

Comment améliorer la productivité agricole dans les pays en développement ? L'exemple du mil au Sénégal.

Exposition réalisée dans le cadre d'une action pédagogique pilote subventionnée par l'Agence pour l'Enseignement Français à l'Etranger (AEFE).



Deux établissements de Dakar (Le lycée Jean Mermoz avec la classe de 1ère S2 et le Cours Sainte Marie de Hann avec les 1ères SFA et SFB), associés à l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) et à l'ISRA (Institut Sénégalais de Recherches Agricoles), se sont réunis pour la réalisation d'un projet pédagogique concernant le mil, principale culture développée au Sénégal. Cette étude porte sur deux variétés de mil, le mil n°25 et le mil n°316.

Le mil pousse dans des conditions climatiques spécifiques et résiste relativement bien à la sécheresse, mais l'irrégularité et la baisse des précipitations ces dernières décennies dans la zone sub-sahélienne posent des problèmes pour obtenir des rendements de culture satisfaisants.

Différentes pistes de recherche, testées dans le cadre de ce projet, pourront peut être mener à résoudre ces problèmes : amélioration de la fertilité des sols, sélection génétique de mils plus précoces (afin de synchroniser la période des pluies et la croissance de la plante) et association symbiotique avec des champignons, les mycorhizes.

QUELLE EST L'INFLUENCE DES SOLS SUR LA CROISSANCE DU MIL ?

Le mil est la première production agricole au Sénégal. Depuis 5 ans, les récoltes de mil ont baissé de 41% au Sénégal à cause de la réduction des pluies, de l'attaque de ravageurs et de l'érosion des sols. De plus, la population est en constante augmentation. Il est alors nécessaire d'importer des matières premières alimentaires, ce qui pose des problèmes économiques au Sénégal.

Une plante a des besoins nutritifs essentiels qu'elle tire de ses racines présentes dans la terre. Le milieu dans laquelle la plante se développe est donc important. Quelle est alors l'influence des sols sur la croissance du mil ?

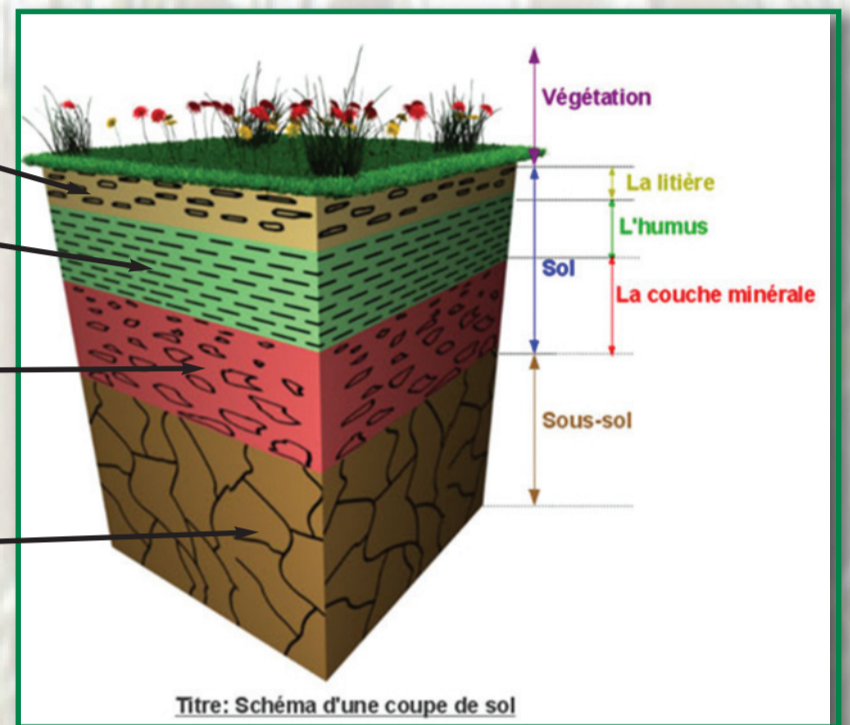
Coupe schématique d'un sol

Horizon O : Accumulation des débris végétaux (litière).

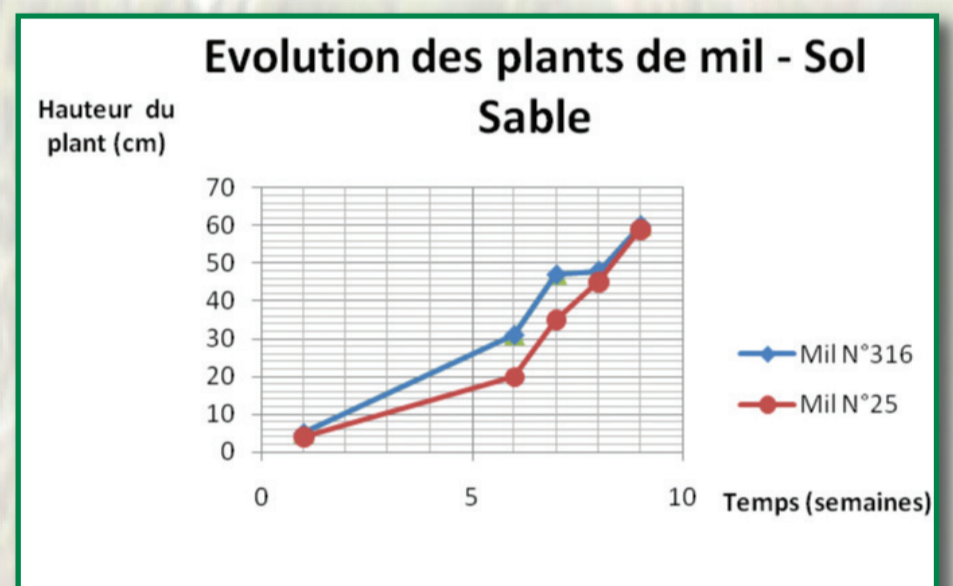
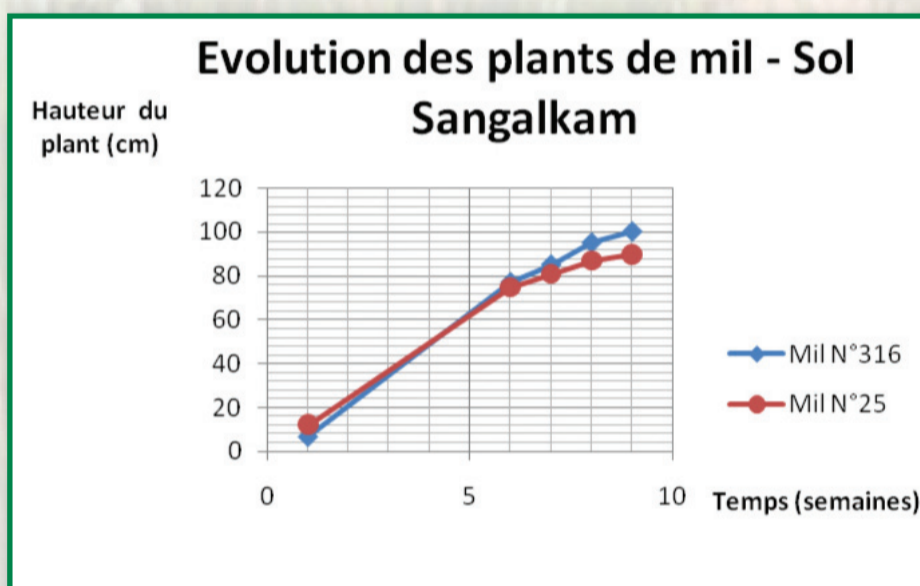
Horizon A : Horizon composé de matières organiques et minérales.

Horizon B : riche en divers constituants, suivant les cas : argile, fer, matière organique, carbonate de calcium.

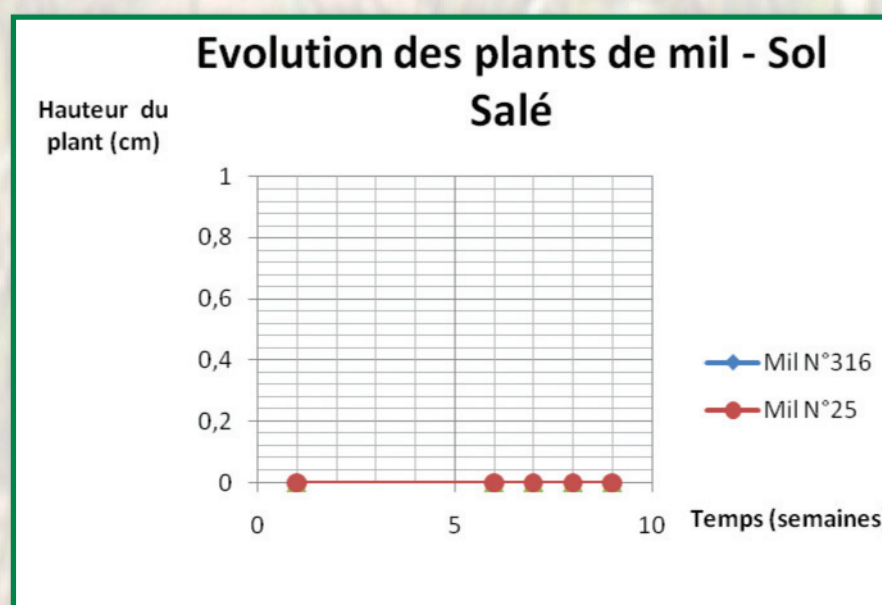
Horizon C : zone d'altération de la roche mère, encore visible car sa transformation reste limitée.



Courbes de croissance de deux variétés de mil (mil n°25 et mil n°316)



Sol de Sangalkam - mil n°25



Sol de Sangalkam - mil n°316

QUELLE EST L'INFLUENCE DES SOLS SUR LA CROISSANCE DU MIL ?

Présentation des résultats

1. La matière organique

Résultats

Objectif : Mettre en évidence la matière organique

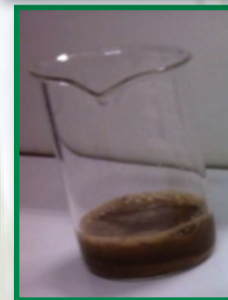
Liste de matériel:

- Bécher.
- Echantillon de sol.
- Eau oxygénée.

Expérience :

- Placer 10g de sol dans un bécher.
- Verser 10mL d'eau oxygénée.
- Agiter et observer.

Sol Sangalkam



Sol - Sable



Sol salé



Les matières organiques du sol ont un rôle primordial dans le comportement du sol :

- Elles participent à la qualité de la structure du sol et à sa stabilité par rapport aux agressions extérieures telles que les pluies...
- Elles assurent le stockage et la mise à disposition des éléments dont la plante a besoin.
- Elles stimulent l'activité agricole du sol.

2. Analyse des différents sols

	Sol de Sangalkam	Sol – Sable de bord de	Sol salé
pH	6,7	6,6	6,0
Carbone (%)	0,30	0,17	0,48
Azote total (%)	0,02	0,0	0,042
Phosphore total (mg/	33,3	49	46
Potassium échangeable (mg/100g)	0,04	0,22	0,69

Les résultats des expériences montrent que ces différents sols sont très pauvres en éléments essentiels à la croissance du mil. En effet, les pourcentages de carbone, d'azote et la quantité de phosphore et de potassium sont extrêmement faibles.

Par ailleurs, le stress salin engendré par le sol salé empêche les variétés de mil de se développer.

Néanmoins, l'expérience a montré que les deux variétés de mil ont poussé de manière significative sur le sol de Sangalkam et sur le sol sableux de bord de fleuve. Ces deux sols sont plus riches en matière organique que le sol salé.

Les deux conclusions que l'on peut tirer de notre recherche sont les suivantes :

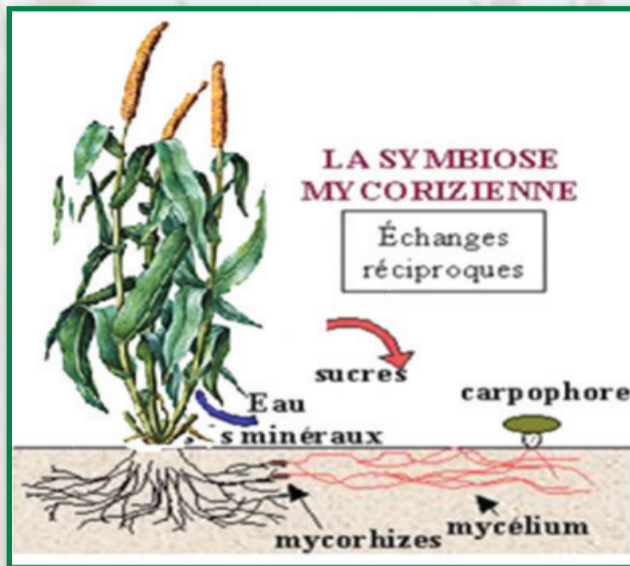
- La variété de mil n°316 offre une meilleure croissance que la variété de mil n°25.
- Le sol de sangalkam est celui qui garantit la meilleure croissance du mil.

Conclusion :

Par sa capacité de croissance sur des terrains peu propices, la variété de mil n°316 pourrait pallier la chute significative des récoltes de mil au Sénégal et permettre au pays de limiter l'importation de céréales.

QUELLE EST L'INFLUENCE DES MYCORHIZES SUR LA CROISSANCE DU MIL ?

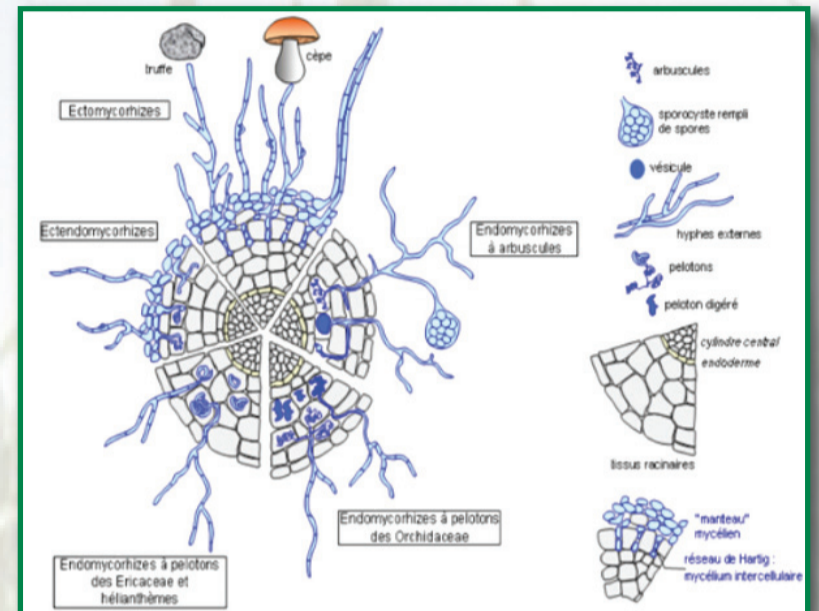
Pour répondre à cette question nous avons réalisé des plantations de mil (mil n°25 et mil n°316) avec ou sans mycorhizes



Le principe de la symbiose

C'est une association durable et à bénéfice réciproque entre deux organismes.

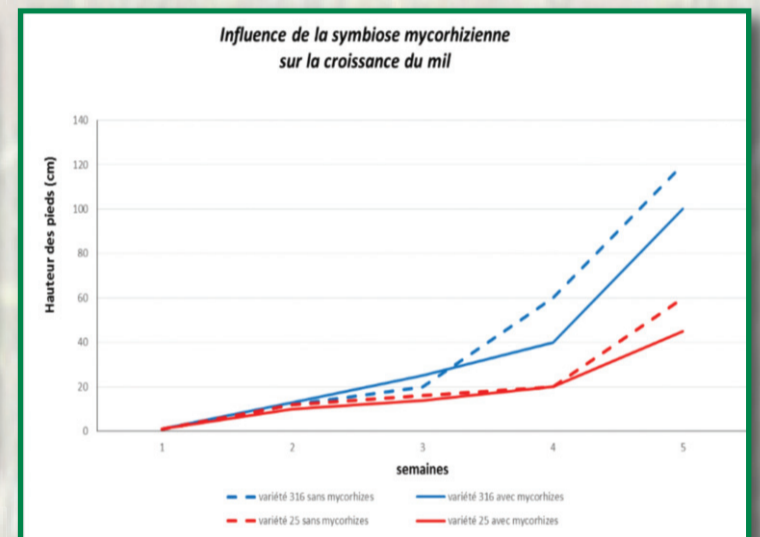
Ici le mil alimente les mycorhizes en matière organique et les mycorhizes favorisent l'absorption des éléments minéraux nécessaires au mil. Il existe plusieurs types de mycorhizes, pour le mil ce sont des endomycorhizes (Glomus aggregatum dans le cas étudié ici).



Evolution de nos cultures dans le temps :



Pieds de mil après 5 semaines.

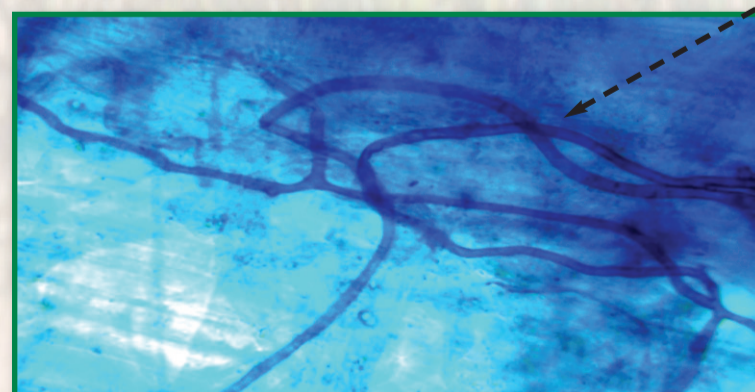
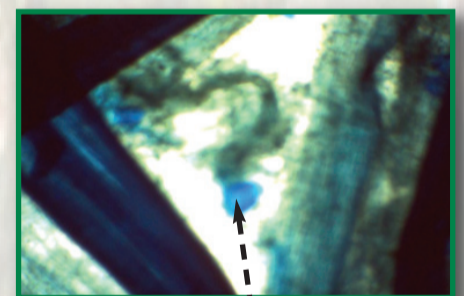
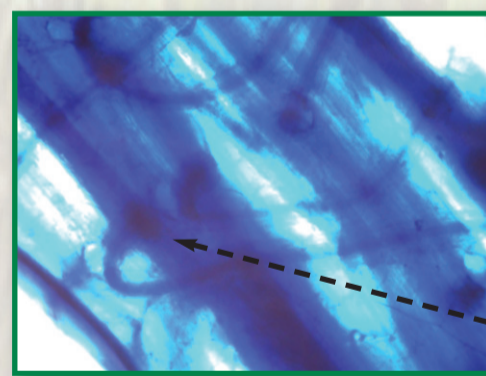


Les graines sont semées dans un sol inoculé ou non avec des mycorhizes, culture en gaines.

Protocole expérimental pour mettre en évidence les mycorhizes et donc vérifier que les pieds ensemencés sont bien entrés en symbiose:

Coloration des fragments de mycorhizes :

- ◆ Séparer les racines des parties aériennes et les rincer afin d'éliminer les particules de sable.
- ◆ Les introduire dans des tubes à essai contenant du KOH (potasse) à 100g/l afin de les décolorer.
- ◆ Introduire les racines dans une solution de bleu Trypan



Mycorhizes observées sur nos préparations au microscope optique (x 400). Les champignons apparaissent sous forme de filaments (hyphes) ou de vésicules.

La symbiose entre nos pieds de mil et les mycorhizes *Glomus aggregatum* que nous avons inoculées en début de culture s'est donc bien établie. Cependant, les courbes de croissances obtenues montrent que les mils qui ont le mieux poussés sont ceux sans cette souche de mycorhizes. Contrairement à ce que l'on pouvait croire, ces mycorhizes ne semblent pas déterminantes pour la croissance du mil. Nos observations vont d'ailleurs dans le sens d'une étude de recherches scientifiques au Sénégal sur le même sujet. (*Etude et Gestion des Sols*, 07/04/2000, numéro spécial).

Influence de l'eau sur des variétés de mil plantées en pleine terre

PROTOCOLE

Matériels Utilisés

- Sacs de substrat (terreau)
- Une bêche
- Un râteau
- Un arrosoir

Préparation

- Étalement du terreau
- Bêchage de la parcelle de terre
- Nivellement à l'aide d'un râteau
- Arrosage

PLANTATION

Matériels Utilisés

- Un mètre ruban
- Un plantoir
- Un arrosoir



Réalisation

- Mesure des distances des trous (70cm)
- Réalisation des trous en quinconce avec le plantoir
- Plantation des pousses au niveau de leurs collets
- Arrosage

ESSAI « SECHERESSE » sur :

- Un carré de la variété 25, arrosé
- Un carré de la variété 316, arrosé
- Un carré des variétés 25 et 316, soumis au stress hydrique

Paramètre de mesure:

- Relevé de la hauteur des plants toutes les semaines (en fonction de la plus grande feuille).

PROBLEMES RENCONTRÉS ET SOLUTIONS

Problèmes

- Feuilles mangées par les chats
- Invasion de pucerons

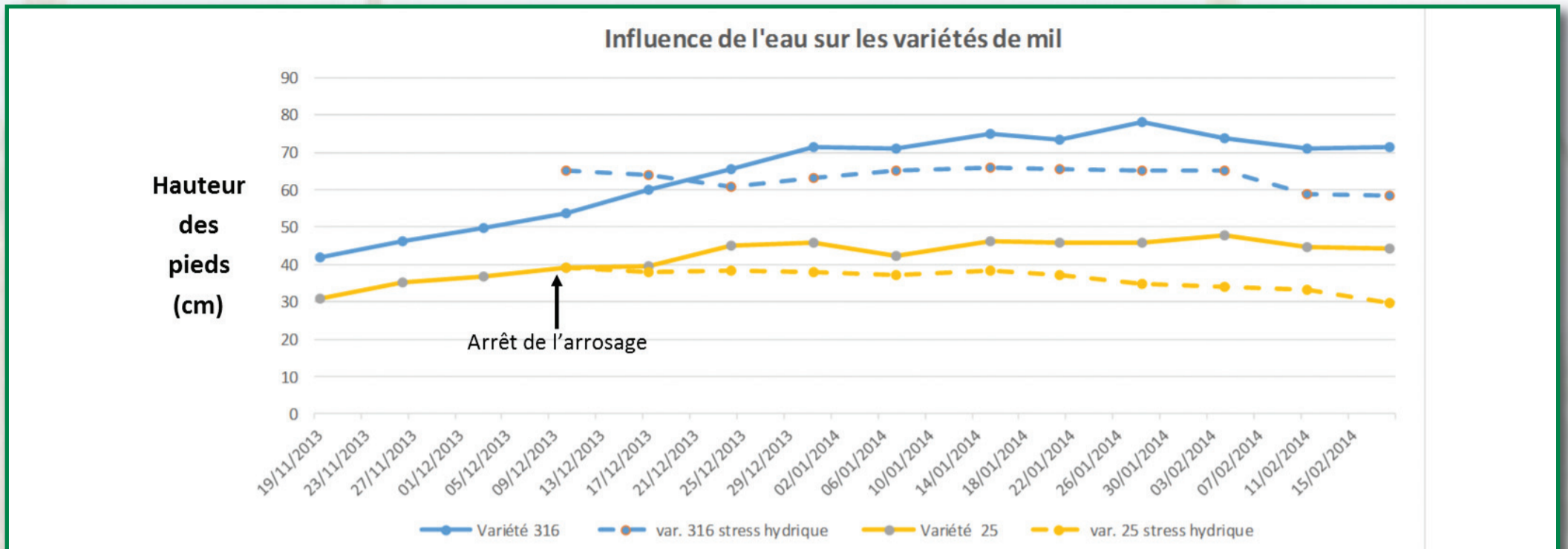
Solutions

- Mise en place de grillages autour des plantes
- Traitement par décoction de feuilles de Neem

Toute l'équipe de 1ère S tient à remercier Jean Pierre Gomis, notre jardinier des Maristes, pour son aide et la disponibilité dont il a fait preuve durant ces études expérimentales.



Influence de l'eau sur des variétés de mil plantées en pleine terre



Observations

Les plants non soumis au stress hydrique :

La variété 316 par rapport à la variété 25 :

- Meilleur développement



Variété 25 variété 316

- Croissance plus rapide
- Meilleure résistance aux parasites (pucerons)
- Floraison plus précoce
- Epis plus grands avec plus de graines

Les plants soumis au stress hydrique :

- Arrêt plus rapide du développement

- Dessèchement assez rapide

- Fanaison et mort

La variété 316, comme le montre le graphique ci-dessus et la photographie ci-dessous, a cependant mieux résisté que la variété 25 .



Variété 316
non arrosée arrosée



Variété 25
non arrosée arrosée

Bilan

La variété 316 semble plus intéressante :

- Par sa croissance plus rapide
- Par son meilleur rendement
- Par sa meilleure résistance à la sécheresse et aux parasites.

Les plantations faites dans le jardin, ont été réalisées après la saison de l'hivernage, cela explique le développement limité des plantes. Pour faire des plantations il faut donc tenir compte impérativement des saisons (le mil est particulièrement sensible à la photopériode). Dans le cas du mil, les plantations devront être faites dès les premières pluies.

Les données agronomiques (ISRA) sur les différentes variétés de mil permettent de désigner les variétés 25 et 316 comme les plus productives. Ces deux lignées ont respectivement 181 g et 148 g de rendement final par pied et présentent les longueurs les plus élevées en ce qui concerne la hauteur du talle principal.

Extractions d'ADN de mil

Protocole et résultats

Protocole expérimental

Nous avons extrait l'ADN des deux variétés de mil (n° 25 et n° 316).

Nous avons broyé les échantillons de mil au mortier, puis effectué la lyse cellulaire dans un tampon permettant de dissocier les membranes cellulaires. Nous avons alors purifié l'ADN à l'aide de différents solvants. L'utilisation de pipettes automatiques et d'une centrifugeuse nous a permis d'isoler l'ADN des autres constituants cellulaires.



Broyat cellulaire obtenu après centrifugation



Une centrifugeuse



Pipette automatique

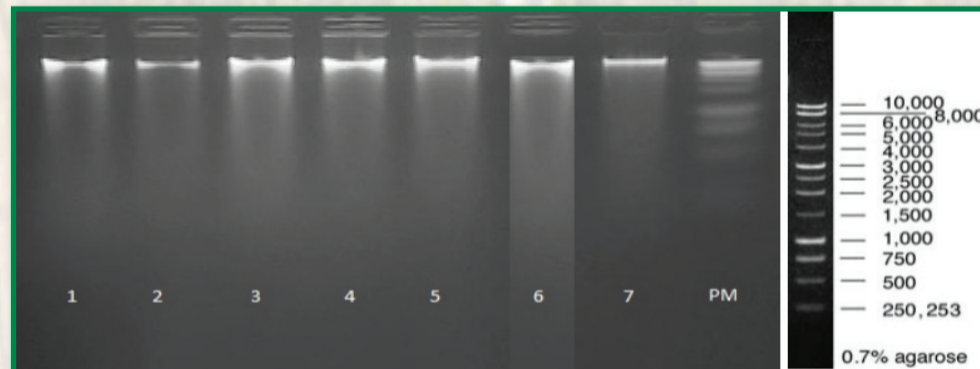


Culot d'ADN blanc dans le fond du tube.

Contrôles qualitatif et quantitatif de l'ADN extrait des cellules de

Nous avons ensuite contrôlé la qualité de l'ADN, sur un gel d'électrophorèse sur agarose.

Les Résultats montrent une belle extraction, car nous avons des bandes de haut poids moléculaire sur le gel, ce qui indique que l'ADN obtenu n'a pas été découpé en fragments de petites tailles lors de l'extraction.



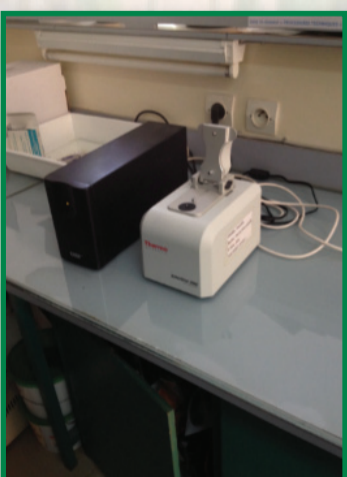
Gel d'électrophorèse de l'ADN sur agarose à 0.8 %

Le marqueur de taille (puits de migration le plus à droite) est un mélange de fragments d'ADN dont les tailles sont connues.

Puis nous avons contrôlé la quantité d'ADN obtenue en mesurant ses données spectrales sur un spectrophotomètre Nanodrop.

Les résultats de spectrophotométrie nous indiquent la quantité obtenue en ng/μl.

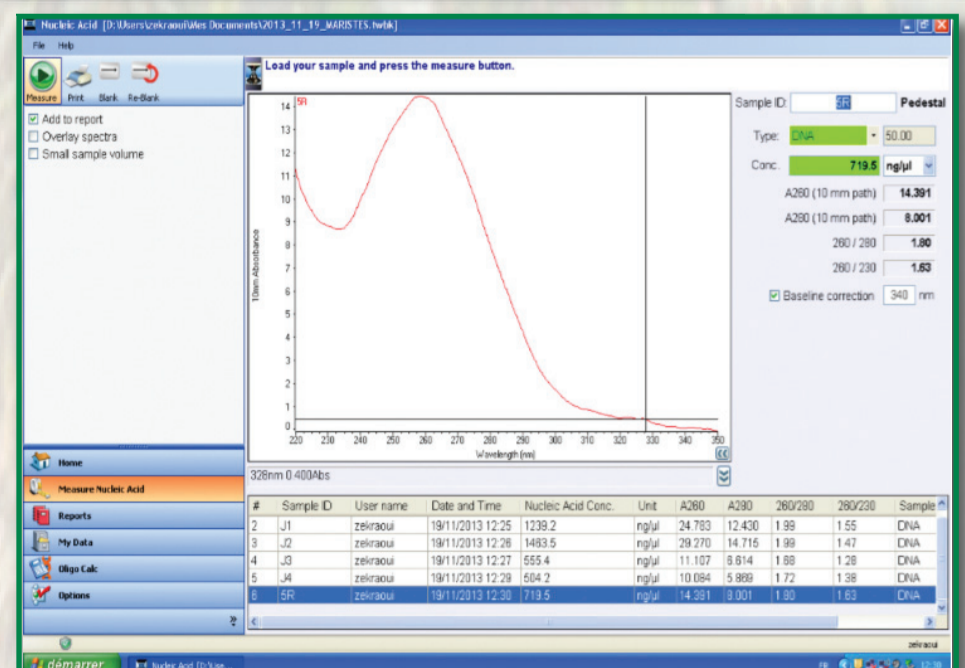
La longueur d'onde de 260 nm nous indique la quantité d'ADN.



Le nanodrop

La longueur d'onde de 280 nm nous donne la quantité de protéine.

Le rapport 260/280 indique la pureté de l'échantillon. Il doit être entre 1.8 et 2. Ce qui indique que l'ADN est peu «contaminé» par des protéines résiduelles. Les résultats obtenus nous indiquent que nos différents échantillons sont donc relativement purs.



Spectre indiquant la concentration de l'ADN obtenu, à l'aide d'un spectrophotomètre.

Données génétiques : résultats et perspectives

Aux champs

Caractéristiques agromorphologiques de quelques variétés de mils.							
Pedigree	FLO	HTR	LEP	NE/PI	PdG/épi	PDG/Epi	NG/Epi
variété n° 21	57	285	59.0	3.74	51	35	5295
variété n° 22	57	266	57.2	4.25	44	28	5363
variété n° 23	56	238	44.6	4.72	46	30	6399
variété n° 24	55	263	50.2	4.32	44	28	4347
variété n° 25	57	277	64.9	4.21	67	43	6699
variété n° 26	55	255	56.7	3.71	51	32	5091
variété n° 312	55	266	53.2	4.61	38	26	5685
variété n° 313	55	262	49.9	4.19	49	33	5726
variété n° 314	57	247	52.8	3.73	58	38	5707
variété n° 316	55	279	59.3	5.30	43	28	4929
variété n° 317	56	262	54.8	5.36	40	24	3945

Données agronomique fournies par Monsieur Ousmane Sy, sélectionneur mil à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles.

Différentes variétés de mil ont été semées en champs d'expérimentation. Il s'agit de variétés productives de mils cultivés. Des données agronomiques ont été mesurées, et l'on a observé aussi leur résistance aux attaques de maladies ou de parasites. Or, on ne peut pas stabiliser une variété uniquement sur ses critères morphologiques. On sait par ailleurs, que les caractères sont transmis par des gènes. On va donc étudier leurs profils génétiques.

Au laboratoire

Les marqueurs microsatellites sont des petites séquences réparties tout le long des chromosomes. On connaît leur position sur les chromosomes. Ils représentent des balises, le long de la molécule d'ADN. Dans ces régions, se trouvent des gènes, qui vont avoir une influence sur différents caractères morphologiques (productivité, résistance, couleur....).

Les marqueurs présentent l'intérêt d'être variables au sein des populations, et sont même variables entre individus.

	2201	CTM8	IRD12	IRD46	2247	IRD25	2231	2206	2214
variété n° 21	368/368	247/249	121/123	91/98	199/205	167/169	225/225	203/205	241/241
variété n° 22	368/368	249/249	121/121	91/91	205/205	169/183	227/227	199/205	238/241
variété n° 23	368/368	249/251	121/121	91/91	205/205	167/169	225/237	205/211	241/241
variété n° 24	368/368	249/249	121/121	91/91	199/199	169/169	225/232	203/205	241/241
variété n° 25	368/368	249/251	123/123	91/91	205/205	169/169	239/246	205/211	241/241
variété n° 26	368/368	247/249	123/133	91/98	205/205	169/169	225/237	199/203	237/241
variété n° 312	368/368	249/249	123/123	84/91	205/205	169/169	225/244	203/203	238/238
variété n° 313	368/368	249/249	123/123	91/101	199/205	169/169	239/244	199/207	238/238
variété n° 314	368/368	247/249	123/123	91/91	205/205	169/169	239/246	205/211	241/241
variété n° 315	368/368	249/251	121/121	84/84	199/205	169/169	228/246	199/199	237/241
variété n° 316	368/368	247/249	121/123	91/91	205/205	169/169	239/246	205/211	241/241
variété n° 317	368/368	249/249	123/133	91/91	205/205	169/169	234/239	209/211	239/241

Conclusion

Nous constatons que certains marqueurs sont plus souvent présents que d'autres dans les variétés les plus productives.

Nous allons donc étudier cette région génétique, afin de trouver des gènes impliqués dans des caractères qui nous intéressent.

Un certain nombre de gènes sont déjà connus, mais il en reste encore beaucoup à trouver.

FLO jours floraison
HTR hauteur talle principal
LEP longueur de l'épi
NE/PI nombre d'épis par pied
PdG/épi Poids des grains/épi
NG/épi nombre de grains par épi



Mesure des mils en champs



Mesure des mils en champs



Thermocycleur permettant d'amplifier des fragments d'ADN.

VISITE DU CENTRE DE BEL AIR

Le Centre de Recherche de Bel Air est dédié à la recherche agronomique. Il est occupés par différents laboratoires, où travaillent ensemble, des chercheurs de l'Institut de Recherche pour le Développement et de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles.

Le LMI IESOL/LEMSAT

Le LEMSAT analyse la vie bactérienne des sols. Pour cela, ils utilisent les outils de biologie moléculaire, permettant de savoir quels organismes sont présents dans les sols.



Serre de production et d'expérimentation.



Séquence d'ADN sous l'éclairage d'une lampe UV après électrophorèse au LEMSAT.

Le LMI LAPSE

Ce laboratoire de biologie moléculaire du LMI LAPSE, effectue les analyses génétiques sur les céréales, ainsi que d'autres espèces végétales (fonio, igname, patate douce).



Épis de mils cultivés.

Le LAMA

Le LAMA analyse les sols chimiquement, pour connaître leurs compositions, afin de pouvoir les améliorer. Il peut déterminer si le sol est bon pour la culture ou pas



Analyseur CHN du LAMA.

L'URCI

Dans ce laboratoire, on effectue la multiplication de variétés à fort potentiel agronomique, afin de fournir les agriculteurs en plants (bananiers, ananas, patate douce).



Production de bananiers par clonage à l'URCI.

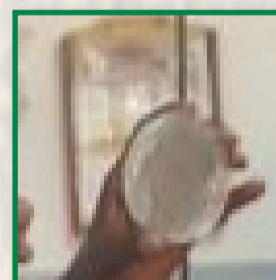
Le LCM

Le laboratoire de microbiologie, permet de mettre en culture les micro organismes. Ses recherches portent sur les interactions entre les plantes et les microorganismes .



Manipulation de micro-organismes sous hotte à flux laminaire au LCM.

On a appris que de nombreux micro-organismes sont présents dans les sols (champignons, bactéries..) et sont utilisés par les plantes.



Bactéries sur boîte de pétri au LCM



Institut de recherche pour le développement

LEMSAT : Laboratoire d'écologie microbienne des sols et agrosystèmes tropicaux (IRD-ISRA)

LCM : Laboratoire commun de microbiologie (IRD-UCAD-ISRA)

LAMA : laboratoire des moyens analytiques (IRD)

LAPSE : Laboratoire mixte international « Adaptation des plantes et micro-organismes associés aux stress environnementaux. (IRD-ISRA-UCAD)

URCI : Unité de recherche en culture in vitro (ISRA)



RESULTATS ET REMERCIEMENTS

Nous avons fait pousser deux variétés de mils précoces du Sénégal. Appelé mils Souna (il existe des variétés tardives appelées mils Sanio). La floraison est beaucoup plus rapide, donc mieux adaptée aux conditions climatiques de la zone sahélienne.

Sur tous les tests effectués, nous avons pu constater que la variété n° 316 résistait mieux à des conditions de culture difficiles.



Battage du mil par les villageois.



Mil sauvage

Il est préférable pour les agriculteurs de choisir de planter la variété n° 316 car elle résiste bien à la sécheresse et est très productive. Mais il est conseillé de cultiver plusieurs variétés, car celle-ci peut être sensible aux maladies, aux ravageurs ou aux parasites, et toute la récolte peut être perdue.

Elle servira aux sélectionneurs, qui en la croisant avec une autre variété résistante au mildiou, par exemple, permettra de parer un autre problème.

Conclusion

C'est en préservant la biodiversité des espèces, que l'on peut obtenir, par croisement, des plantes résistantes aux diverses attaques, ou conditions climatiques difficiles. La biodiversité est le réservoir dans lequel on trouvera les variétés résistantes. Il est donc important pour un pays, de conserver et de caractériser ses ressources biologiques.



Quelques variétés de mils de la Collection Nationale du Sénégal (CNRA Bambey).

Nous présentons tous nos remerciements aux chercheurs de l'IRD et de l'ISRA, qui ont bien voulu nous accompagner dans ce travail.

Leila Zekraoui, ingénieure à l'IRD, LMI LAPSE

Hassna Founoune-Mboup, chercheur à l'ISRA, URCI

Alain Plenecassagne, chercheur à l'IRD, LAMA

Les responsables des laboratoires de l'IRD et de l'ISRA, Yacine Badiane Ndour, Dominique Masse, Diagane Diouf, qui ont acceptés de nous recevoir sur le site, ainsi que tout le personnel.

