sont révélées efficaces pour lutter contre l'ergot. Cependant, la pulvérisation des fongicides après l'apparition du miellat s'avère

inutile car inapte à juguler la maladie (Mbaye, 1992). Aussi, l'emploi de fongicides risque d'affecter gravement la pollinisation puisque le traitement se fait sur les inflorescences ; Il convient donc d'adopter des méthodes telles que le contrôle génétique et la lutte intégrée pour éviter ou diminuer les contaminations et les infections (F.A.O 1987).

### **II.2.6.3 Contrôle génétique**

Cette méthode consiste à créer des variétés résistantes ou tolérantes à l'ergot. L'une des voies la plus utilisée pour mettre en place des variétés résistantes est la méthode de criblage.

Au Sénégal, depuis 1982, des milliers de variétés avaient été testées pour leur résistance à l'ergot. Le matériel est classé en fonction de la moyenne des sévérités au sein des variétés (M'Baye, 1992).

Dans la plupart ou presque toutes les lignées résistantes à l'ergot, la résistance semble être liée à une courte protogynie, une rapide anthèse et à une constriction stigmatique. Une rapide formation de constriction dans les tissus stylaires, suite à la fécondation ou à l'âge, conduit au flétrissement des stigmates et empêche l'infection de l'ergot (Thakur et Williams, 1983 ; Willingale et Matle, 1985 ; Willingale et al., 1986).

Les phénomènes génétiques de la résistance à l'ergot sont complexes. La résistance à l'ergot est récessive et contrôlée par plusieurs gènes (Thakur et al., 1983).

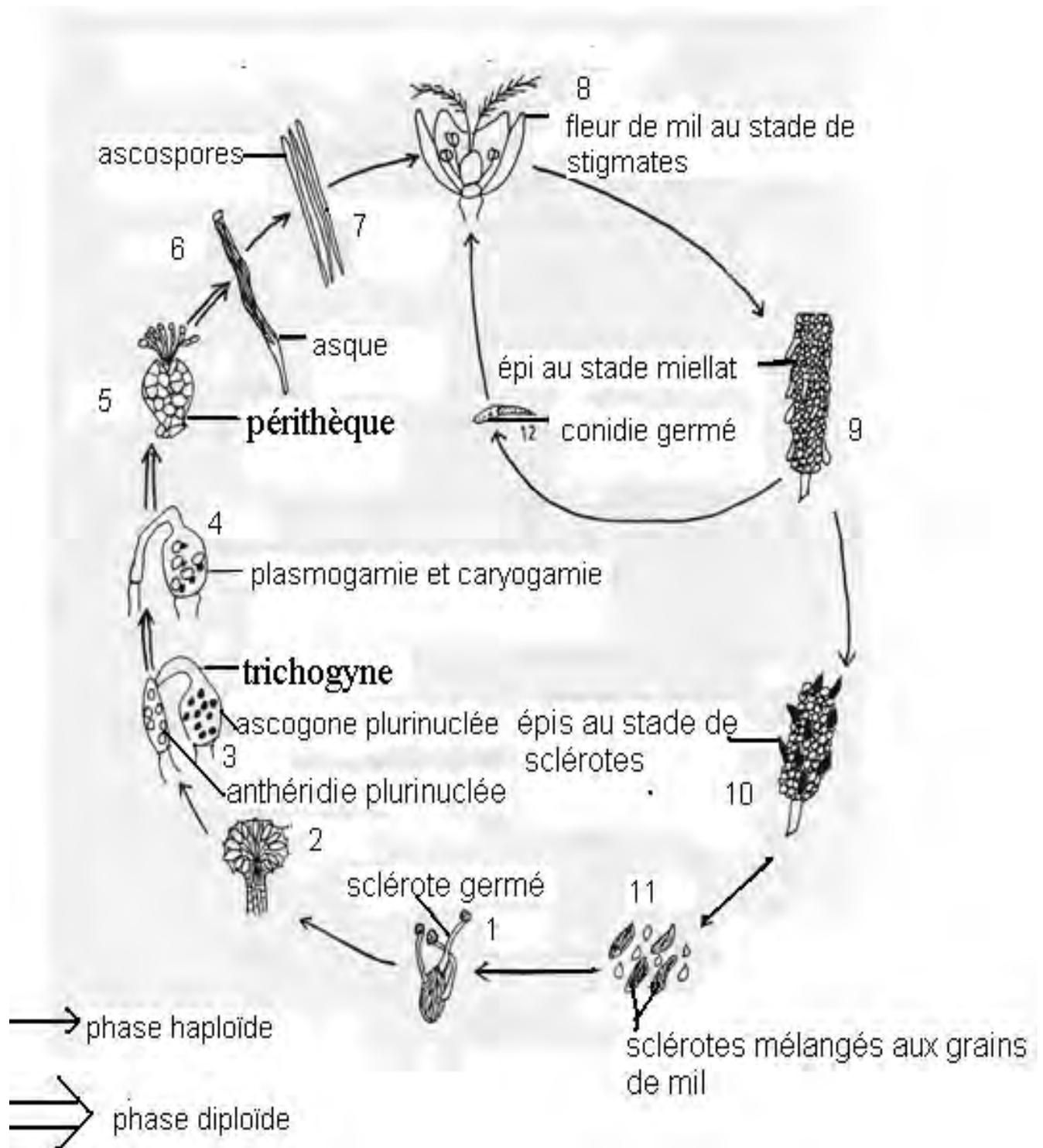
Cependant, il y a nécessité d'effectuer des recherches génétiques plus approfondies pour mieux circonscrire le phénomène de résistance (M'Baye, 1992).

**Tableau I** : Présentation des résultats définitifs des campagnes agricoles au Sénégal 93-98

ANNEE		1993/1994	1994/1995	1995/1996	1996/1997	1997/1998	<b>MOYENNE</b>
MIL	Sup. (ha)	973 911	935 780	890 880	971 643	821 238	<b>918 690,4</b>
	Prod. (t)	653 542	547 751	666 805	601 359	426 481	<b>579188</b>
SORGHO	Sup. (ha)	126 360	141 947	148 414	148 646	154 476	<b>143968</b>
	Prod. (t)	99 073	123 092	127 328	133 009	118 297	<b>120160</b>
MAÏS	Sup. (ha)	108 960	106 814	97 889	84 913	62 178	<b>92151</b>
	Prod. (t)	138 317	108 233	106 509	88 634	60 281	<b>100395</b>
RIZ	Sup. (ha)	77 945	77 736	68 966	73 811	74 698	<b>74631</b>
	Prod. (t)	193 374	162 228	155 152	148 780	173 702	<b>166647</b>
FONIO	Sup. (ha)	3 385	3 318	6 281	7 872	5 284	<b>5228</b>
	Prod. (t)	1 823	2 066	3 579	4 297	2 456	<b>2844</b>
TOTAL CEREALE	Sup. (ha)	1 290 561	1 265 596	1 212 430	1 286 885	1 117 874	<b>1 234 669,2</b>
	Prod. (t)	1 086 128	943 370	1 059 372	976 079	781 217	<b>969 233,2</b>

SOURCE : DISA/DA

Sup = Superficie  
Prod = Production



**Figure B:** Cycle biologique de *Claviceps fusiformis*

**NB:** Les stades 3 et 4 sont des représentations du schéma général de la reproduction sexuelle des ascomycètes ; elles ne sont donc pas spécifiques à l'ergot du mil.

### III/Matériel et méthodes

#### III.1 Matériel

##### III.1.1 Matériel végétal

Le matériel végétal comprend 40 géotypes de mil provenant de la station de Tifton en Géorgie aux Etats-Unis ; la liste de ces géotypes est mentionnée dans le schéma global de l'essai.

##### III.1.2 Autres matériels

**Des produits chimiques utilisés sont:**

- Furadan : la matière active est le Carbofuran ou N-méthylcarbamate de diméthyl-2,2 dihydro-2,3 benzofurannyle-7 qui est un insecticide appartenant au groupe des carbamates. Il se présente sous forme d'un solide cristallin blanc.
- Produit de fertilisation minérale : -engrais 15-15-15 comme engrais de fonds et de surface  
-urée en deux tranches (50kg/ha au démarrage et 50kg/ha à la montaison)

#### III.2 Méthodes

##### III.2.1 Technique culturale (Site et conditions expérimentales)

L'essai a été réalisé au CNRA de Bambey pendant l'hivernage 2004. Le sol y est très sableux et il est de type Dior modal à granulométrie très faible. L'installation progressive de la quasi-monoculture du mil dans cette zone a entraîné une augmentation des densités d'inoculum primaire du mildiou dans les sols (Girard, 1974 ; Sy, 1978). Les moyennes de la pluviométrie, de la température et de l'humidité relative lors des mois de la campagne agricole sont représentées sur le tableau II.

**Tableau II :** Moyenne des températures, de la pluviométrie et de l'humidité au cours de la campagne agricole 2004 à Bambey.

Mois	Pluies (mm)	Température (degré)		Humidité relative (%)	
		min	max	min	max
Juillet	103,0	24,05	34,22	54	97,84
Août	193,7	24	32,9	66,6	99,7
Septembre	159,2	23,73	33,58	65	99,4
Octobre	3,1	23,13	37,44	43,5	98,9
<b>Total</b>	<b>467,1</b>				

La technique de culture est constituée des étapes suivantes :

\*Préparation du sol : Elle consiste en labour profond (15cm) suivi d'un hersage.

\*Fumure : La fumure est appliquée juste après la préparation du sol et est effectuée comme suit : -150 kilogrammes /hectare d'engrais 15-15-15 avant semis, et 100 kilogrammes/hectare d'urée en deux tranches : 50kg/ha au démariage et 50kg/ha à la montaison.

\*Semis : au moment des semis (le 27/07/2005) une pincée de Furadan a été mise dans chaque poquet pour protéger le sol contre les insectes (mouches, altises, scutigérelles, taupins, oscinies, termites, ...)

\*Démariage : un démariage a été fait entre le 8<sup>ième</sup> et le 15<sup>ième</sup> jour après la levée en raison d'un plant par poquet.

\*Sarco-binage : deux sarco-binages ont été faits au 8<sup>ième</sup> jour après la levée et au 15<sup>ième</sup> jour après le premier.

### **III.2.2 Dispositif expérimental**

Le plan expérimental a été un bloc de Fischer avec trois répétitions. Chaque répétition est formée de quarante parcelles élémentaires utiles représentant chacune un génotype.

Chaque parcelle élémentaire est constituée par deux lignes de 9,9 mètres de long avec un écartement de 0,90 mètre entre les lignes et entre les poquets soit au total 12 poquets par ligne et 24 poquets par parcelle élémentaire. Une allée de 1,5m est aménagée entre les répétitions et une ligne de souva 3 est semée au début et à la fin de chaque répétition ; génotype sensible au mildiou, utilisé comme source de densification de l'inoculum secondaire. Cependant, l'initiation de l'infection primaire s'est faite de manière naturelle.

La randomisation des parcelles dans les répétitions est faite au hasard comme l'indique le schéma global de l'essai.

Répétition I

1,5m

Répétition II

1,5m

Répétition III

NKK
Arrow
TG 102 (Hybride)
SOSAT C88
99-72 (Lignée)
T454 (Lignée)
Taram
MDR 68
PI442-2
¾ Ex Bornu
Guéfoué 16
T99B (Lignée)
99M59043Mw x68A4R4 (Hybride)
Zatib
ICMV IS 90311
MDR 15
Gwagawa
01 Miso NCD2-NE
HKP
CIVT
LCIC 9702
Bongo Short Head
Sadoré local
Synthetic 1-2000
68A8 x 086R (Hybride)
Indiana 05
MDR 72
ICMV IS 89305
PT 732B
¾ Souna
GB 8735
Manga Nara
SOSANK
Toronio
Zongo
NKO x TC1
IBMV8401Mx68A84R4w (Hybride)
Kapelga
Tongo Yellow
¾ HK

PT 732B
CIVT
Arrow
SOSAT C88
Manga Nara
ICMV IS 89305
MDR 68
T99B (Lignée)
Sadoré local
MDR 15
HKP
Bongo Short Head
Tongo Yellow
¾ Ex Bornu
T454 (Lignée)
¾ HK
99-72 (Lignée)
NKO x TC1
GB 8735
IBMV8401Mx68A84R4w (Hybride)
Kapelga
99M59043Mw x68A4R4 (Hybride)
Zatib
MDR 72
Taram
Guéfoué 16
¾ Souna
NKK
Zongo
Synthetic 1-2000
LCIC 9702
01 Miso NCD2-NE
TG 102 (Hybride)
Gwagawa
68A8 x 086R (Hybride)
SOSANK
ICMV IS 90311
Indiana 05
Toronio
PI442-2

68A8 x 086R (Hybride)
TG 102 (Hybride)
T454 (Lignée)
MDR 72
T99B (Lignée)
PI442-2
GB 8735
NKK
99-72 (Lignée)
Taram
LCIC 9702
01 Miso NCD2-NE
¾ Ex Bornu
¾ Souna
Manga Nara
ICMV IS 89305
IBMV840Mx68A84R4w (Hybride)
CIVT
MDR 68
ICMV IS 90311
Gwagawa
Indiana 05
Bongo Short Head
99M59043Mw x68A4R4 (Hybride)
Sadoré local
Zongo
HKP
MDR 15
Guéfoué 16
PT 732B
SOSAT C88
Kapelga
NKO x TC1
Arrow
Synthetic 1-2000
Toronio
Tongo Yellow
SOSANK
Zatib
¾ HK

32,7m

**Schéma global de l'essai**

Surface globale : 72,9m x 32,7m = 2383,3m<sup>2</sup>

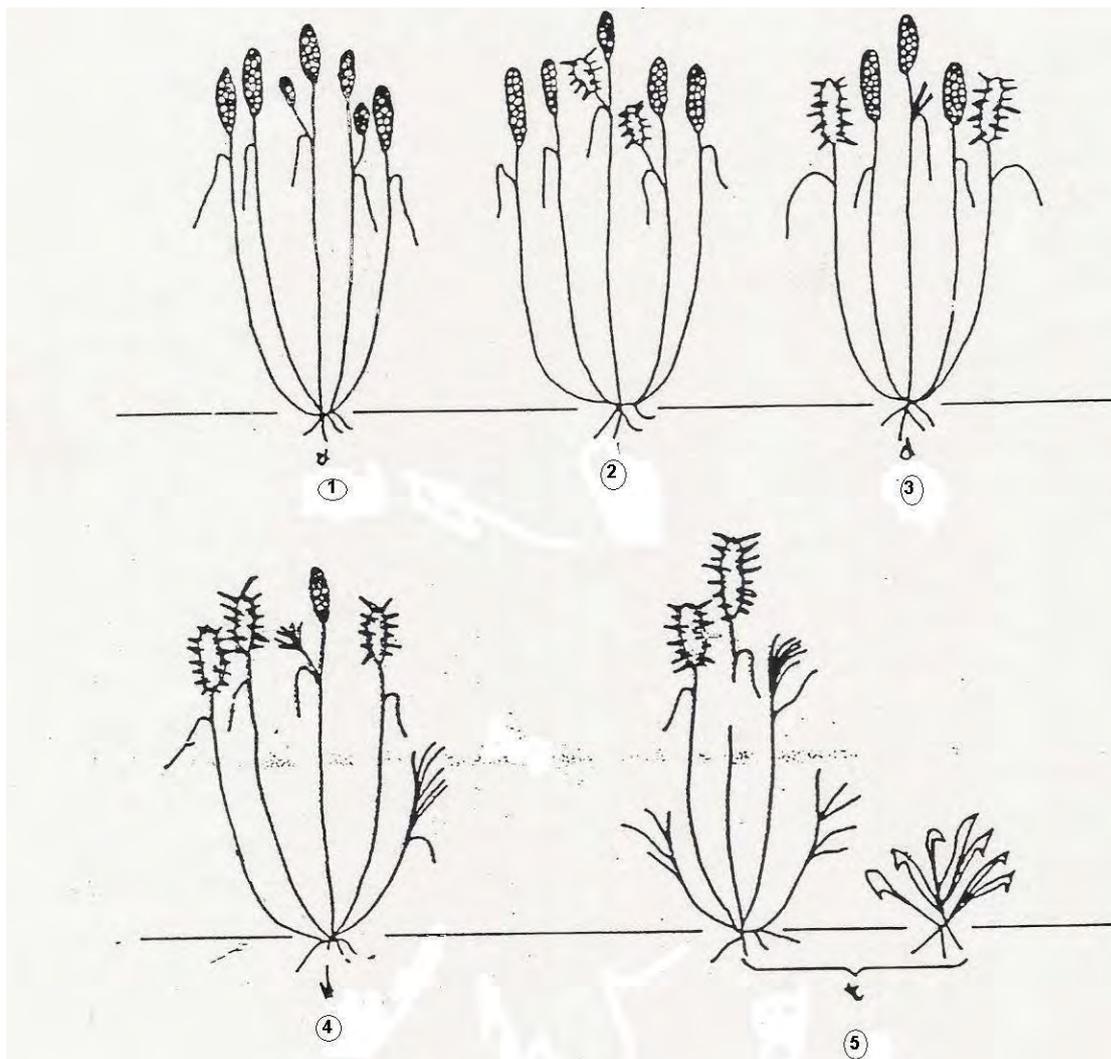
### **III.2.3 Méthodes de suivi**

#### **III.2.3.1 Mildiou**

Habituellement un suivi doit être effectué durant toute la durée du cycle du mil. Les plantes précocement infectées sont marquées par des piquets rouges apposés au 30<sup>ème</sup> jour après semis pour pouvoir les comptabiliser dans la notation en cas de destruction. Généralement deux observations sur l'incidence (25<sup>ème</sup> et 45<sup>ème</sup> jours après levée des lignes tests) et une observation sur la sévérité (maturité des plantes) doivent être effectuées.

L'incidence du mildiou est le pourcentage de plantes attaquées par rapport au nombre total de plantes comptées. Elle ne tient pas compte de la gravité de la maladie sur le plant de mil considéré. La sévérité définit la gravité de la maladie sur un pied de mil donné.

Cependant, en ce qui concerne notre étude, pour des contraintes de temps et de moyens, une observation a été effectuée en comptant le nombre de pieds malades et le nombre de pieds total dans chaque parcelle. Pour chaque plante malade observée, une note lui a été affectée selon l'échelle de notation standard définie ci-dessous :



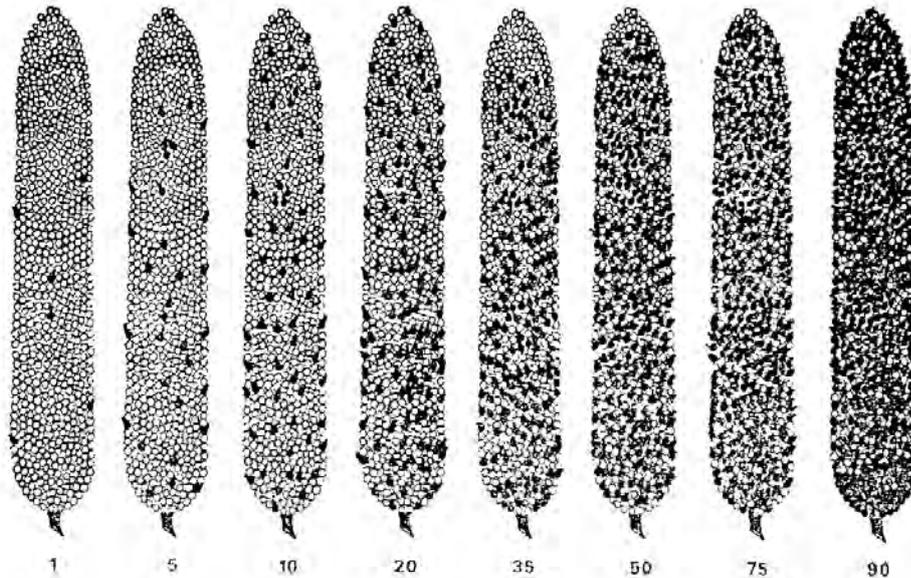
**Figure C :** Echelle de notation de la sévérité du mildiou (d'après R.J. Williams)

#### Echelle de la sévérité d'infection du mildiou

Notes	Descriptions
1 :	Pas d'attaque (aucun symptôme visible de la maladie)
2 :	Les talles axillaires sont attaquées (symptômes visibles Uniquement sur les talles nodales)
3 :	Moins de 50% des talles basales sont infectées
4 :	Plus de 50% des talles basales sont infectées
5 :	Toutes les talles (ainsi que les talles principales) sont Infectées ou la plante est détruite au stade jeune.

### III.2.3.2 Ergot

A maturité, dans chaque parcelle d'évaluation, le pourcentage de grains affecté de l'ergot de dix épis est estimé à l'aide de l'échelle de notation de sévérité définie par Thakur et al. (1983) ci-dessous avec une légère modification (la note 0 est donnée aux épis indemnes au lieu de 1) :



**Figure D :** Echelle de notation de la sévérité de l'ergot :

### III.2.4 Traitement et analyse des données

#### III.2.4.1 mildiou

Les observations qui ont portés sur l'infection du mildiou sont données par l'incidence et la sévérité de la maladie.

- **L'incidence du mildiou**

L'incidence (I en pourcentage) est déterminée à partir du nombre de plants atteints (PA) et du nombre total de plants observés (PT) ; ainsi on a :

$$I (\%) = PA \times 100 / PT$$

- **La sévérité du mildiou**

Après avoir attribué à chaque pied de mil observé une des catégories de note citée ci-dessus, on applique la formule suivante pour déterminer la sévérité du mildiou dans la parcelle :

$$\text{Sévérité: } S (\%) = \sum_{i=1}^5 \frac{y_i (i-1)}{N (5-1)} \times 100$$

Où :  
i= note de la maladie pour chaque plant (1....5)  
y<sub>i</sub>= effectif de chaque classe de note  
N= nombre total de plants observés  
5= étendue de l'échelle

D'après leur sévérité, les entrées sont classées en classes :

Classe I : entrées ne présentant aucun symptôme apparent de mildiou (**S=0**), = **entrées indemnes**

Classe II : entrées ayant  $0,1\% \leq S \leq 5\%$  = **entrées hautement résistantes**

Classe III : entrées ayant  $5,1\% \leq S \leq 10\%$  = **entrées résistantes**

Classe IV : entrées ayant  $10,1\% \leq S \leq 25\%$  = **entrées tolérantes**

Classe V : entrées ayant  $25,1\% \leq S \leq 50\%$  = **entrées sensibles**

Classe VI : entrées ayant **S > 50%** = **entrées hautement sensibles**

### **III.2.4.2 Ergot**

Après avoir déterminé la sévérité de la maladie sur dix épis dans une parcelle, on calcule la moyenne et c'est cette dernière qui représente la sévérité de l'ergot dans la parcelle.

En ce qui concerne l'ergot, la classification des géotypes en classes selon le niveau de sévérité de la maladie est la même que pour le mildiou.

## IV Résultats et discussions

### IV.1 Résultats

#### IV.1.1 Mildiou

D'après les résultats de la sévérité du mildiou dans les parcelles dont les valeurs varient de 0 à 45,28%, on peut dire que les géotypes ont des réactions différentes vis-à-vis de la maladie (voir tableau III)

**Tableau III** : Incidence et sévérité du mildiou sur les 40 géotypes de mil

Numéro	Géotypes	Nombre de plants comptés dans les trois répétitions	Nombre de plants malades dans les trois répétitions	Incidence (%) moyenne dans les trois répétitions	Sévérité (%) moyenne dans les trois répétitions
1	Sodoré local	41	0	0	0
2	Kapelga	59	0	0	0
3	Toronio	57	1	1,8	0,36
4	Zatib	65	0	0	0
5	Zongo	63	0	0	0
6	HKP	69	3	4,3	2,50
7	CIVT	63	1	1,6	0,76
8	SOSAT C88	62	10	16,1	7,77
9	Taram	71	0	0	0
10	SOSANK	56	0	0	0
11	ICMVT IS 89305	71	2	2,8	1,45
12	ICMVT IS 90311	64	0	0	0
13	Synthétique1-2000	69	1	1,4	0,76
14	NKOx TC1	68	4	5,9	2,55
15	Guéfoué 16	68	2	2,9	1,52
16	Indiana 05	66	2	3,0	1,5
17	NKK	67	2	3,0	1,48
18	Bongo Short Head	61	1	3,3	1,77
19	Manga Nara	66	3	4,5	1,91
20	Arrow	72	1	1,4	0,69
21	Tongo Yellow	47	0	0	0
22	PT 732B	25	6	24	11,36
23	P1442-2	60	0	0	0
24	¼ Ex Bornu	68	27	39,7	27,85
25	¼ HK	59	13	22,0	15,22
26	¼ Souna	51	10	17,5	8,81
27	Gwagawa	69	2	2,9	1,45
28	LCIC 9702	63	1	1,6	0,72
29	DMR 15	59	9	15,2	8,85
30	DMR 68	48	6	12,5	7,12
31	DMR 72	52	0	0	0
32	GB 8735	61	2	3,3	1,19
33	99-72 (L)	49	3	6,1	2,63
34	TG 102 (H)	62	8	12,9	6,9
35	T99B (L)	29	17	58,6	45,28
36	T454 (L)	54	2	3,7	2,94
37	IBMV8401Mx68A4R4w (H)	66	0	0	0
38	01Miso NCD2-NE	41	5	12,2	7,16
39	68A x 086R (H)	67	1	1,5	0,79
40	99M59043Mw x 68A4R4 (H)	66	4	6,1	2,97
<b>Moyenne</b>				<b>7,4</b>	<b>4,41</b>

La classification définitive des génotypes indiquée dans le tableau IV montre que 25 génotypes sur 40 présentent des niveaux élevés de résistance au mildiou et ce sont : Toronio ; HKP ; CIVT ; ICMV IS 89305 ; Synthétic1-2000 ; NKO x TC1 ; Guéfoué 16 ; Indiana 05 ; NKK ; Bongo Short Head ; Manga Nara ; Arrow ; Gwagawa ; LCIC 9702 ; GB 8735 ; 99-72 (L) ; T454 (L) ; 68A x 086R (H) ; 99M59043Mw x 68A4R4 (H) ; SOSANT C88 ;  $\frac{3}{4}$  Souna ; DMR 15 ; DMR 68 ; TG102 (H) ; 01Miso NCD2-NE. Ainsi 62,5% des génotypes sont résistants, 27,5% sont indemnes, 5% sont sensibles et 5% sont intermédiaires c'est-à-dire situées entre les génotypes résistants et sensibles donc ils sont tolérants.

**Tableau IV** : Classification des génotypes selon le niveau de sévérité vis-à-vis du mildiou.

Maladie	classes		Génotypes
	Catégorie classe	caractéristiques	
mildiou	I	<b>Entrées indemnes</b>	<i>Sodaré local ; Kapelga ; Zatib ; Zongo ; Taram ; SOSANK ; ICMV IS 90311 ; Tongo Yellow ; P1442-2 ; DMR 72 ; IBMV8401Mx68A4R4W (H).</i>
	II	<b>entrées hautement résistantes</b>	<i>Toronio ; HKP ; CIVT ; ICMV IS 89305 ; Synthétic1-2000 ; NKO x TC1 ; Guéfoué 16 ; Indiana 05 ; NKK ; Bongo Short Head ; Manga Nara ; Arrow ; Gwagawa ; LCIC 9702 ; GB 8735 ; 99-72 (L) ; T454 (L) ; 68A x 086R (H) ; 99M59043Mw x 68A4R4 (H).</i>
	III	<b>entrées résistantes</b>	<i>SOSANT C88 ; <math>\frac{3}{4}</math> Souna ; DMR 15 ; DMR 68 ; TG102 (H) ; 01Miso NCD2-NE.</i>
	IV	<b>entrées moyennement résistantes ou tolérantes</b>	<i>PT 732B ; <math>\frac{3}{4}</math> HK.</i>
	V	<b>entrées sensibles</b>	<i><math>\frac{3}{4}</math> Ex Bornu ; T99B (L).</i>

#### IV.1.2 Ergot :

De la même manière que le mildiou, on constate que les génotypes ont des réactions différentes vis-à-vis de l'ergot ceci en rapport avec les valeurs de sévérités qui varient de 0 à 12,87% comme l'indique le tableau V.

**Tableau V** : Indices de sévérité de l'ergot sur les 40 génotypes.

Numéro	Génotypes	Nombre de plants comptés dans les trois répétitions	Nombre de plants observés dans les trois répétitions	Sévérité moyenne des trois répétitions
1	Sodoré local	41	30	1,73
2	Kapelga	59	30	0
3	Toronio	57	30	0
4	Zatib	65	30	0,87
5	Zongo	63	30	1,13
6	HKP	69	30	2,6
7	CIVT	63	30	1,73
8	SOSAT C88	62	30	2
9	Taram	71	30	0,33
10	SOSANK	56	30	1,47
11	ICMVT IS 89305	71	30	1
12	ICMVT IS 90311	64	30	2,53
13	Synthétic1-2000	69	30	0,33
14	NKOx TC1	68	30	0,6
15	Guéfoué 16	68	30	0,07
16	Indiana 05	66	30	0
17	NKK	67	30	5,13
18	Bongo Short Head	61	30	5,27
19	Manga Nara	66	30	3,47
20	Arrow	72	30	1,93
21	Tongo Yellow	47	30	2,67
22	PT 732B	25	30	7,73
23	P1442-2	60	30	6,07
24	¼ Ex Bornu	68	30	7,07
25	¼ HK	59	30	7,87
26	¼ Souna	51	30	7,87
27	Gwagawa	69	30	4,4
28	LCIC 9702	63	30	8,27
29	DMR 15	59	30	2,8
30	DMR 68	48	30	1
31	DMR 72	52	30	2,9
32	GB 8735	61	30	5,6
33	99-72 (L)	49	30	3,73
34	TG 102 (H)	62	30	10,4
35	T99B (L)	29	30	12,13
36	T454 (L)	54	30	9,87
37	IBMV8401Mx68A4R4w (H)	66	30	7,07
38	01Miso NCD2-NE	41	30	12,87
39	68A x 086R (H)	67	30	7,4
40	99M59043Mw x 68A4R4 (H)	66	30	7,6
<b>Moyenne</b>				<b>4,18775</b>

Après avoir déterminé la sévérité de chacun d'entre eux, les génotypes sont classés en classes comme l'indique le tableau VI.

**Tableau VI** : Classification des génotypes selon le niveau de sévérité vis-à-vis de l'ergot.

Maladie	Classes		Génotypes
	Catégorie classe	Caractéristiques	
<b>Ergot</b>	I	<b>entrées hautement résistantes</b>	<i>Kapelga ; Toronio ; Zatib ; Taram ; ICMV IS 89305 ; Synthétic1-2000 ; NKO x TC1 ; Guéfoué 16 ; Indiana 05 ; DMR 68.</i>
	II	<b>entrées très résistantes</b>	<i>Sodaré local ; Zongo ; HKP ; CIVT ; SOSANT C88 ; SOSANK ; ICMV IS 90311 ; Manga Nara ; Arrow ; Tongo Yellow ; Gwagawa ; DMR 15 ; DMR 72 ; 99-72 (L).</i>
	III	<b>entrées résistantes</b>	<i>NKK ; Bongo Short Head ; PT 732B ; P1442-2 ; <sup>3</sup>/<sub>4</sub> Ex Bornu ; <sup>3</sup>/<sub>4</sub> HK ; <sup>3</sup>/<sub>4</sub> Souna ; LCIC 9702 ; GB 8735 ; T454 (L) ; IBMV8401Mx 68A4R4 (H) ; 68Ax 086R (H) ; 99M59043MWx68A4R4 (H) ;</i>
	IV	<b>entrées moyennement résistantes ou tolérantes</b>	<i>TG 102 (H) ; T99B (L) ; 01Miso NCD2-NE.</i>

Dans cette classification, on remarque que tous les génotypes ont une bonne réaction vis-à-vis de l'ergot sauf seulement trois à savoir TG 102 (H) ; T99B (L) et 01Miso NCD2-NE qui sont tolérants. Autrement dit, sur les 40 génotypes testés, 85% d'entre eux sont résistants à l'ergot 7,5% sont tolérants et 7,5% sont indemnes. Cependant, on note une différence nette des niveaux de résistance.

#### **IV.1.3 Mildiou et Ergot**

Si on considère les deux maladies, on peut constater qu'il y a des génotypes résistants à la fois au mildiou et à l'ergot même si le niveau de résistance est différent; ces génotypes au nombre de 23 soit 57,5% sont : HKP; CIVT ; ICMV IS 89305 ; Synthétic1-2000 ; NKO x TC1 ; Guéfoué 16 ; NKK ; Bongo Short

Head ; Manga Nara ; Arrow ; Gwagawa ; LCIC 9702 ; GB 8735 ; 99-72 (L) ;  
T454 (L) ; 68A x 086R (H) ; 99M59043Mw x 68A4R4 (H), SOSANT C88 ;  $\frac{3}{4}$   
Souna ; DMR 15 ; DMR 68 ; TG102 (H) et 01Miso NCD2-NE.

## IV.2 Discussion

La capacité des génotypes à contrôler le mildiou est appréciée par l'incidence (I%) et la sévérité (S%) de la maladie. Cependant une forte incidence n'implique pas forcément une sévérité forte même si parfois les deux évoluent dans le même sens. A titre d'exemple, le génotype SOSAT C88 qui a une incidence de 16,1%, ne présente qu'une sévérité de 7,77% alors que le génotype DMR 15 lui n'a qu'une incidence de 15,2% avec une sévérité de 8,85%. Le même lien existe entre NKO x TC1 et 99-72(L) ; entre NKO x TC1 et T 454(L).

Donc cela prouve que ce n'est pas par ce qu'il y a une forte manifestation de la maladie (incidence) qu'il y a obligatoirement gravités (sévérité) élevées. Autrement dit, certains génotypes peuvent montrer des manifestations importantes de la maladie pour une gravité réduite, alors que d'autres montrent des manifestations faibles pour des gravités élevées.

### **Adaptation du plan d'expérience**

Le plan expérimental que nous avons utilisé ici (bloc de Fisher) présente bien des avantages mais aussi quelques inconvénients.

Les avantages sont :

- L'élimination des différences entre les blocs, sources de variabilité, contribue à réduire l'erreur expérimentale.
- Ce dispositif permet d'augmenter le nombre de degré de liberté, donc la précision.

Les inconvénients :

- Impossibilité d'avoir recours à ce dispositif lorsque les traitements sont trop nombreux et que par conséquent l'hétérogénéité augmente.
- Absence parfois de dose suffisante d'inoculum pour connaître le niveau de résistance précise des génotypes, d'où l'intérêt d'utiliser des lignes infectantes à l'intérieur des lignes-tests ; ou de la poudre de oospores dans les poquets lors des semis.

### **Echelle de notation**

- **mildiou**

Dans l'échelle de notation, on constate que la note 1 est affectée aux plantes qui ne présentent pas de symptômes apparents sans aucune justification biologique ne soit donnée à cela. En outre, cette échelle de notation comprend beaucoup de catégories et est trop compliquée pour des gens peu expérimentés, donc peu opérationnelle pour un tri rapide.

Il apparaît illogique de donner la note « 1 » à une plante saine. Comme pour l'échelle de Sy (1978), ce système de notation peut être modifié en attribuant la note « 0 » aux plantes saines.

- **ergot**

La notation est basée sur une estimation visuelle de la sévérité et non sur un comptage exact du nombre de grains malades par rapport aux grains sains, et puisque les épis n'ont pas la même taille, l'observation de la sévérité peut être entachée d'erreurs d'estimation.

Cependant il faut tout de même dire que lorsqu'on s'habitue, il est possible de faire un grand nombre d'observation (tri rapide) et d'avoir très rapidement le nombre de grains perdus à cause de la maladie.

### **Classement des génotypes selon le niveau de sévérité des maladies**

La classification des génotypes proposée est le fruit de discussions entre sélectionneurs et pathologistes travaillant sur le mil et des observations sur le terrain pendant plus de dix ans.

Globalement, le matériel que nous avons, présente une sévérité moyenne de 4,4% pour le mildiou et 4,18% pour l'ergot. Ainsi ce matériel est a priori très résistant à la fois à l'ergot et au mildiou. Cependant au regard des résultats du criblage des génotypes, on constate qu'ils ont non seulement des niveaux de résistances différents mais certains sont sensibles au mildiou d'où l'intérêt du criblage par génotypes séparés.

Le matériel appartenant à la classe I (indemne) en rapport avec le mildiou doit être différencié de ce qui est qualifié de « résistant », car les plantes de mil cultivées dans des conditions extrêmes, peuvent échapper à l'agression du pathogène ; d'autant plus que les jours qui ont suivi les semis (c'est la période de l'initiation de l'infection et de développement du pathogène) ont été globalement chauds avec des humidités relatives variant de 54 à 100%. Donc l'absence de la maladie peut être le résultat d'une esquivance et non d'une résistance réelle. C'est pourquoi une prudence doit être observée avant son utilisation dans un processus de sélection. Et pour l'ergot la même prudence doit être observée sur les génotypes présentant une sévérité nulle.

Quant au matériel appartenant aux classes II et III pour le mildiou, aux classes I (sauf les génotypes avec S=0), II et III pour l'ergot qui pourrait être doté de résistance partielle (au sens de Zadoks et Scheen, 1979) est intéressant pour le sélectionneur. Il est nécessaire de distinguer dans ces résistances des niveaux pour permettre aux sélectionneurs de choisir entre génotypes équivalents pour les autres caractères agronomiques.

Appadurai et al., (1975) ont indiqué que la résistance du mil au mildiou semble être déterminée par un ou deux gènes majeurs montrant une dominance. Par

contre, Gill et Jindla (1975) trouvent que l'hérédité de la résistance au mildiou est complexe et implique des interactions génétiques ou/et cytoplasmiques. Gill et al. (1978), quant à eux, la présence de deux gènes dominants dont la présence d'un seul suffit pour déterminer un phénotype résistant. Les travaux récents semblent plutôt montrer un déterminisme polygénique (Singh et King, 1988 ; Singh et al., 1986). Ainsi, une étude sur le potentiel génétique du mil par l'analyse diallèle a été effectuée (D. F. Mbaye, 1994) et les résultats montrent que l'hérédité de la résistance au mildiou est complexe, car elle est à la fois nucléaire et cytoplasmique.

Les entrées de la classe IV (aussi bien pour l'ergot que pour le mildiou), intermédiaires entre les « résistantes » et les « sensibles », en général, perdent très rapidement leur « résistance ». C'est pourquoi, elles doivent être améliorées pour la résistance à ces deux maladies, avant d'être utilisées dans un processus de sélection. Vu le plan expérimental, certaines entrées considérées comme résistantes peuvent se révéler être sensibles. Cela peut s'expliquer par le fait que la quantité d'inoculum n'a pas été suffisante pour tester la réaction de la variété. Par contre, les génotypes appartenant à la classe V pour le mildiou semblent trop sensibles pour être utilisés dans un programme d'amélioration variétale. Bien que certaines possibilités de création d'une variété résistante à partir d'une variété jugée sensible au départ soient démontrées (Williams et al., 1982), entreprendre une telle démarche demande beaucoup d'efforts et de temps, qu'on se pose la question si cela vaut le coût.

Les génotypes sont en même temps testés pour leurs caractères agronomiques notamment sur l'influence des conditions écologiques, sur la productivité et sur la qualité des grains. Le test de 2003 a révélé un résultat intéressant sur le plan du rendement avec un meilleur rendement obtenu par le génotype ICMVT IS 89305 (2,5t/ha) et le plus mauvais rendement est obtenu par le génotypes T454 (94kg/ha). La plupart de ces génotypes sont vulgarisés dans les pays de la sous région (Nigeria, Niger, Burkina Faso, Ghana, et Sénégal) mais aussi dans d'autres pays comme les Etats-Unis... L'objectif final est de trouver des génotypes mieux adaptés que les variétés locales aux conditions écologiques, pathologiques et qui présentent des rendements plus élevés.

Les résultats du test de criblage combinés à ceux obtenus par le test agronomique permettraient de faire un meilleur choix quant au matériel à proposer au monde paysan.

## V/ Conclusion

Le mil est la céréale la plus cultivée en zone sahélienne. Il constitue l'aliment de base d'une grande partie de la population du Sahel. La dominance de la culture du mil dans le Sahel est due à son adaptation aux conditions du milieu (conditions difficiles de pluviométrie) et qui constituent un facteur limitant pour les autres céréales comme le riz, le maïs et le sorgho. En effet ; le mil est victime d'agressions biotique et abiotique, sources de baisse de sa production dans cette zone. L'un des facteurs limitants de la production du mil est constitué par les maladies. Les maladies du mil sont nombreuses, mais les plus importantes quant aux dégâts qu'elles occasionnent sur le mil sont : le mildiou, le charbon et l'ergot. Une des méthodes la plus utilisée pour le contrôle de ces maladies est la création de variétés résistantes. L'importance de cette voie de contrôle réside dans le fait qu'elle est plus accessible au monde paysan, premier acteur dans la production de cette céréale. Le test de criblage effectué sur 40 génotypes pour la résistance au mildiou et à l'ergot a permis de trouver 62,5% de génotypes résistants au mildiou et 85% de génotypes résistants à l'ergot, mais surtout 57,5% des génotypes sont résistants à la fois aux deux maladies. Le problème majeur de cette méthode de contrôle est la stabilité de la résistance dans le temps et dans l'espace. Ainsi, avant toute utilisation de ces génotypes dans un processus de sélection, ils doivent être testés à nouveau et dans des localités différentes au cours d'un certain nombre d'années pour valider ou non les résultats que nous avons obtenus.

- Perspectives

Pour les travaux ultérieurs, les efforts de lutte contre le mildiou doivent être orientés vers une :

- \* Identification des gènes de la résistance au sein des hôtes, et les caractériser pour les développer à côté des lignées isogéniques.

- \* Analyse des gènes virulents dans la population des pathogènes pour mieux les caractériser.

- \* Analyse de l'interaction dans différentes localités entre l'environnement, la population de pathogène et le génotype de l'hôte.

- \* Utilisation des techniques de biologie moléculaire (RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) et RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA)) pour caractériser les gènes résistants dans les hôtes et les gènes virulents dans les populations de pathogènes.

Cependant, la lutte contre l'ergot nécessitera la mise au point de génotypes nouveaux capables de développer des mécanismes d'échappement à infection basés sur une pollinisation rapide et une protogynie courte.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Appadurai R., Parambaramani, C. et Natarajan, U. S., 1975:** Note on the inheritance of susceptibility of pearl millet to Downy mildew. Indian J. Agri. Sci. 45(4): 179-10.
- Benoît-Catin M., 1986:** Les unités expérimentales du Sénégal. CIRAD-DSA ; Montpellier, France. 500p.
- Bilquez, 1975 :** Amélioration des mils. Rapport d'activités. ISRA/ORSTOM., CNRA de Bambey, 50pp
- BONO, M., 1972 :** Contribution à la morphosystématique des Pennisetum annuels cultivés pour leur grain en Afrique occidentale francophone. Agronomie tropicale, 27 : p 229-353.
- Brar et al., 1976 :** Cité par D. F. Mbaye, 1992 : Les maladies du mil au Sahel : état des connaissances et proposition de lutte in Lutte Intégrée Contre les Ennemis des Cultures Vivrières dans le Sahel, John Libbey, P 63-42
- Chahal S. S., Gill K. S. et Phul, P. S., 1978:** Relation between the date of sowing and incidence in pearl millet, *P. typhoides* in the Punjab State. Crop Improvement. 5: 165-166.
- CHOPART J. L., 1980 :** Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide- mil- sorgho- riz pluvial). Thèse d'université n° 10, INP, Toulouse, p 204.
- Clément, J.C., G. Bezançon et G. Billard, 1993 :** Prospection des mils cultivés et des mils sauvages de l'Afrique de l'ouest. In: Le mil en Afrique, S. Hamon, Paris, France, ORSTOM, p. 19-9.
- Deshmukh, S. S., Mayee, C. D. et Kulkarni, B. S., 1978:** Reduction of downy mildew of pearl millet with fertilizer management. Phytopathology, 68: 1350-1353.
- Dick, M. W., Wong, P. T. et Clark, G., 1984:** The identity of the oomycetes causing « kikukyu yellows », with a reclassification of the downy mildews. Bot. J. Linn. Soc., 89: 171-197.
- Diouf, M., 1990 :** Analyse de l'élaboration du rendement du mil (*P. typhoides*). Mise au point d'une méthode de diagnostic en parcelles paysannes. Thèse de doctorat. INA-PG., Paris. 227 pp.
- Exconde, O. R., 1975:** Chemical control of maize downy mildew. Trop; Agri. Res. Sci. Tokyo, 8: 157-162.
- F.A.O., 1987:** Origine, Botanique et Relation Taxonomique du Mil. In : Amélioration et production du maïs, du sorgho et du mil ; Volume 2, p438-433

- F.A.O., 1987:** Malades du Mil à Chandelle et Méthodes de Lutte Correspondantes. In : In : Amélioration et production du maïs, du sorgho et du mil ; Volume 2, p 514-509.
- F.A.O., 1996:** Annuaire production: 1995.Rome, Italie, FAO, 235p
- Ferraris R., 1973:** Pearl millet (*P. typhoides*) commonwealth Agric. Bureau.
- Frederiksen, R. A. et Renfro, B. L., 1977:** Global status of maize downy mildew. Ann. Rev. Phytho., 64: 903-908.
- Frowd, J.A. 1979:** Rapport annuel de pathologie de l'ICRISAT/BURKINA FASO. Icrisat-centre sahélien (Niamey), Niger. 25 pp.
- Frowd, J. A., 1981:** Rapport annuel. (Phytopathologie). ICRISAT/BURKINA FASO. Icrisat-centre sahélien (Niamey), Niger. 20pp.
- Gill, K. S., Phul, P. S., Chahal, S. S. et Singh, N. B., 1978:** Inheritance of resistance to downy mildew disease in pearl millet. Cereal Research Communication, 6.
- Gillaumet J. L. et Pernes J., 1984 :** Stratégie prospection in Gestion des ressources génétiques des plantes, J. Pernes. Tome 2 ; p 136-109.
- Gilles Bezançon, Jean François Renno, K. Anand Kumar, 1997 :** Le mil in L'amélioration des plantes tropicales, André Charrier, Michel Jacquot, Serge Hamon et Dominique Nicola ; P457-481
- Girard, J. C. 1975:** Le mildiou du mil (*Sclerospora graminicola*) au Sénégal (Afrique de l'ouest) Institut Sénégalaise de Recherche Agricole, Sénégal. 15pp.
- Guthrie, 1981:** Rapport de synthèse des activités de phytopathologie de l'ICRISAT/NIGER. Icrisat Centre sahélien-Niamey, Niger 10 pp.
- Harinarayana, 1987:** Pearl millet in Indian agriculture. In: international pearl millet workshop, J. R. Wycombe, Patancheru, Inde, ICRISAT, p 17-5.
- Harlan J.R., et De Wet J.M.J., 1971:** Toward a rational classification of cultivated plants. Taxon, 20: 509-517.
- Kannaiyan, J. et Arjunan, G., 1975:** Ergot disease of bajra and its control. Farmer and Parliament. Vol. 3: p 19-20
- Kenneth O. Rachie and J.V.Majmudard, 1980:** Pearl millet, 307 pp.
- King, S. B. and R. P. Thaur, 1995:** Variable pathogens of millet. In: Disease Analysis Genetics and Biotechnology John F Leslie and Richard A Fredersen, p25-34.
- King, S. B., 1970:** Downy mildew and ergot of pearl millet. In: Proceeding of the consultants' Group Meeting on Downy Mildew and Ergot of pearl millet. 1-3 October 1975. R. J., Williams: 97-101 (ICRISAT), Hyderabad, India.
- Lourd, M., Pernes, J., Sadivan, Y. et Second, P. 1984 :** Evaluation. In: Gestion des ressources génétiques des plantes, J. Pernes. Tome 2 ; P137-237.

- M'Baye, D. F., 1985** : Rapport annuel sur les recherches sur les maladies du mil pendant la campagne agricole 1984-1985. ISRA/CNRA de Bambey, 54 pp.
- M'Baye, D. F., 1987**: Synthèse des activités de recherches sur la pathologie du mil au Sénégal Pendant la première phase du Projet Lutte intégrée du CILSS (1983-1984-1985-1986) Réunion annuelle de Banjul, 2-7 février 1987. ISRA-CNRA Sénégal. 13 pp.
- M'Baye, D. F., 1988**: Le mildiou du mil (*Sclerospora graminicola*) (sacc.) Schroet. In : Sahel PV/Info. (UCTR/PV), 1 : 12-19.
- M'Baye, D. F., 1992**: Les maladies du mil au Sahel : état des connaissances et proposition de lutte. In: Lutte Intégrée Contre les Ennemis des Cultures Vivriers dans le Sahel, John Libbey, p 63-42.
- M'Baye, D.F., 1993** : Contraintes phytosanitaires du mil dans le Sahel : Etat des connaissances et perspectives. In: Le mil en Afrique, Serge Hamon, P186-173.
- M'Baye, D.F., 1994** : Une étude du pathosystème *Pennisetum glaucum* – *Sclerospora graminicola*. Application à la gestion du mildiou du mil au Sénégal. Thèse de doctorat. ENSA, Montpellier, France. 291 pp.
- M'Baye, D. F., 1997**: Rapport final du projet P3 : Amélioration du contrôle du mildiou. ROCAFREMI-WCARMRN. 87 pp.
- Ministère du Développement Rural et de l'Hydraulique** : Plan céréalière du Sénégal. 70 pp.
- Ministère français de la coopération, 1974** : Le Mil. In : MEMENTO de l'Agronome, p 503-498.
- Nene, Y.L., et Singh, S.D., 1976**: Downy mildew and ergot of pearl millet Pans, 22: 366-385.
- Ouendeba B., Ejeta G., Hanna W.W., Kumar K.A., 1995**: Diversity among African pearl millet landrace population. Crop Science, 35: p 919-924.
- Pelissier, P., 1966**: Les paysans du Sénégal. Fabrègues, Paris.
- Pernes J. et Lourd M., 1984** : Organisation des complexes d'espèces. In: Gestion des ressources génétiques des plantes, J. Pernes. Tome 2 ; p 7-108.
- RAMOND, C., 1968** : Pour une meilleure connaissance de la croissance et du développement des mils *Pennisetum*. Agron. Trop., 23 : 844-863.
- ROCAFREMI, 1997** : Rapport final du projet P3, 1992-1997 : Amélioration du contrôle du mildiou du mil, 87 pp.
- Roger L., 1951**: Pathologie des pays chauds. In : Encyclopédie Mycologie, Paul Lechevalier, 1122 pp.
- Safeulla, K.M., 1977**: Genetic vulnerability: the basis of recent epidemics in India. In: Genetic Basis of Epidemics in Agriculture, P.R. Day, p 85-72.
- Selvaraj, N., 1977**: Rapport annuel de pathologie de la composante nationale du Mali du projet Lutte intégrée du Sahel (PLI/CILSS). Institut du Sahel, Mali. pp.43.

- Selvaraj, N., 1978:** Rapport annuel de pathologie de la composante nationale du Projet Lutte Intégrée du CILSS (PLI/CILSS) Mali.
- Serpantie, G., et P. Milleville, 1993:** Les systèmes de culture paysans à base mil (*Pennisetum glaucum*) et leur adaptation aux conditions sahéliennes in Le mil en Afrique, Serge Hamon, p 266-255.
- Shaw, C.G., 1970:** Morphology and physiology of downy mildews significance in taxonomy and pathology. Indian Phytopathol., 23:364-370.
- Shetty H.S., Mathur, S.B., and Neegaard, P., 1980:** *Sclerospora graminicola* in pearl millet seeds and its transmission. Trans. mycol. Soc., 74: 127-134.
- Siban P., 1981 :** Croissance, nutrition et production du mil (*Pennisetum typhoides* Hubb et Stapf). Essai d'analyse du fonctionnement du mil en zone sahélienne. Thèse de doctorat d'état es sciences.Univ. des Sciences et Techniques du Languedoc Montpellier. 302 pp.
- Singh, S. D. and Aggarwal, R. K., 1979:** Effect of zinc and phosphatic fertilizers on the incidence of downy mildew and the nutrient contents in pearl millet. Indian Journal of Agric. Sci. 49: 459-462.
- Singh, S. D. et King, S. B., 1988:** Recovery resistance to downy mildew in pearl millet. Plant dis., 72: P 42-425.
- Singh, S. D., 1974:** Studies on downy mildew disease (*Scerospora graminicola* Sacc.) Schroet of bajra (*Pennisetum typhoides* Brum. F.) Stapf and Hubb. Ph. D. Thesis. Div. Mycol. And Plant Pathol. Indian Agric. Res. Inst., New Delhi, India. 126 pp.
- Singh, S. D., Gopinath, R. et Pawar, M. N., 1983:** Effects of environmental factors on a sexual sporulation of pearl millet downy mildew Phytopathology, 70: p 245-252.
- Singh, S.D. and Williams, R.J., 1980:** Role of sporangia in the epidemiology of pearl millet downy mildew. Phytopathology, 70: p 1187-1190.
- Sundaram, N.V., 1967:** Ergot disease of bajra: its symptoms and control. Indian Farming 17 : p 58-56.
- Sy, A.A., 1978:** Rapport d'activités sur les Recherches sur les maladies du mil pendant la campagne agricole 1971. ISRA/CNRA, Bambey, Sénégal, 52pp.
- Thakur, D. P. et Kanzar, Z. S., 1977:** International seed borne infection and heat therapy in relation to downy mildew of *Pennisetum typhoides* Stapf and Hubb. Science and culture, 43: 432-434.
- Thakur, R. P., 1995:** Status of International Sorghum Anthracnose and Pearl Millet Downy mildew Virulence Nurseries. In: Disease Analysis through Genetics and Biotechnology, John F Leslie and Richard A Fredersen, p 92-75.

- Tostain, S., et L. Marchais, 1993:** Evaluation de diversité génétique des mils (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) au moyen de marqueurs enzymatiques et relations entre formes sauvages et cultivées. In: Le mil en Afrique, Serge Hamon, p 52-33.
- Waller, J.M. and Ball, S.A., 1982:** Interaction between pearl millet varieties and *Sclerospora graminicola* isolates. In: Durable resistance in crops, Lambert F., J.M. Waller and N.A. Van Der Graaf. Plenum Press. London and New York, p 433-437.
- Weniger, W., 1923:** Diseases of grain and forage crops in North Dakota. Research Bulletin 166, North Dakota Agricultural Experimental Station, North Dakota, U.S.A.
- Willingale, J., Mantle, P. G. and Thakur, R. P., 1986:** Post-pollination stigmatic constriction, the basis of ergot resistance in selected lines of pearl millet phytopathology 76: p 539-536.
- Williams et al., 1982:** Citée par D.F. Mbaye, 1994 : Une étude du pathosystème *Pennisetum glaucum* – *Sclerospora graminicola*. Application à la gestion du mildiou du mil au Sénégal
- Williams, R.J., 1984:** Downy mildews of tropical cereals. In: Advantices in plant pathology, Ingram, D.S. and Williams P.H. London Acad. Press. 2: p1-102.
- Willingale, J. and Mantle, P. G., 1985:** Stigma constriction in pearl millet, a factor influencing reproduction and disease. Annals of Botany 56: p109-155.
- Winkel T. et Do, F., 1992 :** Caractères morphologiques et physiologiques de résistance du mil, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., à la sécheresse. L'agronomie tropicale, 46: p 339-351.
- Winkel T., Renno J. F., Payne W., 1997:** Effect of the timing of water deficit on growth, phenology and yeld of pearl millet, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., grown in Sahelian conditions. Journal of Experimental Botany, 48: p 1001-1009.
- Zadoks J. C. and Schein R. D., 1979:** Epidemiology and plant disease management. Oxford University Press, Oxford, New York, 477 p.

## **Remerciements**

Je remercie tout d'abord Monsieur Kandiouura Noba, chef du département de Biologie Végétale pour la confiance qu'il m'a accordé en acceptant mon inscription en 3<sup>e</sup> cycle et à Monsieur Tidiane Bâ pour avoir accepté de présider ce jury.

Je remercie aussi Monsieur Léonard Elie AKPO pour avoir accepté de siéger à ce jury.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à mon maître de stage le Dr. Demba F. M'baye qui n'a ménagé aucun effort pour me mettre dans les conditions les meilleures pour mener à terme mon stage.

Je tiens également à remercier du fond du cœur Mme. Yaye Kéne Gassama Dia pour avoir accepté de m'apporter tout son soutien tant sur le plan administratif que pédagogique.

Mes remerciements vont à l'endroit de l'ensemble des chercheurs du CRZ de Kolda et plus particulièrement à Mr. Amadou Fofana qui a contribué de façon active dans la réalisation de l'essai.

Je remercie aussi tous les techniciens du CRZ de Kolda et en particulier Mr. Jean Christophe Manga pour son appui constant à mon égard.

Je voudrais adresser un remerciement particulier à Mr. Ngor Sène, technicien au laboratoire de phytopathologie au CNRA de Bambey pour son soutien apporté lors de l'identification des maladies et de la collecte des données sur le terrain.

Je remercie l'administration, la comptabilité, le secrétariat, d'une manière générale tous les travailleurs du CRZ de Kolda et l'ensemble de parents et amis qui de près ou de loin m'ont apporté leur soutien.

Je ne saurais terminer sans remercier Aliou N'diaye et Dame Niang pour leur soutien à mon égard.

Je remercie enfin mon ami et frère Fodé Kébé pour tous ses gestes de soutien à mon égard depuis début de ce travail jusqu'à son achèvement.

## LISTE DES TABLEAUX

Page

<b>Tableau I</b> : Présentation des résultats définitifs des campagnes agricole au Sénégal 1993/1994 1994/1995 ; 1995/1996 ; 1996/1997 et 1997/1998.....	<b>20</b>
<b>Tableau II</b> : Moyenne des températures, des pluies et de l'humidité relative de la campagne agricole 2004 à Bambey.....	<b>22</b>
<b>Tableau III</b> : Incidence et sévérité du mildiou sur les 40 géotypes de mil.....	<b>29</b>
<b>Tableau IV</b> : Classification des géotypes selon leur niveau de résistance vis-à-vis du mildiou.....	<b>30</b>
<b>Tableau V</b> : Indices de sévérité de l'ergot sur les 40 géotypes.....	<b>31</b>
<b>Tableau VI</b> : Classification des variétés selon leur niveau de résistance vis-à-vis de l'ergot (selon la sévérité).....	<b>32</b>

## Liste des figures

	page
<b>Photo 1 :</b> Symptôme foliaire du mildiou (feutrage blanc sur feuille).....	10
<b>Photo 2 :</b> Symptôme du mildiou sur chandelle (virescence ou « balai de sorcière »).....	10
<b>Photo 3 :</b> Symptôme du mildiou sur chandelle (hampes florales transformées en feuillets).....	11
<b>Photo 4 :</b> Symptôme du mildiou sur chandelle (suppression totale de la chandelle qui se transforme en une masse arrondie verte).....	11
<b>Photo 6 :</b> Symptôme du mildiou sur la plante entière (la plantule est morte avant le tallage).....	11
<b>Photo 5 :</b> Symptôme du mildiou sur chandelle (les épillets de base sont transformés en feuillets).....	12
<b>Figure A :</b> Cycle biologique de <i>Sclerospora graminicola</i> .....	13
<b>Figure B :</b> Cycle biologique de <i>Claviceps fusiformis</i> .....	21
<b>Figure C :</b> Echelle de notation de la sévérité du mildiou (d'après R.J. Williams, 1984).....	25
<b>Figure D :</b> Echelle de notation de la sévérité de l'ergot.....	26

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**F.A.O** : Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture).

**MDRH** : Ministère de Développement Rural et de l'Hydraulique.

**USAID**: United States Agency for International Development

**DISA/ DA** : Division des Statistiques/Direction de l'Agriculture.

**ROCAFREMI** : Réseau Ouest et Centre Africain de Recherche sur le mil.

**INTSORMIL** : International Sorghum and Millet Network.

## TABLE DES MATIERES

	page
Introduction.....	1
I/ Le mil.....	2
I.1 La plante.....	2
I.2 Les systèmes de culture.....	4
II/ Les maladies.....	5
II.1 Le mildiou.....	6
II.1.1 Taxon.....	6
II.1.2 Importance.....	6
II.1.3 Les organes.....	6
II.1.3.1 Le mycélium.....	7
II.1.3.2 Les zoosporocystophores (sporangiophores).....	7
II.1.4 Les types de spores.....	7
II.1.4.1 Les zoosporocystes (sporangies).....	7
II.1.4.2 Les zoospores.....	7
II.1.4.3 Les oospores.....	8
II.1.5 Les symptômes.....	8
II.1.5.1 Au niveau des feuilles.....	9
II.1.5.2 Au niveau des chandelles.....	9
II.1.5.3 Au niveau de la plante entière.....	9
II.1.6 Les méthodes de contrôle.....	14
II.1.6.1 Techniques culturales.....	14
II.1.6.1.1 Rotation.....	14
II.1.6.1.2 Date de semis.....	14
II.1.6.1.3 Arrachage manuel et destruction des plantes infestées.....	14
II.1.6.1.4 Fumures.....	15
II.1.6.2 Contrôle chimique.....	15
II.1.6.3 Contrôle biologique.....	15
II.1.6.4 Contrôle génétique.....	15
II.1.6.5 Lutte intégrée.....	16
II.2 L'ergot ( <i>Claviceps fusiformis</i> Loveless).....	16
II.2.1 Taxonomie.....	16
II.2.2 Importance.....	16
II.2.3 Les organes.....	17
II.2.3.1 Le mycélium.....	17
II.2.3 Les capitula globulaires.....	17
II.2.4 Les types de spores.....	17
II.2.4.1 Les ascospores.....	17
II.2.4.2 Les conidies.....	17
II.2.4.3 Les sclérotés.....	18
II.2.5 Les symptômes.....	18
II.2.6 Les méthodes de contrôle.....	18

II.2.6.1	Les techniques culturales.....	18
II.2.6.2	Contrôle chimique.....	19
II.2.6.3	Contrôle génétique.....	19
II.3	Objectifs des travaux.....	22
III/	Matériel et méthodes.....	22
III.1	Matériel.....	22
III.1.1	Matériel végétal.....	22
III.1.2	Autres matériels.....	22
III.2	Méthodes.....	22
III.2.1	Technique culturale (Site et condition expérimentale).....	22
III.2.2	Dispositif expérimental.....	23
III.2.3	Méthodes de suivi.....	24
III.2.3.1	Mildiou.....	24
III.2.3.2	Ergot.....	26
III.2.4	Traitement et analyse des données.....	26
III.2.4.1	Mildiou.....	26
III.2.4.2	Ergot.....	27
IV/	Résultats et discussions.....	29
IV.1	Résultats.....	29
IV.1.1	Mildiou.....	29
IV.1.2	Ergot.....	31
IV.1.3	Mildiou et Ergot.....	32
IV.2	Discussion.....	33
V/	Conclusion / Perspective.....	35
	Bibliographie.....	36

# Résumé

Sujet : Etude des conditions de conservation par l'Askairite™ de fruits et légumes au Sénégal : cas de la mangue et de la tomate

Nom de la candidate : **Loubar DIOUF née le 22-03-1975 à Ndoffane**

Nature du mémoire : Diplôme d'Etudes Approfondies de Biologie Végétale

Soutenu le 23-12-2004 à 9 heures

## Composition du jury :

Président : M. Amadou Tidiane BA	Professeur Titulaire	UCAD
Membres : Mme Yaye Kène GASSAMA-DIA	Professeur Titulaire	UCAD
M. Léonard Elie AKPO	Professeur Titulaire	UCAD
M. Jean LARIVIERE	Consultant	UICN
M. Djibril SANE	Maître-Assistant	UCAD

Le secteur de fruits et légumes occupe une place importante dans l'agriculture compte tenu de l'importance des quantités produites et les devises générées par leur commercialisation. Mais l'absence de moyen de conservation fait subir des pertes considérables aux agricultures surtout en zone tropicale.

L'étude entreprise dans ce travail consiste à mettre en place une technique de conservation adéquate et accessible par la tropicalisation d'un nouveau produit askairite. L'askairite est un support minéral absorbant qui a une grande capacité réactionnelle vis-à-vis des composés organiques volatils. Parmi ces composés figure l'éthylène qui joue un rôle prépondérant dans la conservation des fruits et légumes climactériques. Le principe de l'askairite est basé sur l'absorption suivie d'une conversion de l'éthylène aboutissant à la formation de CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O sous forme de vapeur.

Les propriétés de conservation de l'askairite ont été testées sur les mangues et les tomates à raison 50 à 100g/kg par de fruits.

Dans les différents dispositifs mis en place, nous avons déterminé les paramètres de mûrissement suivants : le pH, la teneur en sucre, l'abondance en amidon, l'évolution de la couleur, de la fermeté et du flétrissement. La teneur en gaz (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>) a été aussi suivie et le taux de pourrissement évalué. Nous avons testés trois systèmes : un système avec askairite dans lequel les mangues ou tomates ont été conservées avec de l'askairite ; un système témoin où les fruits ont été conservés sans askairite et une référence frigo où les mangues et tomates ont été conservées au froid à 4°C.

Chez la tomate, l'askairite permet une conservation plus longue que le froid. En effet, une durée de 3 mois a été obtenue contre 25 jours au froid. Par contre, chez les mangues l'askairite ne permet pas une conservation de longue durée. Les mangues n'ont été conservées qu'au bout de 12 à 16 jours respectivement pour la variété Kent et Keitt. Cependant, la conservation avec l'askairite de la variété Keitt (16 jours) semble meilleure que celle de la variété Kent (12 jours).

La conservation des mangues et des tomates avec l'askairite ne semble pas affecter leurs qualités organoleptiques.

**Mots clés** : askairite, conservation, éthylène, mangue, maturation, qualités organoleptiques, tomate.