

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix-Travail-Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

ECOLE NORMALE SUPERIEURE



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace- Work – Fatherland

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TEACHER'S TRAINING
COLLEGE

DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES

DEPARTMENT OF BIOLOGICAL SCIENCE

Statut mycorhizien de la rhizosphère des plants du cultivar blanc de macabo (*Xanthosoma sagittifolium* L. *Schott*) dans la région du Centre

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de professeur des Lycées
d'Enseignement Secondaire General Deuxième Grade

(DI.P.E.S.II)

Par :

NKOUNGA TOGUE Williame

Licencié ès sciences

Option : Biologie des Organismes Végétaux

Matricule : 10S0187

Sous la direction de :

Pr. NIEMENAK Nicolas

Maître de Conférences

Année académique 2015-2016

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à :

mes parents Mr. TOGUE joseph et Mme TOGUE née MEKAM andrienne

REMERCIEMENTS

L'accomplissement de ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien de plusieurs personnes. Sur ce, je tiens à remercier:

- Pr. NIEMENAK Nicolas d'avoir activement accepté d'encadrer ce mémoire en dépit de ses nombreuses occupations ;
- Pr. SONKE, chef de Département de Biologie et de l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé pour ses nombreux plans d'action auxquels j'ai avantageusement assisté;
- Pr. OMOKOLO NDOUMOU Denis d'avoir mis à notre disposition le laboratoire de physiologie végétale (laboratoire associé francophone 314) de l'E.N.S. ;
- Les enseignants du Département des sciences biologiques et du département des sciences de l'éducation de l'E.N.S. pour leur contribution à ma formation ;
- Mme DJEUANI Astride Carole pour m'avoir suivie, guidé et encouragé tout au long de ce travail;
- Dr. NZWEUNDJI Justine Germe pour ses conseils et encouragements ;
- Les étudiants en Doctorat du laboratoire de biologie et physiologie végétales (Laboratoire Associé Francophone 314) de l'E.N.S. Je pense à BOUTCHOUANG Rodrigue, NOUMI Christelle, DJABOU Astride, EYAMO Jos, AKITIO Olive, MANGA pour l'ambiance favorable à la recherche qu'ils m'ont apporté ;
- Mes camarades du laboratoire de biologie et physiologie végétales (Laboratoire Associé Francophone 314) de l'E.N.S : WADAWA, BESSALA, KOUMPOUAM, SOB et METOPA pour leurs soutiens et conseils ;
- Tous mes camarades de la 55^{ème} promotion pour toutes les actions de solidarité qu'ils ont développée à mon endroit. Je pense à NGUIATCHUENG Carole, BOBO Manuela, FAHA Rodrigue, TCHUINGUEM Michèle et AFANDA Sandrine ;
- Mes amis TCHADJOKO Rodrigue, DESSUH Joseph, LIEGUI Ginette et AMBOMBO Marien pour leurs suggestions et aides multiformes ;
- Mes frères KENGNE Augustin, WAFO Hubert, BOPDA Arnaud, FONO Cyril, KAPTOUOM Samuel pour leurs aides et encouragements ;
- Mes cousins WAFO Alain, WAFO Beauris, WAFO Charli, KAMGA Beauris, SIDJOU Franck et mes cousines MOTOUOM Raïssa et GUEMGNE Vanessa, pour leurs soutiens et encouragements ;
- Tous ceux dont la réalisation de ce travail a bénéficié du soutiens, et qui n'ont pas pu être cités ici, qu'ils reçoivent toute ma gratitude.

SOMMAIRE

	Pages
DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
SOMMAIRE	iii
ABSTRACT	vii
LISTE DES ABREVIATIONS	viii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	xi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE	3
I.1. Généralité sur <i>Xanthosoma sagittifolium</i>	3
I.1.1. Origine et distribution.....	3
I.1.2. Taxonomie et diversité	3
I.1.3. Biologie de <i>Xanthosoma sagittifolium</i>	4
I.1.4. Exigences écologiques.....	5
I.1.5. Mode de reproduction.....	6
I.1.6. Importances de <i>Xanthosoma sagittifolium</i>	7
I.1.6.1. Importances nutritionnelles.....	7
I.1.6.2. Importances économiques.....	8
I.1.6.3. Importances médicales.....	8
I.1.7. Contraintes de production.....	8
I.1.8. Stratégies d'amélioration	9
I.2. Généralités sur les mycorhizes	10
I.2.1. Définition et caractéristiques	10
I.2.2. Types de mycorhizes	11

I.2.2.1. Les ectomycorhizes.....	11
I.2.2.2. Les ectendomycohizes	11
I.2.2.3. Les endomycorhizes.....	12
I.2.3. Classification des champignons mycorhiziens à arbuscules	13
I.2.4. Cycle de vie des champignons mycorhiziens à arbuscules	14
I.2.5. Facteurs limitant le développement des CMA et la mycorhization.....	15
I.2.6. Importances des champignons mycorhiziens à arbuscule (CMA)	16
I.2.6.2. Nutrition minérale	16
I.2.6.3. Agrégation des sols	18
I.2.6.4. Résistance aux stress biotiques et abiotiques.....	18
I.3. Statut mycorhizien.....	19
I.3.1. Statut mycorhizien de quelques plantes.....	19
I.3.2. Statut mycorhizien de quelques plantes à tubercules	20
I.4. Généralités sur les phénols, acides aminés.....	21
I.4.1 les phénols	21
I.4.2. les acides aminés	21
I.4.3. Proline.....	22
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....	23
II.1. MATERIEL	23
II.1.1. Sites de récolte	23
II.1.2. Matériel biologique	25
II.1.3. Le sol : la rhizosphère	25
II.2. METHODES.....	26
II.2.1. Prise des paramètres de croissance et des coordonnées géographiques sur le site. 26	
II.2.2. Echantillonnage de la rhizosphère et du matériel biologique.....	27
II.2.3. Détermination du pH des rhizosphères	27
II.2.4. Evaluation de la mycorhization.....	27

II.2.4.1 Eclaircissement des racines	27
II.2.4.2. Coloration des racines et observation	27
II.2.4.3. Calcul des paramètres de la mycorhization	28
II.2.5. Analyse de la chlorophylle totale dans les feuilles.....	28
II.2.5.1. Extraction.....	28
II.2.5.2. Dosage	29
II.2.6. Analyse biochimique.....	29
II.2.6.1. Extraction des phénols	29
II.2.6.2. Extraction des acides aminés totaux et de la proline	29
II.2.6.3. Dosage des phénols	30
II.2.6.4. Dosage des acides aminés totaux.....	31
II.2.6.5. Dosage de la proline	32
II.2.7. Analyse statistique des données	33
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	34
III.1. RESULTATS.....	34
III. 1.1. Les pH des différents échantillons de la rhizosphère.....	34
III.1.2. Evaluation de la mycorhization chez le macabo dans différents sites de récolte .	34
III.1.2.1. Fréquence de mycorhization (%F)	34
III.1.2.2. Intensité globale de mycorhization (%I ou %M)	35
III.1.2.3. Analyses histologique des racines mycorhizées chez le macabo	35
III.1.3. Paramètres de croissance des plants de macabo récoltés dans les différents sites	37
III.1.3.1. Nombre moyen de feuilles par site.....	37
III.1.3.2. Taille moyenne des plants de macabo	38
III.1.4. Chlorophylle totale dans les feuilles	38
III.1.5. Analyse biochimique.....	39
III.1.5.1. Teneur en phénols	39
III.1.5.2. Teneur en acides aminés totaux.....	40

III.1.5.2. Teneur en proline.....	40
III.2. DISCUSSIONS	41
CHAPITRE IV : IMPLICATION SUR LE SYSTEME EDUCATIF DU SUJET	44
IV.1. Définition des concepts	44
IV.2. Aspect didactique	44
CHAPITRE V : CONCLUSION ET PERSPECTIVES	53
CONCLUSION	53
PERSPECTIVES	53
BIBLIOGRAPHIE	55
ANNEXES	65

ABSTRACT

Cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* L. Schott) is an herbaceous plant that belongs to the Araceae family which is cultivated for its edible tubers and leaves. This work aimed to evaluate the mycorrhizal status of cocoyam in Cameroon Centre Region. The experiment was carried out in plants and rhizosphere of cocoyam white cultivar from four localities of the Centre (Ahala, Nkolbisson, Soa and Ngoa-Ekele). Roots and leaves were subjected to an assessment of mycorrhizal status and biochemical analysis respectively. The pH of the different rhizosphere, the mycorrhizal parameters were determined as well as the amount of some biochemical compounds. The results showed a variation of the pH of the rhizosphere showed between sites 8.25; 4.89; 8.05 and 8.36 for Ahala, Nkolbisson, Soa and Ngoa-Ekele respectively. The highest percentage of mycorrhization was observed in Ahala (75%) while 57%, 47.3%, 47% were observed for Soa, Ngoa-ekelé and Nkolbisson sites respectively. In addition, the intensity of mycorrhization was significantly high in Ahala (330%) compared to the others sites 16.15%; 14.01% and 11.21% for Nkolbisson, Ngoa-Ekele and Soa respectively. Histological analysis showed structures characteristic of endomycorrhizae. No structures characteristic of ectomycorrhizas was observed. Mycorrhization has no significant effect on total chlorophyll content. Furthermore a significant effect of mycorrhization on total amino acids, proline and phenols content was observed in the site of high mycorrhization especially Ahala. Cocoyam white cultivar can be classed in the group of plant with high mycorrhizal dependence type endomycorrhizae. This work can be apply in intensive biological agriculture by the use of biofertilizers containing arbuscular mycorrhizal fungi.

Keywords: *Xanthosoma sagittifolium*. rhizosphere, mycorrhizal fungi, total chlorophyll, biochemical compounds.

LISTE DES ABREVIATIONS

% : pourcent

μ : micro

CM : Champignons mycorhiziens

CMA : Champignons mycorhiziens à arbuscules

CMV : Champignons mycorhiziens à vésicules

Cv : cultivar

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

IITA : Institut International d'Agriculture Tropicale

Mg : milligramme

mL : millilitre

PIM : Potentiel infectieux mycorhizogène

MF : matière fraîche

PF : poids frais

SPSS: Statistical package for social sciences

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1. Les différents cultivars du macabo au Cameroun. cultivar blanc.....	4
Figure 2. Appareil aérien du macabo	5
Figure 3. Les types mycorhiziens sur une coupe transversale de racine.....	13
Figure 4. Classification des champignons mycorhiziens à arbuscules.....	14
Figure 5. Cycle de développement des CMA intra-racinaire.....	15
Figure 6. Extension de la zone d'épuisement du phosphore autour des mycorhizes.....	17
Figure 7. Localisation des différents sites d'échantillonnage	24
Figure 8. Matériels biologiques.....	25
Figure 9. Echantillons de sol.....	26
Figure 10. Protocole d'extraction des phénols totaux solubles.....	29
Figure 11. Protocole d'extraction des acides aminés totaux et de la proline	30
Figure 12. Courbe d'étalonnage des phénols	31
Figure 13. Courbe d'étalonnage des acides aminés totaux	32
Figure 14. Courbe étalon de la proline.....	33
Figure 15. Variation de la fréquence de mycorhization en fonction des sites	35
Figure 16. Variation de l'intensité de mycorhization en fonction du site de récolte	35
Figure 17. Aspect des hyphes mycorhiziens	36
Figure 18. Aspect des arbuscule et vésicules.....	37
Figure 19. Variation du nombre moyen de feuilles en fonction du site.....	38

Figure 20. Variation de la taille moyenne des plantes en fonction du site.....	38
Figure 21. Variation de la Teneur en chlorophylle totale foliaire dans les différents sites.....	39
Figure 22. Variation de la teneur en phénols foliaire dans les différents sites.....	40
Figure 23. Variation de la teneur en acides aminés totaux foliaire dans les différents sites....	40
Figure 24. Variation de la teneur en proline foliaire dans les différents sites.....	41

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau 1. pH des différents échantillons de sol prélevés	34

INTRODUCTION GENERALE

Le macabo (*Xanthosoma sagittifolium.*) est une monocotylédone, herbacée de la famille des Araceae. Il est originaire d'Amérique tropicale dont la culture date des temps précolombiens (Stehle 1949). Cette espèce pantropicale est cultivée pour ses tubercules et ses feuilles comestibles qui constituent une importante source d'amidon, de protéines, de vitamines et de sels minéraux (Sefa-Dedeh et Agyir-Sackey 2004). Sa production est presque exclusivement utilisée pour la consommation humaine d'où sa consommation par près de 200 et 400 millions de personnes respectivement dans les zones tropicale et dans le monde (Onokpise et *al.* 1999).

La production mondiale est estimée à 0,45 million de tonnes dont les trois quart sont produits par l'Afrique (FAO 2008). Le macabo est l'un des six plus importantes plantes à racines amylacées et à tubercules les plus cultivées dans le monde (Onokpise *et al.* 1999). Au Cameroun, elle occupe la deuxième position derrière le manioc (Brown 2000).

Fort de cette position qu'occupe le macabo, curieuse est la réponse à la question de savoir, avec l'avènement des cultures moderne et biologiques, ce que serait la culture du macabo si nous disposons d'un maximum d'information sur le statut mycorhizien du cultivar blanc de macabo. Depuis la fin du dix-huitième siècle, l'importance physiologique des mycorhizes est de plus en plus révélée chez de nombreuses espèces végétales dans diverses localités, ceci grâce à l'acquisition des informations sur leur statut mycorhizien qui rendent ainsi l'agriculture plus productives et à l'abri de nombreuses contraintes biotiques ou abiotiques (Abbas 2014).

Les mycorhizes résultent des relations mutuellement bénéfiques et obligatoires entre les racines de la plupart des plantes et certains champignons du sol dits champignons mycorhiziens. Ces derniers sont cosmopolites et colonisent la majorité des familles de plantes, depuis les Bryophytes jusqu'aux Angiospermes et particulièrement les plantes à valeurs économiques importantes (Demars et Broener 1995). Les mycorhizes sont pérennes, indispensables, et constituent la principale source minérale pour la majorité des plantes tropicales (Janos 1983). Les plantes mycorhizées se développent rapidement et mieux dans des sols peu fertiles et sans apports nutritifs externes. Ce qui constitue un avantage non négligeable pour la promotion de l'agriculture biologique. De plus, d'autres atouts tels que la préservation de l'état sanitaire des plants en raison de leur résistance aux pathogènes y sont associés (Augé et *al.* 2015).

La connaissance du statut mycorhizien du macabo blanc offrirait plus d'opportunité dans l'amélioration qualitative et quantitative du macabo. Elle permettra d'entrevoir à grande échelle l'intensification de l'agriculture biologique du macabo, comme celle en pleine expansion de nos jours avec de nombreuses espèces. Dès lors il sera aussi possible de procéder à une sélection des espèces de plantes avec qui le macabo pourrait coexister dans le milieu selon leur dépendance mycorhizienne relative. En outre il sera également possible de garantir une meilleure gestion du Potentiel Infectieux Mycorhizogène (PIM) des sols qui devient de plus en plus restreint à cause des mauvaises pratiques culturales. Plus encore, il sera possible d'appréhender plus facilement les impacts de la mycorhization contrôlée sur les plantations traitées du macabo.

Dans l'optique de rendre possible ces différentes voies d'innovation, nous nous sommes proposé d'évaluer le statut mycorhizien de la rhizosphère du cultivar blanc de macabo dans la région du centre Cameroun.

Plus spécifiquement, il est question :

- d'évaluer la mycorhization ;
- d'évaluer l'effet de la mycorhize sur les paramètres morphologiques de croissance ;
- d'évaluer l'effet de la mycorhize sur la chlorophylle totale ;
- d'évaluer l'effet de la mycorhize sur quelques composés biochimiques.

CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE

I.1. Généralité sur *Xanthosoma sagittifolium*

I.1.1. Origine et distribution

Le macabo (*Xanthosoma sagittifolium* L. Schott) est originaire d'Amérique tropicale (Alamu et Mc David 1978). Plus en détail, il vient d'Amérique du Sud, notamment du bassin de l'Amazonie. Sa domestication et sa culture date des temps pré-colombiens (Montaldo 1991). Le macabo arrive en Afrique par le côté Ouest notamment le Ghana, entre le 16^{ème} et le 17^{ème} siècle, par l'intermédiaire des commerçants, les missionnaires, et bien d'autres voyageurs. De là, il s'est répandu dans les autres pays du Golfe de Guinée. Il est largement cultivé dans les régions tropicales et subtropicales (Onwueme 1978). Le macabo est très rependu en Amérique australe et centrale, en Afrique centrale et occidentale, en Nouvelle Calédonie, en Océanie et en Asie du Sud-est (Bown 2000). Sur le territoire Camerounais, le macabo est cultivé dans sept des dix régions du pays depuis les hauts plateaux de l'ouest jusqu'aux basses terres forestières, entre 2^{ème} au 9^{ème} degré de latitude nord (Schafer 1999).

I.1.2. Taxonomie et diversité

Xanthosoma sagittifolium est communément appelé macabo au Cameroun (Kabore 2004). Il appartient au genre *Xanthosoma* qui renferme 2500 espèces parmi lesquelles 57 sont cultivées (Bown 2000). Les espèces cultivées du genre *Xanthosoma* comprend *X. sagittifolium*, *X. atrovirens*, *X. violacum* (*X.nigrum*) et *X. caracum*. La classification phylogénétique du macabo est la suivante:

Règne	: Plantae
Sous-règne	: Trachéonbionta
Embranchement	: Magnoliophyta
Sous-embranchement	: Anthophyta
Classe	: Liliopsoda
Sous-classe	: Aracidae
Superordre	: Spadiciforme
Ordre	: Arales
Famille	: Araceae
Sous-famille	: Colocasiodeae
Tribu	: Calidiae
Genre	: <i>Xanthosoma</i>

Espèce

: *Xanthosoma sagittifolium* (Schott 1832)

Au Cameroun, on distingue trois principaux cultivars de macabo classés selon la couleur de la chair du tubercule (figure 1), le niveau de ploïdie, la productivité et le niveau de sensibilité aux pathogènes notamment au *Pythium myriotylum*, germe responsable de la pourriture racinaire du macabo (Ngouo 1988) :

- Le cultivar blanc avec les tubercules blancs et tendres ; diploïde ($2n=26$) ; très productif et très sensible au *Pythium myriotylum*.
- Le cultivar rouge avec des tubercules rouges et fermes ; diploïde ($2n=26$) ; moins productif et très tolérant au *Pythium myriotylum*.
- Le cultivar jaune avec des tubercules jaunes ; tétraploïde ($4n=52$) ; peu productif et très résistant au *Pythium myriotylum*.

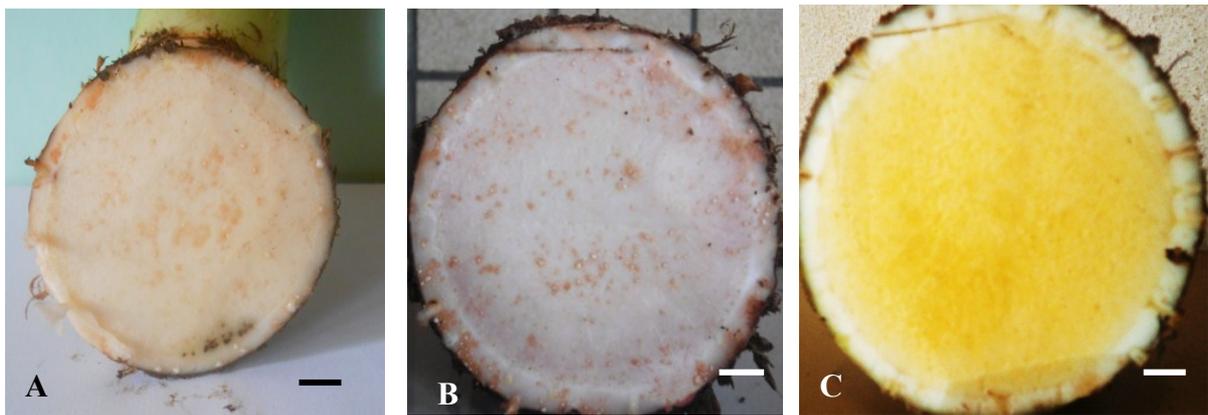


Figure 1. Coupe transversale du rhizome des cultivars du macabo au Cameroun. cultivar blanc (A), cultivar rouge (B) et cultivar jaune (C) (photo Nkouna 2016) (trait = 0,5 cm).

I.1.3. Biologie de *Xanthosoma sagittifolium*.

Le macabo est une herbacée, monocotylédone, pérenne, superovariée, pouvant atteindre 2m de haut. Il est formé d'une partie aérienne qui meurt au bout d'un an, et d'une partie souterraine qui assure le caractère pérenne de la plante.

La Partie aérienne est constituée d'un système foliaire dont les feuilles sub-cordiformes comportent trois parties principales: le pétiole, la nervure principale et le limbe. Le pétiole se prolonge à partir de la base de la feuille pour en constituer la nervure médiane. Il est long, rigide, épais, aplati dans la partie supérieure, avec une gaine développée vers la base. Le limbe se développe de part et d'autre de la nervure principale en deux parties sensiblement égales. La

floraison est rare dans les conditions naturelles, mais lorsqu'elle se produit, l'inflorescence est un épi de fleurs, en spadice entouré d'une spathe soudée. Les fleurs femelles sont basales et constituées par un ovaire et une loge. Les fleurs mâles se trouvent à l'extrémité du spadice, mais séparées des fleurs femelles fertiles par quelques rangées de fleurs stériles. Toutefois la floraison du macabo peut être induite par l'application des gibbérellines (GA₃) au stade de développement de cinq à six feuilles (Ngouo 1988).

Quant à la partie souterraine, elle est composée d'un tubercule centrale de grande taille, appelé tubercule mère ou corme d'où partent plusieurs tubercules latéraux ou tubercules fils ou encore cormels. Le tubercule a une longueur d'environ 15 à 25 cm et plus large vers l'apex. Purseglove (1985) rapporte que les tubercules latéraux sont produits par quantités de 10 ou plus dans certaines conditions de croissance et de développement. Ces derniers sont générés à partir des zones méristématiques retrouvées sur le rhizome et les racines dont le diamètre varie de 3 à 5 mm au niveau du point d'attache sur le rhizome, avec une longueur pouvant dépassée 1 m. Ce tubercule-mère est une tige avec des rameaux. Du fait d'une extrême contraction des entre-nœuds, cette tige est réduite en hauteur (Nzietchueng 1985).

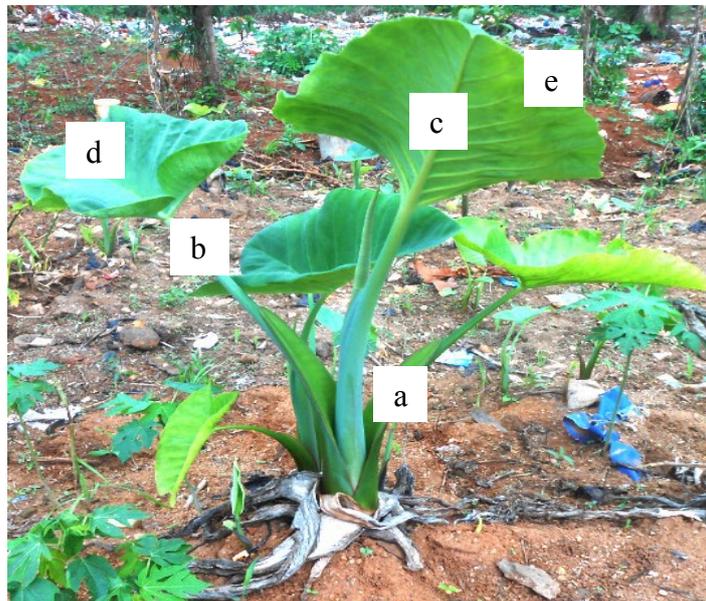


Figure 2. Appareil aérien du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*), cv blanc en champ. Gaine (a), pétiole (b), nervure principale (c), limbe (d), bordure foliaire (e) (photo Nkouna 2016).

I.1.4. Exigences écologiques

Le macabo exige un climat chaud, relativement humide et des températures annuelles comprises entre 20 et 35°C. Les températures inférieure à 18 °C ralentissent la croissance des

feuilles tandis que celles supérieures à 35°C limitent la formation des cormes et des cormels). Le développement du macabo est favorable avec une pluviométrie annuelle de 1400 à 2000 mm (Onwueme 1978). Il supporte davantage l'ombrage mais ne supporte pas les sols hydromorphes. Un sol Legé, bien drainé, sablo-argileux, fertile, profond, bien ameubli, avec une nappe phréatique peu profonde et un pH compris entre 5,5 et 6,5 est favorable à la culture du macabo (Agueguia *et al.* 2000).

I.1.5. Mode de reproduction

Le macabo, une plante pérenne se propage de manière végétative à partir des bourgeons latéraux formés au bas de la tige plus ou moins développée en plantules ou par des bourgeons terminaux de la partie supérieure du tubercule. Les fragments des rhizomes et des tubercules entiers sont aussi utilisés. Cependant son cycle végétatif peut être complété par la reproduction sexuée. Ivancic et Lebot (1999) révèlent que cette reproduction sexuée est rare dans la nature pour diverses raisons dont la principale serait l'auto-incompatibilité chez la plante. Le cycle de développement du macabo est similaire à celui de toutes les autres Araceae (Ivancic et Lebot 2000). Il est généralement de 5 à 12 mois pour le macabo et peut être groupé en trois phases :

- **La phase d'installation**

La phase d'installation est encore appelée la période zéro du cycle. Elle correspond à la période allant de l'ensemencement à l'apparition des premières feuilles sur la partie aérienne et des bulbes sur la partie souterraine.

- **Phase de développement végétatif**

La phase de développement végétatif est caractérisée non seulement par la formation et le développement des racines et cormes, mais aussi par un renouvellement des feuilles et donc une possible floraison, suivie d'un développement rapide des jeunes pousses. Le rythme de renouvellement des feuilles dépend des facteurs climatiques et du stade de développement de la plante. Il est très ralenti à l'approche de la maturité. Onwueme (1978) rapporte que La formation de la corne principale commence environ trois mois après l'installation.

Les différents cultivars du macabo fleurissent rarement (Caburet *et al.* 2007). Mais quand la floraison a lieu, elle intervient au moment de la croissance maximale de la plante, soit trois à quatre mois après l'installation, donc au moment de la mise en place de la corne principale (Ivancic et Lebot 2000). La première indication de l'apparition de l'inflorescence est la formation d'une feuille drapeau (Ivancic et Lebot 2000). Une fois le drapeau apparu, la première inflorescence apparaît le plus souvent une à trois semaines après. La floraison est

fortement influencée par les facteurs climatiques et les stress environnementaux peuvent arrêter l'initiation florale. Dans ce cas, seule la feuille drapeau indique l'aptitude à la floraison. Elle est aussi associée à la production de substances dont l'odeur attire les insectes pollinisateurs. L'odeur est intensive dans la matinée, un jour avant l'ouverture de l'inflorescence (de la spathe) (Ivancic et Lebot 2000). Les insectes sont les principaux agents de la pollinisation croisée et l'eau de pluie est responsable de l'autogamie. Quand les plantes sont issues de graines, la floraison apparaît cinq (05) à neuf (09) mois après la germination (Ivancic et Lebot 2000).

▪ Phase de maturation

La phase de maturation est caractérisée par la réduction du nombre total de feuilles par plante, la diminution de la longueur des pétioles, ralentissement du développement des jeunes pousses et le grossissement des cornes. En effet le développement de l'appareil aérien ralentit au profit de celui des cornes. Lorsque les conditions du milieu deviennent difficiles, le développement des jeunes pousses diminue et les cornes permettent à la plante de résister. La récolte a lieu au moment où toutes les feuilles ont séché (Caburet et al. 2007).

I.1.6. Importances de *Xanthosoma sagittifolium*.

Le macabo est l'espèce du genre *xanthosoma* la plus cultivée. Cette préférence peut s'expliquer par son importance tant sur le plan nutritionnel, économique que médicale.

I.1.6.1. Importances nutritionnelles

Le macabo est un aliment de base dans les régions tropicales et subtropicales. Il est cultivé pour ses tubercules et ses feuilles qui constituent une importante source d'amidon, de protéines, de vitamine, et de sels minéraux (Sefa-Dedeh et Agyr-Sachey 2004). Plus en détail, ses tubercules contiennent 15 à 39 % de glucide, 2 à 3 % de protéines, 77 % d'eau et ses jeunes feuilles contiennent en moyenne 20 % de protéines et constituent une excellente source de thiamine, d'acide folique, de riboflavine et de vitamine A (Agueguia et al. 2000). Ainsi, Il constitue un aliment de base pour les populations du fait de sa rusticité, de sa richesse en éléments nutritifs permettant de couvrir la quasi-totalité des besoins énergétiques et jusqu'à 60 % des besoins protéiques d'un adulte (Boudjeko 2003).

Les tubercules sont consommés à l'état frais, bouilli ou frit. En Afrique de l'Ouest, on prépare un aliment de type « fufu » à base des tubercules du macabo pilés. Les consommateurs ont une préférence pour le macabo du fait que le fufu obtenu à base du macabo rappelle l'igname pilée (Bell et al. 2000). Le macabo pilé aux haricots et à l'huile de palme est une recette

rencontrée au Cameroun. En Asie, les galettes du macabo au thon constituent une nourriture très appréciée surtout des populations insulaires. Les jeunes feuilles du macabo, riche en protéines jouent un rôle alimentaire chez les populations du Sud-Est du Cameroun (Bell *et al.* 2000).

I.1.6.2. Importances économiques

Le macabo (*Xanthosoma sagittifolium*. L. Schott) est cultivé en Afrique, en Asie et en Amérique du Sud pour ses tubercules et ses jeunes feuilles. Ces derniers génèrent des valeurs économiques remarquables. Ainsi s'il occupe la sixième place mondiale parmi les plantes à tubercule et à racines amyloacées les plus cultivées (Bown 2000), cela est en partie due à cette valeur économique. Avec une production mondiale estimée à 0,45 million de tonnes, l'Afrique produit 75%. Au Cameroun il a une valeur agronomique et économique indéniable puisqu'il occupe la deuxième place parmi les plantes à tubercules après le manioc. La vente des tubercules crus ou préparés juste après la récolte génère des revenus pour les femmes dans les zones tropicales (Onwueme 1978). L'ouverture de nouveaux marchés en Amérique du nord constitue des débouchés pour l'exportation de cette denrée alimentaire (Onyenweaku et Okoye 2007).

I.1.6.3. Importances médicales

Comme toutes les plantes, le macabo n'est pas en manque dans la phytothérapie. Chez les patients diabétiques il constitue un aliment fortement recommandé (Anyiro *et al.* 2013). Les extraits de ses feuilles interviennent dans la lutte contre les maladies gastro-intestinales et certaines allergies (Agueguia *et al.* 2000). En outre les feuilles sont utilisées pour stimuler la lactation chez les mamans et pour la lutte contre les morsures de serpent. Le mélange farine des tubercules de certains cultivars du macabo, additionné à alcool et au menthol est très efficace pour le traitement des oreillons. Par ailleurs, les habitants des Caraïbes additionnent des extraits de *Xanthosoma* à la tisane pour lutter contre la diarrhée et les coups de froid (Plowman 1969).

I.1.7. Contraintes de production

Hors mis les pratiques culturelles souvent défavorables, Le bon déroulement du biocycle du macabo se heurte le plus souvent à de nombreuses contraintes qui limitent sa productivité notamment les ravageurs, les champignons, les bactéries et les virus.

I.1.7.1. Les ravageurs

Le macabo est souvent sujet à l'attaque des ravageurs qui peuvent causer des dégâts importants. Il s'agit principalement des Pucerons (*Aphis gossypii*), Chenilles (*Spodoptera littoralis*) et des Cochenilles (*Planococcus citri*).

I.1.7.2. les maladies

La multiplication végétative du macabo est un facteur favorable à la propagation des agents pathogènes qui causent de nombreuses maladies chez cette plante (Omokolo et al. 2003). Il s'agit principalement des virus et des fongiques.

La pourriture racinaire est actuellement la maladie la plus dévastatrice du macabo (Tambong et al. 1998) et est devenue le problème majeur pour sa culture et peut entraîner la perte totale de production (Perneel et al. 2006). Plusieurs pathogènes sont associés à cette maladie notamment *Sclerotium rofsii*, les espèces du genre *Rhizoctonia* et *Fusarium*. Mais l'agent principal semble être *Pythium myriotylum* (Tambong et al. 1999). C'est un Oomycète endémique des zones de cultures de cette plante. Au Cameroun, il est responsable des pertes de 90% des récoltes dans certaines plantations (Nzietchueng 1985).

Le Dasheen Mosaic Virus (DMV) est le phytovirus qui menace le plus la culture des Araceae dans le monde (Chen et al. 2001). Il est transmis exclusivement par les pucerons (Brunt et al. 1996). Il retarde la croissance et réduit le rendement du macabo par la déformation des feuilles et la chlorose. Ce virus a été responsable de 50% de réduction du rendement en Costa Rica.

I.1.8. Stratégies d'amélioration

Face aux ravageurs, des mesures palliatives sont prises telles que le recours à des pulvérisations d'insecticides tels que Decis 2.5 EC à une dose de 0.5 mL/L d'eau. Délai d'emploi: 3 jours.

Contre la pourriture racinaire, L'emploi de fongicides systémiques comme le metaxyl permet de contrôler la pourriture racinaire causée par *Pythium myriotylum*. Pour réduire leur gravité, il est conseillé d'effectuer des plantations sur billons et d'appliquer des quantités importantes de matières organiques. En outre, d'après En conclusion on peut dire que le BTH et le chitosane stimulent les mécanismes de défenses du macabo à des faibles concentrations. Cette stimulation se caractérise par : l'utilisation de certains produits biologiques (chitosane) ainsi que certains produits de synthèse tel que le Benzo (1, 2,3, thiadiazole-7-carbothionic acid-

s-méthyl ester (BTH)) à faible concentration ont permis de stimuler les mécanismes de défenses du macab (Mbouobda et al. 2010).

Les biotechnologies ont fait leur entrée dans le domaine notamment avec les techniques de culture de tissu qui ouvrent beaucoup de possibilités pour l'amélioration des cultures. La culture de méristème du macabo ont permis d'obtenir des plants sains (Reyes et al. 2005). D'après Zok, et al. (1998), les plants de macabo issus des cultures méristématiques se développent plus rapidement et les débuts de tubérisation apparaissent plus tôt par rapport aux cultures réalisées dans les conditions naturelles. La culture de tissu donne également la possibilité pour produire de nouveaux génotypes à travers des variations dites somaclonales, et une variété de changements morphologiques dérivée de call Elles sont obtenues par irradiation de l'apex développé avec les rayons gamma.

Par ailleurs les microorganismes antagonistes à *Pythium myriotylum* tels que *Trichoderma haziarnum* et *Pseudomonas fluorescens* sont cultivés afin d'améliorer la productivité du macabo (Xu et al. 1995).

I.2. Généralités sur les mycorhizes

I.2.1. Définition et caractéristiques

Le terme mycorhize (du grec mykes = champignon et rhiza = racine) désigne une coopération entre un champignon et une fines racine d'une plante (Smith et Read 1997). Littéralement, il veut dire "champignon/racine". Il s'agit d'une association symbiotique dans laquelle les partenaires coexistent activement d'un point de vue physiologique, écologique et reproductif. Les champignons se développent aussi bien à l'intérieur des racines qu'autour d'elles en formant un réseau de filaments qui amplifie considérablement la surface du contact entre les racines et le sol.

Les mycorhizes constituent des composantes essentielles dans la relation sol-plantes-microorganismes Il est actuellement admis que cette symbiose est une association obligatoire et à bénéfice réciproque entre les deux symbiotes .La présence de mycorhizes est donc un phénomène général chez les plantes à l'exception de quelques familles comme les *Brassicaceae*, les *Caryophyllaceae*, les *Cyperaceae*, les *Juncaceae*, les *Chenopodiaceae* et les *Amaranthaceae* qui présentent très peu d'associations mycorhiziennes (Strullu 1991). Parmi les symbioses végétales, les mycorhizes à arbuscules sont de loin les plus abondantes et les plus importantes sur les plans écologique et économique (Schüßler et al. 2001). Ces derniers

coexistent avec près de 80 à 90 % des plantes à racines (ptéridophytes, gymnospermes et angiospermes) dans les écosystèmes naturels et les agrosystèmes. Les mycorhizes à arbuscules sont les plus primitives et les plus répandues dans les écosystèmes naturels et cultivés (Tedersoo *et al.* 2010) et seraient à l'origine des autres types de symbiose mycorhizienne (Wang et Qiu 2006).

Les champignons mycorhiziens sont apparues sur terre il y a environ 400 millions d'années et sont considérées comme étant à l'origine de la flore terrestre il y a 450 millions d'années (Wang et Qiu 2006). Ces relations symbiotiques sont caractérisées par un état d'équilibre physiologique permettant aux symbiotes impliqués, d'en retirer des bénéfices mutuels.

I.2.2. Types de mycorhizes

Selon un certain nombre de critères écologiques, morphologiques, physiologiques et même anatomiques On distingue différents types de mycorhizes : les ectomycorhizes, ectendomycorhizes et les endomycorhizes.

I.2.2.1. Les ectomycorhizes

Les ectomycorhizes constituent le deuxième groupe de mycorhizes les plus rencontrées. Les champignons impliqués se retrouvent dans le sous-bois parce que, sauf exception, ils ne forment des mycorhizes qu'avec les plantes ligneuses, arbres ou arbustes. Beaucoup de ces champignons produisent des carpophores sur le tapis forestier. Il s'agit spécifiquement des Basidiomycètes ou les Ascomycètes, qui peuvent être cultivés en absence d'hôte. Mousain (1991) révèle que la symbiose ectomycorhizienne ne concerne que 3 % des espèces végétales. Cette symbiose est réalisée avec des champignons appartenant aux Ascomycètes et Basidiomycètes, avec pour caractéristique principale, la présence de deux structures spécifiques : le manteau fongique et le réseau de Hartig. Le premier est constitué d'hyphes assemblés enveloppant la racine, et le deuxième est constitué d'hyphes qui ont pénétré entre les cellules de l'épiderme et du cortex racinaire sans traverser la paroi.

I.2.2.2. Les ectendomycorhizes

Les ectendomycorhizes sont appelées ainsi par ce qu'elles possèdent à la fois des caractères d'ectomycorhizes (la présence du manteau et du réseau intercellulaire (réseau de Hartig)), et des caractères d'endomycorhizes (la colonisation des cellules racinaires par les hyphes mycéliennes). Ce type d'association symbiotique est formé par les Basidiomycètes mais aussi des Ascomycètes sont souvent impliqués (Mousain *et al.* 1996).

I.2.2.3. Les endomycorhizes

Les champignons endomycorhiziens ne sont pas spécifiques et sont normalement associés aux plantes comme les plantes forestières agricoles et horticoles. Les structures mises en place par les champignons concernés ne sont pas distinguables à l'œil nu. Le mycélium pénètre dans les racines en franchissant les parois mais pas le plasmalemme des cellules-hôtes du cortex, ou en colonisant les méats intra racinaires. Le mycélium forme des suçoirs (arbuscules) et des organes de réserve (vésicules) à l'intérieur des racines (Mousain 1991). Les champignons à l'origine de ce type de mycorhize ne sont pas cultivables en l'absence de l'hôte et ne sont pas visibles qu'après coloration. On y trouve :

- ❖ les endomycorhizes des orchidées formées par des Basidiomycètes et les endomycorhizes des Ericacées associées aux Ascomycètes (les *Pezizaceae*). Dans ces deux cas, le mycélium forme des pelotons à l'intérieur des cellules du parenchyme cortical.

- ❖ les endomycorhizes des Cistacées où les pénétrations endocellulaires ont une forme coralloïde. Les champignons symbiotiques impliqués appartiennent aux Ascomycètes hypogés (les *Terfeziaceae*).

- ❖ les mycorhizes à vésicules et arbuscules formées par des champignons inférieurs et qui sont en interaction avec plus de 90 % des plantes terrestres. Elles font intervenir un groupe de champignons de la classe des Glomeromycètes. Ce sont les Champignons Mycorhiziens à Arbuscules, connus depuis la fin du dix-huitième siècle (Strullu 1990). Ces associations doivent leur nom aux structures fongiques résultant des hyphes intracellulaires qui se ramifient intensément à l'intérieur des cellules du cortex racinaire pour former des structures caractéristiques des endomycorhizes telles que les arbuscules et les vésicules.

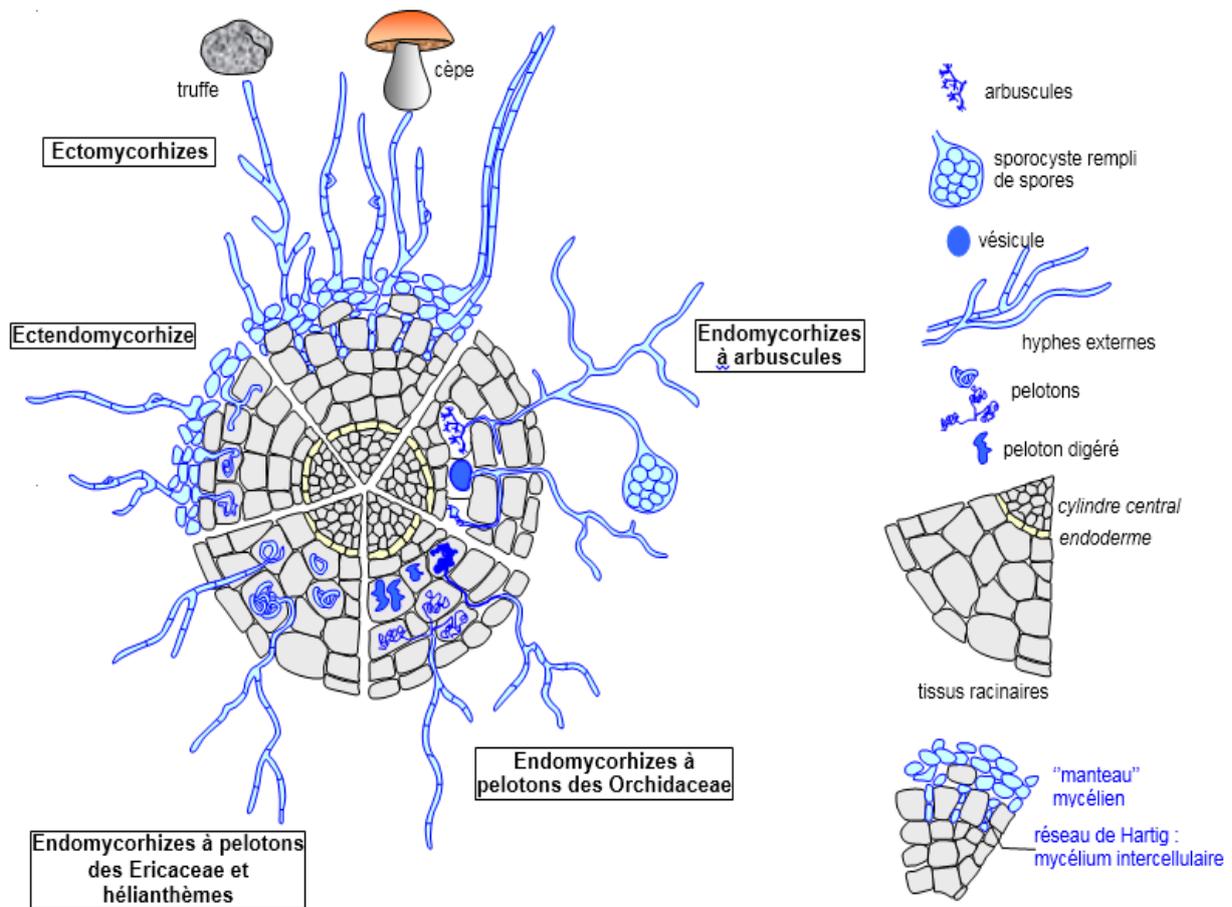


Figure 3. Les types mycorhiziens sur une coupe transversale de racine (Le Tacon 1985).

I.2.3. Classification des champignons mycorhiziens à arbuscules

Grâce à l'avancée scientifique notamment avec l'avènement de la biologie moléculaire, toute la classification des CMA a été revue et passée de la classification basée uniquement sur les caractères morphologique à celle incluant aussi les études moléculaires. Ainsi, les CMA sont actuellement classés dans le phylum des Glomeromycota. Ainsi sont distingués quatre ordres, dix familles et approximativement 200 espèces décrites (Schüssler *et al.* 2001). (Figure 4).

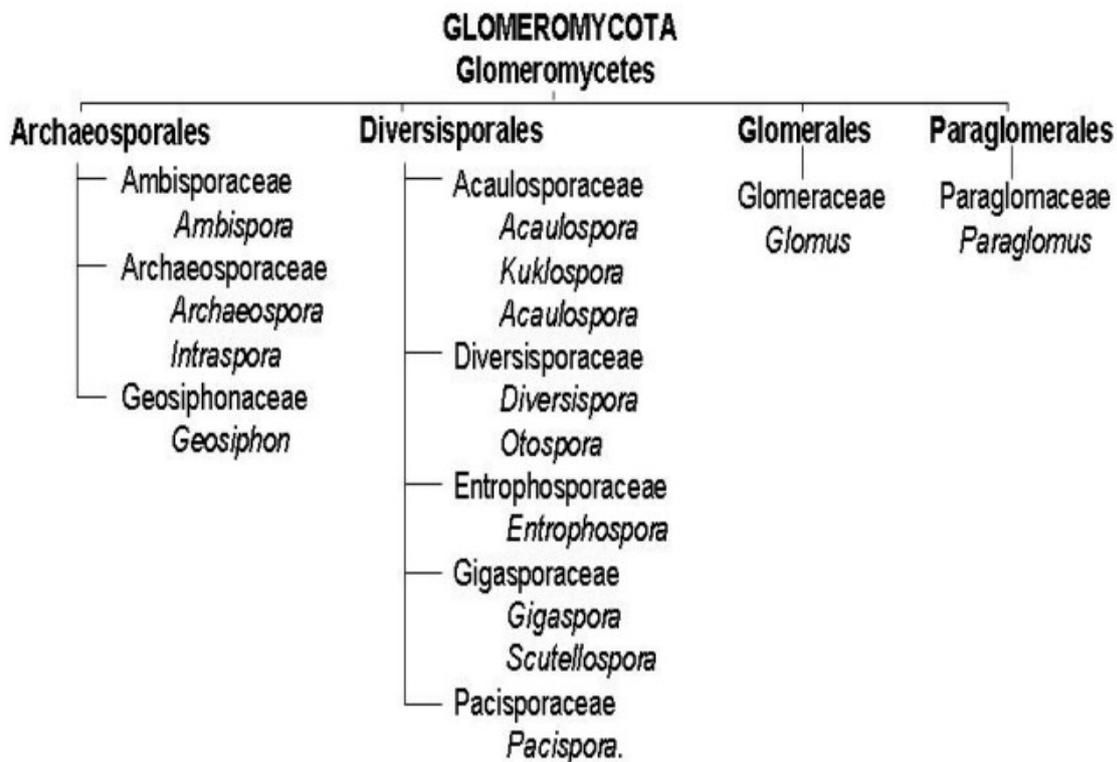


Figure 4. Classification des champignons mycorhiziens à arbuscules (Palenzuela et al. 2008).

I.2.4. Cycle de vie des champignons mycorhiziens à arbuscules

Les CMA sont des symbiotes obligatoires et donc ne peuvent se développer qu'en présence d'une plante hôte. Cependant certains CMA peuvent se développer en absence de plante hôte, mais avec un développement limité de leurs hyphes (Diop et al. 1994). Le cycle de développement des CMA passe par cinq (05) stades au cours desquels sont enregistrés des modifications anatomiques et physiologiques importantes chez les symbiotes. L'infection de la plante hôte peut être initiée à partir de plusieurs propagules : spores, fragments racinaires mycorhizés, hyphes présents dans le sol ou même des vésicules isolées. En effet, Les chlamydospores germent en donnant un promycélium (Stade 1), qui développe un appressorium lorsqu'il rencontre une racine (Stade 2). Ensuite, le champignon pénètre dans la racine en formant un mycélium secondaire et des arbuscules (Stade 3). Le mycélium progresse entre les cellules racinaires, se renfle en vésicules (stade 4). Le mycorhize ainsi formée produit un réseau extra-matriciel qui est à l'origine des chlamydospores lesquelles seront libérées dans le sol après maturation (Stade 5) (Figure 5). Pendant la sénescence de la racine ou des tissus corticaux, les vésicules sont libérées dans le sol et deviennent saprophytes.

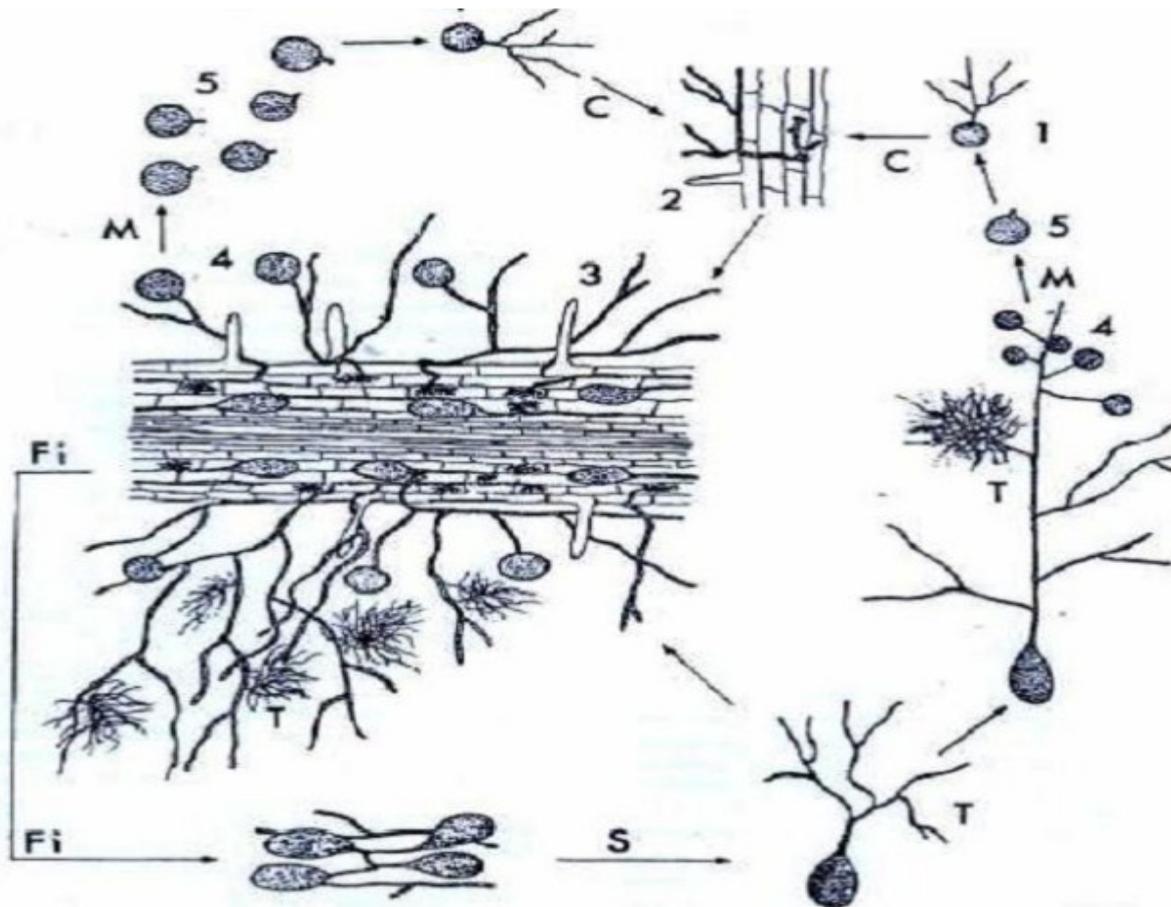


Figure 5. Cycle de développement des CMA (Strullu et al. 1997). C=contact racinaire ; Fi=forme intra-racinaire ; M=maturation sporale ; S=phase saprophytique et T= thalle.

I.2.5. Facteurs limitant le développement des CMA et la mycorhization

D'après Klironomos *et al.* (1993), la germination des spores, la formation et le développement des mycorhizes sont influencées par un ensemble de facteurs notamment le pH, l'aération, l'humidité, la température, la lumière, la texture du sol, les éléments minéraux et la matière organique. Il a été remarqué par exemple, que les spores du genre *Acaulospora* et *Gigaspora* germaient mieux à pH acide, alors que celles du genre *Glomus* préféraient des pH autour de la neutralité. L'application d'engrais ou de pesticides peut avoir aussi des effets néfastes sur les populations de CMA. Cette action est fonction de la substance active, du mode d'action, de la dose utilisée et de la date d'application. Morandi (1989) a révélé que les métaux lourds peuvent réduire et éliminer, dans certains cas, la colonisation par les CMA et la germination des spores de ces champignons au champ. Les travaux de Boyle et Paul (1988) montrent qu'il existe une corrélation négative entre la concentration du Zinc et la colonisation des racines par les champignons à arbuscules dans des sols traités par des boues industrielles.

La salinité du sol peut avoir également une influence sur le développement et l'activité de la microflore endomycorhizienne par des mécanismes directs ou indirects. En effet, le sel retarde la germination des spores de CMA et réduit le taux d'élongation du mycélium (Millen *et al.* 1998). Par ailleurs, les travaux de Buwalda *et al.* (1983) révèlent que les effets des CMA en condition de stress salin deviennent divers et les résultats observés dépendent de l'isolat fongique et de la plante-hôte utilisée.

Le développement d'un CMA peut être favorable à haute température et rester moins favorable sous basse température. Sieverding (1988) a montré que peu d'isolats de CMA (*Acaulospora* et *Scutellospora*) sont efficaces à faible température (20°C). La symbiose mycorhizienne a plus d'affinité avec les pH compris entre 5 et 8,5.

I.2.6. Importances des champignons mycorhiziens à arbuscule (CMA)

I.2.6.1. Nutrition hydrique

L'amélioration de la nutrition hydrique des plantes grâce à la symbiose mycorhizienne est due à une meilleure utilisation de l'eau par la plante en raison d'une exploitation au-delà de la rhizosphère entreprise par les hyphes mycéliens (Auge 2001). Par ailleurs, la présence d'un réseau d'hyphes des CMA permet à la plante de puiser l'eau dans de petits interstices qui ne sont habituellement pas accessibles aux racines des plantes. Cela se traduit par cette tendance qu'ont les plantes mycorhizées à moins souffrir du stress hydrique (Bárzana *et al.* 2014 ; Augé *et al.* 2015)

I.2.6.2. Nutrition minérale

L'effet bénéfique des CMA apporté dans la nutrition minérale des plantes est qu'ils permettent l'absorption des éléments peu mobiles dans le sol tels que le phosphore (P), zinc (Zn) et cuivre (Cu) et les restituent à la plante (Tinker 1984). La nutrition azotée n'est pas en reste.

Il est estimé que chez les endomycorhizes la longueur d'hyphes se développant dans le sol autour de chaque centimètre de racine peut atteindre 1,34 m. Le réseau d'hyphes s'étend ainsi donc au-delà de la zone d'appauvrissement de phosphore bio disponible qui se trouve autour des racines. Ceci permet à la plante d'accéder à un plus grand réservoir de phosphore (Smith and Smith 2012). Par ailleurs, le faible diamètre des hyphes permet à la plante d'accéder à des microsites inaccessibles par les racines trop grossières des plantes (Figure 6).

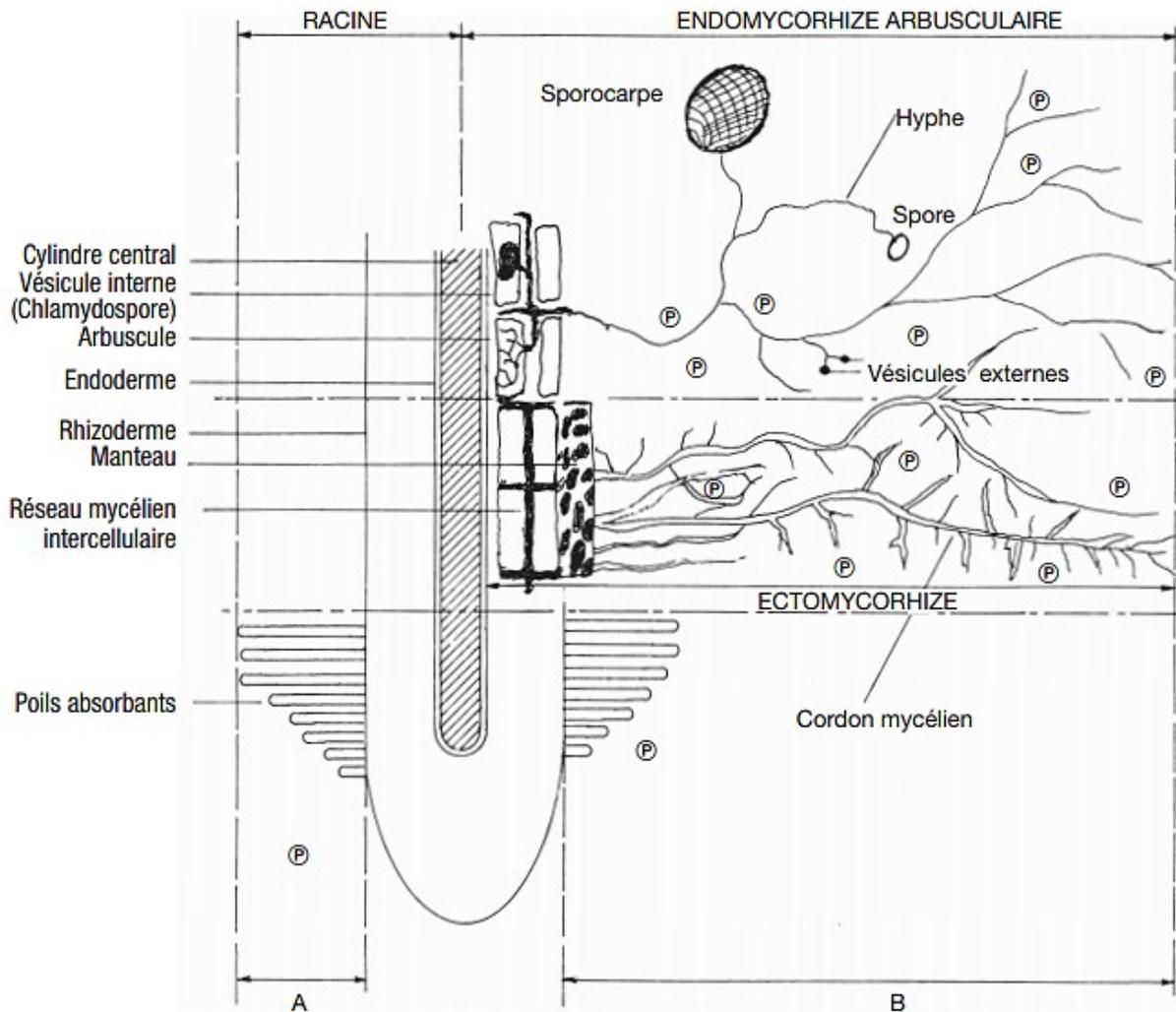


Figure 6. Extension de la zone d'épuisement du phosphore autour des mycorhizes (Plenchette et al. 2005). A= Zone d'épuisement du phosphore de la racine (1 mm). B= Zone d'exploration de la mycorhize (jusqu'à plusieurs dizaines de cm), p = phosphore.

Les oligo-éléments tels que le cuivre, le zinc, le manganèse et le fer sont aussi peu mobiles dans le sol. On estime que leur mécanisme d'absorption est le même que chez le phosphore, c'est-à-dire que l'augmentation de leur prélèvement est essentiellement due à une meilleure exploration du sol par les hyphes extra-racinaires. Vinayak et Bagyaraj (1990) ont effectivement observé une mobilisation plus importante de phosphore, zinc et le cuivre chez des plantes mycorhizées de citrange "troyer" (porte-greffe d'agrumes), par rapport aux mêmes plantes non mycorhizées.

Les CMA peuvent aussi améliorer la nutrition azotée des plantes. En effet, Les CMA sont des décomposeurs et minéralisateurs de la matière organique azotée (Hodge et *al.* 2001). Par ailleurs ils possèdent les équipements enzymatiques nécessaires à l'utilisation de l'ammonium et des nitrates (Strullu 1991). En effet, L'azote inorganique (NO₃⁻ et NH₄⁺) est converti en arginine par le mycélium extraracinaire puis dégradé dans le mycélium intraracinaire avant d'être transféré à la plante sous forme de NH₄⁺ (Govindarajulu et *al.* 2005). Mais ceci n'est pas général, car dans certains cas, l'analyse minérale des plantes mycorhizées ne montrent pas une amélioration significative. Ces résultats pourraient être liés au type de champignon utilisé ou être attribués à un phénomène de dilution du à la croissance plus rapide de la plante mycorhizée et surtout à une meilleure production de matière sèche aérienne.

I.2.6.3. Agrégation des sols

Les CMA améliorent la structure et la stabilité des sols par divers mécanismes. Les réseaux mycéliens contribuent physiquement à l'assemblage et au maintien des agrégats du sol par l'intermédiaire des hyphes qui croissent et se renouvellent constamment (Hamel et Planchette, 2007).

Les agents responsables de cette stabilité des agrégats du sol sont généralement organiques et sont d'origine biologique. De même, ils sont toujours développés dans la rhizosphère. Selon Wright et Andersen (2000), les CMA produisent de la glomaline, une glycoprotéine qui agit par ses propriétés hydrophobes pour stabiliser les agrégats. Le mécanisme impliqué dans la stabilisation des agrégats est basé sur la fixation des particules du sol par les hyphes et les racines et sur l'exsudation des polysaccharides. Par ailleurs, la formation d'agrégats stables dans le sol peut être aussi attribuée au mycélium extra-racinaire des champignons produit par les racines mycorhizées et qui constitue un réseau tridimensionnel qui relie la plante au sol environnant (Bearden et Petersen 2000).

I.2.6.4. Résistance aux stress biotiques et abiotiques

En dehors des effets nutritionnels, les CMA confèrent aux plantes endomycorhizées une résistance accrue aux attaques de certains pathogènes telluriques parmi lesquels *Fusarium*, *Phytophthora* et *Thielaviopsis*. Il en est de même aux attaques des nématodes (Morandi 1987). En effet, les CMA n'interviennent pas directement sur le pathogène, mais plutôt en causant des changements dans les tissus de l'hôte notamment en développant la lignification des cellules, créant ainsi une barrière contre la pénétration des pathogènes (Schenck et Kellan 1978). Une autre explication se trouverait au niveau de la compétitivité pour les sites d'infection :

l'occupation en premier par les CMA des cellules hôtes empêcherait la pénétration du pathogène (Gianinazzi-Pearson et Diem 1982). Par ailleurs, la mycorhization conduit la plante dans un état actif d'immunisation qui lui permet d'être efficace dans ses réponses aux attaques des pathogènes (Jung et al. 2012). Les travaux d'Ismail et al. (2013) montrent que certains CMA comme *Glomus irregulare* peuvent réduire la production des mycotoxines de certains champignons. En outre, l'accumulation de certains composés du métabolisme secondaire, en particulier l'augmentation des teneurs en composés phénoliques et la production de phytoalexines (Morandi 1989), observée chez les plantes endomycorhizées pourraient en être également responsables de l'inhibition des agents pathogènes.

L'endomycorhization joue aussi un rôle important dans l'augmentation de la résistance aux stress abiotiques (Pozo et al. 2015). Elle permet de simplifier l'effet de ces stress. Elle confère par exemple à la plante une tolérance à l'acidité des sols et au stress hydrique et salin. La symbiose mycorhizienne confère également à la plante une tolérance aux métaux lourds et aux polluants organiques (Joner and Leyval 2003).

I.3. Statut mycorhizien

I.3.1. Statut mycorhizien de quelques plantes

De manière générale, statut mycorhizien des végétaux varie en fonction des plantes, des variétés, des conditions de culture (fertilisation, fongicides, travail du sol) (Viaux et al. 2002) et de la richesse en mycorhizes du sol. Smith and Read (1997) révèlent que 80 % des espèces de plantes terrestres, 90 % des espèces de plantes vasculaires et plus de 95 % de l'ensemble des familles de plantes sont mycorhizées. Cependant dans les conditions normales, les types de mycorhizes et les degrés de mycorhization varient selon le type de plante, d'espèces. La présence et le degré de mycorhizes peuvent dépendre de l'âge de la plante hôte. Par exemple, aucune structure fongique n'a été décelée sur les 250 racines récoltées du scirpe maritime (*Schoenoplectus maritimus*) (Gouraud et al. 2008).

Par ailleurs, Onguene et al. (2002) ont montré des résultats différents de ces derniers en ce sens que toutes les racines de L'okoumé (*Aucoumea klaineana* Pierre) observées, ont montré une fréquence de mycorhization de 100%. Les racines d'okoumé montrent une gamme variée d'espèces de la plupart des champignons mycorhiziens à arbuscules: des vésicules de formes variées (ovales, oblongues, rectangulaires), des hyphes intracellulaires fines et parallèles et d'autres à paroi plus épaisse et tortueuses, deux types de corps auxiliaires. Chez cette espèce,

Les arbuscules sont surtout observés chez les jeunes arbres en régénération naturelle (Onguene et al. 2002).

Chez thuya (*Tetraclinis articulata*), Les examens microscopiques des racines ont révélé la présence d'un seul type de CM quel que soit le site : les endomycorhizes avec un taux de colonisation de 80 %. Les spores isolées sont dominées par le genre *Glomus* avec au moins sept phylotypes distincts appartenant au genre *Glomus*, *Scutellospora* et *Gigaspora* (Abbas 2014).

I.3.2. Statut mycorhizien de quelques plantes à tubercules

Les plantes à tubercule sont quasiment des plantes vasculaires et par conséquent présentent plus d'affinité avec les champignons mycorhizien du type endomycorhizes. Ainsi tout comme les autres groupes de végétaux, les plantes à tubercules présentent une variabilité remarquable quant à leur statut mycorhizien. Par ailleurs, les conditions climatiques et édaphiques du milieu ont une forte influence quant au type de population de champignon mycorhizien. En effet les travaux de (Shukla et al. 2009). Ont révélés que la répartition, l'abondance et la viabilité des espèces de CMA endogènes résultent d'un ensemble de processus écologiques contemporains qui peuvent être le type d'espèce végétale ou de variété, le système cultural et les propriétés physiques et chimiques du sol.

Les travaux de Senés-Guerrero et Schüßler (2015) ont révélé que la rhizosphère des pommes de terre dans les Andes est constituée de 41 espèces de champignons mycorhiziens parmi lesquels plus de 25 espèces colonisent les racines de cette plante. En outre, les espèces à fort pouvoir de colonisation enregistrées sont entre autre *Acaulospora* avec *Cetraspora nodosa* ainsi que certaines espèces de *Claroideoglomus* et *Rhizophagus* (Senés-Guerrero et Schüßler 2015).

Dans le but de mettre en évidence l'écologie, la diversité et la structuration des communautés de CMA endogènes associés à la culture du manioc dans les sols de la zone agroécologique d'Azaguié les travaux de (BI Voko et al. 2013) ont révélé que cette les mycorhizosphère du manioc dans cette zone regorge 13 genres de CMA repartis en 44 espèces avec une dominance des genres *Glomus* (55,17 %) et *Acaulospora* (30,14 %) et une densité des spores inférieure à 14,68 spores/g de sol ces valeurs enregistrées sont fortement liées aux caractéristiques du dit sol notamment un pH inférieur à 5,17, une pauvreté en bases échangeables (CEC inférieures à 17,1 cmol/kg), en phosphore assimilable (P. assimilable inférieur à 30,71 ppm) et en matière organique .

Le potentiel infectieux mycorrhizogène (PIM) d'un sol représente non seulement la population de champignons mycorhiziens présents dans le sol sous forme de spores, de mycélium et de morceau de mycorhizes, mais surtout la capacité de ces derniers à former des mycorhizes dans les conditions données. Les travaux de (Rasoamampionona *et al.* 2005) sur l'étude du PIM du sol d'andramanelatra, une localité de Madagascar, ont révélé 0% de mycorhization des plantes de patate douce (*Ipomoea batatas*).

I.4. Généralités sur les phénols, acides aminés

I.4.1 les phénols

Les composés phénoliques constituent un des trois grands groupes de métabolite secondaire largement distribué dans le règne végétal (Beta *et al.* 2005). D'après leur structure chimique, Krief (2003) distingue six groupes à savoir les acides phénoliques, les flavonoïdes, les lignanes, les stilbènes, les coumarines et les tannins. Ce sont des composés aromatiques pour la majorité, qui contiennent un groupement hydroxyles directement fixé sur le noyau benzénique. La biosynthèse des composés phénoliques se fait soit par la voie de l'acide shikimique, soit par la voie de l'acétate soit même les deux à la fois, contribuant ainsi à la diversité structurale des composés phénoliques (9000 structures) (Bruneton 1993).

Les phénols sont directement impliqués dans les mécanismes de défense des plantes. Substances antimicrobienne, ils s'accumulent dans la plante lorsque celle-ci est infectée et fonctionnent comme des facteurs de résistance contre les pathogènes. Les phénols interviennent également dans la plupart des phénomènes de croissance et de morphogénèse végétale (Bon *et al.* 1988). Ce sont de bons marqueurs de différenciation car métabolisés par des enzymes spécifiques. Cette biosynthèse peut être influencée par des CMA (Benjelloun *et al.* 2014).

I.4.2. les acides aminés

Les acides aminés sont des molécules organiques, cristallisables, en majeure partie solubles dans l'eau. Ils portent sur leur carbone α des fonctions amines ($-NH_2$) et acide ($COOH$), un hydrogène et un radical R, groupement organique qui diffère selon l'acide aminé. Les acides aminés sont regroupés en trois catégories : ceux qui entrent dans la composition des protéines des plantes de même que les animaux; ceux qui sans être incorporés dans les protéines jouent un rôle important dans les processus métaboliques c'est le cas de la citruline et de l'ornithine et ceux qui ne font pas partie des deux premières catégories et qui sont généralement spécifiques et sont trouvés seulement chez les plantes (Gaspard 1988) c'est le cas de la lisopine.

Les acides aminés assurent des rôles essentiels dans l'assimilation de l'azote, le transport des organes sources vers les organes puits, la synthèse des hormones, les mécanismes de défenses des plantes et bien sûr dans la synthèse des protéines. Même si les plantes peuvent contenir plus de 200 acides aminés différents, seuls 20 d'entre eux sont nécessaires pour la synthèse des protéines (Marshner, 1995).

Chez les plantes, les voies de synthèse sont très souvent branchées, c'est-à-dire que plusieurs acides aminés peuvent être issus d'un précurseur unique. Le métabolisme des acides aminés nécessite de l'énergie et des squelettes carbonés qui seront principalement fournis par la photosynthèse et par les oxydations métaboliques. La synthèse des acides aminés serait régulée par la lumière, la disponibilité en sucres, en certains acides aminés comme la glutamine ou encore en nitrate (Morot-Gaudry *et al.* 2001).

I.4.3. La proline

La proline ou acide pyrrolidine 2-carboxylique est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la constitution des protéines. La proline est facilement oxydée par la ninhydrine ou tricetohydrindène. C'est sur cette réaction que se base le protocole de mise en évidence de la proline dans les échantillons foliaires. Chez les végétaux, Outre son rôle dans le métabolisme primaire en tant que constituant des protéines, la proline est l'un des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales. L'accumulation de la proline se fait surtout sous stress (Ober *et al.* 1994). Elle joue un rôle d'osmoticum qui améliore la tolérance aux stress. Cette accumulation régule le pH cytoplasmique et constitue une réserve d'azote utilisable par la plante en conditions de stress. Radi *et al.* (2014) révèlent que la proline intervient dans la lutte contre le stress hydrique.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. MATERIEL

II.1.1. Sites de récolte

La récolte a été effectuée dans la région du centre Cameroun de janvier à février 2016. Quatre sites ont été choisis afin de disposer qualitativement d'un échantillon représentatif du matériel biologique d'une part et de la rhizosphère d'autre part. Il s'agit du campus universitaire de Yaoundé 1 à Ngoa Ekelé situé dans le département de Mfoundi, de Soa situé dans le département de Mefou afamba, de Nkolbisson situé dans le département de Mfoundi et d'Ahala située dans le département de Mfoundi (Figure 7)

La région du centre est soumise à un climat équatorial. La pluviosité très élevée, varie entre 2000 et 2500 mm (Olivry 1986). Malgré quelques petites variances climatiques, Les précipitations se répartissent en deux périodes pluvieuses (septembre - novembre et avril - juin), séparées par deux saisons sèches, l'une qui est longue et bien marquée (décembre - mars), l'autre courte et peu prononcée (juillet - août). La température moyenne varie entre 24-25°C avec une amplitude thermique faible (1 à 3°C) et un degré d'hygrométrie élevé de 80%.

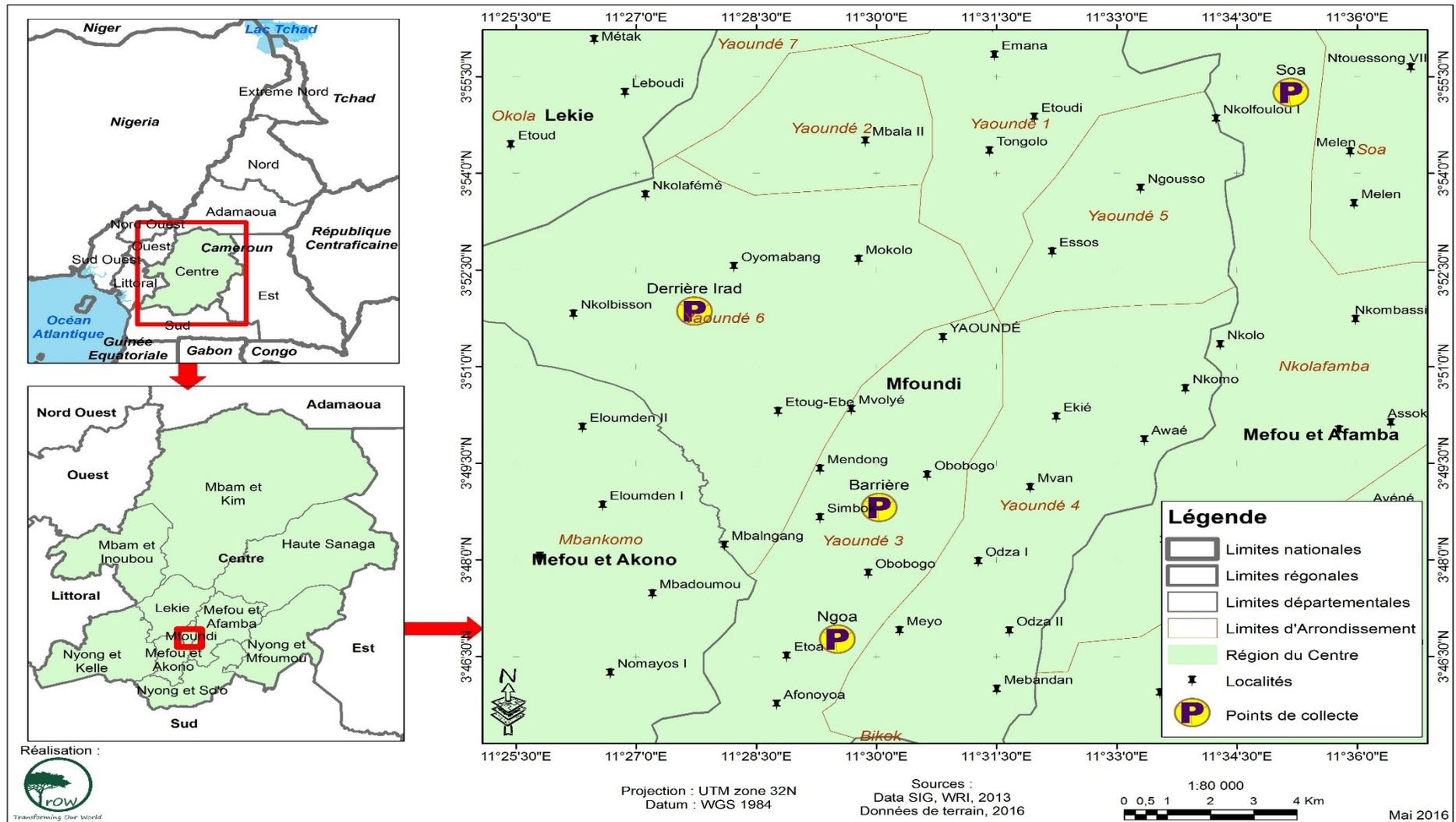


Figure 7. Localisation des différents sites d'échantillonnage

II.1.2. Matériel biologique

Le matériel biologique végétale utilisé est constitué des racines viables et des feuilles fraîches de macabo (*Xanthosoma sagittifolium.*), cultivar blanc, provenant des quatre sites cités ci-dessus. La figure 8 ci-dessus met en évidence les racines (A) et les feuille (B) du cultivar blanc de macabo. Les plants sur lesquels ont été prélevées ces dernières étaient âgés de 4,5 à 10 mois. Ces informations ont été fournies par les différents propriétaires des champs où les prélèvements et les échantillonnages ont été effectués. En effet, 4,5 mois, 6 mois, 8 mois et 10 mois sont les âges respectifs des plants venant d’Ahala, de Nkolbisson, de Soa et de Ngoa Ekelé

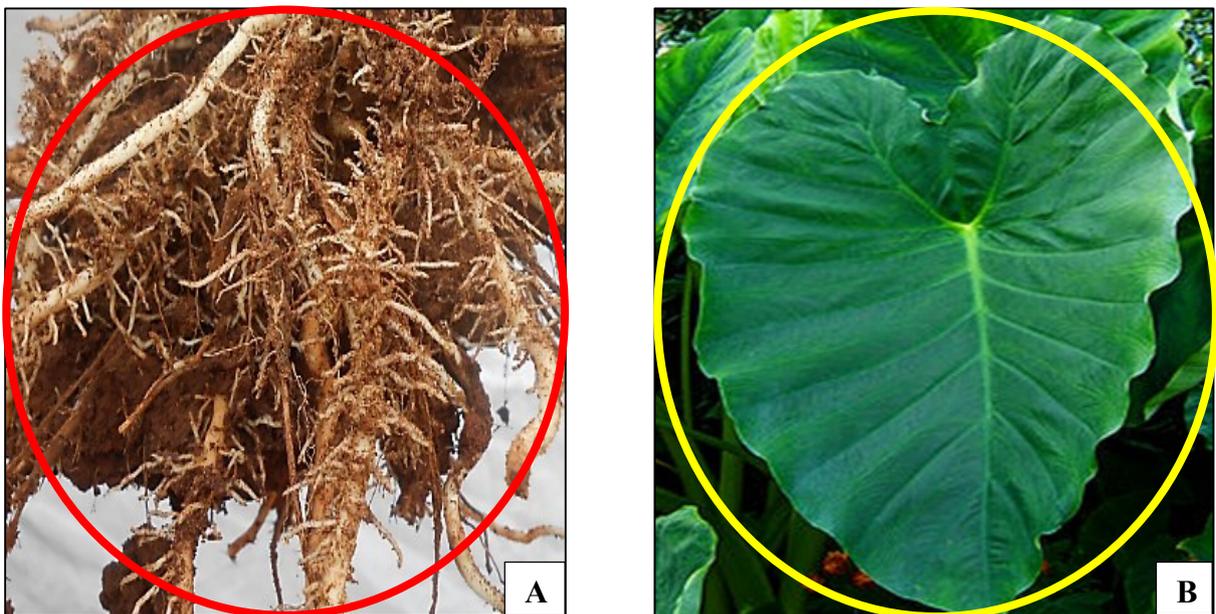


Figure 8. Matériels biologiques : racines (A) ; feuille (B). (Photo Nkouna 2016).

II.1.3. Le sol : la rhizosphère

Parmi les matériels utilisés, figure les sols prélevés au niveau des rhizosphères des différents plants de macabo choisis dans chacun des quatre sites (figure 9). Ceci dans le but de déterminer le pH des différentes rhizosphères dans lesquelles vivent les racines du macabo blanc.

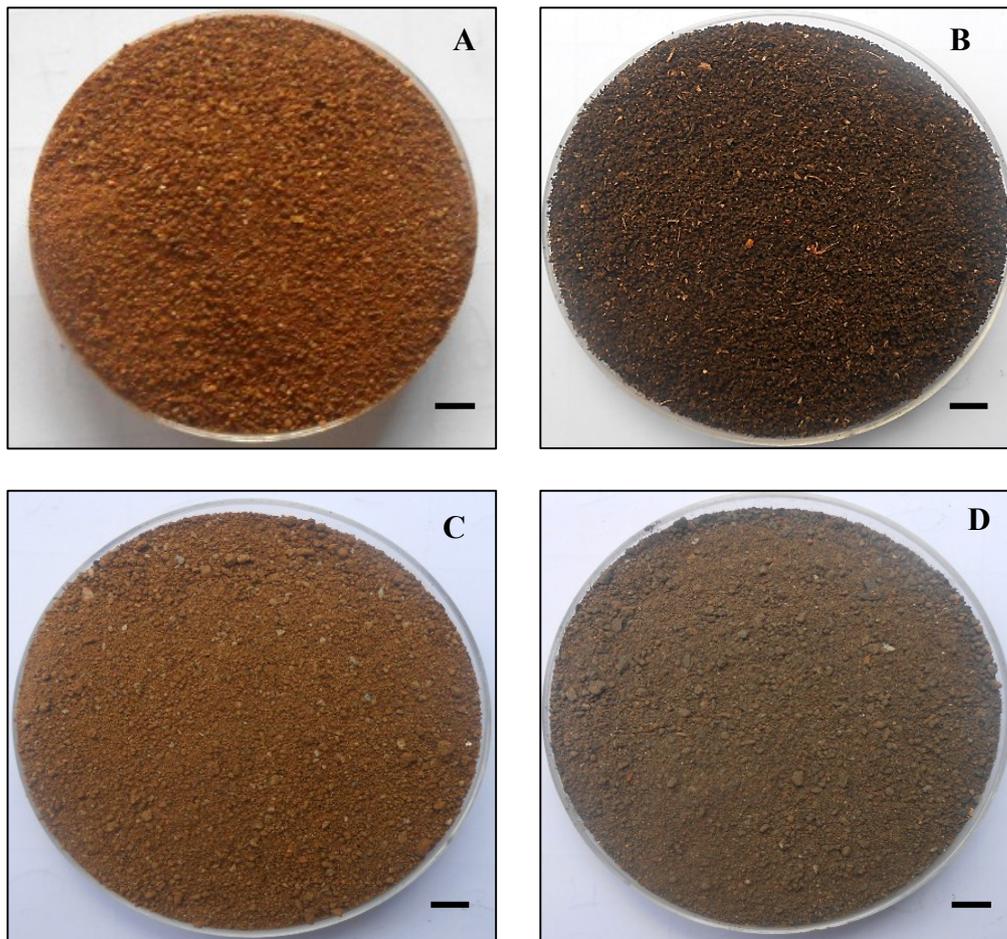


Figure 9. Echantillons de sol prélevé à Ahala (A), à Nkolbisson (B), à Soa (C) et à Ngoa Ekelé (D) (photo Nkouna 2016) (trait = 0,5 cm).

II.2. METHODES

II.2.1. Prise des paramètres de croissance et des coordonnées géographiques sur le site

Au niveau de chaque site de récolte, le nombre de feuilles et la taille des plants ainsi que les coordonnées géographiques ont été pris et portés dans le cahier de note apporté sur le terrain. La taille (en cm) de chaque plante a été prise à l'aide du mètre. Le nombre de feuilles a été relevé après observation et comptage à l'œil nu.

Par ailleurs, les coordonnées géographiques de chaque site ont été prises à l'aide d'un GPS, au pied des plants de macabo et à quatre autres points autour de ce dernier. Ceci dans le but de situer les différentes zones de prélèvement.

II.2.2. Echantillonnage de la rhizosphère et du matériel biologique

Au niveau de chaque site, environ 2 à 3 Kg de sol dans la rhizosphère de chacun des trois plants de macabo choisis, ont été prélevés. Les échantillons ont été prélevés à une profondeur allant de 10 à 20 cm, puis emballés dans les plastiques.

Pour ce qui est des racines, grâce à un sécateur, la quasi-totalité des racines viables a été récoltée sur chaque plant de macabo. Lavées à l'eau du robinet, elles sont ensuite conservées dans l'alcool dilué à 50%. Une fois au laboratoire, le tout est porté au réfrigérateur dans l'attente des observations ultérieures.

Concernant les feuilles, (30) trente grammes de feuilles fraîches ont été prélevés au niveau de chaque site et emballés dans du papier aluminium. Une fois au laboratoire, le tout est porté au congélateur à -20°C pour la conservation.

II.2.3. Détermination du pH des rhizosphères

Le pH a été déterminé selon les méthodes conventionnelles de l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA). L'appareil utilisé est le pH-mètre. En effet, 5 g de sol est prélevé dans chaque échantillon mère, puis introduit dans un Becher de 250 mL, y ajouter 30 mL d'eau distillée, après agitation pendant 6 minutes, laisser décanter et puis recueillir le surnageant dans un tube de 100 mL. La lecture de la valeur du pH est effectuée après trempage des électrodes du pH-mètre dans les surnageant contenus dans les tubes.

II.2.4. Evaluation de la mycorhization

La mycorhization est évaluée selon la méthode de Phillips et Hayman (1970) selon les étapes suivantes :

II.2.4.1 Eclaircissement des racines

Après lavage et rinçage, les racines fines collectées sur les racines principales sont découpées en fragments d'environ 1 à 1,5 cm puis trempées dans la solution de potasse (KOH) à 5% et portées au bain marie à 90°C pendant 15 min. Les racines ainsi traitées sont à nouveau rincées 03 fois à l'eau courante. L'ajout de quelques gouttes d'acide chlorhydrique 5% permet de neutraliser l'hydroxyde de potassium restant.

II.2.4.2. Coloration des racines et observation

La technique de coloration utilise la fuchsine acide qui permet la coloration de la chitine au niveau des structures fongiques. Les racines éclaircies sont immergées dans la fuchsine acide

à 0,5 %, pendant 15 minutes à 90° C. Ensuite, elles sont laissées à température ambiante pour le refroidissement. Les racines ainsi colorées sont décolorées à l'aide d'un décolorant (mélange de 5mL de glycérol + 3mL d'acide lactique+ 2mL d'eau) pour permettre la distinction des structures fongiques à travers les éléments racinaires devenus transparents. Les structures fongiques, tels que les hyphes mycéliens, les arbuscules et les vésicules apparaissent en rouge. Les fragments racinaires sont montés entre lame et lamelle pour observation et évaluation au microscope optique à l'échelle de grossissement 100.

II.2.4.3. Calcul des paramètres de la mycorhization

L'évaluation des paramètres de mycorhization est réalisée par des observations au microscope optique de 100 fragments racinaires, selon la méthode de Trouvelot *et al.* (1986). Les paramètres considérés et calculés sont :

❖ La **fréquence de mycorhization** (F%), définie comme le pourcentage de fragments racinaires mycorhizés par rapport au nombre total de fragments observés ;

$$F (\%) = (n/N) \times 100 \quad \text{Avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} N : \text{Nombre de fragments observés} \\ n : \text{nombre de fragments mycorhizés} \end{array} \right.$$

❖ L'**intensité de mycorhization globale** (M% ou I%) correspondant à la proportion de fragments racinaires observés colonisés par le CMA. Chaque fragment analysé est alors placé dans une classe d'identité de mycorhization allant de 0 à 5 selon la densité des hyphes.

$M \text{ ou } I (\%) = (95 \times n_5) + (70 \times n_4) + (30 \times n_3) + (5 \times n_2 + n_1) / N$. Avec n_5, n_4, n_3, n_2 et n_1 , les nombres de fragments de degré de colonisation 5, 4, 3, 2 et 1 respectivement.

II.2.5. Analyse de la chlorophylle totale dans les feuilles

II.2.5.1. Extraction

L'extraction de la chlorophylle est réalisée suivant la méthode d'Arnon (1949). Un (01) gramme de feuille est broyé dans un mortier en porcelaine en présence d'un pincé de sable fin (stérile). Le sable permet de rompre les membranes notamment la membrane thylacoïdale afin de libérer les pigments chlorophylliennes. Le broyat est mélangé à 4 mL d'acétone 90%, puis l'ensemble est introduit dans un tube à essai et en fin centrifugé à 5000 tours pendant 15 min à 4°C. Le surnageant est ensuite recueilli pour le dosage.

II.2.5.2. Dosage

Le dosage de la chlorophylle totale se fait selon la méthode d'Arnon (1949) à 645nm et 663 nm. La teneur en chlorophylle totale est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Chlorophylle totale (mg/g)} = 0,0202 \times \text{DO}_{663} + 0,00802 \times \text{DO}_{645}.$$

II.2.6. Analyse biochimique

II.2.6.1. Extraction des phénols

L'extraction des phénols est effectuée selon la méthode de (Hansen, 1997). Un gramme (1g) de matière fraîche est broyé dans 3 ml d'HCL 0,1N en présence du sable fin dans un mortier en porcelaine. Après incubation à 4°C pendant 20 mn, le broyat est centrifugé à 6000 tours/ mn pendant 40 mn (Figure 10).

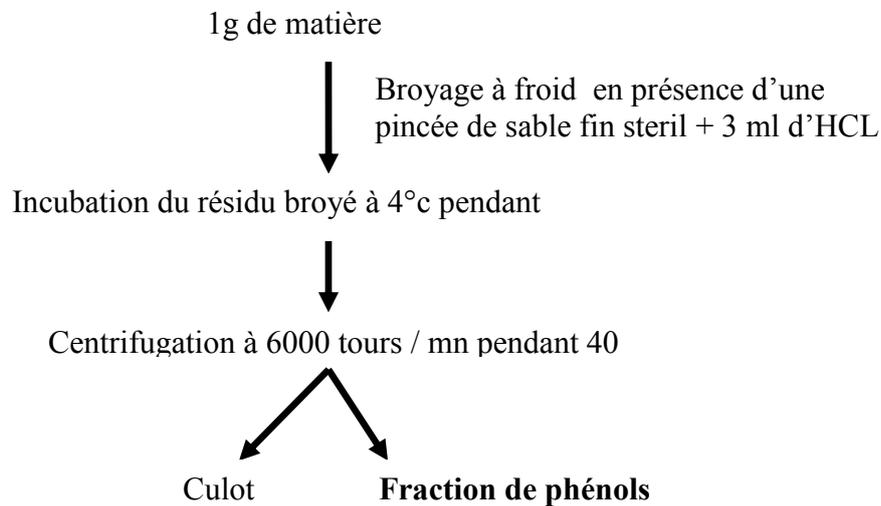


Figure 10. Protocole d'extraction des phénols (Hansen, 1997).

II.2.6.2. Extraction des acides aminés totaux et de la proline

L'extraction des acides aminés totaux et de la proline est réalisée suivant la méthode décrite par Saha et Brewer (1994). Un gramme de matière fraîche est broyé dans un mortier en porcelaine avec une pincée de sable fin + 10 ml d'alcool à 80%, Puis centrifugé à 5000 tours / mn pendant 20 mn (Figure 11).

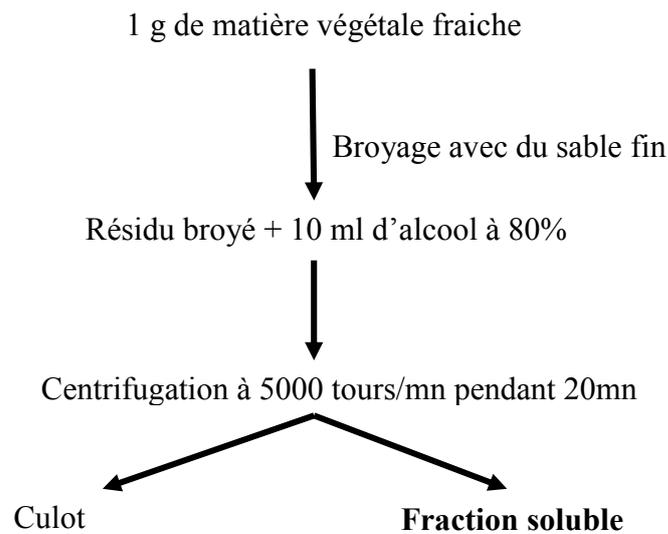


Figure 11. Protocole d'extraction des acides aminés totaux et de la proline (Saha et Brewer 1994).

II.2.6.3. Dosage des phénols

La teneur en composés phénoliques solubles est déterminée selon la méthode de Marigo (1973) qui utilise le réactif de Folin et Ciocalteu (mélange des acides phosphomolybdique et phosphotungstique). Introduire successivement et dans l'ordre dans les tubes à essais :

- 2,5 ml d'eau oxygénée
- 10 μ l d'extrait brut
- 200 μ l de Folin pur
- 0,5 ml de carbonate de sodium (Na_2CO_3 20%)

Le mélange obtenu est homogénéisé et porté au bain marie à 40°C pendant 20 mn. Après refroidissement à température ambiante, l'absorbance du complexe bleu formé est lue au spectrophotomètre à 720 nm. La teneur en composé phénolique est déterminée par référence à la courbe d'étalonnage établie avec l'acide chlorogénique (1mg/ml) puis exprimé en μ g/g de matière fraîche (Figure 12).

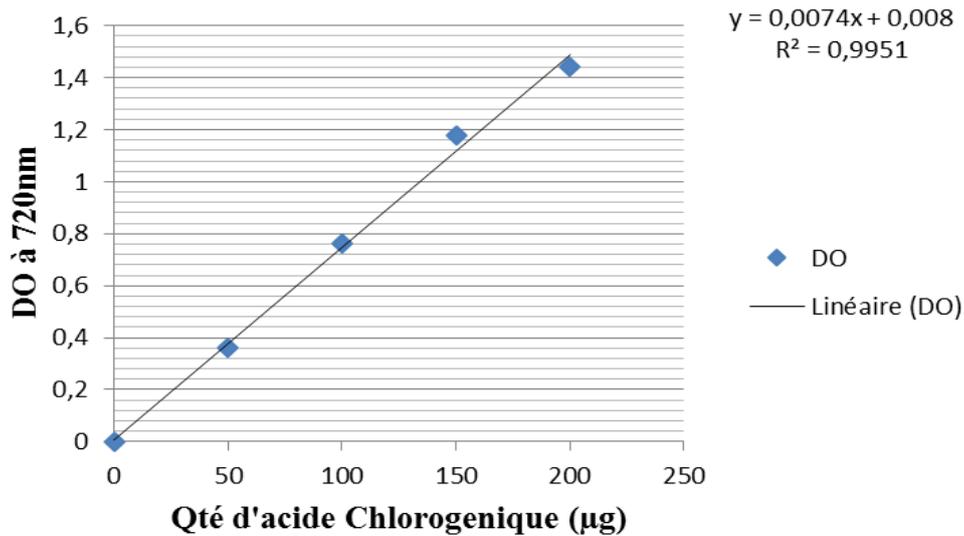


Figure 12. Courbe d'étalonnage des phénols

Les teneurs sont déterminées par la formule suivante :

$$\text{Quantité } (\mu\text{g/g}) = \frac{\text{DOx} \times \text{V}_{\text{TAMPON}}}{\text{a} \times \text{V}_{\text{extrait}} \times \text{PF}}$$

- a : coefficient directeur de la droite d'étalonnage ;
- Vtampon : volume de tampon en mL ;
- Vextrait : volume d'extrait en µl ;
- PF : poids frais du matériel végétal ;
- DOx : densité optique.

II.2.6.4. Dosage des acides aminés totaux

Le dosage des acides aminés totaux se fait à la ninhydrine selon la méthode de Yemm et Cocking (1995). Les acides aminés subissent à chaud et en présence de la ninhydrine une dénaturation oxydative avec libération du CO₂, de NH₃, et une molécule d'aldéhyde. L'ammoniac réagit avec une molécule de ninhydrine dans l'acétone et en présence de KCN pour donner un complexe bleu violet dont l'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration des acides aminés totaux dans la solution.

Le mélange réactionnel contenant 10µl d'extrait alcoolique, 0,5ml de tampon citrate 0,2M pH 5, 0,5 mL d'alcool 80° et 1ml de solution acétonique de ninhydrine 1% + 0,06 % KCN est porté au bain marie à 100°C pendant 15 mn. Après refroidissement à température ambiante, 5 mL d'eau distillée y sont ajoutés. L'absorbance du complexe bleu violet formé est mesuré à 570 nm. Pour chaque extrait, deux lectures ont été effectuées et les teneurs en acides aminés totaux (en µg/g de MF) sont évaluées en référence à la courbe d'étalon réalisée avec une gamme de concentration de glycine pure (0 à 1 g/l) (Figure. 13).

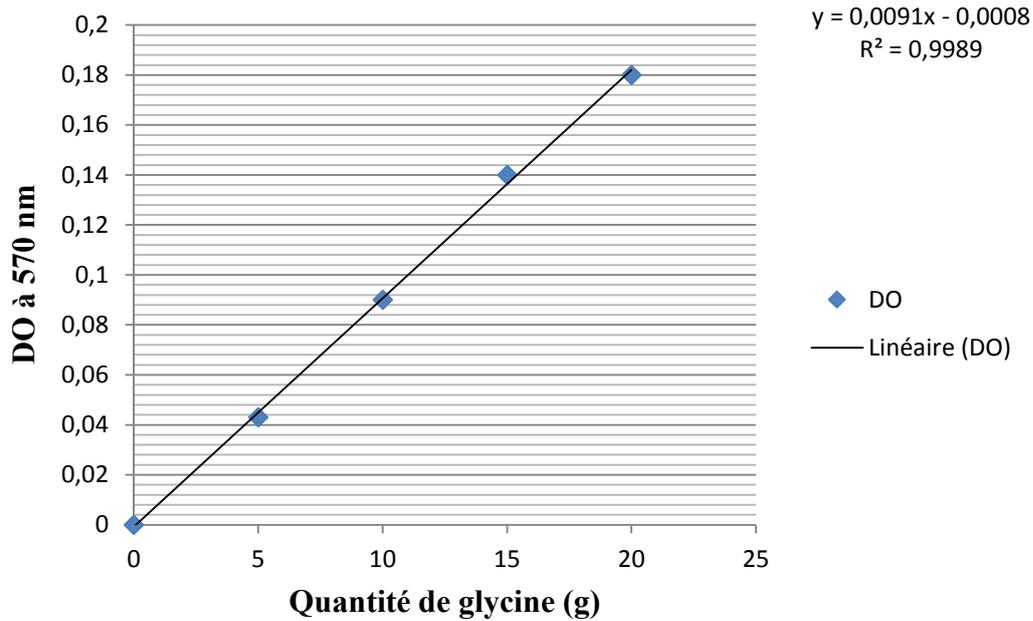


Figure 13. Courbe d'étalonnage des acides aminés totaux

Les teneurs sont déterminées par la formule suivante :

$$\text{Quantité } (\mu\text{g/g}) = \frac{\text{DOx} \times \text{V}_{\text{tampon}}}{\text{a} \times \text{V}_{\text{extrait}} \times \text{PF}}$$

a : coefficient directeur de la droite d'étalonnage ;
 V_{tampon} : volume de tampon en ml ;
 V_{extrait} : volume d'extrait en µl ;
 PF : poids frais du matériel végétal ;
 DOx : densité optique.

II.2.6.5. Dosage de la proline

La proline est dosée selon la méthode de Monneveux et Nemmar (1986). Elle consiste à prendre 20 mg du matériel végétale, puis ajouter 2 ml de méthanol à 40%, le tout est chauffé à 85°C dans un bain-marie pendant une heure. Après refroidissement, 1 ml de l'extrait est prélevé auquel sont ajoutés :

- 1 ml d'acide acétique (CH₃-COOH);
- 25 mg de ninhydrine C₉H₆O₄ ;
- 1 ml d'un mélange contenant (120 ml d'eau distillé, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho phosphorique (H₃PO₄, d=1.7).

Le mélange obtenu est porté à ébullition pendant 30 minutes à 100°C. La solution vire au rouge. Après refroidissement, on additionne 5 ml de toluène avec agitation, deux phases apparaissent

; la phase supérieure contenant la proline est récupérée et sa densité optique est déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 528 nm. Les valeurs obtenues sont converties en taux de proline par le biais d'une courbe étalon préalablement établie à partir d'une série de solutions de concentration en proline allant de 0 à 1 mg/ml (Figure 14)

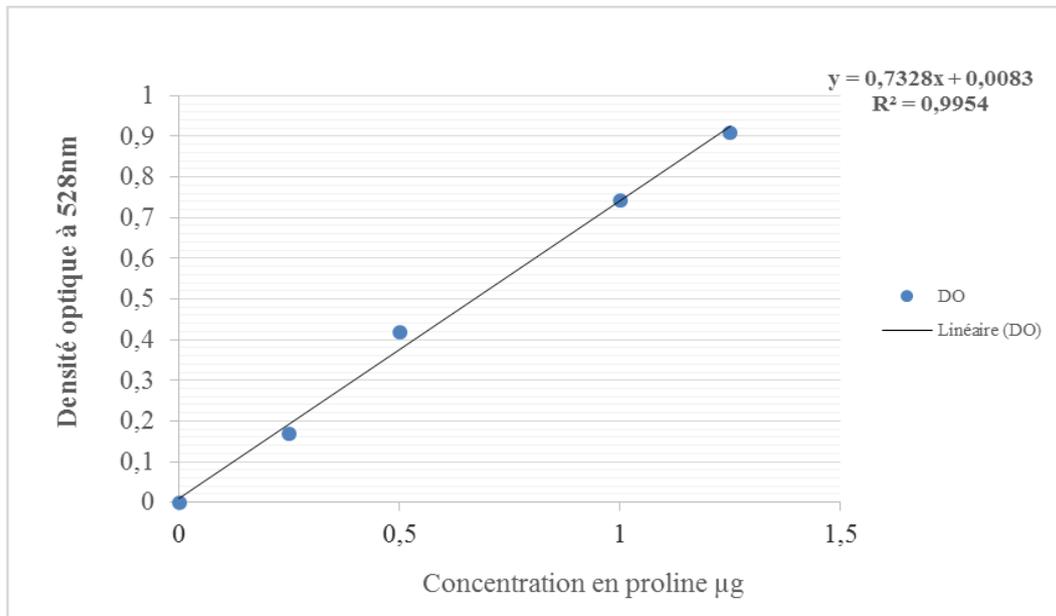


Figure 14. Courbe étalon de la proline

Les teneurs sont déterminées par la formule suivante :

$$\text{Quantité } (\mu\text{g/g}) = \frac{\text{DOx} \times \text{V}_{\text{tampon}}}{\text{a} \times \text{V}_{\text{extrait}} \times \text{PF}}$$

- a : coefficient directeur de la droite d'étalonnage ;
- V_{tampon} : volume de tampon en ml ;
- V_{extrait} : volume d'extrait en µl ;
- PF : poids frais du matériel végétal ;
- DOx : densité optique.

II.2.7. Analyse statistique des données

Le logiciel IBM SPSS Version 20 a permis d'effectuer les analyses statistiques et de comparer les moyennes deux à deux selon le test de Student-Newman-Keuls au seuil 5%. Les représentations graphiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2013.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. RESULTATS

III. 1.1. Les pH des différents échantillons de la rhizosphère

Les différents échantillons du sol prélevés dans la rhizosphère des différents plants de macabo récoltés, sont pour la plus part des sols basiques, à l'exception de celui de Nkolbisson qui est acide (tableau1). Ce paramètre du sol est essentiel dans la répartition et l'abondance relative des champignons mycorhiziens dans le sol.

Tableau 1. pH des différents échantillons de sol prélevés

Sites	Ahala	Nkolbisson	Soa	Ngo-ekele
Valeur du pH	8,25	4,89	8,05	8,36

III.1.2. Evaluation de la mycorhization chez le macabo dans différents sites de récolte

III.1.2.1. Fréquence de mycorhization (%F)

L'observation microscopique des fragments de racines a montré que tous les échantillons de racines ne sont pas colonisés par les mycorhizes. Il apparait une variation de la fréquence de mycorhization entre les différents sites de récolte, allant de 47% à Nkolbisson à 75% à Ahala en passant par 47,3% obtenu à Ngoa-ekele et par 57% obtenu à Soa.

Cependant, l'analyse statistique au seuil 5% de la fréquence de mycorhization entre les différents sites n'a montré aucune différence significative entre Nkolbisson, Soa et Ngoa-ekele, tout comme entre Ahala et Soa, mais en a montré entre Nkolbisson, Ngo-ekele et Ahala (Figure 15).

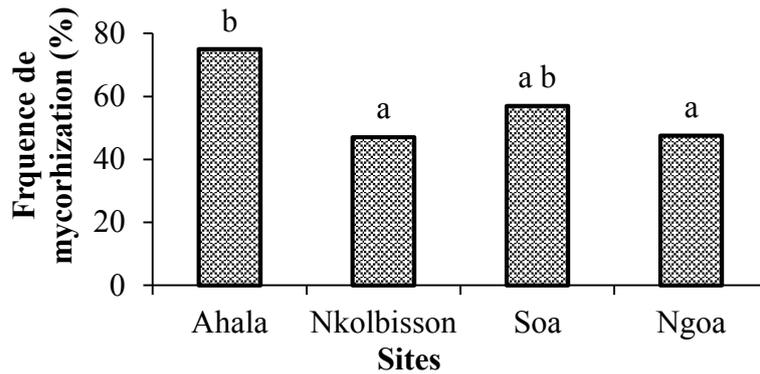


Figure 15. Variation de la fréquence de mycorrhization entre les sites.

III.1.2.2. Intensité globale de mycorrhization (%I ou %M)

L'intensité globale de mycorrhization ou l'intensité de mycorrhization du système racinaire présente une variation entre les différents sites de récolte. Le site Ahala s'est remarquablement distingué des autres sites avec la plus grande intensité globale de mycorrhization de 330% comparativement à 16,15% ; 14,01 et 11,21% respectivement pour Nkolbisson, Ngoa-ekele et Soa.

L'analyse statistique au seuil 5% n'a révélé aucune différence significative entre Nkolbisson, Soa et Ngoa-ekele, mais en a révélé entre ces derniers et Ahala pour ce paramètre de mycorrhization (Figure 16).

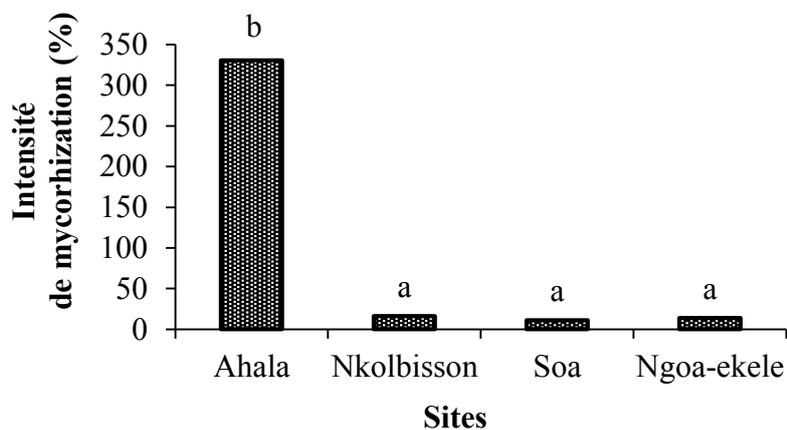


Figure 16. Variation de l'intensité de mycorrhization en fonction du site de récolte

III.1.2.3. Analyses histologique des racines mycorhizées chez le macabo

III.1.2.3.1. Aspect des hyphes mycorhiziens

L'organisation cytologique des différents fragments racinaires mycorhizés du macabo blanc observés au microscope, a montré que ce cultivar ne présente qu'un seul type de

mycorhize qui se répète quel que soit le site de récolte. En effet, la coloration des racines à la fuchsine acide a mis en évidence des structures endophytiques du type hyphes intra-racinaires caractéristiques des endomycorhizes (Figure 17). Aucune structure ectomycorhizienne comme le réseau de Hartig n'a été mise en évidence pendant les observations microscopiques.

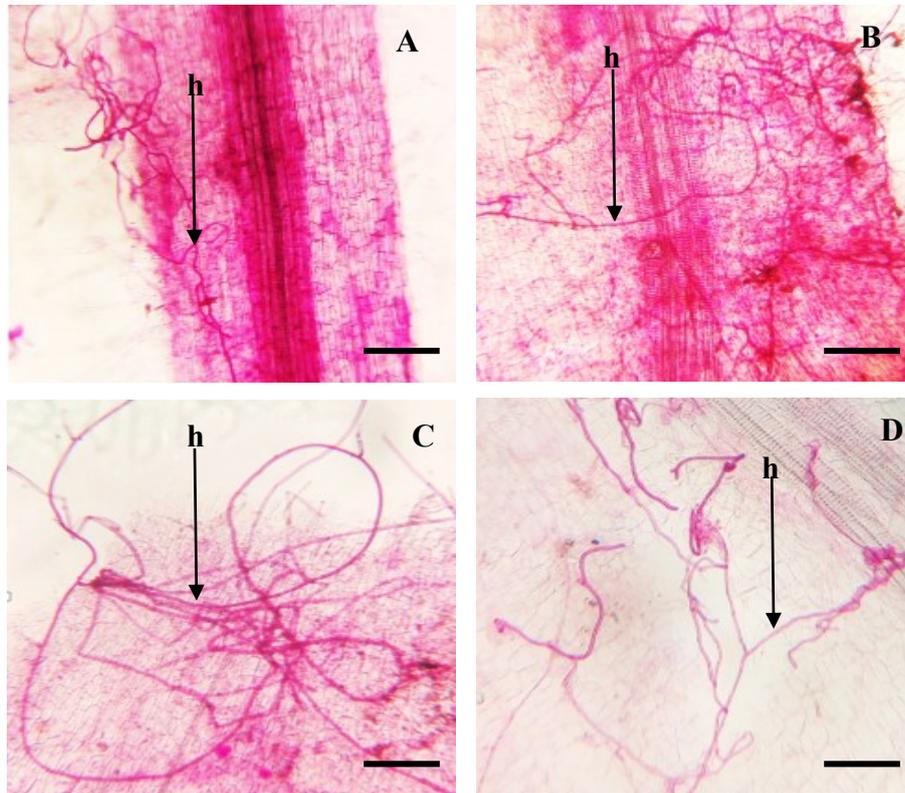


Figure 17. Aspect des hyphes mycorhiziens : hyphe sur une racine venant de Nkolbisson (A) ; de Ngoa-ekele (B), de Soa (C) et de Ahala (D) avec h= Hyphe mycélien (trait = 1 cm).

III.1.2.5.2. Aspects des arbuscules et des vésicules mycorhiziens dans les racines

En plus des hyphes mycorhiziens observés dans les fragments de racine du macabo blanc, il a aussi été observé, après coloration à la fuchsine acide, non seulement des arbuscules, mais aussi des vésicules de forme ronde à ovales, s'intercalant entre les cortex cellulaire (Figure 18). Les arbuscules et les vésicules sont respectivement les structures d'échange et de réserve mises en place par les symbiotes fongiques et permettent ainsi de classer le macabo parmi les espèces à vocation mycorhizienne arbusculaires et vésiculaire.

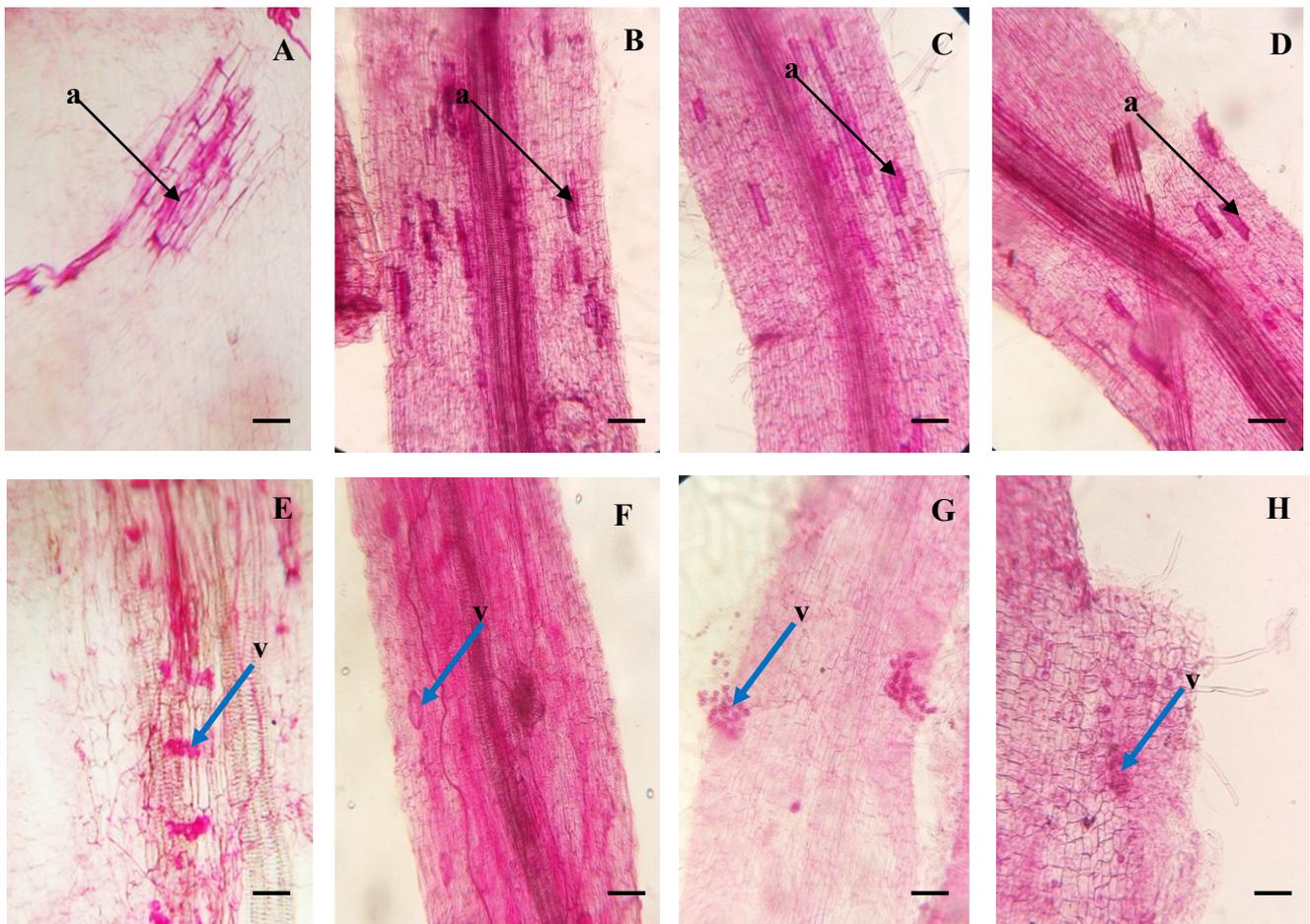


Figure 18. Aspect des arbuscule et vésicules. A, B, C et D = arbuscules respectivement observés dans les racines d’Ahala, Nkolbisson, Soa et Ngoa-ekele. E, F, G et H = vésicules respectivement observées dans les racines d’Ahala, Nkolbisson, Soa et Ngoa-ekele avec a = arbuscule et v= vésicule (trait = 0,5 cm).

III.1.3. Paramètres de croissance des plants de macabo récoltés dans les différents sites

III.1.3.1. Nombre moyen de feuilles par site

Les résultats montrent une variation du nombre de feuilles entre les différents sites de récolte. Les sites Soa et Nkolbisson, enregistrent tous les deux le même nombre moyen de feuilles. De plus, ces deux sites présentent le plus grand nombre de feuilles, avec chacun un nombre moyen de $4,67 \pm 0,58$ suivie de $3,33 \pm 0,58$ et de 3 ± 1 respectivement pour Ahala et Ngoa-ekele.

Cependant, l’analyse statistique au seuil 5% ne montre aucune différence significative entre les différents sites de récolte pour ce paramètre morphologique de croissance (Figure 19).

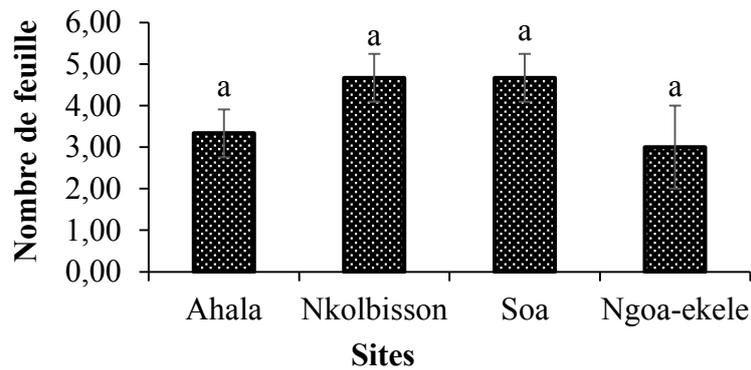


Figure 19. Variation du nombre moyen de feuilles en fonction du site.

III.1.3.2. Taille moyenne des plants de macabo

De manière globale, la mesure de la taille moyenne des plants du macabo montre une variation de ce paramètre en fonction des sites de récoltes. Le site Soa apparaît distinctement en première position avec une taille moyenne de $63,33 \pm 0,58$ cm ; suivie de $48 \pm 5,29$; $46,17 \pm 5,25$ et $44,17 \pm 5,77$ cm ; respectivement pour Nkolbisson, Ahala et Ngoa-ékele.

L'analyse statistique au seuil 5% a montré qu'Ahala, Nkolbisson et Ngo-ékele ne sont pas significativement différents entre eux, mais sont significativement différents de Soa pour le paramètre taille des plants (Figure 20).

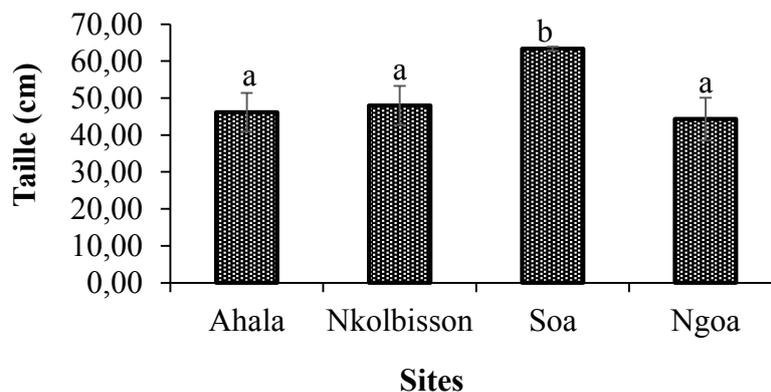


Figure 20. Variation de la taille moyenne des plantes en fonction du site.

De manière générale, la mycorhization n'a montré aucun effet significatif sur le nombre de feuilles et la taille des plants du cultivar blanc du macabo entre les différents sites.

III.1.4. Chlorophylle totale dans les feuilles

L'analyse de la chlorophylle totale dans les feuilles récoltées dans les différents sites, a montré que la teneur en chlorophylle totale varie en fonction des sites. Les feuilles récoltées à

Nkolbisson ont enregistré la plus grande teneur avec une valeur de $0,15 \pm 0,003$ mg/g de matière fraîche, contre $0,13 \pm 0,002$, $0,06 \pm 0,003$ et $0,03 \pm 0,002$ mg/g respectivement pour les sites Ahala, de Soa et Ngoa-ekele.

Parallèlement, l'analyse statistique au seuil 5% a confirmé que tous les quatre sites sont significativement différents pour la teneur en chlorophylle totale foliaire (Figure 21).

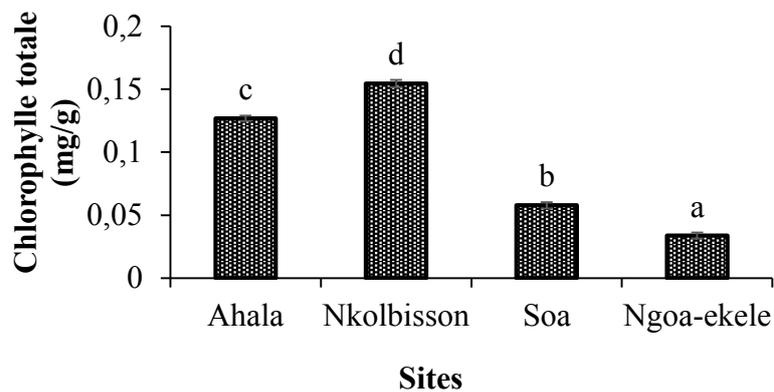


Figure 21. Variation de la Teneur en chlorophylle totale foliaire dans les différents sites.

De manière générale il ressort que la mycorhization n'a pas d'effet significatif sur la teneur en chlorophylle totale dans les feuilles du macabo blanc entre les différents sites.

III.1.5. Analyse biochimique

III.1.5.1. Teneur en phénols

De manière générale, la teneur en phénols varie selon le site. Elle est plus importante dans les feuille récoltées à Nkolbisson avec une valeur de $20,57 \pm 1,22$ $\mu\text{g/g}$ de MF contre $18,97 \pm 0,84$, $16,59 \pm 0,19$ et $16,32 \pm 0,19$ $\mu\text{g/g}$ de MF respectivement déterminée dans les feuilles récoltées à Ahala, à Soa et à Ngoa-ekele.

Cependant l'analyse statistique au seuil 5% ne montre aucune différence significative entre Ahala, Soa et Ngoa-ekele. Mais entre ces derniers et Nkolbisson la différence est significative quant à la teneur en phénols (Figure 22)

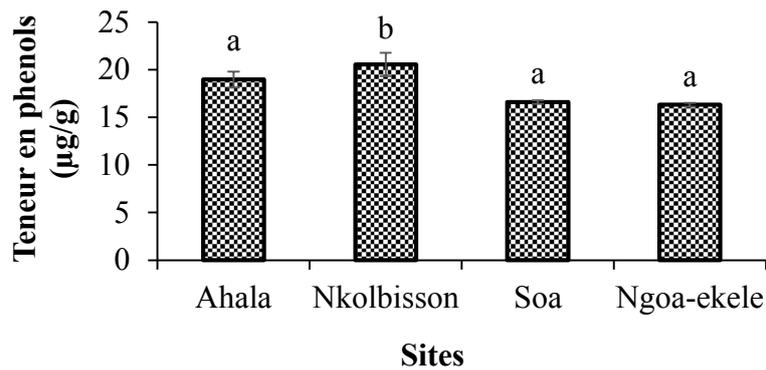


Figure 22. Variation de la teneur en phénols foliaire dans les différents sites.

III.1.5.2. Teneur en acides aminés totaux

De manière globale, la teneur en acides aminés totaux varie selon le site. Elle est plus importante dans les feuilles récoltées à Soa avec une valeur de $20,35 \pm 0,03 \mu\text{g/g}$ de MF contre $9,80 \pm 0,44$; $6,3 \pm 0,17$ et $3,1 \pm 0,33 \mu\text{g/g}$ de MF respectivement dosées dans les feuilles récoltées à Ahala, à Ngoa-ekele et à Nkolbisson.

Parallèlement, l'analyse statistique au seuil 5% a révélé une différence significative entre les différents sites (Figure 23)

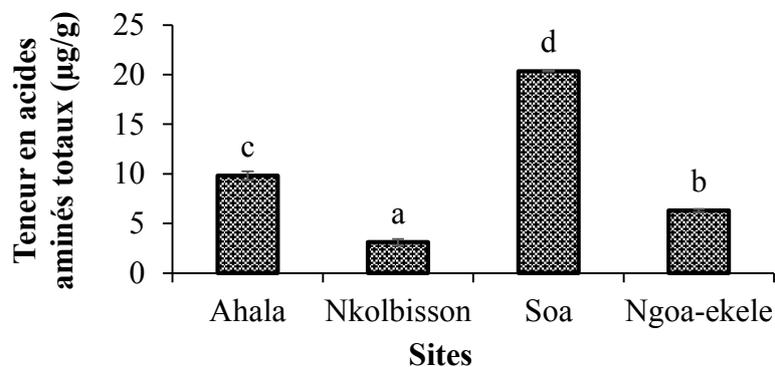


Figure 23. Variation de la teneur en acides aminés totaux foliaire dans les différents sites.

III.1.5.2. Teneur en proline

Dans l'ensemble, il apparaît que la teneur en proline varie selon le site. La plus grande teneur est obtenue dans les feuilles récoltées à Ahala avec une valeur de $0,029 \pm 0,001 \mu\text{g/g}$ de MF contre $0,026 \pm 0,001$; $0,023 \pm 0,005$ et $0,007 \pm 0,003 \mu\text{g/g}$ de MF, respectivement obtenues dans les feuilles récoltées à Ngoa-ekele, à Nkolbisson et à Soa.

Cependant, l'analyse statistique au 5% n'a révélé aucune différence significative entre Ahala, Nkolbisson et Ngoa-ekele, mais en a révélé entre ces derniers et Soa (Fig. 24)

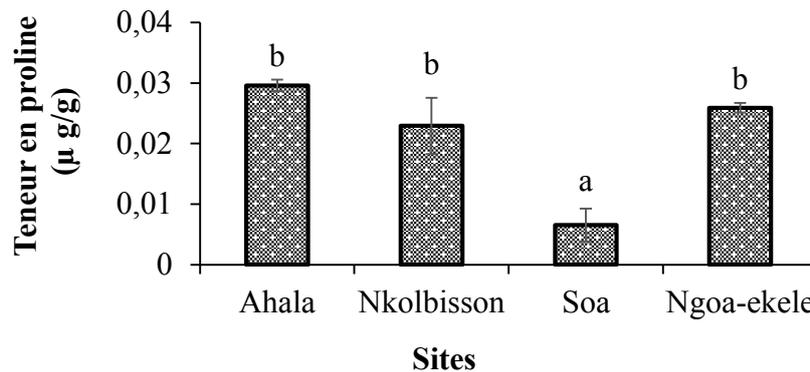


Figure 24. Variation de la teneur en proline foliaire dans les différents sites.

De manière générale, force est de constater que la teneur en composés biochimiques ne suit le sens de variation de la mycorhization, que pour des fréquences de mycorhization (F%) proche de 100% notamment à Ahala où elle est de 75%. En effet, les teneurs en phénols, en acides aminé totaux ou en proline obtenue à Ahala, se sont trouvées soit en première position soit en deuxième position suivant l'ordre décroissant de ces composés entre les sites.

III.2. DISCUSSIONS

Dans cette investigation, il était essentiel de commencer par une étude prospective au niveau de plusieurs localités dans la région du centre Cameroun notamment Ahala, Nkolbisson, Soa et Ngoa-ekele, en quête des associations symbiotiques mycorhiziennes, que peut élaborer le macabo blanc en milieu naturel, ensuite, de procéder non seulement à une analyse de la chlorophylle totale, mais aussi à une analyse des phénols, des acides aminés totaux et de la proline dans les feuilles, afin d'évaluer l'effet de la mycorhization sur ces derniers. La présence et l'abondance des mycorhizes dans les racines, sont considérées comme une étape préalable, importante pour appréhender le statut mycorhizien d'une plante, ainsi que la richesse et la diversité des communautés en champignons mycorhizien symbiotiques dans un milieu donné.

L'observation microscopique des fragments racinaires du macabo blanc a montré que tous les plants des quatre localités réalisent la symbiose mycorhizienne avec une forte fréquence de colonisation racinaire (75%) dans les racines prélevées à Ahala et une faible fréquence de colonisation racinaire (47%) pour les racines récoltées à Ngoa Ekele. Le cultivar blanc du macabo serait donc une plante fortement mycotrophe et donc à forte dépendance mycorhizienne. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Sanon (2005) qui a montré que la dépendance mycorhizienne de *Zornia glochidiata* et *Pennicetum pedicellatum* augmente

avec le nombre de fragments de racines mycorhizées et donc avec une fréquence de mycorhization. De même, Diaz et Honrubia (1993) travaillant sur *Tetraclinis articulata*, ont qualifié cette dernière d'espèce fortement mycotrophe pour une fréquence de colonisation racinaire de 70%. Le niveau élevé de colonisation racinaire par les champignons mycorhiziens pourrait aussi s'expliquer par la forte distribution des champignons mycorhiziens dans les écosystèmes naturels du centre. Ce qui corrobore les résultats obtenus par Opik et al. (2006) qui ont montré une relation entre la fréquence de mycorhization et la distribution des symbiotes fongiques dans les écosystèmes naturels.

L'intensité de mycorhization (I% ou M%) du système racinaire s'est révélée significativement supérieure à Ahala comparée à celles obtenues dans les autres sites. Il s'est avéré que l'intensité de mycorhization globale est d'autant plus élevée que les fragments racinaires sont de degré de mycorhization 3,4 ou 5, échelle décrite par Trouvelot et al. (1986). Tous les sites ayant les meilleures fréquences de mycorhization, ne sont pas tout de même ceux ayant les plus grandes intensités de mycorhization. Ce qui serait dû à une absence de corrélation entre ces deux paramètres de mycorhization. Ceci corrobore les travaux de Abbas (2014) qui, travaillant sur le statut mycorhizien de *Thuja articulata* a révélé qu'il n'y avait aucune corrélation entre la fréquence et l'intensité de mycorhization calculées du système racinaire.

L'analyse microscopique des fragments racinaires du macabo blanc a révélé des structures fongiques telles que les hyphes intracellulaires ainsi que des arbuscules et des vésicules. Les arbuscules et les vésicules sont respectivement des structures d'échange et de réserve des symbiotes fongiques (Ismael et al. 2013, Abbas 2014, Auge et al. 2015). Cependant aucune structure telle que les réseaux de Hartig n'a été mise en évidence. Ce qui laisse penser à une nature endomycotrophique de ce cultivar de macabo, et confirmant la rareté des structures ectomycorhiziens chez les plantes vasculaires (Smith and Read 1997). Les résultats analogues ont été obtenus par Onguene et al. (2002) et Abbas (2014) en travaillant respectivement sur le statut mycorhizien de l'okoumé (*Aucoumea klaineana*) au sud Cameroun et celui de thuya (*Tetraclinis articulata*) dans sept tetraclinaires au Maroc.

Les paramètres morphologiques notamment la taille moyenne des plants et le nombre moyen de feuilles n'ont pas été sous l'effet significatif et positif de la mycorhization. Les effets significatifs positifs des mycorhizes, observés sur les paramètres morphologiques de croissance de nombreuses espèces dans le monde, ont fait l'objet de nombreuses études et ne sont plus à démontrer. Sur ce, les résultats obtenus seraient dus à la petite taille de l'échantillon (trois) des plants de macabo récoltés dans chaque site de récolte. Car les travaux de nombreux auteurs

comme Zougari-Elwedi *et al.* (2012) visant à mettre en relief l'effet positif de la mycorhization sur les paramètres morphologiques de croissance mettent un accent sur la taille de l'échantillon dans les conditions naturelles ou sur le nombre de répétition en conditions expérimentales. En outre, les travaux de Diouf *et al.* (2009) ont montré que les champignons mycorhiziens à arbuscules augmentent de manière significative le nombre de feuille mais ne présentent aucun effet sur la taille des plants du sésame au Sénégal.

Concernant la variation de la teneur en chlorophylle totale dans les feuilles du macabo blanc récoltées dans les différents sites montre que la mycorhization n'a pas d'effet significatif sur ce paramètre physiologique. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la mycorhization n'est pas impliqué de manière significative dans le processus de synthèse des pigments chlorophylliens. D'autres facteurs comme l'eau, seraient significativement liés à la quantification de la chlorophylle totale chez le macabo blanc, comme c'est le cas chez le prunier (*Prunus domestica* selon les résultats fournis par les travaux de Mekkaoui (2015), qui a montré une diminution de la teneur en chlorophylle totale chez prunier (*Prunus domestica*) sous stress hydrique au Maroc.

Concernant les teneurs en composés biochimiques, les résultats obtenus après dosage des acides aminés totaux, proline et phénols dans les feuilles du macabo blanc ont montré des teneurs élevées chez les plants à fortes colonisations racinaires notamment ceux venant d'Ahala. La mycorhization aurait donc un effet significatif et positif sur les paramètres biochimiques de la plante. De plus La quantification des composés biochimiques serait aussi dépendante d'une forte colonisation des racines du macabo blanc par les champignons mycorhizés. Ceci pourrait justifier la relation de proportionnalité, qui existe le plus souvent entre le niveau de mycorhization, et la synthèse de certains composés biochimiques chez de nombreuses espèces végétales à l'instar du maïs (*Zea mays*), les résultats obtenus à la suite des travaux de Benjelloun *et al.* (2014), ont montré une augmentation de la teneur en proline, phénols et en protéine en fonction de la mycorhization.

CHAPITRE IV : IMPLICATION SUR LE SYSTEME EDUCATIF DU SUJET

IV.1. Définition des concepts

Pédagogie : c'est l'ensemble des méthodes et des techniques d'enseignement destinées à assurer, dans les meilleures conditions possibles, la transmission ou l'appropriation du savoir, en fonction des données de la psychologie et de la physiologie de l'apprenant.

Didactique : c'est la science qui étudie, pour un domaine particulier, les phénomènes d'enseignement, les conditions de la transmission de la culture propre à une institution et les conditions de l'acquisition de connaissances par un apprenant.

IV.2. Aspect didactique

L'approche par compétence (APC) progressivement installée dans l'enseignement secondaire est actuellement en pleine expansion. Elle se donne pour objectif d'inculquer aux apprenants non seulement des connaissances mais surtout des compétences afin de faire d'eux dès le secondaire, des citoyens actifs, aptes à s'intégrer et à s'épanouir dans la société actuelle en perpétuelle évolution. Cependant, cette approche n'est pas encore appliquée dans toutes les classes y compris en 2nde où l'approche par objectif (OPO) est encore opérationnelle.

La partie II du programme de la classe de 2nde intitulée <<LES SOLS ET LA PRODUCTION PRIMAIRE>> initie les élèves de cette classe à la notion du sol et à l'apport de ce dernier dans la production végétale. A l'issue de ces leçons l'élève sera mieux outillé pour apporter sa contribution à la préservation et à la fertilité du sol pour une agriculture biologiques en voie d'expansion actuellement. C'est pourquoi dans cette partie nous présenterons la fiche pédagogique d'une leçon en relation avec le thème de ce mémoire et portant sur le chapitre intitulé <<LE ROLE DU SOL DANS LA PRODUCTION PRIMAIRE>> Cette fiche vise de manière spécifique, à montrer avec efficacité, l'apport des champignons mycorhiziens du sol notamment les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) à l'agriculture biologique afin qu'ils soient dès lors des acteurs et des promoteurs de cette forme d'agriculture encore peut développer dans la société Camerounaise actuelle.

FICHE DE PREPARATION D'UNE LEÇON DE SVTEEHB

Etablissement :	Lycée et collèges du Cameroun	NKOUNGA TOGUE WILLIAME	
Partie :	Les sols et la production primaire	Matricule : 10S0187	Classe: 2nd C
		Contact: 670390792 / 655942180	
Chapitre:	Le rôle du sol dans la production primaire	Date :	
Titre de la leçon :	L'action des champignons mycorhiziens du sol dans l'agriculture biologique	Classe :	2 nd C
		Effectif :	Totaux : G : F :
		Durée :	55 mn
		Période :	
Objectif Pédagogique Opérationnels :	<p>Objectifs pédagogiques opérationnels : A l'issue de cette leçon, l'élève de la classe de 2nd C sera capable à partir de l'exploitation des documents, du vécu quotidien :</p> <ul style="list-style-type: none"> - D'identifier les types de champignons mycorhiziens présents dans le sol - Donner l'importance des champignons mycorhiziens dans la production végétale 		

ETAPE	Objectifs Pédagogiques Intermédiaire s (O.P.O.I)	Contenus Spécifiques aux O.P.O.I.	Matériels ou Supports Didactiques	Activités D'enseignement /apprentissage	Evaluation de l'atteinte des OPOI	DUREE
INTRODUCTION	1. Etablir le contrat professeur-élèves	- identifier les types de champignons mycorhiziens présents dans le sol - donner l'importance des champignons mycorhiziens dans la production végétale	Programme officiel de SVTEEHB	-Ecriture du titre de la leçon au tableau ; -Communication des objectifs aux apprenants ; -vérifier la prise de notes par les apprenants		15 minutes
	2. Vérifier les prérequis : mobiliser les ressources (savoir-faire, savoir-être)	-un champignon est un organisme eucaryote du règne des fongiques et donc la reproduction se fait par le biais de spores. - biofertilisant : désigne un fertilisant d'origine biologique qui permet d'accroître le rendement agricole - symbiose : association obligatoire à bénéfice réciproque entre deux êtres vivants	-Cours et apprentissages précédents -vécu quotidien		-définir champignon -définir biofertilisant -définir symbiose	
	3. déterminer l'intérêt de la leçon	-prendre connaissance de l'apport indéniable des champignons mycorhiziens dans l'augmentation du rendement de la production végétale	Vécu quotidien	Brainstorming / échanges		
	4. Formuler le(s) problème(s) scientifiques et émettre les hypothèses	Exploitation de la planche Problème scientifique : quelles sont les champignons du sol indispensable pour la production végétale ? Quel est leurs rôles dans la production végétale ?	Planche	-demande aux apprenants de prendre chacun sa planche ; -après une brève observation de la planche , pose les questions bien dirigées selon les objectifs à atteindre.	-se servir du questionnaire dressé à la suite de la planche en liaison avec les différents	

		<p>Hypothèse attendue des élèves : les champignons endomycorhiziens et ectomycorhiziens.</p> <p>Ils permettent la nutrition minérale et hydrique ainsi que la protection de leur plante hôte contre les stress biotiques et abiotiques.</p>		<ul style="list-style-type: none"> - les élèves répondent aux questions ; - s'assurer que les apprenants identifient les problèmes scientifiques ; -proposition des hypothèses vérifiables par les apprenants. 	documents que porte la planche	
DEVELOPPEMENT	-	<p>I. les principaux types de champignons mycorhiziens</p> <p>Les champignons mycorhizien ont la particularité de s'associer de manière symbiotique aux plantes. Selon le type de structure mise en place après la liaison, on distingue deux principaux types de champignons mycorhiziens.</p> <p>I.1. Les champignons à vocation ectomycorhizienne</p> <p>Les champignons à vocation ectomycorhizienne sont ceux qui forment des ectomycorhizes avec leurs hôtes. Ce type de mycorhizes est plus présent en milieux forestier où sont présentes plusieurs espèces ligneuses, et ne concerne que 3% des végétaux en générale et 13 à 15% des plantes vasculaire en particulier. Ils se développent essentiellement autour de la racine, en formant un manchon mycélien (le manteau) à partir duquel, se</p>	- document 1 et 2	<ul style="list-style-type: none"> -demande aux apprenants de prendre la planche et d'observer les documents 1 et 2; -pose des questions pour amener à identifier les types de champignon mycorhizien présents dans le sol. 	<p>En vous basant sur la planche :</p> <ul style="list-style-type: none"> -relever les principaux types de champignons mycorhiziens du sol. Sur la base de leurs structures caractéristiques. 	35 minutes

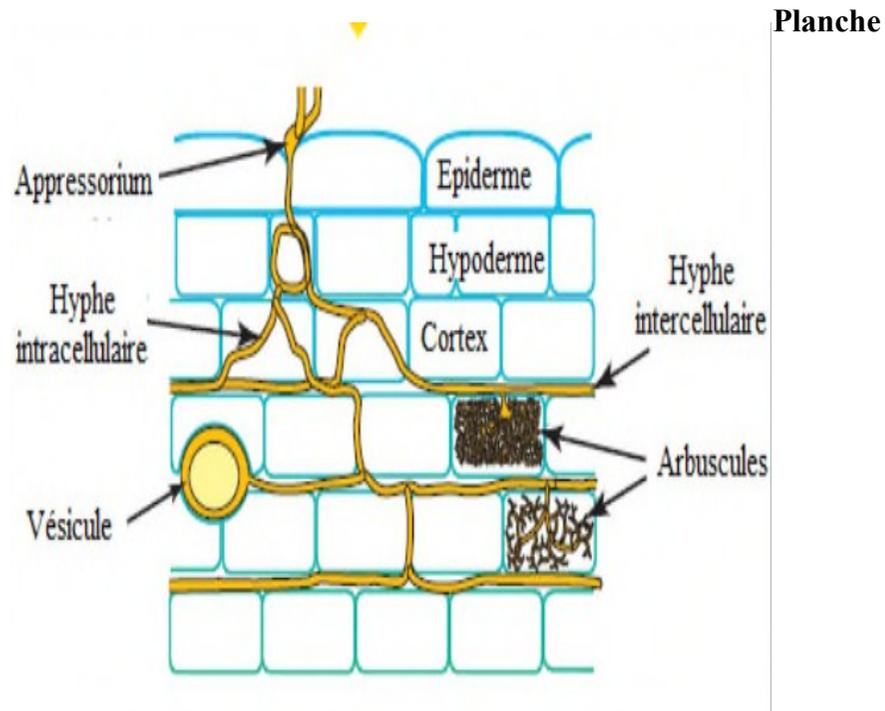
<p>-donner les conséquences de ces médications.</p>	<p>développent des hyphes qui s'insèrent entre les cellules corticales de la racine (réseau de Hartig). Ce groupe de champignons compte plus de 5000 espèces. Exemple : les espèces du genre <i>Boletus</i>, <i>Russula</i>, <i>Laccaria</i>, <i>Tuber</i> et <i>Elaphomyces</i></p> <p>I.2. Les champignons à vocation endomycorhiziens Les champignons à vocation endomycorhizienne se caractérisées par l'absence de manchon mycélien externe et par la pénétration des hyphes fongiques dans les cellules corticales. Ce sont les plus nombreux dans la nature. Ce groupe est dominé par les champignons mycorhiziens dotés de structures particulières que sont les arbuscules et les vésicules. ils colonisent plus de 80% des végétaux et plus de 90% des végétaux vasculaire comme le macabo, le manioc, etc. Exemple : <i>Glomus intraradices</i>, <i>Glomus mosseae</i> et <i>Gigaspora margarita</i>.</p> <p>II. Importances des champignons mycorhiziens Les champignons mycorhizien assurent la nutrition hydrique et minérale notamment en phosphore(P) en azote (N) et en oligoélément. Le phosphore est un</p>	<p>Document 3 et 4</p>	<p>-demande aux apprenants de prendre à nouveau la planche</p>	<p>- donner les principales caractéristiques structurales de chaque type de champignon mycorhizien.</p>	
---	--	------------------------	---	---	--

		<p>facteur limitant dans la production végétale. En outre, ils jouent un rôle protecteur contre certains pathogènes. En effet, les champignons peuvent grâce à leur réseau d'hyphes mycéliens, augmenter le volume du sol exploité par les racines des plantes, minéraliser les éléments minéraux, les rendant ainsi disponible pour les végétaux. En outre, les champignons mycorhiziens protègent les plantes hôtes contre le stress biotique et abiotique.</p>		<p>-pose des questions pour les amener à Ressortir les atouts indéniables des champignons mycorhiziens sur la production végétale en générale et 'agriculture biologique en particulier.</p>	<p>-donner l'importance des champignons mycorhiziens dans la production végétale</p>	
CONCLUSION	<p>Synthèse : Les CM sont pour la plus part à vocation endomycorhizienne. Ils sont pour la plante, des biofertilisants, des bio-régulateurs et des bio-protecteurs. Ainsi leur introduction dans les régions de production vise l'obtention de bénéfices relatifs à la fois à la production et à la protection des végétaux d'une part et à la protection de l'environnement d'autre part.</p>				<p>- citer les types de CM présents dans le sol et donner leurs apports dans l'agriculture biologique.</p>	5minutes

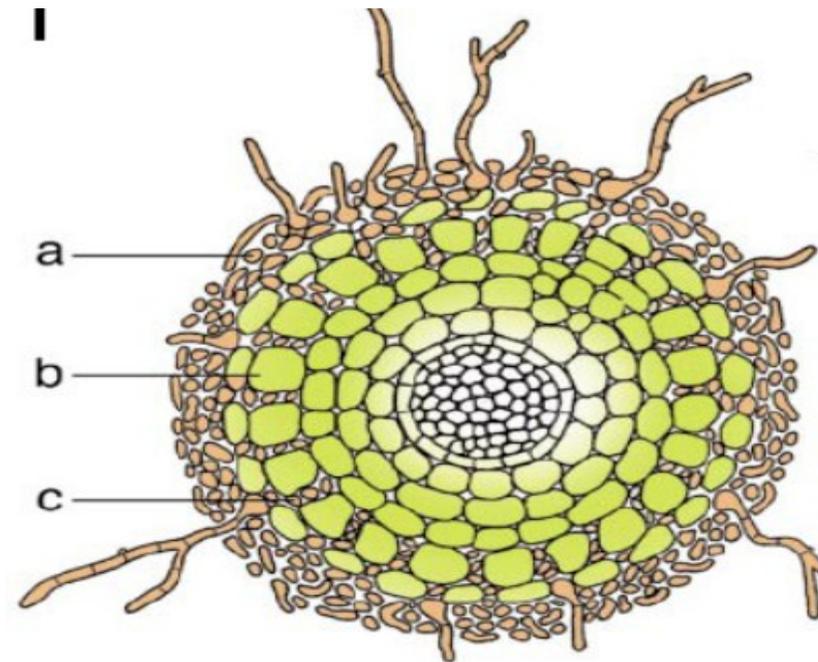
REFERENCE :

- Programme officiel ;
- Livre science de la Vie et de la Terre 2ndS collection Bordas 1993
- livre biologie 2nd collection Bordas 1987
- Augé R.M., Toler H.D. & Saxton A.M. (2015) Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza*, 25: 13-24.
- Abbas Y. (2014) Microorganismes de la rhizosphère des Tétracéales : un outil pour optimiser la régénération assistée du *Tetraclinis articulata* Vahl. Master. Thèse de doctorat, université mohammed V, faculté des sciences, Rabat, 177 p.

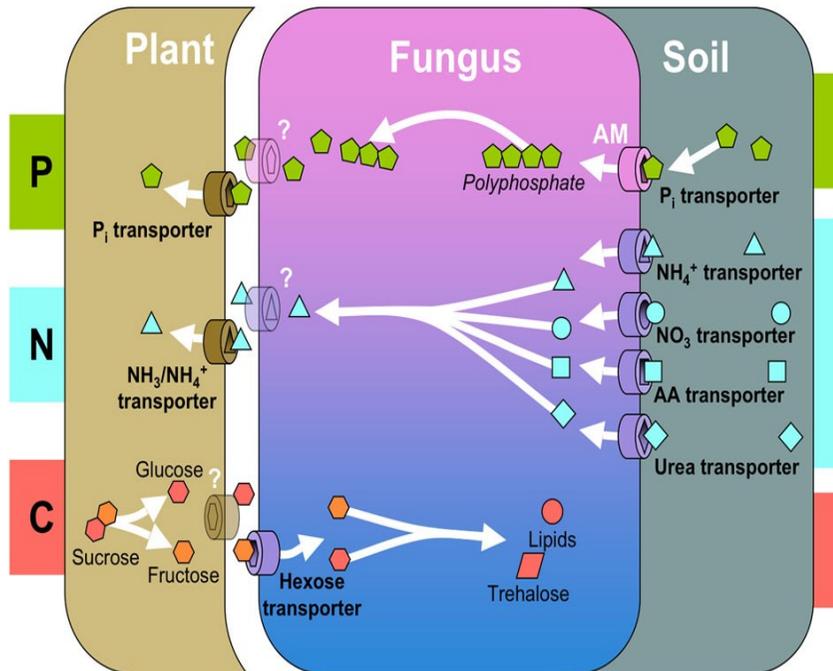
-



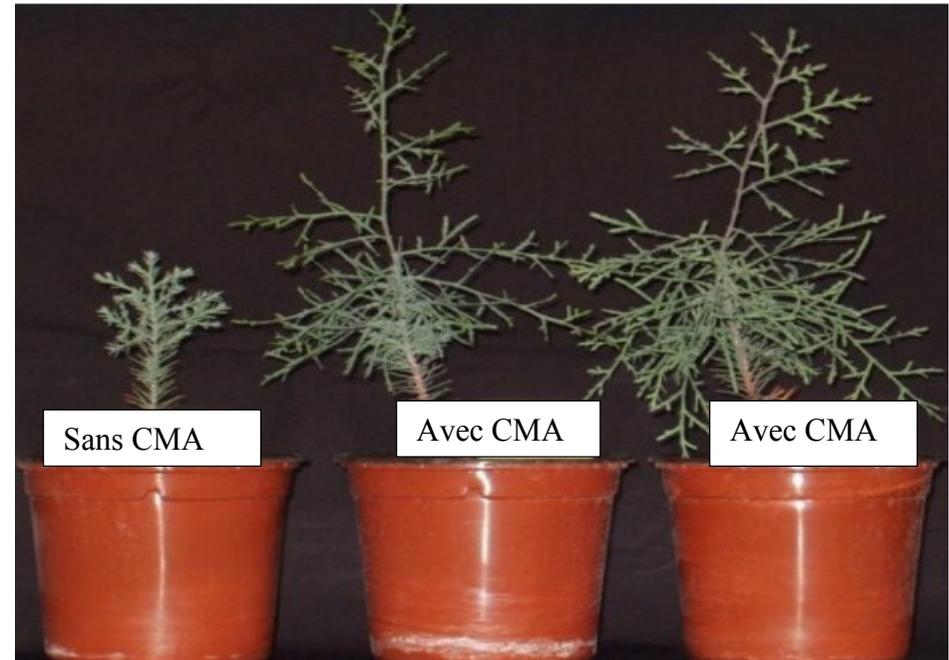
Document 1. Structures caractéristiques des champignons à vocation endomycorhizienne



Document 2. Structures caractéristiques des champignons ectomycorhiziens Filament extra-racinaire (a), cellule racinaire



Document 3. Symbiose mutualiste entre CMA et plantes



document 4. Importance des CMA pour la croissance végétale

- 1)-analyser chacun des documents ci-dessus
- 2)- à base des documents 1 et 2, relever les structures dérivant de chaque type de champignons mycorhiziens
- 3)- à partir des documents 3 et 3 dire en quoi les champignons mycorhiziens sont-ils importants pour les plantes qu'ils colonisent ?
- 4)-Pouvons-nous voir ces champignons comme des fertilisant biologiques ? Justifier ?

CHAPITRE V : CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION

Le présent travail avait pour objectif d'évaluer le statut mycorhizien de la rhizosphère du macabo blanc dans la région du centre Cameroun. Les paramètres de mycorhization dont la fréquence de mycorhization et l'intensité globale de mycorhization ; les paramètres morphologiques de croissance dont le nombre moyen de feuilles et la taille moyenne des plants ; un paramètre physiologique dont la teneur en chlorophylle totale et les paramètres biochimiques dont la teneur en acides aminés totaux, en proline et en phénols ont été évalués. Des résultats obtenus, il ressort que :

Aucun site n'a pu atteindre 100% de mycorhization. En effet, la fréquence de mycorhization la plus élevée (75%) a été obtenue à Ahala et la plus petite (47%) à Nkolbisson. La plus grande intensité globale de mycorhization est largement supérieure à 100% et est de 330% obtenue à Ahala contre 11,21%, la plus basse obtenue à Soa. Par ailleurs, seules les structures caractéristiques des endomycorhizes ont été mise en évidence dans les racines quel que soit le site de recolte. Par conséquent le macabo blanc apparaît non seulement comme plante fortement mycotrophe, mais aussi comme une espèce à vocation arbusculaire et vésiculaire.

Les paramètres morphologiques de croissance à savoir le nombre moyen de feuilles et la taille moyenne des plants de macabo blanc n'ont pas été significativement influencés par la mycorhization. Il en est de même quant à l'effet de la mycorhization sur la teneur en chlorophylle totale alors que les teneurs en acides aminés totaux, en proline et en phénols ont été influencées par la mycorhization notamment lorsqu'elle est forte.

Le macabo établit de façon naturelle la symbiose mycorhizienne avec les souches indigènes de champignons mycorhiziens à arbuscules se trouvant naturellement dans le sol. La mycorhization apparaît ainsi comme une réalité écologique pour le macabo. Fort des résultats obtenus, l'intérêt se trouve haussé quant à la mise en application effective d'une agriculture biologique, à base des champignons mycorhiziens à arbuscules indigènes du sol.

PERSPECTIVES

Dans le souci d'améliorer ce travail il serait complémentaire et judicieux :

- évaluer la diversité des champignons mycorhiziens présents au niveau de la rhizosphère du macabo blanc afin d'avoir une idée sur le mycotype de la rhizosphère de ce cultivar;

- évaluer le potentiel mycorhizogène des agrosystèmes du macabo dans la région du Centre afin d'envisager un possible ajustement;
- évaluer les statut mycorhiziens des trois cultivars du macabo au Cameroun afin d'avoir la totalité des informations nécessaires pour promouvoir l'agriculture biologique des trois cultivars dans les agrosystèmes.

-

BIBLIOGRAPHIE

- Abbas Y. (2014) Microorganismes de la rhizosphère des Tétracélinées : un outil pour optimiser la régénération assistée du *Tetradiclis articulata* Vahl. Master. Thèse de doctorat, université Mohammed V, faculté des sciences, Rabat, 177 p.
- Agueguia A., Fontem D. A., Bikomo R., Mboua J.C., Mouen M., Ndana X., Tchuango M., Zok S. (2000) Les plantes à racines et à tubercules en Afrique : une contribution au développement des technologies de récolte et après récolte. Bell A., Muck O et Schuler. (Eds) GTZ GmbH. 385 pp. et application pratiques. Congrès international de biochimie. Agadir 17-21.
- Anyiro C.O., Osondu C.K., Ezech C.I. and Akabueze I.C. (2013) Resource-use Efficiency of Rural Women Smallholder Cocoyam Farmers in Onitsha Agricultural Zone of Anambra, Nigeria. Research Web Pub 1(2) 12-17.
- Alamu S. and McDavid C.R. (1978) Production of flowering in edible aroids by gibberellic acid. Tropical Agriculture. 55: 81-86.
- Arnon D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in beta vulgaris. Plant physiology 24: 1-15.
- Auge R.M. (2001) Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza, 11: 3-42.
- Augé R.M., Toler H.D. & Saxton A.M. (2015) Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. Mycorrhiza, 25: 13-24.
- Bárzana G., Aroca R., Bienert G.P., Chaumont F. & Ruiz-Lozano J.M. (2014) New insights into the regulation of aquaporins by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in maize plants under drought stress and possible implications for plant performance. Molecular Plant-Microbe Interactions, 27: 349-363.
- Bearden B.N. and Petersen L. (2000) Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and aggregate stability of a vertisol. Plant Soil 218: 173-183.
- Bell et al. (2000) Plant cell wall proteins. Annual Review of Plant Molecular Biology 49:281-309

- Benjelloun S., El Harchli E.H., Amrani Joutei K., El Ghachtouli N., Fikri Benbrahim K., et El Yamani J. (2014) Etude De L'importance De La Mycorhization Dans La Synthèse Des Composés Phénoliques Chez Le Maïs (*Zea mays* L.) En Condition De Stress Hydrique. International Journal of Engineering and Science Vol.04 12: 43- 49.
- Beta T., Nam S., Dexter J. E. et Sapirstein H. D. (2005) Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions. Cereal chemistry. pp 390-393.
- BI Voko D.R.R., Ahonzo-Niamke S. L. and Zeze A. (2013) Impact des propriétés physicochimiques des sols de culture du manioc sur l'abondance et la diversité des communautés de champignons mycorhiziens à arbuscules dans la zone agroécologique d'azaguie, sud-est de la côte d'ivoire. Agronomie Africaine 25 (3):251 – 264.
- Bon M.C., Gendraud M. and Franclet. A. (1988) Role of phenolic compounds on micropropagation of juvenile and mature clones of *Sesquiodendron giganteum*: influence of activated charcoal. Science Horticulture. 34:283-291.
- Boudjecko T. (2003) Quelques indications de la résistance dans la relation parasitaire *Xanthosoma sagittifolium* (macabo)/ *Pythium myriotylum*. Thèse de Doctorat PhD de biochimie Yaoundé I- Cameroun / Université de Rouen – France.104 p.
- Boyle M. and Paul E.A. (1988) Vesicular-arbuscular Mycorrhizal associations with barley on sewage-amended plots. Soil Biology.Biochemical, 20: 945-948.
- Bown D. (2000) Aroids. Plants of the Arum Family. 2nd Edition. Timber Press. Portland, Oregon, USA. 392 p.
- Bruneton J., (1993) Pharmacognosie et phytochimie plantes médicinales. Lavoisier Paris, France. pp 278-279.
- Brunt A.A., Crabtree K., Dallwitz, M.J., Gibbs, A.J., Watson L., Zurcher E.J. (1996) Viruses of plants: descriptions and lists from the VIDE database. United Kingdom: CAB International.
- Buwalda J.G., Stribley D.P. and Tinker P.B. (1983) Increased uptake of Bromide and Chloride by plants infected with VA Mycorrhizas. New Phytol 93: 217-225.
- Caburet A., Lebot V., Rafaillac P., Vernier P. (2007) Les autres plantes amylacées. *In*: Mémento de l'agronome. CIRAD/GRET, Jouve, Paris, France, pp 831-864.

Chen J., Chen J., Chen J. & Adams M.J. (2001) Molecular characterization of an isolate of Dasheen mosaic virus from *Zantedeschia aethiopica* in China and comparisons in the genus Potyvirus. *Archives of Virology* 146: 1821-1829.

DeMars B.D. and Broener R. E.J. (1995) A simple method for observing VAM with suggestions for designing class activities. *J. of Biological Education*, 29 (3): 209-214.

Díaz G. and Honrubia M. (1993) Arbuscular mycorrhiza on *Tetraclinis articulata* (Cupressaceae): development of mycorrhizal colonization and effect of fertilization and inoculation. *Agronomie* 13: 267-274.

Diop T.A., Planchette C. and Strullu D. G. (1994) In vitro culture of sheared Mycorrhizal roots. *Symbiosis*. 17: 217-227.

Diouf M., Boureima S. et Diop A. (2009) Réponses de deux variétés de sésame à l'inoculation avec des champignons mycorhiziens arbusculaires candidats. *Agronomie Africaine* 21 (1) : 37-47.

FAO (2008) FAOSTAT database. Food and Agriculture of Organization of the United Nation. [Http:// apps Fao.org/page collections subset –agriculture](http://apps.fao.org/page/collections/subset-agriculture). Visité le 03 mars 2016.

Gianinazzi-pearson V. and Diem H.G. (1982) Endomycorrhizae in the tropics. In: *Microbiology of Tropical Soils and Plant Productivity* (Dommergues Y.R. and Diem H.G. Eds), Martinus Nijhoff / Dr Junk W. Publishers 209-251.

Gaspard (1988) Aspects physiologiques de l'organogenèse *in vitro*: culture des cellules, tissus et organes végétaux. *Press. Polytechnique, Rom.* 6: 69-86.

Gouraud C., Giroux J.F., Mesléard F., Sylvain G S. & Laurent D. (2008) Pas de mycorhize sur le scirpe maritime (*schoenoplectusmaritimus*) en Camargue. *Review. Écology. (Terre Vie)* 63: 279-282.

Govindarajulu M., Pfeffer P.E., Jin H., Abubaker J. Douds D.D., Allen J.W., Bucking H., Lammers P.J. And Shachar-Hill Y. (2005) Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Nature* 435 (7043):819-23.

Hamel D. and Planchette C. (2007) *Mycorrhizae in crop production*. Street, Binghamton, NY, Haworth and agricultural product press, New York 326 p.

Hodge A., Campbell C. D., Fitter A. H. (2001) An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature* 413: 297–299.

Ismael Y., McCormick S. and Hijri M. (2013) *The arbuscular mycorrhizal fungus, Glomus irregular, controls the mycotoxin production of fusarium sambucinum in pathogenesis of potato*. Yaacov Okon edition, federation of European Microbiological societies. 6. 348 p.

Ivancic A., Lebot V. (1999) Botany and genetics of New Caledonian wild taro, *Colocasia esculenta*. *Pacific Science* 53(3): 273-285.

Ivancic A., Lebot V. (2000) The genetics and breeding of taro. CIRAD, (eds) Paris, France. 194 p.

Janos D. P. (1983) Tropical mycorrhizas, nutrient cycling and plant growth. *In*: Sutton SL, Whitmore TC, Chadwick AC (eds.), *Tropical Rain Forest: Ecology and Management*, Oxford, Blackwell Scientific Publications, p. 337 à 345.

Joner E.J. et Leyval C. (2003) Rhizosphere gradients of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) dissipation in two industrial soils and the impact of arbuscular mycorrhiza. *Environmental Science & Technology*, 37: 2371-2375.

Jung SC., Martinez-Medina A., Lopez-Raez J.A and Pozo M.J. (2012) Mycorrhiza-induced Resistance and Priming of plant defenses. *Journal of chemical Ecology*.38:651-664.

Kabore D. (2004) Etude des caractéristiques nutritionnelles et technologiques du tabouchi (*Xanthosoma sagittifolium*). Mémoire de DEA: Sciences alimentaires et nutritionnelles au DBM. Université d'Ouagadougou (Burkina Faso), 51 p.

Klironomos J.N., Moutoglis P., Kendrick B.W. and Widden P. (1993) A comparison of spatial heterogeneity of VAM fungi in two maple-forest soils. *Can Journal. Botanic.*, 71: 1472- 1480.

Krief S. (2003) Métabolites secondaires des plantes et comportement animal, thèse doctorat, muséum national d'histoire naturelle. 32p.

Le Tacon F. (1985) Les Mycorhizes : une coopération entre plantes et champignons. *La recherche* n°166, pp. 624–632.

Marigo G. (1973) Sur une méthode de fractionnement et d'estimation des composés phénoliques chez les végétaux. *Analisis*, 2:10-110.

- Marschner H. (1995) Function of mineral nutrients: Micronutrients. In: Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press, London, UK: 347–364
- Mboubda H.D., Fotso, Djogoue P.F., Omokolo D.N., El Hadrami I., Boudjeko T. (2010) Benzo-(1,2,3)-thiadiazole-7-carbothioic S-methyl ester (BTH) stimulates defense reactions in *Xanthosoma sagittifolium*. *Phytoparasitica* 38:71-79.
- Mekkaoui M. (2015) Effet du stress hydrique et la mycorhization arbusculaire sur le comportement biochimique du prunier. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master sciences et techniques. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, 70 p
- Millen M.C., Juniper S. and Abbott L. (1998) Inhibition of hyphal growth of VAM containing sodium chloride of infection from fungus in soils limits the spread spores. *Soil Biol. Biochem.*, 30 (13): 1639-1646.
- Monneveux P. et Nemmar M. (1986) Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* desf.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6: 583-590.
- Montaldo A. (1991) Cultivo de raíces y tubérculos tropicales. IICA, 2da Edición. San José, Costa Rica. 407 p.
- Morandi D. (1987) Mycorrhizae, Nematodes, Phosphorus and Phytoalexins on Soybean. In: *Mycorrhizae in the next decade, practical applications and research priorities* (Sylvia D.M., Hung L.L., Graham J.H. Eds). Compte rendu du 7ème NACOM (North American Conference on Mycorrhizae). 212 p.
- Morandi D. (1989) Effect of xenobiotics on endomycorrhizal infection and phytoalexin accumulation in soybean roots. *Plants Physiology and Biochemical* 27 (5): 697-701.
- Morot-Gaudry J.F., Job D. and Lea P.J. (2001) Amino acid metabolism. In *Plant Nitrogen* J Lea, JF Morot-Gaudry, eds, Plant Nitrogen. Springer-Verlag, New York, pp 167–211.
- Mousain D. (1991) Ectomycorhization et tolérance des arbres à la sécheresse: Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. Groupe d'Etude de l'Arbre, Ed. John Libbey Eurotext, Paris. pp 167-174.
- Mousain D., Bonnin C., Mauré L., Scheromm P., El Karkouri K., Cleyet-Marel J. C., Argillier, C. & Sardin T. (1996) A strategy for quality improvement of forest seedlings and Mediterranean

reafforestation by means of controlled mycorrhizal infection in nurseries. *Bocconea* 5: pp 375-387. ISSN 1120-4060.

Ngouo L.V. (1988) Contribution à l'étude du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*) du Cameroun : Identification et analyse de quelques obstacles à la production d'hybrides. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle. Université de Yaoundé I. 128p.

Nzietchueng S. (1985) Genre *Xanthosoma* (macabo) et contraintes de production : cas particulier de la pourriture racinaire causée par *pythium myriothylum* au Cameroun. Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Yaoundé I. 253 p.

Ober E.S., Sharp R.E. (1994) Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentials. *Plant Physiology*, 105: 981-987.

Olivry J.C. (1986) Fleuves et rivières du Cameroun. Collection Monographies Hydrologiques de l'ORSTOM 9, Paris, France. 23 p.

Omokolo N.D., Boudjeko T., Tsafack T. (2003) *In Vitro* tuberization of *Xanthosoma sagittifolium* L. Schott: effects of phytohormones, sucrose, nitrogen and photoperiod. *Science Horticulture*. 98: 337-345.

Onguene N.A., Tsimi J.P.M., and Balla M.J.E. (2002) Statut mycorhizien de l'okoumé (*Aucoumea klaineana* Pierre) en régénération artificielle au sud Cameroun. *tropicultura*, 20 (3) : 104-108.

Onopkise O. U., Wutoh J. C., Ndzana X., Tambong M., Mekoba., Sama A. E., Nyochembeng A., Agueguia S., Nzeitchueng J. G. and Burns M. (1999) Evaluation of cocoyam germoplasm in Cameroun. In perspective on new crops and new uses. (Eds). *J. Janick perspective of new crops and new uses*, ASHS Press, Alexandria, VA. 394-396.

Onwueme I.C. (1978) The tropical tuber crops, yams cassava, sweet potato and cocoyams. Chichester, John Wiley. United Kingdom, 92p.

Onyenweaku C.E. Okye B.C. (2007) Technical efficiency of small-holder cocoyam farmers in Anambra State Nigeria. *International Journal of Agricultural and Rural Development* 9: 1-6.

Opik M., Moora M., Liira J., Zobel M. (2006) Composition of root-colonizing arbuscular mycorrhizal fungal communities in different ecosystems around the globe. *Journal of Ecology* 94: 778-790.

- Palenzuela J., Ferrol N., Boller T., Azcón-Aguilar C. and Oehl F. (2008) *Otospora bareai*, a new fungal species in the Glomeromycetes from a dolomitic shrub land in Sierra de Baza National Park (Granada, Spain). *Mycologia*, 100(2): 296-305.
- Perneel M., Tambong J.T, Abiobo A., Floren C., Sabario F., Leveque A., Hofte M. (2006) Intra-specific variability of *Pythium myriotylum* isolated from cocoyam and other host crops. *Mycol Res* 110:583–593.
- Phillips J.M. and Hayman D.S. (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, 55: 158-161.
- Plenchette C., Clermont-Dauphin C., Meynard J.M. et Fortin J. A. (2005) Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Canadian journal of plant science*, vol.65. pp 31-40.
- Plowman T. (1969) Folk uses of new world aroids. *Economic. Botanic.* 23 (2), 97-122.
- Pozo M.J., López-Ráez J.A., Azcón C. & García-Garrido J.M. (2015) Phytohormones as integrators of environmental signals in the regulation of mycorrhizal symbioses. *New Phytologist*, 205: 1431-1436.
- Purseglove J.W. (1985) *Tropical crops: Monocotyledons Disocorea*, Longmans London, UK. 97-117.
- Radi M., Hamdali H., Meddich L. A., Ouahmane, Hafidi M. (2014) The mycorrhizal potential of urban soils in semi-arid zones and tolerance of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) to water deficit. *Environment. Science.* 5(6): 1957-1967.
- Reyes Castro G., Nyman M. and Ronnberg- Wastljung A.C. (2005) Agronomic performance of three cocoyam (*Xanthosomaviolaceum* Schott) genotypes grown in Nicaragua. *Euphytica* 142: 265-272.
- Saha A. K. and Brewer C. F. (1994) .Determination of the concentration of oligosaccharides, complex type carbohydrates and glycoproteins using the phenol-sulfuric acid method. *Carbohydrate. Res.*, 254: 157-167.
- Sanon A. A. (2005) Rôle des champignons mycorhiziens à arbuscules dans les mécanismes régissant la co-existence entre espèces végétales. Mémoire en vue d'obtenir le D.E.A. National de science du sol. université henri poincare – Nancy I, 28p.

- Schafer J. L. (1999) Amélioration de culture du macabo, *Xanthosoma sagittifolium* L. Schott en pays Bamiléké (Ouest-Cameroun). Cahier d'Agriculture 8: 9-20.
- Schenck N.C and Kellan M.K. (1978) The influence of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae on disease development. Gainesville, Univ. Florida, bulletin technique n° 789: 16p.
- Schussler A., Schwarzott D. and Walker C. (2001) A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. Mycol Res, 105: 1413-1421.
- Schüßler A., Gehric H., Schwarzott D. and Walker, C. (2001) Analysis of partial *Glomales* SSU rRNA gene sequences: implications for primer design and phylogeny. Mycology. Res. 1: 5-15.
- Sefa-Dedeh S. and Agyir- Sackey K.E. (2004) Chemical composition and effect of processing on oxalate content of cocoyam *Xanthosomasagittifolium* and *Colocasiaesculentacormels*. Food chemical, 85: 479-487.
- Senés-Guerrero C. & Schüßler A. (2015) A conserved arbuscular mycorrhizal fungal core-species community colonizes potato roots in the Andes. Fungal Diversity. 17p
- Shukla A., Kumar A., JHA A., Chaturvedi O.P., Prasad R. and Gupta A. (2009) Effects of shade on arbuscular mycorrhizal colonization and growth of crops and tree seedlings in Central India. Agroforestry System, 76: 95 - 109.
- Sieverding E. (1988) Effect of soil temperature on performance of different VA mycorrhizal isolates with cassava. Angewandte Botanik. 62 (6): 295 - 300.
- Smith S.E., Read D.J. (1997) Mycorrhizal symbiosis. Second edition. Academic Press; Harcourt Brace and Company Publishers, 605 p.
- Smith S.E. Smith F.A. (2012) Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. Mycologia, 104 (1) 1-13.
- Stehle H. (1949) Les choux Caraïbes des petites Antilles Françaises. Rev. Int. Bot. Appl. Agric. Trop. 26 :283-284.
- Strullu D.G. (1990) Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées. Collection TEC & DOC, Lavoisier, Paris, 250 p.

- Strullu D G., Diop T. et Plenchette C. (1997) Réalisation de collections in vitro de *Glomus intraradices* (schenck et Smith) et *Glomus versiforme* (Karsten et Berch) et proposition d'un cycle de développement C.R. Acad .Sci.Paris, Sciences de la vie/Life Sciences, 320: 41-47.
- Strullu, D.G. (1991) Les mycorhizes des arbres et des plantes cultivées. Techniques et Documentation Lavoisier. Paris. 242 p.
- Tambong, J.T., Sapra, V.T. & Garton, S. (1998) In vitro induction of tetraploids in colchicine-treated cocoyam plantlets. Euphytica 104: 191-197.
- Tambong, J.T., Poppe, J. & Höfte, M. (1999) Pathogenicity, electrophoretic characterization and in planta detection of the cocoyam root rot disease pathogen, *Pythium myriotylum*. European Journal of Plant Pathology 105: 597-607.
- Tedersoo L. & Nara, K. (2010) General latitudinal gradient of biodiversity is reversed in ectomycorrhizal fungi. New Phytologist, 185: 351-354.
- Tinker P.B. (1984). The role of microorganisms in mediating and facilitating the uptake of plant nutrients from soil. Plant Soil, 76: 77-91.
- Trouvelot A., Kough J.L., Gianinazzi-Pearson, V. (1986) Mesure du taux de mycorhizations VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In : Physiological and genetical aspects of mycorrhizae, eds Gianinazzi-Pearson V, Gianinazzi S, INRA Presse, Paris, France, pp217-221.
- Vinayak K. et Bagyaraj D J. (1990) Vesicular-arbuscular mycorrhizae screened for troyer citrange. Biology and Fertility of Soils, 9: 311-314.
- Viaux Ph., Parat J. & Blal B. (2002) Les endomycorhizes, indicateurs de la qualité des sols ? Perspectives Agricoles, 277: 50-54.
- Wang B. & Qiu Y.L. (2006). Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. Mycorrhiza, 16: 299-363.
- Wright S.F. and Anderson, R.L. (2000) Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. Biology and Fertility of Soils 31: 249–253.

Zok S., Sama A.E., Nyochembeng L., Tambong J.T., Ndzana X. and Wutoh J.G. (1998) Rapid multiplication of root and tuber crops through tissue culture in Cameroon. Cahiers d'Etudes et de Recherches Francophones/ Agricultures. 7 (1): 63-66.

Zougari-Elwedi B., Sanaa M., Labidi S. et Sahraoui L.H. (2012) Evaluation de l'impact de la mycorhization arbusculaire sur la nutrition minérale des plantules de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L. var. Deglet Nour). Etude et gestion des sols 19 (3, 4):193-202.

Xu T., Omokolo N.D., Tsala N.G and Ngonkeu M.E. (1995) Identification of the causal agent of cocoyam root rot disease in Cameroun. Acta Mycol. Sin. 14 (1): 37-45.

Yemm E. W. and Cocking E. C. (1955) The determination of amino acids with ninhydrin. *Analytica*, 80: 209-213

ANNEXES

Annexe 1 : Liste de quelques appareils utilisés et marque

Appareils	Marque
PH-mètre	Metrohm ; HANNA
Agitateur magnétique	Bunsen MC-8
vortex	Stuart
Réfrigérateur	Superser
Microscopes électronique	IVYMEN
Balance électronique	FX-300 ; KERN 572
Spectrophotomètre	JENWAY 6305
Plaque chauffante magnétique	Gallen Kamp

Annexe 2 : Verrerie et autres matériels

- Erlenmeyer 500 ml ; 250 ml ; 100 ml
- Becher 250 ml ; 500 ml ; 1000 ml
- Pipettes et micropipettes 5 ml ; 1 ml ; 10 ml ; 20 ml ; 50 ml et 50 μ l
- Eprouvette graduée 1000 ml ; 500 ml ; 100 ml
- Pincettes
- Baguette et barreau aimanté
- Tube à essai
- Papier aluminium

Annexe 3 : Analyse statistique de la teneur en acides aminés totaux entre les sites

Student-Newman-Keuls

VAR00011	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05			
		a	b	c	d
2,00	2	3,1099	6,2967	9,8022	20,3516
4,00	2				
1,00	2				
3,00	2				
Signification		1,000	1,000	1,000	1,000

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilisez la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 2,000.

Annexe 4 : quelques étapes cruciales lors de l'étude :



Prélèvement d'un plant en champ (A)



Prélèvement de la rhizosphère (B)



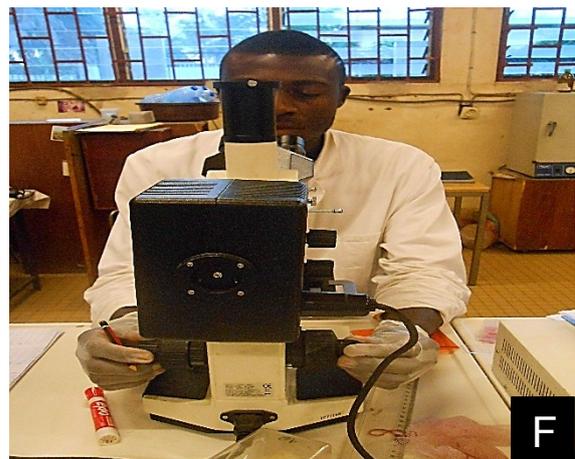
Rhizome avec les racines (C)



Fragments de racines colorés à la fuchsine (D)



Fragments de racines montés sur lame (E)



Observation microscopique des fragments (F)