

W.B/ID  
REPUBLIQUE DU SENEGAL  
PRIMATURE

DELEGATION GENERALE  
A LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

CN 010360

RE **SUME** DES RECHERCHES SUR L 'ALLELOPATHIE INDUITE  
PAR LA CULTURE DU SORGHO AU SENEGAL

Par

W. EURGOS-LEON

R. NICOU

J.L. CHOPART

G. DELAFOND

JUIN 1978

Centre National de Recherches Agronomiques  
de Bamby

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

AVERTISSEMENT

Ce travail fait le point des recherches conduites d'une part, au Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey (Sénégal), et d'autre part, au Centre de Pédologie Biologique de Nancy (France).

Nous remercions l'appui scientifique de Mr. Y. DOMMERGUES.

P L A N

- I - Exposé du problème
- II - Etude de l'origine du problème (Allélopathie)
- III - Identification des produits chimiques responsables du phénomène d'Allélopathie
- IV - Date d'apparition de l'Allélopathie et organes responsables
- V - Détoxication du sol par voie microbienne
- VI - Conclusions
- VII - Publications.

---

I - EXPOSE DU PROBLEME

Les études des précédents culturaux ont mis en évidence que dans une grande partie des sols sableux de l'Ouest africain en général, et du Sénégal en particulier, la culture du sorgho induit sur la culture suivante une diminution de la croissance de la plante et une baisse importante du rendement en grain. Cette action se manifeste avec une vigueur décroissante sur le sorgho lui-même, le maïs, le cotonnier, le mil et l'arachide. De même, ce mauvais effet sorgho se manifeste vis-à-vis de la qualité de semences d'arachide : il y a un faible pourcentage de gousses bigraines (gousses recherchées) et, en revanche, un fort pourcentage de gousses monograines et immatures (gousses non souhaitables),

Cet effet dépressif provoqué par le sorgho n'apparaît pas dans les sols vertisoiiques (renfermant des argiles de type montmorillonite) ; il se manifeste uniquement dans les sols sableux

(renfermant des argiles de type Kaolinite). Il y a lieu de souligner, à ce propos, que dans les sols sableux (1<sup>o</sup>) l'activité microbienne est nettement plus faible que dans les sols vertiscliques (2<sup>o</sup>) l'activité microbienne cesse très rapidement en fin de saison de pluies, en raison du dessèchement rapide du sol, d'où arrêt des processus de décomposition des résidus de récolte (racines). En pratique agricole, au Sénégal, la récolte du sorgho se situe après la fin de la saison des pluies et les parties aériennes ne sont pas enfouies.

La culture de sorgho qui vient immédiatement après une autre culture de sorgho présente, pendant les premiers jours de sa croissance (10 à 12 jours) un développement normal mais très vite des taches rouges apparaissent sur les limbes foliaires et le développement de la végétation est très ralenti. Parfois il y a même une nécrose des feuilles de la base, puis des feuilles des étages supérieurs. On observe aussi que les racines se nécrosent et prennent une couleur "brun rouge" caractéristique, avec apparition d'attaques de *Fusarium* sp. Après deux mois de développement ralenti, les plantes reprennent une croissance "normale", mais présentent déjà un nanisme qui se traduit plus tard par une baisse de rendement.

## II - ETUDE DE L'ORIGINE DU PROBLEME (ALLELOPATHIE)

Tout d'abord, il était nécessaire de reproduire en laboratoire le phénomène que nous venons de décrire? Pour cela, nous avons simulé, aussi parfaitement que possible, les conditions mésologiques dans lesquelles le phénomène est observé, afin de déclencher sur les plantes, l'apparition des symptômes de dépérissement. Ceci a été obtenu en ajoutant à un sol sableux (sol de Nioro-du-Rip, Sénégal) les résidus de récolte (racines) d'une culture de sorgho effectuée in situ. Le sol témoin était le sol vertisolique de Lamto (Côte d'Ivoire) plus riche en matière organique et en argile qui est du type montrnorillonite.

Pour expliquer l'action dépressive du sorgho ("fatigue des sols") on peut faire appel à trois types d'hypothèses.

1 - Hypothèse de la présence d'un organisme pathogène dont la multiplication serait favorisée par la présence de résidus de récolte de sorgho (racines).

2 - Hypothèse de l'apparition de déficiences minérales dues d'une part, aux exportations par les récoltes, et d'autre part, à des processus d'immobilisation microbienne (réorganisation).

3 - Hypothèses allélopathiques (intervention de composés chimiques phytotoxiques d'origine végétale) :

a) hypothèse de l'intervention de l'acide cyanhydrique contenu dans les racines et dans les parties aériennes du sorgho.

b) hypothèse de l'intervention de substances phytotoxiques autres que l'acide cyanhydrique, apportées au sol par les résidus de récolte de sorgho (racines).

En ce qui concerne la première hypothèse, d'une part, l'emploi de Thiabendazole, fongicide spécifique des Fusarium, n'empêche pas l'action toxique du sorgho; d'autre part, la stérilisation du sol (passage à l'autoclave) élimine l'effet nocif du sorgho. Ces résultats suggèrent l'intervention d'une microflore pathogène autre que le Fusarium, mais on peut aussi penser que l'autoclavage a détruit la ou les substances phytotoxiques renfermées dans les résidus de récolte, comme nous le verrons dans la dernière hypothèse.

Pour la deuxième hypothèse (déficiences minérales), elle est infirmée par les deux faits suivants :

a) Une culture de sorgho réussie exporte des quantités importantes d'éléments fertilisants, de potasse en particulier. Or, malgré l'apport complémentaire de chlorure de potassium à une culture de sorgho recevant déjà une fumure minérale normale, l'effet dépressif du sorgho persiste.

b) Si on conduit une culture de sorgho dans des conditions stériles (culture AXENIQUE), nous constatons qu'en l'absence de la microflore du sol responsable du phénomène d'immobilisation de l'azote et du phosphore, la culture de sorgho sur un sol contenant les éléments fertilisants nécessaires, présente une très faible croissance lorsqu'on ajoute au sol des hydrosolubles des racines de sorgho (résidus de récolte). La cause de l'effet dépressif du sorgho n'est pas non plus l'immobilisation microbienne.

Dans le troisième type d'hypothèse (hypothèses allélopathiques) il faut en distinguer deux :

a) Hypothèse de l'intervention de l'acide cyanhydrique.

Les plants de sorgho synthétisent un hétéroside (la durrhine) jusqu'à la floraison : la quantité diminue depuis la levée et disparaît à la floraison. Cet hétéroside libre, par hydrolyse enzymatique, de l'acide cyanhydrique, du glucose et de l'aldehyde para-hydroxy-benzoïque.

Dans les résidus secs de récolte (racines et parties aériennes) il n'y a plus d'acide cyanhydrique. Mais, lorsqu'une culture de sorgho succède à une autre culture de sorgho, l'effet dépressif est accentué par le fait que les jeunes plants produisent, à ce stade précoce, une quantité importante d'acide cyanhydrique qui inhibe la microflore rhizosphérique (R/S = 0,1) susceptible de participer à la dégradation de substances phytotoxiques apportées au sol par les résidus de récolte de la première culture de sorgho (voir hypothèse suivante).

b) Hypothèse de l'intervention de substances phytotoxiques autres que l'acide cyanhydrique.

C'est l'hypothèse qui a été retenue. Les hydrosolubles (rapport 1/10) des résidus de récolte de sorgho (racines et parties aériennes) se sont avérés toxiques pour la croissance de cette même plante. De plus, le fait d'avoir utilisé des Hydrosolubles stérilisés par filtration d'une part, et de conduire la culture des plants dans des conditions stériles (culture axénique) d'autre part, permet de conclure qu'un ou plusieurs composés chimiques contenus dans ces hydrosolubles sont les responsables de l'effet dépressif du sorgho. De même, ces hydrosolubles après avoir subi une stérilisation à l'autoclave (à 120°C) perdent une grande partie de leur effet toxique. Ces résultats permettent aussi d'éliminer la première hypothèse déjà évoquée ; en effet, le passage du sol sorgho à l'autoclave détruit les composés phytotoxiques apportés au sol par les racines de sorgho.

Le processus par lequel une plante (agent allélopathique) produit des substances chimiques pouvant affecter la croissance de la même plante ou des plantes cultivées ultérieurement, est désigné sous le terme : ALLELOPATHIE (du grec allelo : marquant la réciprocité, et pathos : affection, maladie) .

### III - IDENTIFICATION DES PRODUITS CHIMIQUES RESPONSABLES DU PHENOMENE D'ALLELOPATHIE

Etant donné qu'en pratique agricole au Sénégal, on n'enfouit pas les parties aériennes, ce sont les racines qui, en fin de compte, sont responsables du phénomène d'allélopathie in situ. C'est pourquoi l'étude chimique se limite aux racines prélevées in situ après récolte.

Mais, avant d'aborder cette étude, il était absolument nécessaire de mettre au point un test biologique de phytotoxicité de la ou des substances contenues dans les hydrosolubles de racines, ce qui a été obtenu en utilisant comme plante-test en culture axénique Lolium perenne (Ray-grass) qui s'est révélé très sensible à la phytotoxicité.

L'emploi successif de différents solvants organiques a permis d'extraire une grande quantité des produits contenus dans les résidus secs de récolte de sorgho (racines). Ces extraits ont été amenés à sec puis mis en solution (phase) pour être testés à l'aide du test Ray-grass.

Les protocoles d'extraction suivants ont été utilisés :

1 - Extraction initiale à l'éthanol à partir d'un broyat de racines. Elle est effectuée à la température du laboratoire ou à la température d'ébullition de l'éthanol : 78,5°C (utilisation du SOXHLET). Les deux extraits sont phytotoxiques (test Ray-grass).

2 - Extraction secondaire au chloroforme et à l'acétate d'éthyle. L'extrait éthylique initial est soumis d'une part à une extraction au chloroforme, et d'autre part à une extraction à l'acétate d'éthyle "neutre". On sait que le chloroforme extrait les composés lipidiques et que l'acétate d'éthyle à pH "neutre" extrait les composés phénoliques autres que les acides phénols. Ni l'un ni l'autre des deux extraits n'est phytotoxique (test-Ray-grass).

3 - Extraction secondaire au chloroforme et à l'acétate d'éthyle "acidifié". Uniquement l'extrait obtenu avec l'acétate d'éthyle en milieu acide est phytotoxique (test Ray-grass).

On peut conclure donc que des acides phénols contenus dans les racines de sorgho sont les responsables de la phytotoxicité, sans pour autant affirmer qu'ils sont les seuls responsables.

Enfin, les techniques de chromatographie sur papier et de chromatographie en phase gazeuse pratiquées à la fois sur les extraits phytotoxiques et non-phytotoxiques ci-dessus indiqués, ont permis de montrer que les principaux acides phénols responsables du phénomène d'allélopathie étudié sont :

- l'acide para-coumarique
- l'acide **protocatechique**
- l'acide meta-hydroxy-benzoïque.

De plus, l'hydrolyse acide des extraits phytotoxiques, a **libéré** une quantité importante de l'acide ortho-hydroxy-benzoïque et une quantité moins importante de l'acide syringique.

#### IV - DATE D'APPARITION DE L'ALLELOPATHIE ET ORGANES RESPONSABLES

Les études faites avec le sol (sol + racines) prélevé d'un champ de sorgho au cours du cycle végétatif, ont montré que la phytotoxicité du sol est faible, ou nulle, pendant le début du cycle ; elle apparaît seulement après la floraison (stade du grain laiteux). On a émis l'hypothèse que l'apparition des composés phytotoxiques dans les racines (acides phénols) était liée à la disparition de la durhine (dont l'hydrolyse libère du glucose, de l'acide cyanhydrique et de l'~~aldéhyde~~ para-hydroxy-benzoïque). Les composés phytotoxiques migreraient dès après la floraison des parties aériennes vers les racines.

Sur le plan théorique, il serait intéressant de savoir si la durhine est le précurseur d'un ou de plusieurs acides phénols présents dans les racines. Ces recherches nécessitant l'emploi d'éléments marqués n'ont pas encore été entreprises.

Sur le plan pratique, il conviendrait, si notre hypothèse se confirme, d'utiliser la variabilité de la teneur des sorghos ou durrhins pour sélectionner des variétés non productrices de substances phytotoxiques. Pour la suite de nos études in situ, nous avons obtenu des variétés riches et pauvres en durrhine.

Ce que nous venons de dire et surtout les deux faits suivants confirment que les composés phytotoxiques sont présents dans les racines de sorgho après récolte :

1 - Un sol non-phytotoxique auquel on ajoute des racines de sorgho, est rendu phytotoxique.

2 - Si l'on extrait les racines d'un sol phytotoxique prélevé au champ, celui-ci perd sa phytotoxicité.

#### V - DETOXICATION DU SOL PAR VOIE MICROBIENNE

Après avoir établi que l'allélopathie du sorgho est due aux acides phénols apportés au sol par les racines, on a recherché à stimuler la biodégradation de ces composés phytotoxiques, en inoculant le sol avec des champignons ou avec des bactéries. Ayant d'abord mis au point en laboratoire la méthode de détoxification, on a recherché ensuite à l'adapter aux conditions naturelles, d'abord en vase de végétation sous abri et ensuite au champ.

##### 1 - Etude au laboratoire

Cette étude a permis de montrer qu'il était effectivement possible de détoxifier le sol avec un champignon cellulolytique (Trichoderma viride ou Aspergillus sp). L'élaboration du principe de détoxification imposait de faire des cultures de plantes d'abord dans des conditions stériles et ensuite dans des conditions non-stériles :

##### a) Culture de plantes dans des conditions stériles

La culture de plantes dans ces conditions ne correspond pas aux conditions réelles mais permet d'étudier plus facilement la détoxification du sol. Il était nécessaire de faire d'une part, des cultures de plantes exemptes de tout germe : cultures axéniques, et d'autre part, des cultures de plantes en présence d'une espèce microbienne choisie : cultures quotobiotiques.

Cette étude a montré que les plants de sorgho (plante-test) se développent normalement sur les sols contenant des hydrosolubles phytotoxiques mais détoxifiés par inoculation avec Trichoderma viride ou avec Aspergillus Sp., alors que dans le sol témoin non inoculé la croissance du sorgho est mauvaise, Ceci a été obtenu après une période de 5 semaines d'incubation, à l'ombre, à 25°C (seule période testée). Les champignons ont pu ainsi métaboliser ou cométaboliser les substances phytotoxiques. Ni l'un ni l'autre des champignons utilisés ne porte préjudice à la croissance du sorgho.

##### b) Culture de plantes dans des conditions non stériles

Dans ce cas, le sol a été rendu phytotoxique par adjonction de racines de sorgho prélevées après une culture de sorgho in situ. La microflore native du sol n'est plus éliminée, de telle sorte que l'espèce microbienne qu'on incorpore au sol est soumise à des phénomènes de compétition pour les éléments essentiels et pour l'espace.

En ce qui concerne le développement de la plante-test (sorgho), les résultats ont montré qu'il n'y a pas de différence entre d'une part, les sols contenant des racines et inoculés avec Aspergillus Sp. ou Trichoderma viride, et d'autre part, les sols sans racines. Les deux champignons ont pu donc détoxifier les sols. Par contre, en l'absence d'inoculation, les substances phytotoxiques contenues dans les racines réduisent la croissance de 50 %.

## 2 - Etude au vase de végétation sous abri

Cette étude d'application du principe de détoxification mis au point in vitro a été réalisée dans des conditions naturelles (Sénégal) et portent non seulement sur la détoxification fongique, mais aussi et surtout sur la détoxification bactérienne. La détoxification du sol par incorporation d'un compost de pailles de mil a été aussi abordée :

### a) détoxification par un inoculum fongique

Les résultats obtenus au laboratoire nous ont conduit à étudier les propriétés détoxifiantes des souches autochtones de champignons cellulolytiques. Les isolements des souches ont été effectués à partir des racines de sorgho et du sol provenant, d'une part, d'une station où le phénomène d'allélopathie a été observé, et d'autre part, d'une station où le phénomène ne se manifeste pas. De plus, on a isolé des souches à partir de pailles de mil.

Il était intéressant de rechercher aussi si les champignons pouvaient utiliser comme substrat-support certains résidus de récolte (ex. pailles de mil ou de sorgho, coque d'arachide). Ainsi, l'inoculum était constitué par une culture de chacun des champignons sur substrat pâteux : coque d'arachide ou paille de sorgho préalablement stérilisée. De plus, on a testé différentes doses et dates d'application de l'inoculum.

La détoxification du sol a été obtenue avec un champignon autochtone : Aspergillus niger et avec un autre champignon isolé en France et déjà testé : Aspergillus Sp. L'inoculum efficace a été constitué par la paille de sorgho inoculée, incorporée au sol six semaines avant le semis de la plante test (sorgho) à la dose de 1 t (M.S.)/ha. Ce délai de six semaines peut présenter l'inconvénient d'être un peu long. La détoxification bactérienne (§ suivant) donne des meilleurs résultats. En outre, Trichoderma viride, qui avait donné de bons résultats

au laboratoire, n'a pu se développer sur les deux substrats naturels utilisés. Ce champignon étant un bon agent cellulolytique, nous pensons qu'il y a lieu d'étudier des associations avec les autres espèces de champignons détoxifiantes pour déceler éventuellement des associations synergiques.

b) Détoxification par un inoculum bactérien

Sachant qu'Enterobacter cloacae est une bonne bactérie colonisatrice de la rhizosphère et que le fumier de ferme, connu pour renfermer des enterobacterics, peut détoxifier le sol, on a utilisé cette bactérie pour préparer l'inoculum. Il faut souligner que dans le système de production agricole du Sénégal, les quantités de fumier produites sont minimes.

Deux types d'inoculum ont été étudiés :

- 1 - Inoculum liquido classique
- 2 - Bactéries incluses dans une matrice de polymère : inoculum matriciel (GEL).

C'est sous forme incluse (GEL) qu'Enterobacter cloacae détoxifie le sol très activement. Pour l'inoculation du sol, cette nouvelle méthode mise au point par l'équipe dirigée par DOMMERGUES, permet la protection des bactéries à la fois contre les changements de température, humidité et pH du sol, et surtout contre les phénomènes d'antibiotisme et de prédation de la microflore autochtone du sol.

L'inoculum a été apporté au sol (vase contenant 5 kg) à la dose de 10 ml par vase ( $10^9$  bactéries par ml). Quant à la date d'application de l'inoculum, la détoxification du sol nécessite un délai de trois semaines seulement entre le moment où l'on applique l'inoculum matriciel et 10 semis de la plante-test (sorgho). Ce délai est tout-à-fait convenable pour l'application de la méthode dans les conditions climatiques de l'Ouest africain.

En plus de son pouvoir détoxifiant du sol, l'inoculum matriciel d'Enterobacter cloacae a permis d'obtenir deux effets complémentaires non moins importants :

- 1 - d'une part, il stimule la rhizogénèse du sorgho (plante-test) par rapport au témoin non phytotoxique (sol à précédent arachide).
- 2 - et d'autre part, il améliore la nutrition azotée de la plante (parties aériennes), ce qui peut s'expliquer en partie par nos résultats de fixation rhizosphérique de l'azote moléculaire chez le sorgho : 8 fois plus élevés que dans le témoin non phytotoxique (sol à précédent arachide).

Enfin, l'application de cette méthode de détoxification à dépollution des sols et des eaux pourrait être envisagée.

c) Détoxification par un compost de paille de mil

Etant donné qu'au Sénégal en particulier, et en Afrique de l'Ouest en général, le compostage des résidus de récolte (paille de mil ou de sorgho et coques d'arachide) apparaît comme une technique d'avenir, il était intéressant d'étudier son pouvoir détoxifiant. En effet, il est bien connu qu'un bon compost de pailles de céréales peut être aussi valable qu'un fumier de ferme.

La dose utilisée a été de 6 t (MS)/ha (2g (MS)/kg de sol) aussi bien pour le compost de pailles de mil que pour le fumier de ferme (utilisé comme témoin détoxifiant). La dose choisie correspond à l'optimum faisable dans l'avenir, dans les conditions de l'agriculture sénégalaise. La détoxification du sol a été obtenue après un délai de 3 semaines entre le moment où l'on appliqua le compost ou le fumier, et le semis de la plante-test (sorgho).

Cette détoxification est due à la stimulation de l'activité biologique du sol par le compost ou par le fumier.

3 - Etude au champ

En 1977, on a effectué une étude à la station de Nioro-du-Rip, qui avait pour but de vérifier in situ la possibilité de détoxifier le sol à précédent sorgho, par inoculation suivant différentes techniques :

- Inoculum fongique : constitué par la paille de sorgho broyée et inoculée avec une suspension de champignons détoxifiants. Ceci a permis de préparer le "pied de cuve" nécessaire à inoculer de quantités importantes de pailles. La dose de 1 t (MS)/ha a été incorporée au sol avec le labour de début de cycle.

- Inoculum bactérien (liquide ou matriciel) : enfoui à 5 cm de profondeur à la dose de 10 ml/poquet, et à deux dates : un mois avant le semis et au semis (22 juillet).

Malgré, en raison d'une pluviométrie déficiente caractérisée par son installation tardive, sa mauvaise répartition dans le temps, son insuffisance quantitative et sa brièveté, l'expérimentation réalisée au champ n'a pas permis de vérifier dans ces conditions, la technique de détoxification du sol proposée. En effet, l'année 1977 est comparable aux

pires années de sécheresse vécues par le Sénégal (1968, 1972, 1973).

Toutefois, un résultat intéressant a été obtenu : l'inoculation avec Enterobacter cloacae a eu pour effet d'accroître de 10 % la teneur en azote total des pailles lorsque l'inoculum a été appliqué sous forme matricielle (cEL). Il y a eu donc une amélioration de la nutrition azotée de la plante, qui pourrait s'expliquer en partie par une stimulation de la fixation rhizosphérique de l'azote moléculaire, comme il a été montré dans nos études en vase.

## VI - CONCLUSION

Cette étude a permis :

- sur le plan théorique, de déterminer l'origine de l'allélopathie induite par la culture de sorgho. Il s'agit des substances chimiques phytotoxiques (des acides phénols) apportées au sol par les racines. De plus, on a pu déterminer la date d'apparition de l'allélopathie (après floraison).

- sur le plan pratique, cette étude a permis de mettre au point une méthode de détoxification du sol par voie microbienne : d'abord, avec un inoculum fongique (paille de sorgho inoculée avec Asporgillus niger), et ensuite, avec un inoculum bactérien (Entorobacter cloacae incluse dans une matrice de polymère : inoculum matriciel). C'est l'inoculum matriciel qui a donné les meilleurs résultats. En effet, il n'a pas seulement permis de détoxifier le sol, mais il a en outre amélioré la nutrition azotée de la plante d'une part, et stimule la rhizogenèse d'autre part,

L'application de cette méthode de détoxification à la dépollution des sols et des eaux pourrait être envisagée.

## VII - PUBLICATIONS

- 1 - BURGOS-LEON (W), 1976 - Phytotoxicité induite par les résidus de récolte de Sorghum vulgare dans les sols sableux de l'Ouest Africain : origine et méthode biologique de détoxification des sols.  
Thèse doct. Spéc. Pédol. Agron., Univ. Nancy 1, 94 p.
- 2 - BURGOS-LEON (W), 1978 - Allélopathie induite par la culture de sorgho. Origine et élimination par voie microbienne (sous presse)
- 3 - CHOPART (JL), NICOU (R), 1973 - Effet dépressif de cultures répétées du sorgho dans les sols sableux du Sénégal.  
African Soils, 77 (1) : 181 - 183 p..
- 4 - DELAFOND (G), BURGOS-LEON (W), 1975 - Effet du précédent cultural sorgho sur la qualité de semences d'arachide 57-422 au Sénégal  
Rapport I.S.R.A. (C.N.R.A), Dakar, 8 p.
- 5 - NICOU (R), 1976 - Bilan de huit années d'étude des précédents culturaux au Sénégal.  
Rapport I.S.R.A. (C.N.R.A), Dakar, 43 p.