



ETUDES ET TRAVAUX

UN CAS DE FATIGUE DES SOLS INDUITE PAR LA CULTURE DU SORGHO

W. BURGOS-LEON*, F. GANRY*, R. NICOU**, J.L. CHOPART* et Y. DOMMERGUES***

RESUME — Le sorgho est une plante très cultivée dans toute l'Afrique de l'Ouest où il peut contribuer largement à l'alimentation des populations. C'est pourquoi l'intensification de sa culture en vue d'en augmenter les rendements est un des objectifs de la recherche agronomique tropicale. Toutefois, dès le début des recherches entreprises dans cette direction, un obstacle est apparu : il s'agit d'un effet dépressif, parfois très marqué, de la culture de sorgho sur les cultures ultérieures telles que sorgho lui-même, coton, maïs et même arachide. Cet effet dépressif qui constitue un cas particulier des processus désignés parfois sous le terme vague de **fatigue des sols**, est connu depuis longtemps. On a montré que l'effet dépressif était essentiellement dû à l'accumulation dans le sol de composés phytotoxiques contenus dans les résidus racinaires.

Ce processus d'allélopathie qui se manifeste semble d'autant plus marqué que la masse de résidus racinaires apportés au sol est élevée. Quant à la nature des composés phytotoxiques, elle n'a pas été déterminée de façon certaine.

Les deux conditions les plus favorables à la manifestation du processus d'allélopathie sont les suivantes :

- 1 - apports élevés de composés phytotoxiques au sol,
- 2 - faible activité microbienne, celle-ci étant due au type de sol (les sols sableux sont, en général, le siège d'une activité microbienne réduite) et à une humidité insuffisante. Le processus d'allélopathie peut dans certaines conditions passer inaperçu, son existence est alors ignorée par l'observateur non averti. Par contre, dans d'autres cas le processus peut être assez intense pour constituer un obstacle à l'introduction d'une plante, telle que le sorgho, dans une rotation culturale. Mais il est souvent reconnu par l'agronome. Nous concluons donc en souhaitant que des recherches plus approfondies dans ce domaine soient entreprises en suivant la voie, tracée par RICE (1974) pour les écosystèmes naturels.

Mots-clé : fatigue des sols, sorgho, effet dépressif, résidus de racines, phytotoxicité, allélopathie, rotation des cultures, écosystèmes naturels.

INTRODUCTION

Le sorgho est une plante très cultivée dans toute l'Afrique de l'Ouest où il peut contribuer largement à l'alimentation des populations. C'est pourquoi l'intensification de sa culture en vue d'en augmenter les rendements est un des objectifs de la recherche agronomique tropicale. Toutefois, dès le début des recherches entreprises dans cette direction, un obstacle est apparu : il s'agit d'un effet dépressif, parfois très marqué,

de la culture de sorgho sur les cultures ultérieures telles que sorgho lui-même, coton, maïs et même arachide. Cet effet dépressif qui constitue un cas particulier des processus désignés parfois sous le terme vague de **fatigue des sols**, est connu depuis longtemps, puisqu'il a été signalé dès 1924 par BREAZEALE et plus récemment par GUENZI *et al.* (1967). De plus, des études menées actuellement à la station de recherche de l'ICRISAT

* BURGOS-LEON (M.), CHOPART (J.L.), GANRY (F.) — IRAT en service à l'ISRA — BAMBEY (Sénégal).
** NICOU (R.) — IRAT-GERDAT - B.P. 5035 - 34032 MONTPELLIER CEDEX (France)
*** DOMMERGUES (Y.) — ORSTOM/CNRS - B.P. 1386 - DAKAR (Sénégal)

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 865 ex 1

Cpte : B

Date : 24 FEVR. 1982



(photo Y. DOMMERGUES)

Fig. 1 : A gauche, culture de sorgho après arachide; à droite, culture de sorgho après sorgho : la croissance est nettement déprimée par le précédent cultural.

(Hyderabad, Inde) sur les successions culturales ont révélé l'effet défavorable du précédent sorgho sur le pois chiche et le pois d'Angole cultivés sur des vertisols (P.J. DART, communication personnelle, 1978). Ce même effet défavorable a été observé en Haute Volta sur sorgho, maïs, riz et niébé dans les sols des Vallées des Voltas (NICOU, 1978).

Au Sénégal, ce phénomène (fig. 1) a été observé pour la première fois par NICOU au cours d'une étude pluri-annuelle de successions culturales conduite entre 1965 et 1972 (NICOU, 1978), puis a fait l'objet d'une série d'autres observations et de mesures au champ. C'est ainsi que CHOPART et NICOU (1973) ont montré que dans un système de rotation où une culture de sorgho est introduite tous les deux ans, le rendement de sorgho est inférieur à celui obtenu dans le cas d'une rotation où le sorgho est introduit seulement tous les quatre ans (tableau I).

Tableau I
INFLUENCE DEPRESSIVE DU RAPPROCHEMENT DE DEUX CULTURES DE SORGHO
DANS UN SYSTEME DE ROTATION, SUR LE RENDEMENT EN GRAINS DE LA DEUXIEME CULTURE
(rendements exprimés en kg de grains par hectare)

		Temps écoulé depuis la précédente culture de sorgho	
		2 ans	4 ans
Station de SINTHIOU MALEME	1967	1 982	2 844
Station de NIOURO DU RIP	1968	1 877	2 642
Station de NIOURO DU RIP	1969	926	4 411

CHOPART et NICOU, 1973

Dans le cadre d'une étude plus récente, DELAFOND et BURGOS-LEON (1978) ont signalé que, lorsque l'arachide succédait à une culture de sorgho dans des sols très sableux du centre Sénégal (sols contenant en moyenne 3 à 4 % d'argile), la qualité des semences d'arachide baissait sensiblement, cette baisse de qualité se manifestant par une diminution de 32-44 % du pourcentage de gousses bigraines (gousses normales). Ces derniers résultats suggèrent que l'effet précédent cultural sorgho ne se traduit pas seulement par une réduction des rendements mais aussi par une baisse de qualité des récoltes ultérieures quand les sols sont très sableux. Mais fort heureusement ces sols ne sont généralement pas cultivés en sorgho.

De leur étude initiale (1973) et des recherches effectuées ultérieurement, CHOPART et NICOU ont abouti aux conclusions suivantes :

1 - l'effet dépressif d'une culture donnée de sorgho

est d'autant plus important que le rendement de cette culture est élevé,

2 - l'effet semble être très sensible au régime hydrique du sol et au type pédologique considéré, les sols sableux étant plus favorables que les sols argileux (vertisols) à l'expression du phénomène,

3 - les fumures minérales ne parviennent pas à éliminer la fatigue des sols due au sorgho; par contre, des applications élevées de fumier de ferme restaurent la fertilité du sol.

Il a, en outre, été suggéré que la fatigue des sols due au sorgho pouvait être attribuée soit à l'intervention d'une microflore pathogène, soit à l'accumulation dans le sol des composés phytotoxiques provenant des racines ou des parties aériennes du sorgho (CHOPART et NICOU, 1973).

L'objet de la présente note est de synthétiser les résultats des recherches entreprises entre 1972 et 1978 tant au laboratoire (BURGOS-LEON) qu'au champ (BURGOS-LEON, GANRY) :

1 - pour vérifier les résultats obtenus antérieurement et tenter d'établir définitivement l'origine de l'effet dépressif du sorgho sur les cultures suivantes,

2 - pour proposer une méthode biologique permettant d'éliminer cet effet.

ORIGINE DE L'EFFET DEPRESSIF DU SORGHO SUR LES CULTURES SUIVANTES

REPRODUCTION DU PHENOMENE EN VASE DE VEGETATION

Afin de faciliter l'étude du phénomène observé au champ, il était nécessaire de le reproduire dans des conditions mieux définies. C'est pourquoi nous avons effectué les deux séries d'expériences suivantes :

Expérience en vase de végétation

Première expérience :

Pour vérifier l'hypothèse selon laquelle la teneur du sol en argile pourrait modifier l'effet dépressif observé, on a comparé la croissance de la même plante (sorgho) repiquée dans de petits vases de végétation contenant 135 g de sol en provenance de la station de Nioro-du-Rip ou de sol de la station de Lamto contenant 17 % d'argile, soit 2 fois plus que le sol de Nioro (cf. annexe I), enrichi ou non en racines de sorgho broyées. Les deux sols utilisés provenaient de parcelles non cultivées en sorgho.

Nous avons mélangé 300 mg de broyat de racines de sorgho avec 135 g de sol de Nioro-du-Rip ou de sol de Lamto, que nous avons mis dans des pots en plastique (diamètre : 4 cm; hauteur : 9 cm), ce qui correspond à une dose de 2,2 g de broyat/kg de sol. Nous avons procédé à la même façon avec les parties aériennes.

Le sol ainsi enrichi en résidus de récolte de sorgho (pailles ou racines) a été humidifié pendant deux semaines avant le repiquage des plantules stériles de sorgho.

Les graines ont été stérilisées par la méthode classique à l'hypochlorite de calcium (BURGOS-LEON, 1978) et mises à germer dans des boîtes de Pétri, sur de la gélose à 3 %. Ceci nous a permis de choisir une population homogène de plantules de sorgho pour repiquage dans les pots.

L'expérience a été conduite dans une salle phytotronique dont les caractéristiques étaient les suivantes :

- Lumière : 20 000 lux pendant 14 heures
- Température : 25 à 30°C
- Humidité relative : 60 à 90 %

L'arrosage des plantes a été fait avec la solution nutritive préconisée par JACQUINOT (1969) pour la culture du mil. Cette solution nutritive a été diluée au quart; il s'agit en effet d'un complément minéral apporté au sol, alors que la solution JACQUINOT est conçue pour une culture sans sol.

L'effet dépressif de l'incorporation de résidus de sorgho au sol se manifeste non seulement sur la hauteur des plants, mais aussi sur le poids de matière sèche aérienne. Il ne se manifeste pas dans le sol argileux (tableau II).

Tableau II

INFLUENCE DE L'ADJONCTION DE RESIDUS DE RACINES OU DE TIGES DE SORGHO DANS LE SOL DE NIORO ET DANS LE SOL DE LAMTO, SUR LE POIDS SEC DES PARTIES AERIENNES D'UNE CULTURE DE LA MEME PLANTE (poids en g/6 plants assorti de l'erreur standard)

	Sans adjonction de résidus (témoins)	Avec adjonction de résidus de racines	Avec adjonction de résidus de tiges
Sol de Nioro	0,610 ± 0,05	0,262 ± 0,03	0,232 ± 0,02
Sol de Lamto	0,685 ± 0,06	0,741 ± 0,05	0,643 ± 0,04

Deuxième expérience :

On a comparé la croissance de la même plante-test (sorgho), semée dans des vases de végétation contenant 5 kg de sol de la station de Nioro-du-Rip prélevés dans un champ cultivé en sorgho cv 51.69 et dans un champ contigu cultivé en arachide. On a utilisé des

échantillons de sol prélevés à deux dates : prélèvement sous sorgho âgé de 100 jours (avant la floraison) prélèvement sous sorgho âgé de 130 jours (après la floraison). Chaque vase de végétation a reçu, au moment du semis (6 graines par poquet) un apport d'engrais NPK de formule 10-21-21 à la dose de 0,75 g/5 kg de sol; soit trois

fois la dose utilisée au champ et, au moment du démaillage (laissant un plant par vase), un apport d'urée à la dose de 0,19 g/5 kg de sol soit deux fois la dose utilisée au champ. L'expérience a été conduite en serre au Centre de Recherches Agronomiques de Bambey, Sénégal.

Le tableau III montre que la plante-test (sorgho) ne pousse pas dans le sol prélevé sous sorgho de 130 jours, alors que dans le cas du sol prélevé antérieurement, la croissance y est identique à la croissance observée dans le sol prélevé sous arachide.

Tableau III
CROISSANCE DE LA PLANTE-TEST (SORGHO) DANS UN SOL PRELEVE SOUS SORGHO DE 100 ET 130 JOURS ET DANS UN SOL PRELEVE SOUS ARACHIDE

Croissance de la plante-test (1 mois)	Sol prélevé sous sorgho		Sol prélevé sous arachide (témoin)
	Avant floraison (100 jours)	Après floraison (130 jours)	
Hauteur (cm)*	35,40	0**	32,20
Poids frais (g)*	5,50	0**	5,10
Poids sec (g)*	1,20	0**	1,15

* Parties aériennes : moyenne de 6 répétitions : 1 répétition = un plant/vase de 5 kg de sol

** Plants morts après deux semaines de croissance.

La première expérience, qui a été confirmée par trois expériences ultérieures, montre que l'effet dépressif ou inhibiteur de la culture du sorgho est incontestablement dû à la présence dans le sol de résidus de récolte (racines ou tiges) de cette plante. La première et la deuxième expérience révèlent en outre que cet effet peut varier d'un type de sol à l'autre et qu'il se manifeste seulement lorsque la culture de sorgho a dépassé le stade floraison.

HYPOTHESES CONCERNANT L'ORIGINE DE L'EFFET DEPRESSIF DU AUX RESIDUS DE RECOLTE DE SORGHO

Trois hypothèses peuvent être envisagées :

1 - L'effet dépressif résulterait de la multiplication d'un organisme phytopathogène favorisé par la culture du sorgho,

2 - L'effet dépressif résulterait du blocage de certains éléments nutritifs notamment azote, par immobilisation microbienne ou de l'appauvrissement du sol dû aux exportations par les récoltes,

3 - L'effet dépressif pourrait être attribué à l'existence dans les résidus de récolte de substances puissamment phytotoxiques.

Hypothèse de l'accroissement des attaques de pathogènes

Cette hypothèse a été envisagée, on l'a vu (p. 320) par CHOPART et NICOU (1973) qui, par une expérience en vase de végétation, ont montré que la stérilisation

du sol pouvait améliorer corrélativement la croissance de la plante-test. Une telle expérience est cependant critiquable car la stérilisation par la chaleur altère profondément les propriétés du sol, l'autoclavage étant susceptible de détruire les substances phytotoxiques renfermées dans les résidus de récolte. C'est pourquoi l'utilisation de pesticides spécifiques est préférable. Afin de tester l'hypothèse de l'intervention de champignons pathogènes, on a comparé la croissance d'une plante-test dans un sol traité avec un fongicide (thiabendazole à 0,2 %) et dans un sol témoin non traité. On a conclu de l'absence d'effet de ce traitement, que l'on ne pouvait incriminer l'intervention d'une flore fongique pathogène.

Des organismes pathogènes autres que le champignon, nématodes ou insectes par exemple, pourraient être responsables de l'effet dépressif observé. Mais nous n'avons pas développé nos recherches dans cette direction.

Hypothèse de l'apparition de déficiences minérales

On a rapporté plus haut (p. 320) que la restitution des éléments minéraux exportés par les récoltes ne restaurait pas la fertilité du sol précédemment cultivé en sorgho, ce qui suggère que la baisse de rendement observée sur les cultures ultérieures ne peut être attribuée à une déficience minérale due aux exportations. On peut toutefois supposer que l'apport au sol de résidus racinaires — apport qui peut atteindre 4 000 kg/ha de matière sèche d'après CHARREAU et NICOU (1971) — serait susceptible de provoquer une immobilisation microbienne (processus également connu sous le nom de réorganisation) de l'azote minéral et éventuellement

d'autres éléments tels que le phosphore. Nous n'avons pas testé directement cette hypothèse, ce qui aurait nécessité l'emploi d'éléments marqués, mais il a été montré que des fumures minérales assez élevées pour compenser les processus d'immobilisation ne pouvaient restaurer la fertilité du sol.

Hypothèse de l'intervention de substances phytotoxiques

Au lieu d'étudier l'effet de l'incorporation au sol de racines de sorgho ainsi qu'on l'a fait antérieurement (p. 321), on a étudié l'effet de l'addition au sol d'extraits aqueux (hydrosolubles) de ces racines, ce qui présente deux avantages :

1 - on évite ainsi d'élever le C/N du sol, ce qui élimine l'intervention du processus d'immobilisation de l'azote, d'ailleurs improbable en présence d'apport suffisant d'engrais minéraux (par. précédent).

2 - on peut stériliser facilement par filtration les hydrosolubles, alors que la stérilisation des racines elle-même est plus difficile et risque d'entraîner des modifications chimiques; la stérilisation élimine la possibilité de l'intervention du processus d'immobilisation microbienne.

Une première expérience a consisté à comparer la croissance de la plante-test (sorgho) dans un sol stérile additionné ou non d'extraits aqueux stérilisés par filtration de racines sorgho récoltées au champ après la récolte. Les hydrosolubles ont été obtenus en mettant en contact des racines de sorgho avec de l'eau dans le rapport 1/10. Après passage sur filtre Millipore, on a ajouté 25 ou 50 ml de ces extraits à 135 g (1) de sol. On a apporté une fertilisation minérale à la dose de 0,05 g d'engrais NPK (10-21-21) et de 0,03 g de $\text{NO}_3 \text{NH}_4$ par kg de sol.

La hauteur des plantes a été évaluée au bout de 2, 9, 16 et 23 jours (fig. 2).

La phytotoxicité des hydrosolubles de racines de sorgho se manifeste dès les premiers jours de la culture.

Une deuxième expérience a permis de contrôler ces résultats et de vérifier que les hydrosolubles des parties aériennes présentaient la même phytotoxicité que les hydrosolubles de racines.

L'effet des hydrosolubles se manifeste très tôt, deux à trois jours après le repiquage des jeunes plantules stériles dans le sol. Si l'on tient compte du fait :

a) qu'à ce stade, les graines de sorgho contiennent des réserves encore importantes

b) que l'on opère en milieu stérile, c'est-à-dire en l'absence de microorganismes susceptibles d'immobiliser les éléments nutritifs, et

c) que l'on a apporté une fertilisation minérale suffisante, on peut conclure que les extraits aqueux con-

tiennent des composés toxiques. Une telle toxicité d'une plante vis-à-vis de la même plante ou d'une autre plante est connue sous le terme **d'allélopathie** (MARTIN et RADEMACHER, 1960; MORELAND et al., 1966; WHITTAKER, 1970; RICE, 1974). On peut se poser la question de savoir si les substances phytotoxiques contenues dans les résidus de récolte de sorgho sont d'origine exclusivement végétale (cas des parties aériennes) ou synthétisées — au moins partiellement — par les microorganismes du sol comme l'ont montré NORSTAD et Mc CALLA (1971) pour les chaumes de blé. Nous n'avons pas cherché à élucider ce problème, mais certains des résultats obtenus suggèrent que les substances phytotoxiques seraient plutôt d'origine végétale.

TENTATIVE D'IDENTIFICATION DES SUBSTANCES PHYTOXIQUES

Nous avons constaté que les hydrosolubles de racines de sorgho perdent une partie de leur phytotoxicité par passage à l'autoclave à 120°C pendant 30 minutes, ce qui indique le caractère thermolabile d'un ou de plusieurs des composés phytotoxiques.

En utilisant le test biologique de croissance d'une plante-test (ray-grass) cultivée en tube à essai, l'un de nous (BURGOS-LEON, 1979) a montré que les substances phytotoxiques étaient contenues dans l'extrait obtenu avec de l'acétate d'éthyle acidifié, alors que les résidus repris à l'éthanol ne sont pas phytotoxiques, ce qui signifie que l'acétate d'éthyle acidifié extrait la totalité du ou des composés toxiques (fig. 3).

Etant donné que les acides phénols sont extractibles à l'acétate d'éthyle en milieu acide (BRUCKERT, 1970; RIBERAU-GAYON, 1968), et que d'autre part, plusieurs acides phénols sont des inhibiteurs, parfois puissants, de la croissance des plantes (BORNER, 1960; FLOY et RICE, 1967; HENNEQUIN et JUSTE, 1967; GUENZI et Mc CALLA, 1966; PATRICK, 1971; RASMUSSEN et RICE, 1971; RICE 1965), on peut supposer que ce sont des acides-phénols contenus dans les racines de sorgho qui sont responsables de la phytotoxicité.

Une autre procédure, dont le détail a été apporté antérieurement (BURGOS LEON, 1979) a consisté à effectuer une extraction initiale à l'éthanol, puis à faire une hydrolyse acide. La chromatographie sur papier de ces extraits a montré que seules étaient phytotoxiques les fractions qui renferment des acides-phénols. Par contre, les fractions non phytotoxiques en sont dépourvues. La chromatographie en phase gazeuse (NGUYEN QUAT HAO et METCHE, 1974) a confirmé ces résultats, qui sont synthétisés par la figure 4. Le tableau IV donne les concentrations correspondant aux trois acides-phénols les plus abondants : acides p. coumarique, protocatéchique, o-hydroxybenzoïque.

(1) La dose la plus faible (25 ml) correspondrait à un apport de racines de l'ordre de 6 tonnes de matière sèche à l'hectare, ce qui est sensiblement plus élevé que l'apport de racines obtenu dans le cas d'une culture de sorgho à très haut rendement soit 4 t d'après CHARREAU et NICOU (1971)

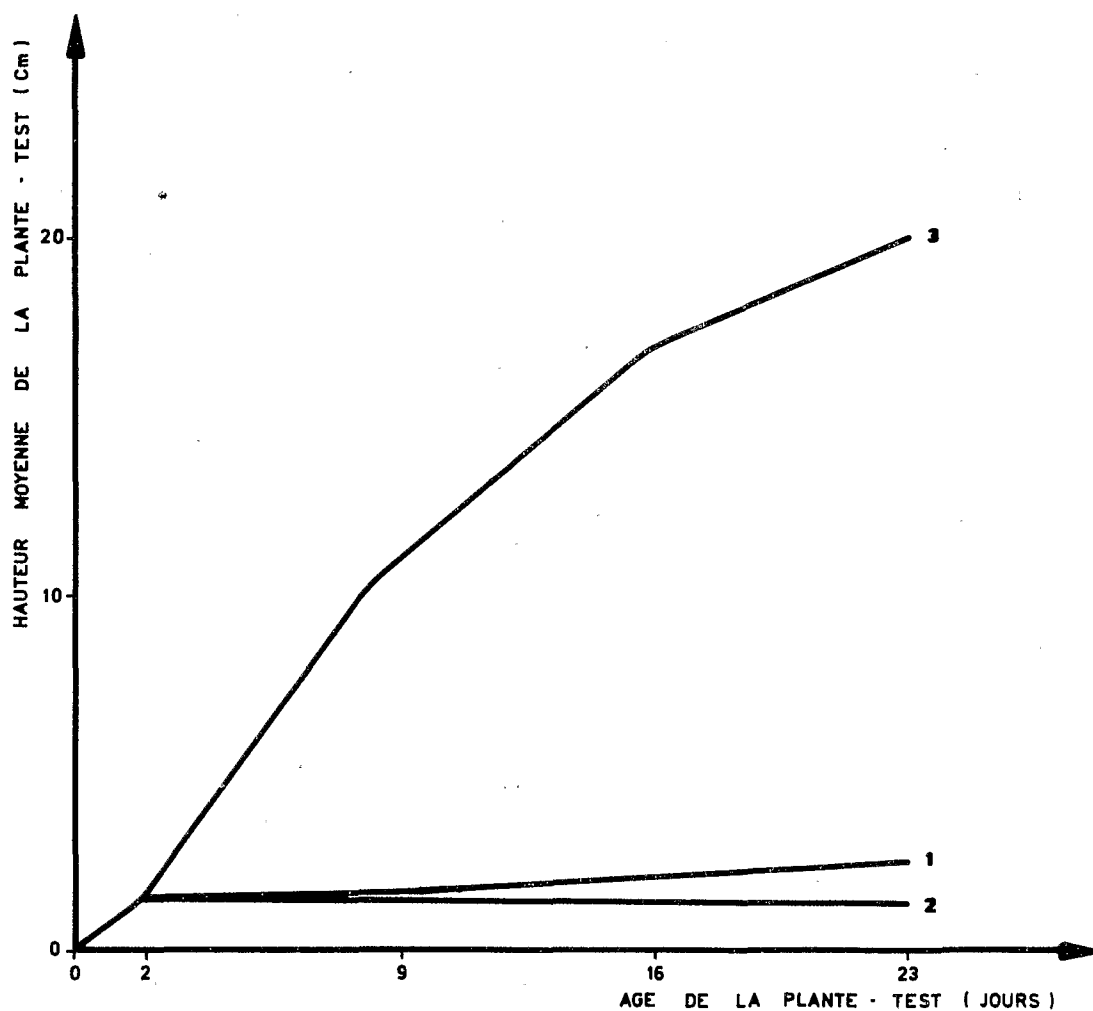
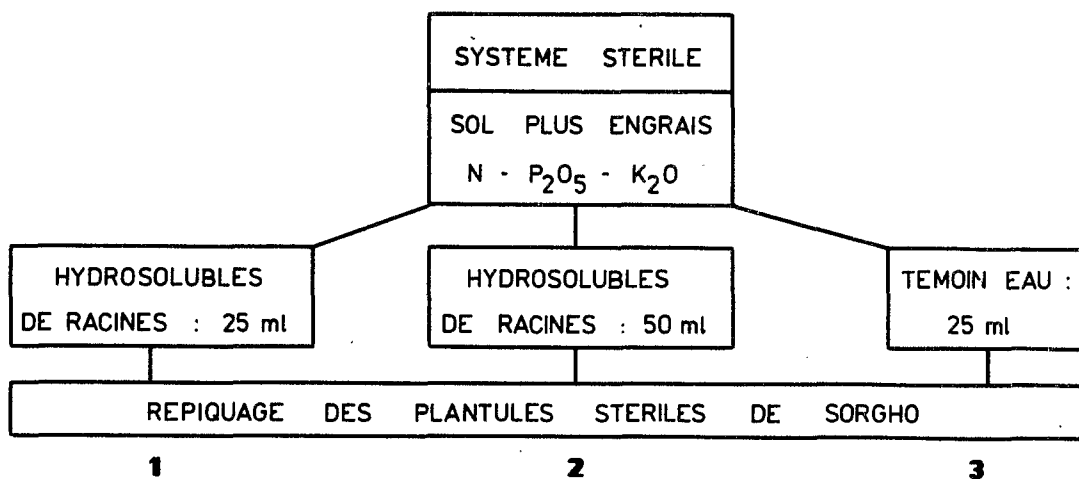


Figure 2 : Influence de l'adjonction d'hydrosolubles de racines de sorgho sur la croissance d'une culture stérile de la plante (sorgho) Dans le sol de niro du rip auquel on applique une fumure minérale normale.

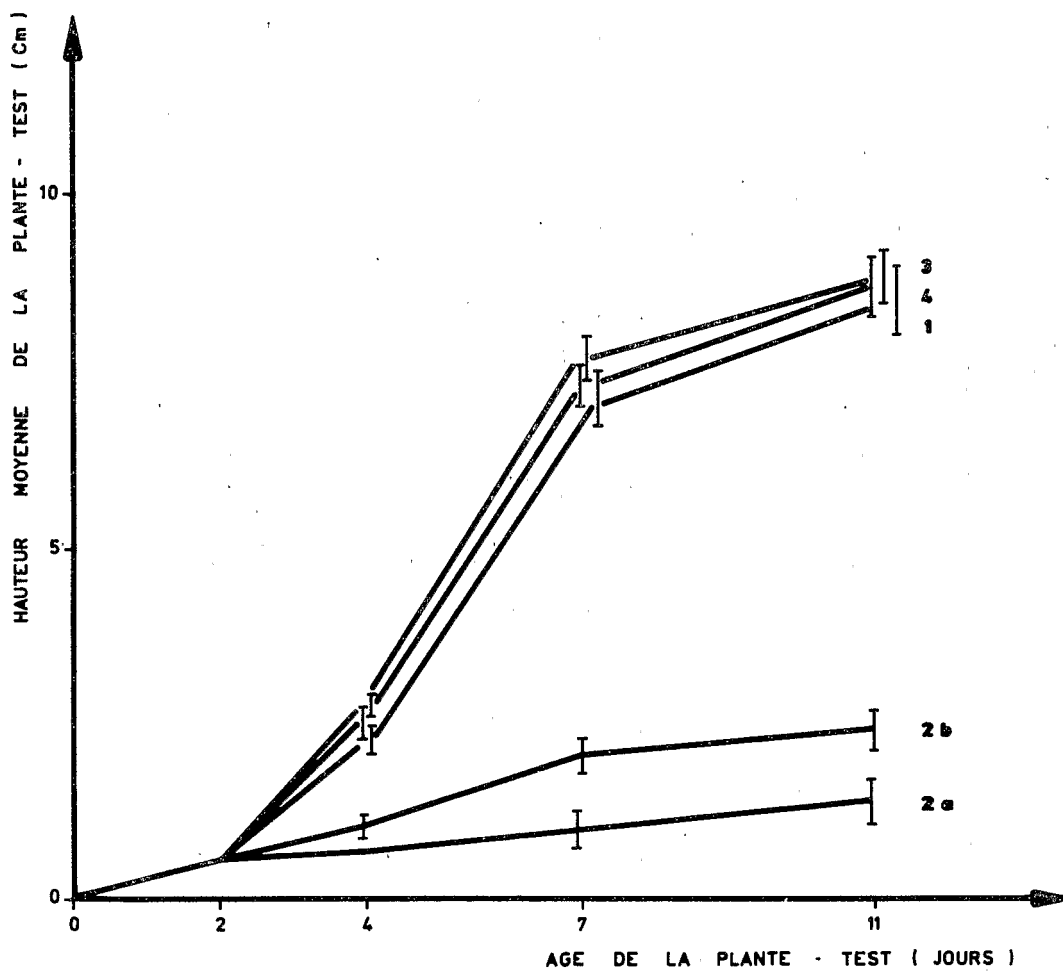
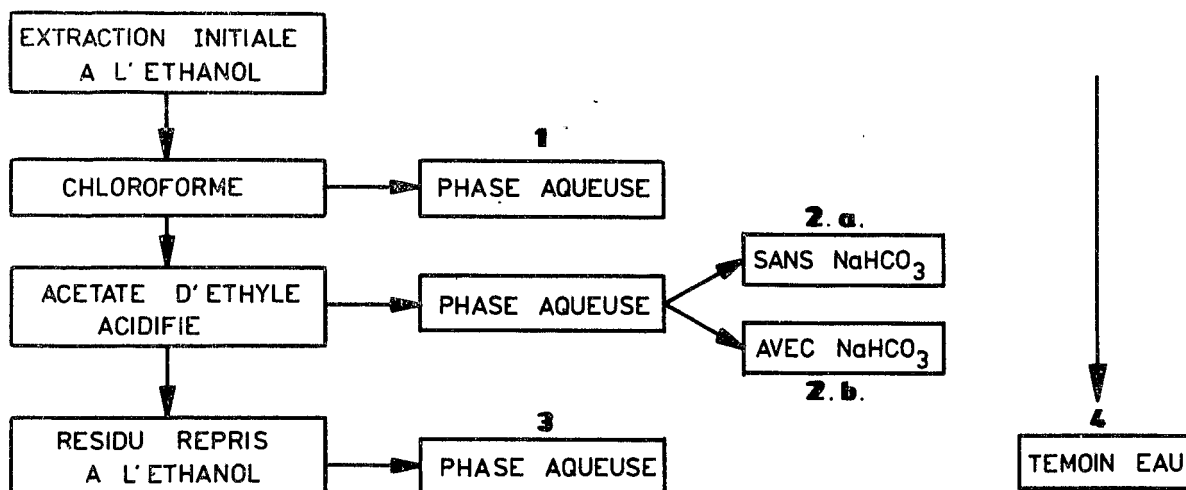


Figure 3 : Croissance de la plante-test (Tay-gras) sur trois extraits aqueux de racines de sorgho. Segment de droite verticale : erreur standard.

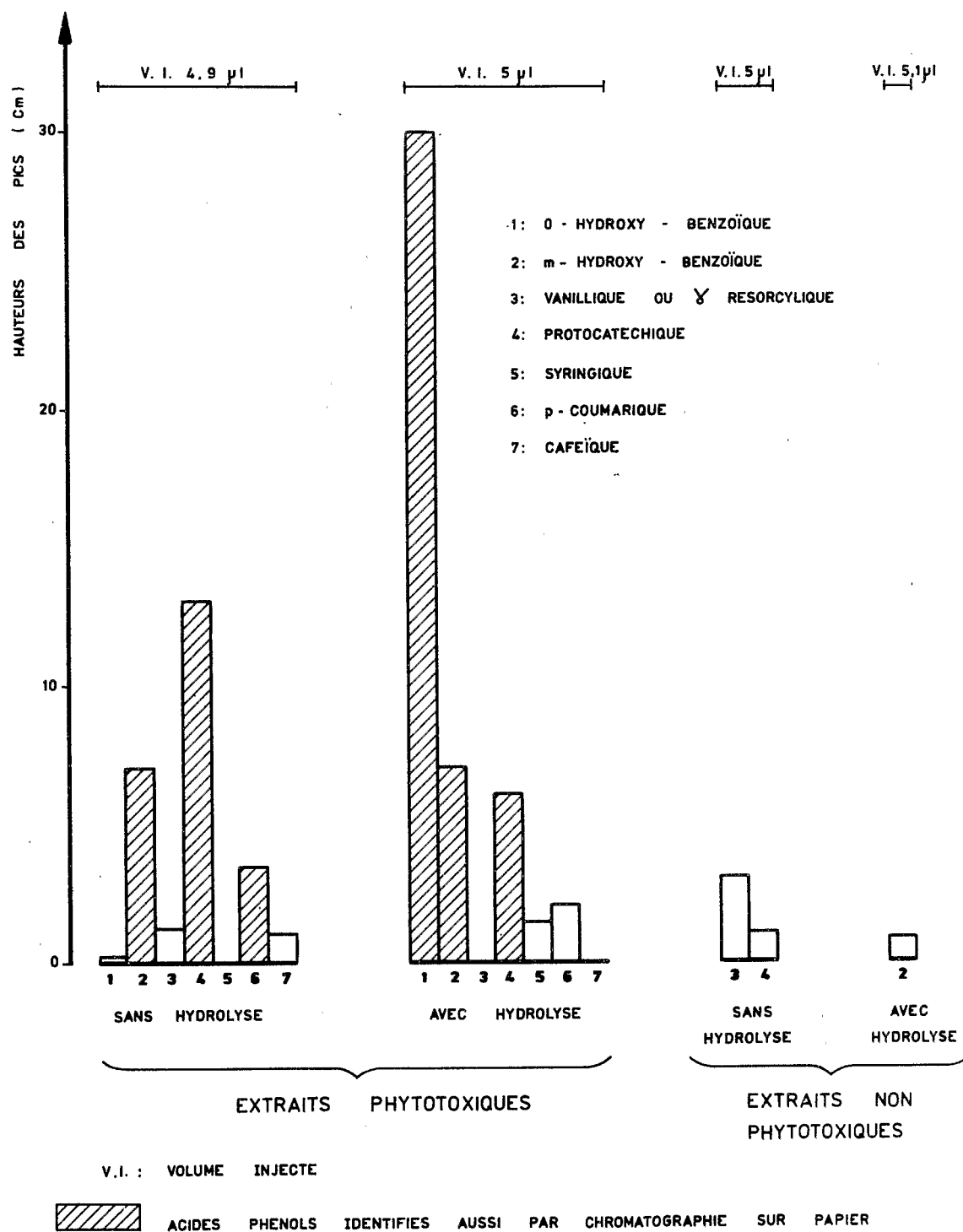


Figure 4 : Identification par chromatographie en phase gazeuse des acides phénols contenus dans les extraits phytotoxiques et non phytotoxiques obtenus après hydrolyse acide ou sans hydrolyse. A partir d'une extraction à l'éthanol faite sur des racines de sorgho.

Tableau IV
 CONCENTRATION (en ppm) DES TROIS ACIDES PHENOLS LES PLUS ABONDANTS
 DANS LES EXTRAITS PHYTOTOXIQUES OBTENUS APRES UNE HYDROLYSE ACIDE,
 OU SANS HYDROLYSE, A PARTIR D'UNE EXTRACTION A L'ETHANOL, FAITE SUR LES RACINES DE SORGHO

	Quantité en ppm d'acides phénols contenus dans l'extrait phytotoxique	
	Sans hydrolyse	Avec hydrolyse
p-coumarique	29	18
protocatéchique	108	53
o-hydroxybenzoïque	absent	284

On sait que l'acide p-coumarique est un inhibiteur puissant de la croissance végétale (MENDEZ *et al.*, 1968), même lorsqu'il est présent à faible dose (10 ppm), comme l'ont montré BORNER (1960) et HENNEQUIN et JUSTE (1967) avec les plantules de seigle, blé et maïs.

L'action phytotoxique de l'acide protocatéchique contenu dans les parties aériennes de quatre variétés de riz, a été montrée par KOVES et VARGA (1961).

L'acide O-hydroxybenzoïque, qui n'existe pas dans les produits extraits directement, mais seulement après hydrolyse est aussi bien connu comme inhibiteur de la croissance végétale.

Nos résultats doivent être rapprochés de ceux de GUENZI et Mc CALLA (1966b) qui ont identifié chez *Sorghum vulgare* les acides p-coumarique, syringique, vanillique, férulique et p-hydrobenzoïque contenus dans les résidus de récolte (parties aériennes). Chez le *Sorghum helepense L.*, l'acide p-coumarique est contenu dans les feuilles (ABDUL-WAHAD et RICE, 1967).

WANG *et al.* (1967) ont montré l'action phytotoxique des acides p-hydroxy-benzoïque, p-coumarique, vanillique, férulique et syringique, contenus dans plusieurs sols cultivés en canne à sucre.

CHANDRAMOHAN *et al.* (1973) ont montré que les acides vanillique, benzoïque et p-coumarique, extraits d'un sol de rizière, inhibent la croissance du riz. Egalement pour le riz, KOVES et VARGA (1961) ont identifié et montré l'effet phytotoxique des acides protocatéchique, caféique, férulique, p-coumarique, p-hydroxybenzoïque et O-hydroxybenzoïque, contenus dans les parties aériennes de quatre variétés de riz.

MULLER et CHOU (1972) ont isolé les acides p-coumarique, férulique, syringique, vanillique et p-hydroxybenzoïque contenus dans les hydrosolubles des feuilles et dans le sol cultivé en *Adenostoma fasciculatum*. Leur effet phytotoxique a été prouvé à l'aide d'un test biologique.

S'il est probable que ces différents acides-phénols contribuent à la phytotoxicité des racines de sorgho qui s'accumulent dans le sol, on ne peut éliminer l'hypothèse suivant laquelle les acides-phénols détectés résulteraient du fractionnement de molécules plus grosses à la suite de l'extraction et des traitements consécutifs. On peut aussi supposer que des molécules phytotoxiques de nature chimique différente accompagneraient les acides-phénols, en contribuant à la phytotoxicité des racines beaucoup plus efficacement que les acides-phénols eux-mêmes.

RECHERCHE D'UNE METHODE PERMETTANT D'ELIMINER L'EFFET DEPRESSIF DU SORGHO

Quelle que soit la nature exacte du ou des substances responsables de la phytotoxicité des racines de sorgho, il était important, sur le plan agronomique, d'explorer la possibilité d'éliminer cette phytotoxicité, en d'autres termes, de chercher à mettre au point une méthode de détoxification des sols. Nous nous sommes orientés vers la recherche d'une méthode de détoxification microbienne fondée sur l'inoculation du sol avec des microorganismes susceptibles de biodégrader rapidement les substances phytotoxiques.

RECHERCHES CONDUITES AU LABORATOIRE OU EN SERRE (1)

Détoxification par un inoculum fongique

Deux souches de champignon ont été comparées : une souche de *Trichoderma viride* (souche de collection) et une souche d'*Aspergillus sp* isolée du sol de Nioro du Rip. L'utilisation de *T. viride* nous a paru justifiée par le fait que ce champignon présente une activité cellulolytique remarquable (BAKER et COOL, 1974; TRIBE, 1960; KIFFER et MANGENOT, 1968). *T. viride* a été cultivé sur milieu gélosé à l'extrait de malt peptoné (Gélose, 20 g; extrait de malt, 10 g; peptone, 1 g; eau

(1) Pour les détails expérimentaux, se reporter à la thèse de BURGOS-LEON (1978).

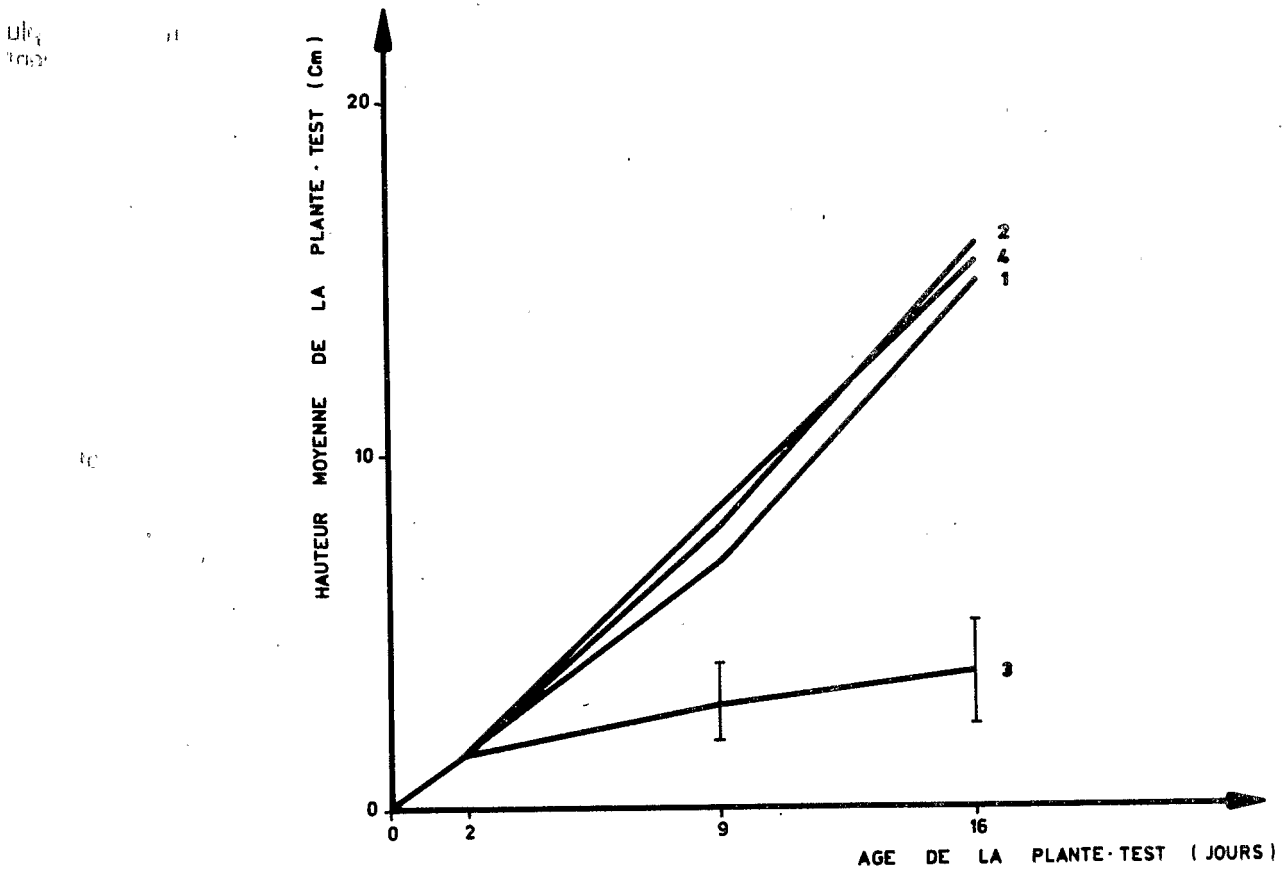
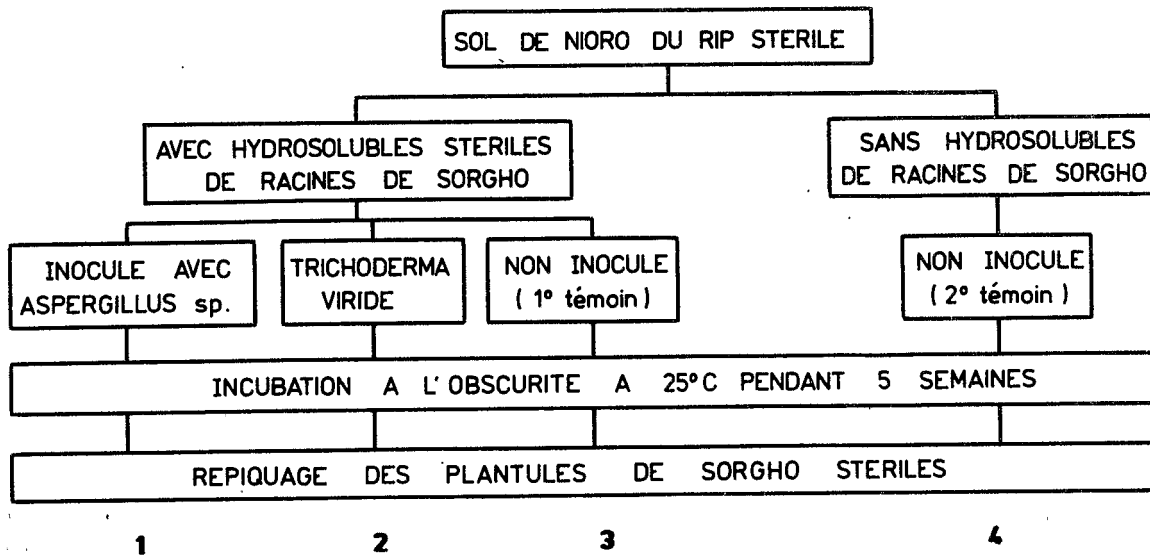


Figure 5 : Influence de l'inoculation avec des champignons, du sol stérile rendu phytotoxique par apport des hydrosolubles de racines, sur la croissance des plantes-tests de sorgho. Segment de droite vertical : erreur standard (6 répétitions).

distillée, 1 L) stérilisé 20 mn à 110°C. La souche d'*Aspergillus* a été multipliée sur le même milieu enrichi en glucose (20 g par L).

La première expérience a porté sur un système stérile. Elle a consisté à suivre pendant 16 jours la croissance de la plante-test (jeunes plantules de sorgho) cultivée dans le sol de Nioro-du-Rip non enrichi ou enrichi en hydrosolubles de racines de sorgho (14 ml d'hydrosolubles au 1/10 par 135 g de sol), inoculé ou non inoculé, avec une culture de *T. viride* ou d'*Aspergillus sp* âgée d'une semaine. Les jeunes plantules stériles de sorgho avaient été repiquées dans le sol après que ce dernier eût été soumis à une incubation de 5 semaines à 25°C. La figure 5 montre clairement qu'en l'absence d'inoculation (traitement 3), la croissance des plantes-test est médiocre, alors que, dans le cas de l'inoculation avec l'une ou l'autre souche de champignon (traitements 1 et 2), la croissance est identique à la croissance du témoin sans hydrosoluble de sorgho (traitement 4). Ces résultats suggèrent qu'à la suite de l'inoculation, le sol enrichi en hydrosolubles a été détoxifié. Il faut noter en outre que ni l'un ni l'autre des champignons utilisés n'ont gêné la croissance des plantules.

Une deuxième expérience a porté sur un système non stérile fondé sur l'emploi de petits vases de végétation renfermant 175 g de sol de Nioro-du-Rip placés en phytotron. Dans ce cas, la phytotoxicité avait été induite par apport de racines broyées (5 g de broyat de racine par kg de sol). Les résultats ont montré :

- que la souche de *T. viride* détoxifie le sol plus activement que la souche d'*Aspergillus sp*,
- que la microflore native du sol peut également détoxifier le sol, à condition que celui-ci soit maintenu

à une température et à une humidité convenable, mais que cette détoxification spontanée est beaucoup plus lente (plus de quatre semaines) que la détoxification obtenue par inoculation avec *T. viride* (moins d'une semaine).

Un troisième essai de détoxification, portant sur un système non stérile a été fondé sur l'emploi de vases de végétation contenant 5 kg de sol, placés dans une serre. On a comparé trois lots de sol de Nioro-du-Rip : sol phytotoxique récolté après une culture de sorgho (traitement I); même sol inoculé avec un champignon (traitement II); sol non phytotoxique récolté après une culture d'arachide (traitement III). Tous les vases de végétation ont reçu une fumure minérale complète 10-21-21 (0,75 g/5 kg de sol) complétée par un apport d'urée (0,08 g/5 kg de sol) au moment du démarrage de la plante-test.

L'inoculum a été préparé en utilisant, comme substrat, un compost de paille de sorgho et, comme champignon, la souche d'*Aspergillus sp*. précédemment utilisée, la souche *T. viride* ne poussant pas sur ce substrat. Une expérimentation préliminaire avait montré que l'inoculum devait être appliqué à la dose de 0,33 g (MS) par kg de sol et que incorporation au sol devait être réalisée six semaines avant le semis de la plante-test (sorgho). Ce semis, effectué en poquet (6 graines par pot), a été suivi du démarrage. Le tableau V montre que la plante-test ne peut pas pousser dans le sol phytotoxique non inoculé (traitement I) alors que la croissance est normale dans le cas du sol détoxifié par l'inoculation (traitement II), puisqu'il n'y a pratiquement pas de différence entre la croissance observée dans le cas de ce traitement et la croissance observée dans le cas du témoin (traitement III).

Tableau V
EFFET DE L'INOCULATION DU SOL DE NIORO-DU-RIP PHYTOTOXIQUE PAR
ASPERGILLUS sp. SUR LA CROISSANCE DE LA PLANTE-TEST (sorgho)

Croissance de la plante-test (sorgho) (Parties aériennes)	Sol phytotoxique		Sol témoin non phytotoxique témoin (Traitement III)
	Pas d'inoculum (Traitement I)	Inoculum (Traitement II)	
Hauteur (cm)	0	30,60	32,20
Poids frais (g)	0	5,60	5,80
Poids sec (g)	0	1,23	1,14

Détoxification par un inoculum bactérien

Partant du fait que certaines souches d'*Enterobacter cloacae* sont de bonnes colonisatrices de la rhizosphère (HAMAD-FARES, 1976 ; NELSON *et al*, 1976 ; BAKER *et al*, 1972) et que le fumier de ferme, dont on a signalé l'effet détoxifiant (p. 320) renferme *Enterobacter cloacae*,

nous avons pensé qu'il pouvait être intéressant de vérifier si l'inoculation de sol avec cette bactérie pouvait avoir le même effet que l'inoculation avec un champignon. Nous avons donc effectué une expérience identique à la troisième expérience décrite au paragraphe précédent, mais différente par le fait que l'inoculum fongique était remplacé par un inoculum à base d'*Entero-*

bacter cloacae. Les trois traitements comparés ont été les suivants : sol phytotoxique récolté après une culture de sorgho (traitement I) ; même sol inoculé avec *E. cloacae* (traitement II) ; sol non phytotoxique récolté après une culture d'arachide (traitement III). La souche d'*E. cloacae* utilisée provenait de la rhizosphère de riz et fixait activement l'azote (G. RINAUDO, communication personnelle). Cette souche avait été multipliée sur le milieu décrit à l'annexe II. Après avoir comparé deux types d'inoculum renfermant 10^9 bactéries par ml, un inoculum liquide classique et un inoculum matriciel préparé suivant la méthode de DOMMERMUES et al (1979), il est apparu que ce dernier était préférable. Des essais préliminaires ont montré que la dose optimum était de l'ordre de 10 ml par vase de végé-

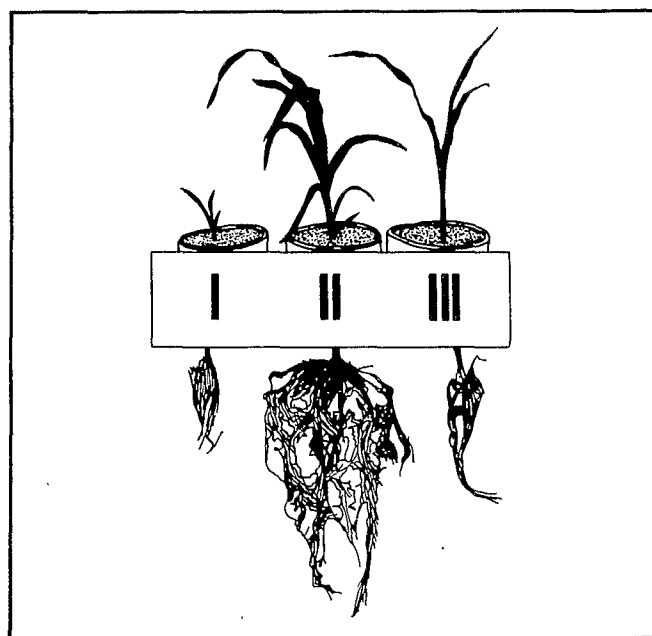
tation et que cet inoculum devait être appliqué 3 semaines avant le semis de la plante-test (sorgho). Le tableau VI et la figure adjacente montrent :

1 - que l'inoculum d'*E. cloacae* détoxifie le sol aussi efficacement que l'inoculum fongique,

2 - qu'il semble avoir deux effets complémentaires remarquables : il stimule la rhizosphère, puisque la longueur et le poids des racines sont fortement accrus par l'inoculation; il améliore la nutrition azotée de la plante-test, puisque le rendement de la plante exprimé en azote total passe de 14,8 (sol non phytotoxique : traitement III) à 48,7 (sol inoculé avec *E. cloacae* : traitement II).

Tableau VI
INFLUENCE DE L'INOCULATION DU SOL AVEC *ENTEROBACTER CLOACAE*
SUR LA CROISSANCE ET LE RENDEMENT EN AZOTE TOTAL DE LA PLANTE-TEST (SORGHO)
Moyennes de 3 répétitions

Caractéristiques de la plante-test (sorgho)	Sol phytotoxique		Sol non phytotoxique témoin (III)
	Pas d'inoculum (I)	Inoculum matriciel (II)	
Parties aériennes			
Hauteur (cm)	30,0	65,0	60,0
Poids frais (g)	2,9	22,2	16,0
Poids sec (g)	0,5	3,9	2,7
Teneur en azote (%)	2,9	1,2	0,5
Azote total (mg) par plante	14,7	48,7	14,8
Racines			
Longueur (cm)	15,0	32,0	21,0
Poids sec (g)	0,6	8,2	1,3



Parties aériennes et racines de sorgho
Age d'un mois poussant sur des sols soumis aux traitements (I), (II), (III) (cf. tab. 6) (d'après photo Niang)

L'amélioration de la nutrition azotée de la plante-test peut être attribuée soit à la stimulation de la fixation rhizosphérique de N_2 (cf. tableau VII), soit à un effet phytohormonal, soit à une stimulation de la minéralisation du stock d'azote organique du sol. L'enrichissement du sol en azote résultant de l'apport de cellules bactériennes est négligeable puisqu'il ne dépasse pas 0,5 mg par vase de végétation.

Une expérience complémentaire a été effectuée pour vérifier les résultats présentés ci-dessus et, en outre, comparer l'effet de l'inoculation avec l'effet de l'application de fumier. Cette expérience a été conduite en vases de végétation contenant 0,5 kg de sol, les autres conditions expérimentales étant identiques à celles décrites antérieurement. Le tableau n° 7 confirme effectivement les résultats antérieurs. Il montre en outre :

a) que l'inoculum matriciel (traitement II) exerce un effet comparable à celui du fumier (traitement IV),

b) que l'inoculum matriciel et le fumier accroissent significativement la fixation de N_2 rhizosphérique mesurée par la méthode de réduction à l'acétylène. Toutefois, il y a lieu de noter qu'en valeur absolue, la fixation de N_2 est négligeable.

Tableau VII
INFLUENCE DE L'INOCULATION DU SOL AVEC *ENTEROBACTER CLOACAE* (INOCULUM MATRICIEL)
SUR LA CROISSANCE ET LA FIXATION DE N₂ DE LA PLANTE-TEST (SORGHO)

Plante-test (sorgho)	Sol phytotoxique			Sol non phytotoxique témoin (III)
	Non inoculé (I)	Inoculum matriciel (II)	Fumier de ferme (IV)	
Parties aériennes*				
Hauteur (cm)	12,0	36,0	42,0	40,0
Poids frais (g)	0,51	4,15	5,10	2,73
Poids sec (g)	0,13	0,85	1,01	0,66
Fixation de N₂ (10 ⁻⁹ moles C ₂ H ₄ /h/g racines sèches)	200	2178	1747	250

* Moyenne de 3 répétitions

Détoxication par incorporation au sol d'un compost

Nous avons pu confirmer les résultats des travaux antérieurs de CHOPART et NICOU (1973) rapportés dans l'introduction, d'après lesquels l'application de fumier de ferme peut restaurer la fertilité des sols rendus phytotoxiques par la culture de sorgho. Il nous a paru

intéressant de chercher à savoir si la substitution d'un compost au fumier de ferme pouvait aboutir au même résultat. Effectivement, l'incorporation au sol phytotoxique d'un compost de paille de mil a un effet comparable à l'incorporation de fumier de ferme (tableau IX) malgré la différence de composition (tableau VIII).

Tableau VIII
COMPOSITION DU COMPOST DE PAILLES DE MIL ET D'UN FUMIER DE FERME
UTILISES DANS L'EXPERIENCE

	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	C %	C/N	pH
Compost paille de mil ...	1,62	0,35	0,60	1,22	1,00	35	22	7,9
Fumier	2,11	0,49	1,46	1,59	0,68	26	12	7,9

Tableau IX
INFLUENCE DE L'INCORPORATION AU SOL D'UN COMPOST DE PAILLES DE MIL
SUR LA CROISSANCE DE LA PLANTE-TEST (SORGHO)
Compost et fumier ont été incorporés 3 semaines avant le semis, à la dose de 6 t (M.S.)/ha
(soit 2 g M.S./kg de sol). Les chiffres sont la moyenne de 3 répétitions.

Plants de sorgho : parties aériennes	Sol phytotoxique			Sol témoin non phytotoxique
	Sans compost ni fumier	Avec compost	Avec fumier	
Hauteur (cm)	0*	61,0	65,5	61,7
Poids frais (g)	0*	10,9	11,4	8,3
Poids sec (g)	0*	2,7	2,5	2,5

* plantes mortes après deux semaines

TENTATIVE D'EXPERIMENTATION AU CHAMP

Après l'étude *in vitro* et en vase de végétation qui vient d'être rapportée il restait à vérifier au champ la possibilité de détoxifier un sol rendu phytotoxique par une culture de sorgho. Malheureusement, l'expérimentation correspondante a été mise en place sur un emplacement où aucune phytotoxicité n'est apparue après la culture de sorgho. Cette absence de phytotoxicité a été attribuée à la fois au fait que la masse de résidus racinaires de la culture de sorgho précédant l'expérimentation a été faible et au fait que des pluies sont survenues au cours de la saison sèche permettant une biodégradation, par la microflore native, de la faible quantité de produits phytotoxiques contenus dans le sol. D'autre part, des conditions climatiques défavorables (faible pluviométrie) ont contribué à niveler les différences qui auraient pu se manifester entre les traitements. Il y aurait lieu de refaire cette expérience en veillant notamment à ce que la quantité de résidus racinaires apportés au sol par la culture de sorgho soit suffisante pour introduire une phytotoxicité marquée vis-à-vis des récoltes ultérieures.

CONCLUSION

On a montré que l'effet dépressif d'une culture de sorgho sur les cultures suivantes était essentiellement dû à l'accumulation dans le sol de composés phytotoxiques contenus dans les résidus racinaires.

Ce processus d'allélopathie qui se manifeste semble d'autant plus marqué que la masse de résidus racinaires apportée au sol est élevée. Quant à la nature des composés phytotoxiques, elle n'a pas été déterminée de façon certaine.

Il est probable que différents acides-phénols contribueraient à la phytotoxicité observée, notamment l'acide p-coumarique, l'acide protocatéchique et l'acide o-hydroxybenzoïque.

Quelle que soit la nature des substances phytotoxiques responsables, il est clair que le processus d'allélopathie qui en résulte peut être éliminé par inoculation du sol par un champignon ou une bactérie, ce qui implique que ces substances sont biodégradables. L'on sait d'ailleurs que certaines substances phytotoxiques d'origine végétale peuvent être biodégradées par la microflore du sol. C'est ainsi que RIVIERE et CHAUSSAT (1966) ont montré que la microflore rhizosphérique dégradait la coumarine synthétisée par le flouve (*Anthoxanthum odoratum*), évitant ainsi l'accumulation dans ce sol de ce puissant inhibiteur de la croissance végétale.

Dans certains sols, la microflore susceptible de biodégrader les composés phytotoxiques serait peu nombreuse ou peu active, ce qui explique que les substances phytotoxiques puissent s'y conserver.

Afin d'accélérer la biodégradation de ces substances, on peut avoir recours à deux types de méthodes : stimulation indirecte de la microflore native par adjonction au sol de substrat énergétique (pailles, compost, fumier), ou inoculation par des microorganismes à la fois capables de coloniser activement les sols ou les rhizosphères et susceptibles de biodégrader les composés phytotoxiques. C'est cette deuxième approche que nous avons adoptée ici. Les résultats obtenus au laboratoire et en serre en confirment la validité. Il semble, en outre, que l'inoculation du sol avec certaines souches microbiennes n'intervienne pas seulement en biodégradant les substances phytotoxiques mais qu'elle présente des effets secondaires bénéfiques (notamment stimulation de la rhizogenèse, amélioration de la nutrition azotée). Toutefois, des expériences au champ sont encore nécessaires pour y adapter la méthode de détoxification mise au point en vase de végétation.

En dehors du cas de phytotoxicité du sorgho que nous venons de décrire, on connaît d'autres exemples de fatigue des sols, notamment celui concernant les sols sableux du Sud-Est de la France cultivés en maïs (HENNEQUIN et JUSTE, 1967). Citons également les résultats de recherches récentes effectués au Sénégal par GANRY *et al* (1978) d'où il résulte que l'enfouissement des pailles de mil dans le sol peut exercer un effet dépressif marqué sur les rendements de cultures telles que le mil ou l'arachide. Il s'agit, certainement là encore, de l'intervention de substances phytotoxiques incorporées au sol avec les résidus de récoltes (résidus racinaires dans le cas du maïs, pailles de mil dans le dernier exemple).

En dehors du cas du sorgho qui fait l'objet de la présente note, et des exemples que nous venons de citer, l'incidence agronomique des processus d'allélopathie est encore mal connue et l'origine du processus lui-même est souvent controversée. Ces controverses résultent du fait que les manifestations allélopathiques varient considérablement dans leur durée. Ces variations sont le reflet :

a) de l'importance des apports au sol de composés phytotoxiques

b) de l'intensité des processus de détoxification qui sont de nature chimique, physique ou biologique. Les apports de composés phytotoxiques dépendent du cultivar considéré et de certains facteurs environnementaux régissant la synthèse de ces composés. En ce qui concerne plus particulièrement la détoxification par voie microbienne, elle semble encore plus sensible aux facteurs de l'environnement climatique ou édaphique. C'est ainsi que dans les sols sableux où l'activité microbienne est souvent moins intense que dans les sols argileux (par exemple vertisols) la biodégradation des composés phytotoxiques est moins rapide. On a vu, par exemple (p.) que dans les sols de Lamto (vertisol) le processus d'allélopathie était éphémère en raison d'une plus grande activité de la microflore que dans le sol sableux de Niéro-du-Rip.

Pour que l'allélopathie se manifeste clairement dans un vertisol, tel que le vertisol de la station de l'ICRISAT en Inde (cf. par. 1), il est nécessaire que les apports au sol de résidus racinaires soient très importants, certaines cultures pourraient être plus sensibles que d'autres aux substances phytotoxiques.

Etant donné que la tension de l'eau dans le sol est l'un des principaux facteurs régissant l'activité microbienne dans les sols, il est facile de comprendre que la sécheresse est favorable à la conservation (non-biodégradation) des substances phytotoxiques dans les sols. Il en résulte que les processus d'allélopathie risquent d'être d'autant plus marqués que l'on se trouve placé dans un milieu plus aride.

En résumé : les deux conditions les plus favorables à la manifestation du processus d'allélopathie sont donc les suivantes :

a) apports élevés de composés phytotoxiques au sol,
b) faible activité microbienne, celle-ci étant due au type de sol (les sols sableux sont, en général, le siège d'une activité microbienne réduite) et à une humidité insuffisante. Le processus d'allélopathie peut dans certaines conditions passer inaperçu, son existence est alors ignorée par l'observateur non averti. Par contre, dans d'autres cas le processus peut être assez intense pour constituer un obstacle à l'introduction d'une plante, telle que le sorgho, dans une rotation culturale. Nous concluons donc en souhaitant que des recherches plus approfondies dans ce domaine soient entreprises en suivant la voie, tracée par RICE (1974) pour les écosystèmes naturels.

Remerciements

Ces recherches ont été conduites en partie au Centre de Pédologie Biologique de Vandœuvre-les-Nancy et en partie au Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey (Sénégal). Elles ont bénéficié de crédits du C.N.R.S., de l'I.R.A.T. et d'une aide de la D.G.R.S.T. France (Décision d'aide n° 76.7.043501).

Bibliographie

- BAKER (K.F.), COOK (R.J.), 1974 — Biological control of plant pathogens. W.H. Freeman & Co. San Francisco, 433 p.
- BRAZEALE (J.F.), 1927 — The irrigations after effects of sorghum — J. Amer. Soc. Agron., 16(11) 689-700
- BRUCKERT (S.), 1970 — Méthode d'analyse des acides organiques et des composés phénoliques présents dans le sol. Note technique C.P.B. n° 9, 13 p.
- 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 I, 94 p.
- BURGOS LEON (W.), 1978 — Allélopathie induite par la culture du sorgho : origine et détoxification microbienne du sol. Thèse de Docteur es Sciences, Université de NANCY I, 128 p.
- CHANDRAMOHAN (D.), PURUSHOTHAMAN (D.), KOTHANDARAMAN (R.), 1973 — Soil phenolics and plant growth inhibition. Plant and Soil, 39 (2), 303-308.
- CHARREAU (C.), NICOU (R.), 1971 — L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest Africaine et ses incidences agronomiques. C.N.R.A. Bambey (I.R.A.T. Sénégal), Bull. Agron. Trop., 23, 254 p.
- CHOPART (J.-L.), NICOU (R.), 1973 — Effet dépressif de cultures répétées du sorgho dans les sols sableux du Sénégal. African Soils, 17, (1), pp. 181-188
- DOMMERMUES (Y.R.), MANGENOT (F.), 1970 — Ecologie microbienne du sol. Masson & Co. Paris, 796 p.
- FLOY (G.L.), RICE (E.L.), 1967 — Inhibition of higher plants by three bacterial growth inhibitors. Bull. of the Torrey Botanical Club, 94 (3), pp. 125-129.
- GANRY (F.), ROGER (P.A.) et DOMMERMUES (Y.), 1978 — A propos de l'enfouissement de pailles dans les sols sableux tropicaux du Sénégal. C.R. Acad. Agricult. de France 15.3.78, pp. 445-454.
- GUENZI (W.D.), McCALLA (T.M.), 1966a — Phytotoxic substances extracted from soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 30 (2), pp. 214-216.
- HAMAD-FARES (Ibtissam), 1976 — La fixation de l'azote dans la rhizosphère du riz. Réalisation d'un modèle gnotobiotique. Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy I, 129 p.
- HENNEQUIN (J.R.), JUSTE (C.), 1967 — Présence d'acides phénols libres dans le sol. Etude de leur influence sur la germination et la croissance des végétaux. Ann. Agron., 18 (5), pp. 545-569.
- JACQUINOT (L.), 1969 — La nutrition minérale du mil (*Pennisetum typhoides* Stapf et Hubbard). I. Effets de la nature de l'alimentation azotée sur l'absorption de l'azote et sur la croissance. Interaction de l'alimentation en fer. Agron. Trop. XXIV (12), pp. 1129-1138.
- KIFFER (E.), MANGENOT (F.), 1968 — Activité cellulolytique de quelques sols forestiers. Ann. Inst. Pasteur, 115, pp. 582-595.
- KOVES (E.), VARGA (Magdolna), 1961 — Action inhibitrice des substances du type des acides phénols carboxyliques, isolées du chaume, sur la germination des graines des plantes cultivées. Agrochim. és. Talajtan, Magyar, 10 (1), pp. 135-144 (en hongrois).
- MARTIN (P.), RADEMACHER (B.), 1960 — Studies on the mutual influences of weeds and crops. In : «The biology of weeds» J.L. HARPER, éd. Blackwell, Oxford, pp. 143-152.
- MENDEZ (J.J.), GESTO (M.D.V.), VAZQUEZ (A.), VIEITEZ (E.), 1968 — Growth substances isolated from woody cuttings of *Alnus glutinosa* Medic. and *Fraxinus excelsior* L. Phytochemistry, 7, pp. 575-579.
- MORELAND (D.E.), EGLEY (G.H.), WORSHAM (A.D.), MONACO (T.J.), 1966 — Regulation of plant growth by constituents from higher plants. In : «Natural pest control agents». Advances in Chemistry, ser. 53, pp. 112-140.
- MULLER (C.H.), CHOU (C.H.), 1972 — Phytotoxins : an ecological phase of phytochemistry. In : Phytochemical ecology J.B. HARBORNE éd. Phytochemical Society Symposia, ser. 8, Academic Press, London, New York, pp. 201-216.
- NELSON (A.D.), BARBER (L.E.), TJEPKMA (J.), RUSSELL (S.A.), POWELSON (R.), EVANS (H.J.), SEIDLER (R.J.), 1976 — Nitrogen fixation associated with grasses in Oregon. Can. J. Microbiol., 22, pp. 523-530.
- NGUYEN QUAT HAO, METCHE (M.), 1974 — Repérage des pics de chromatographie en phase gazeuse. Application au fractionnement des composés phénoliques et des acides organiques. Bull. E.N.S.A.I.A. Nancy, XVI (1-2), pp. 77-87.
- NICOU (R.), 1978 — Etat de l'acquis sur les techniques et systèmes de culture dans l'aménagement des vallées des Voltas : les propositions possibles. Rapport ronéo, IRAT, 18 p.
- NICOU (R.), 1978 — Etude de successions culturales au Sénégal. Résultats et méthodes Agron. Trop. XXXIII-1.
- NORSTADT (F.A.), McCALLA (T.M.), 1971 — Effects of patulin on wheat grown to maturity. Soil Science, 111, pp. 236-243.

PATRICK (Z.A.), 1971 — Phytotoxic substances associated with the decomposition in soil of plant residues.
Soil Science, 111, pp. 13-18.

RASMUSSEN (J.A.), RICE (E.L.), 1971 — Allelopathic effects of *Sporobolus pyramidatus* on vegetational patterning.
Amer. Midland Naturalist, 86 (2), pp. 309-326.

RIBEREAU-GAYON (P.), 1968 — Les composés phénoliques des végétaux.
Dunod, Paris, 254 p.

RICE (E.L.), 1974 — Allelopathy.
T.T. Kozlowski ed. Academic Press Inc. New York, San Francisco, London, 353 p.

RINAUDO (C.), 1978 — Communication personnelle.

RIVIERE (J.), CHAUSSAT (R.), 1966 — Destruction de la coumarine dans la rhizosphère.
Ann. Inst. Pasteur, Suppl. 111 (3), pp. 155-167.

TRIBE (H.T.), 1960 — In the ecology of soil fungi.
Parkinson, Waid ed., Liverpool, pp. 246-256.

WANG (T.S.C.), YANG (T.K.), CHUANG (T.T.), 1967 — Soil phenolic acids as plant growth inhibitors.
Soil Science, 103 (4), pp. 239-245.

WHITTAKER (R.H.), 1970 — The biological ecology of higher plants.
In : «Chemical ecology». E. Sondheimer and J.B. Simeone ed. Academic Press, New York, London, pp. 43-70.

ANNEXE I

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE SOLS AFRICAINS (PROFONDEUR : 0 A 25 cm) :

1. NIORO-DU-RIP (SENEGAL) 2. LAMTO (COTE D'IVOIRE)

Granulométrie %					M.O. %	C org. %	N total %	C/N	pH	Bases échangeables m.e./100 g					100 $\frac{S}{T}$	Elém. amorphes $\mu/100$		
Sables gros.	Sables fins	Limons gros.	Limons	Argile						Ca ++	Mg ++	K +	T	S		Fe	Al	Si
Sol de Nioro-du-Rip (n° CO212*) : type ferrugineux tropical																		
21,5	54,6	13,4	3,5	6,8	1,7	0,76	0,041	18,6	6,4	1,80	0,39	0,241	2,45	2,43	99	0,1	0,2	0,0
Sol de Lamto (n° 1233**) : type vertisolique																		
14,8	24,0	10,8	13,6	15,6	5,6	2,36	0,1	23	6,9	10,12	8,5	0,35	21,0	18,97	90,33	16,6	4	5

* Référence du Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey (Sénégal)

** Référence du Centre de Pédologie Biologique de Nancy (France).

ANNEXE II

MILIEU P.L.G. POUR ENTEROBACTER CLOACAE

P = pomme de terre, L = extrait de levure, G = glucose

K ₂ HPO ₄ 3H ₂ O	500 mg
KH ₂ PO ₄	500 mg
MgSO ₄ 7H ₂ O	200 mg
NaCl	100 mg
CaCl ₂	100 mg
FeSO ₄	10 mg
MnSO ₄	5 mg
Oligoéléments	1 ml
Extrait de pomme de terre	1,0 g
Extrait de levure	0,1 g
Glucose	10,0 g
Eau distillée q.s.p.	1,0 l

On stérilise à l'autoclave 20 minutes à 110°C, deux fois, à 24 heures d'intervalle. Après refroidissement (une nuit), le matériel est prêt à être utilisé.

(G. RINAUDO, communication personnelle)