

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
ECOLE NORMALE SUPERIEURE
DEPARTEMENT DE SCIENCES
BIOLOGIQUES



REPUBLIC OF CAMEROUN

Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I
HIGHER TEACHER TRAINING COLLEGE
DEPARTMENT OF BIOLOGICAL
SCIENCE

**Effet des mycorhizes sur la croissance du
macabo (*Xanthosoma sagittifolium* L.Schott), cultivar
blanc.**

Mémoire rédigé en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur de l'Enseignement Secondaire Général deuxième grade (Di.P.E.S. II)

Par :

KOUMPOUAM ELLEME Frank Igor
Licencié ès sciences

Sous la direction
Prof. NIEMENAK
Nicolas
Maître de
Conférences

Année Académique
2015-2016





AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire de Yaoundé I. Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : biblio.centrale.uyi@gmail.com

WARNING

This document is the fruit of an intense hard work defended and accepted before a jury and made available to the entire University of Yaounde I community. All intellectual property rights are reserved to the author. This implies proper citation and referencing when using this document.

On the other hand, any unlawful act, plagiarism, unauthorized duplication will lead to Penal pursuits.

Contact: biblio.centrale.uyi@gmail.com

DÉDICACE

À la mémoire de mon père
ELLEME ELLEME Jean

Et

Mes mamans NANGA
Marguritte et MOABOULOU
Christine

Christine

Marguritte et MOABOULOU

REMERCIEMENTS

Il existe des tâches qui s'accomplissent par la volonté et l'abnégation de celui qui les entreprend. Dès lors il n'y a nul besoin de recourir à une assistance extérieure. Mais quand il s'agit de mener une recherche universitaire comme celle que j'ai entreprise les ressources physiques, mentales et morales du chercheur ou du maître d'œuvre ne suffisent pas il faut donc recourir à l'assistance des personnes ressources. À ce propos je profite de l'occasion qui m'est offerte pour remercier :

- ✓ le Pr. NIEMENAK Nicolas pour avoir accepté de me diriger dans ce travail de recherche et d'avoir mis à ma disposition et sans condition tout le matériel de laboratoire dont j'ai eu besoin pour mener à bien ce travail ;
- ✓ le Pr. SONKE Bonaventure, Chef de Département des Sciences biologiques de l'École Normale Supérieure de Yaoundé ;
- ✓ le Pr. OMOKOLO NDOUMOU Denis, responsable du laboratoire (L.A.F. 314) ;
- ✓ Mme DJEUANI Astride Carole pour toutes ses orientations, son attention permanente, ses conseils éclairés et sa grande disponibilité tout au long de ce travail ;
- ✓ les enseignants du Département des Sciences Biologiques et du département des Sciences de l'Éducation de l'École Normale Supérieure de Yaoundé qui ont contribué à m'enrichir de connaissances utiles pour le métier d'enseignant de Lycées et Collèges;
- ✓ tous les camarades de Biologie V de la 54^e promotion de l'ENS, en particulier, LONMENE TAZO Arnaud ; TCHINDA FOKOUA Hervé pour leur soutien inconditionnel
- ✓ Tous les membres de notre équipe de recherche SOB N.I., NKOUNGA T.W., WADAWA J., BESSALA T., KENNE P., et METOPA. D. avec qui nous avons constitué une véritable « Dream-team ».
- ✓ Mes frères et sœurs Sr Nathalie KA'ABOURD, BIYEMBE Serge, BAM Christian, Fr ELLEME Gauthier, BAMPEL Enselme, NTSOUNA Sergeo pour tous leurs accompagnements multiforme.
- ✓ Ma fiancée MOUNGLA SOLE Marie-Paule pour tout son soutien morale ;
- ✓ Ma tante Yvone MPOUEL pour son soutien et ses conseils avisés ;
- ✓ Mon frère Co-chambrier DELI Albert, pour tout son soutien et son aide,
- ✓ mon ami et frère ABONG Levi pour tout son soutien durant ma formation,
- ✓ SM AMPIATOLE Narcisse pour tous ses encouragements et ses conseils
- ✓ Tous ceux qui de près ou de loin, ont œuvré à la réalisation de ce travail de recherche

Table des matières	Pages
DÉDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
ABSTRACT	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DE TABLEAUX	ix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : REVUE DE LITTÉRATURE	2
I.1. GENERALITES SUR <i>Xanthosoma Sagittifolium</i> (L) Schott	5
I.1.1. Origine Et Distribution Géographique	5
I.1.2. Taxonomie Et Diversité.....	5
I.1.3. Biologie Et Écologie.....	6
I.1.3.1. Biologie	6
I.1.3.1.1. Partie Aérienne	6
I.1.3.2. Écologie.....	8
I.1.4. Importances Du Macabo.....	8
I.1.4.1. Importances Économiques.....	8
I.1.5. Contraintes De Production	11
I.1.5.1. Les Maladies Causées Par Les Champignons	11
I.1.5.2. Maladies Causées Par Les Virus	12
I.1.5.3. Contraintes Liées Aux Insectes Ravageurs	13
I.1.6. Les Stratégies De Protection De <i>Xantosoma Sagittifolium</i> Contre Les Attaques.....	14
I.2. LES MYCORHIZES	14
I.2.1. Définition.....	14
I.2.2. Les Différents Types De Mycorhizes.....	14
I.2.2.1. Ectomycorhizes	15
I.2.4. Physiologie Des Mycorhizes	17
I.2.4.1. Absorption Du Phosphore Et D'autres Éléments Minéraux.....	17
I.2.4.2. Protection Contre Les Organismes Pathogènes.....	18
I.2.5. Symbiose Mycorhizienne	18
I.2.5.1. Les Apports De La Plante.....	18
I.2.5.2. Les Apports Des Champignons.....	18
CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES	20
II.1. MATERIELS.....	21
II.1.1. Matériel Végétal	21
II.1.2. Les Champignons Mycorhiziens	21
II.2. MÉTHODES	21
II.2.1. Préparation Et Culture Du Matériel Végétale.....	21
II.2.2. Mycorhization	22
II.2.3. Prise Des Paramètres	23
II.4. ANALYSES PHYSIOLOGIQUES ET BIOCHIMIQUES	25
II.4.2.1. Extraction Des Sucres Solubles Totaux Et Des Acides Aminés	26
II.4.2.2. Dosage Des Sucres Soluble Et Des Acides Aminés.....	26

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium* L.schott)

II.4.2.2.1. Dosage Des Sucres Solubles	26
II.4.2.2. Extraction Et Dosage De La Proline.....	28
CHAPITRE 3: RÉSULTATS ET DISCUSSION	31
III.1. RÉSULTATS	32
III.1.1. Paramètres De Croissance Chez Les Plantules De Macabo Mycorhizées Après 120 Jours De Culture	32
III.1.1.1. Évaluation Du Nombre De Feuilles Moyen Des Plantules De Macabo Au Cours Du Temps	32
III.1.1.2. Évaluation De La Taille Moyenne Des Plantules De Macabo Au Cours Du Temps	33
III.1.1.3. Évaluation De La Surface Foliaire Moyenne Chez Les Plantules De Macabo Au Cours Du Temps	35
III.1.1.4. Évaluation Du Nombre Moyen Des Racines Chez Les Plantules De Macabo Au Cours Du Temps	36
III.1.1.5. Aspect Des Plantules De Macabo Après 120 Jours De Mycorhization.....	38
III.1.2. Évaluation De La Mycorhization Au Cours De La Croissance.....	39
III.1.2.1. Fréquence De Mycorhization (%F).....	39
III.1.2.2. Intensité De De Mycorhization (%I Ou %M)	41
III.1.2. Analyses Histologique Des Racines Mycorhizées Chez Les Plantules De Macabo	42
III.1.2.3. Hyphes Mycorhiziens Chez Les Différents Traitements Au J120	44
III.2. Discussion	53
CHAPITRE 4: IMPLICATIONS DIDACTIQUES	54
CHAPITRE 5: CONCLUSION ET PERSPECTIVES	54
BIBLIOGRAPHIE	54
ANNEXES	54

ABSTRACT

This dissertation is on *Xanthosoma sagittifolium* which is a plant from tropical America. It is grown for its tuber, its abundance in starch and some nutritive elements it contain. The main objective of this work is to evaluate the effect of mycorrhizes (*Gigaspora margarita*; *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* and *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita*) in cocoyam growth.

The morphological analyses have shown that mycorrhized plants and those who received additional contribution in carbon have the foliaceous surfaces, height and an important number of roots than reference plants. It presents respectively maxima of $60,41 \pm 0,84 \text{ cm}^2$ for plants treated with *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita*; $18,35 \pm 0,95 \text{ cm}$ for plants treated with *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + source of carbon, and 30 ± 2 for plants treated with *Gigaspora margarita*.

The historical analysis reveal that toadstool *Gigaspora margarita* colonise quickly the explants of cocoyam with and important rate of mycorrhization of 81%. And when this rate is associated to *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita*, the intensity of mycorrhization is 47,1.

The biochemical analysis show that the maximal content in chlorophyll a and in chlorophyll b for plants treated with *G. margarita* + source of carbon in J30, $0,36 \pm 0.00 \text{ mg/g}$ of MF and $0,54 \pm 0.00 \text{ mg/g}$ of MF. The maximal concentrations in amino acid are $13,32 \pm 0,75 \text{ mg/g}$ of MF for plants treated with *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* in J60 and $19,65 \pm 0,73 \text{ mg/g}$ of MF for plants treated with *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* in J120 in leaves and roots respectively. The maximal concentrations in proline are $4,02 \pm 0,62 \text{ mg/g}$ of MF for plants treated with *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* and $5,37 \pm 0,04 \text{ mg/g}$ of MF for plants treated with *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + source of carbon in J120 in leaves and rhizomes respectively. The maximal concentrations in soluble sugars are $6,13 \pm 0,35 \text{ mg/g}$ of MF for plants treated with *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* + source of carbon in J60 and $6,67 \pm 0,17 \text{ mg/g}$ of MF for Reference + source of carbon in J30 contained leaves and rhizomes respectively.

Key words: *Xanthosoma sagittifolium* L. Schott; *Gigaspora margarita*, *Acaulospora tuberculata*, amino acid and soluble sugar.

LISTE DES ABREVIATIONS

DO	: Densité Optique
FAO	: Food Agriculture Organisation
IRAD	: Institut de Recherche Africain pour le Développement
MF	: Matière Fraîche
PVP	: Polyvinyl Pyrrolidone.

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1.Aspect du parenchyme amylacée des rhizomes primaire chez les trois cultivars de macabo	6
Figure 2. Morphologie de l'appareil aérien de <i>Xanthosoma sagittifolium</i>	7
Figure 3. Les différentes transformations que peuvent subir les tubercules de macabo pour la consommation	10
Figure 4. A) Cormes de macabo attaqués par <i>pythium myriotilum</i> B) Flétrissement des plants de macabo attaqués par <i>pythium myriotilum</i>	12
Figure 5. Feuille de macabo attaquée par <i>DsMV</i>	12
Figure 6. Les insectes ravageurs de <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (.....	13
Figure 7. Chenille de <i>meloidogyne spp</i>	14
Figure 8: Principaux types de mycorhizes représentés sur une coupe transversale de racine..	16
Figure 9 : Classification phylogénétique des champignons mycorhiziens.....	17
Figure 10. Macabo cultivar blanc après culture en laboratoire et mise et terre	21
Figure 11. Disposition des lots de macabo sous l'ombrière selon les traitements après la mycorhization.	22
Figure 12. Protocole de préparation des boutures de Macabo en laboratoire.	23
Figure 13. Montage des fragments de racine pour observation au microscope	24
Figure 14. Échelle de décompte du nombre d'hyphes mycorhiziens	25
Figure 15. Protocole d'extraction de la chlorophylle.....	25
Figure 16. Protocole d'extraction des acides aminés et des sucres solubles totaux.....	26
Figure 17: courbe d'étalonnage de sucres solubles.....	27
Figure 18: courbe d'étalonnage de la proline	29
Figure 19. Nombre de feuilles des plantules suivant les traitements en absence de source de carbone au cours du temps	32
Figure 20.Nombre de feuilles des plantules suivant les traitements en présence de la source de carbone au cours du temps	33
Figure 21. Taille moyenne des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps	34
Figure 22. Taille moyenne des plantules suivant les traitements en présence de la source de carbone au cours du temps.	34
Figure 23. Sur foliaire des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps.....	35
Figure 24. Sur foliaire des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps.....	36
Figure 25. . Nombre moyen de racine des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps.....	37
Figure 26. Nombre moyen de racine des plantules suivant les traitements en présence de la source de carbone au cours du temps.....	37
Figure.27. Aspect des plantules de macabo après 120 jours de mycorhization	38

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium* L.schott)

Figure 28. Fréquence de mycorhization des racines des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps.	40
Figure 29. Fréquence de mycorhization des racines des plantules suivant les traitements en présence de la source de carbone au cours du temps.	40
Figure 30. Intensité de mycorhization des racines des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps.	41
Figure 31. Intensité de mycorhization des racines des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps.	41
Figure 32. Aspect des racines suivant les traitements observés au microscopique	43
Fig.33 : Aspect des arbuscules après 120 jours de mycorhization.....	44
Figure 34. . Teneur en chlorophylle a suivant les traitements au cours du temps.....	45
Figure 35. . Teneur en chlorophylle b suivant les traitements au cours du temps.	46
Figure 36. Teneur en sucres solubles dans les feuilles suivant les traitements au cours du temps.	48
Figure 37. Teneur en sucre soluble dans les rhizomes suivant les traitements au cours du temps.	49
Figure 38. Teneur en acides aminés dans les feuilles suivant les traitements au cours du temps.	50
Figure 39. Teneur en acides aminés dans les rhizomes suivant les traitements au cours du temps	51
Figure 40. Teneur en proline dans les feuilles suivant les traitements au cours du temps.....	52
Figure 41. . Teneur en proline dans les rhizomes suivant les traitements au cours du temps..	53

LISTE DE TABLEAUX

	Pages
Tableau 1. Les dix (10) premiers producteurs de taro/macabo dans le monde classés en fonction de la production en dollar et en tonnes.	9
Tableau 2 : Composition nutritionnel du macabo	9



INTRODUCTION

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

Connu sous plusieurs noms : yautia new cocoyam, tannier, tannia, et macabo au Cameroun ; inhame/taioaba au Brésil ; taiobe en Guyane ; chou caraïbe en Martinique ; malanga en Guadeloupe : taro de montagne en Nouvelle Calédonie, (anonyme 2011), *Xanthosoma sagittifolium* est une plante herbacée cosmopolite appartenant à la famille des aracées. Selon la FAO (2008) la production mondiale du macabo est d'environ 0,45 million de tonne dont les trois quart sont produits par l'Afrique. Au Cameroun, il est le tubercule le plus cultivé derrière le manioc, et cette culture se fait dans sept des dix régions que compte le pays (Kemekong 2015).

Face à une augmentation croissante de la population, le monde est confronté à plusieurs problèmes, notamment celui de l'insuffisance alimentaire pour ne citer que celui-là ; ce qui a une grande influence sur l'agriculture. À cet effet, la diversification des cultures et des méthodes culturales s'avèrent être une solution adéquat pour pallier à cette situation. Ainsi, on retrouve plusieurs types de cultures : les légumineuses, les céréales, les tubercules etc. Parmi les tubercules cultivés, on a *Xanthosoma sagittifolium*.

Étant considéré comme l'aliment de base dans plusieurs pays sa culture fait l'objet d'une attention particulière dans le domaine de la recherche (Watanabe 2002). Ainsi, la promotion de sa culture est importante pour l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire. La collecte et la vente de ses produits (feuilles et tubercules) sont des activités régénératrices de revenus (Kouebou et al. 2013). Le macabo se développe naturellement dans le sous-bois ; sa reproduction se fait essentiellement de façon végétative et le matériel de plantation est constitué de fragments de tubercules ou des tubercules entiers, ou encore des rejets prélevés sur le rhizome.

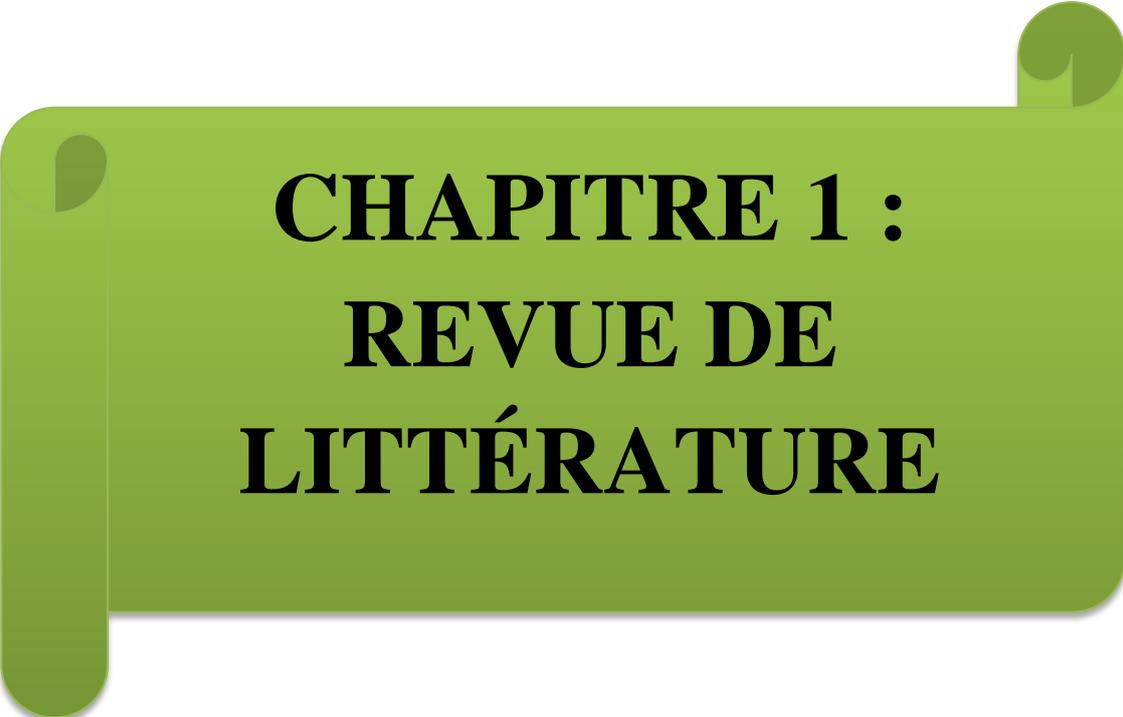
La mise en place de la culture intensive de cette plante est difficile à cause de l'indisponibilité d'un matériel de plantation suffisant et indemne de maladies (infections bactériennes, fongiques et virales) (Reyes Castro et al. 2005). Les stratégies d'amélioration de cette culture par les méthodes de croisement génétique classique et la lutte chimique et biochimique n'ont pas abouti aux résultats escomptés. Ceci est dû d'une part à l'étroitesse de la diversité génétique des variétés existantes, et d'autre part des coûts élevés, de la pollution de l'environnement et du caractère endémique de certains agents pathogènes en l'occurrence de *Pythium myrotylum*, le champignon responsable de la pourriture racinaire du macabo. Et, sur le marché camerounais, on note une augmentation de son prix. Face à toutes ces difficultés

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

il est nécessaire de mettre sur pieds des méthodes d'amélioration qui seront efficaces et sans effet secondaire sur l'environnement, à l'instar de l'utilisation des engrais biologiques.

Ce travail se propose d'étudier l'**effet des mycorhizes sur croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium* L. Schott)**, Plus spécifiquement il s'agit de :

- Évaluer l'effet de deux souches de mycorhizes allochtones (*Acaulospora tuberculata* et de *Gisgaspora margarita*) sur la croissance du macabo ;
- Réaliser une analyse biochimique des acides aminés totaux, des sucres totaux solubles de la proline, dans les feuilles et les rhizomes de macabo.



**CHAPITRE 1 :
REVUE DE
LITTÉRATURE**

I.1. GENERALITES SUR *Xanthosoma sagittifolium* (L) Schott

I.1.1. Origine et distribution géographique

Le macabo (*Xanthosoma sagittifolium* L. Schott) est une plante herbacée, monocotylédone, cosmopolite largement cultivée dans le monde pour ses feuilles et ses tubercules riches en amidon, protéines, et sels minéraux (Jackson 2008). D'après Mbouobda et ses collaborateurs (2007), *X. sagittifolium* L. schott est une plante originaire de l'Amérique tropicale, introduite en Afrique vers 1840. Aujourd'hui cultivée dans les Caraïbes, Amérique centrale, Afrique de l'Ouest, Océanie, Nouvelle Calédonie, Sud-Est de l'Asie, Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale. *X. sagittifolium* pousse en condition de haute et basse altitude sous une pluviosité bien distribuée de 1500-2000 mm par an à une température moyenne de 20°C (Jackson 2008). Au Cameroun il est cultivé en grande partie dans sept des dix régions du pays ; notamment les régions du Littoral, du Centre, de l'Ouest, du Sud, du Sud-Ouest, de l'Est et Nord-Ouest (Kemekong 2015).

I.1.2. Taxonomie et diversité

Le *Xanthosoma sagittifolium* est une monocotylédone appartenant à la famille des aracées qui compte environ 110 genres et plus de 2000 espèces (Owusu-Darko *et al.* 2014). D'après Irwin *et al.* (1998), sa classification est la suivante :

Embranchement : Magnoliophyta

Sous embranchement : Anthophyta

Classe : Liliopsida

Sous classe : Aracidae

Super ordre : Spadiciflorae

Ordre : Arales

Famille : Araceae

Sous famille : Aroideae

Tribu : Colocasioideae

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

Genre	: <i>Xanthosoma</i>
Espèce	: <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (L.) Schott

En fonction de la couleur de la chaire du tubercule, de la couleur des feuilles, de la couleur des pétioles, de la caryogamie, de la productivité et du degré de sensibilité aux agents pathogènes on distingue trois cultivars de *Xanthosoma sagittifolium* :

- **Cultivar blanc** : diploïde ($2n=26$) est sujette aux attaques, mais a une grande production (Ngouo 1988). Il possède des tubercules blancs et tendres.
- **Cultivar rouge** : diploïde ($2n=26$), résiste aux attaques et produit moyennement on le reconnaît par sa tige et ses tubercules qui sont de couleur rouge et ferme.
- **Le cultivar jaune** : tétraploïde ($4n=52$) ; peu productif et très résistant aux attaques, il possède des tubercules jaunes (Ngouo 1988).

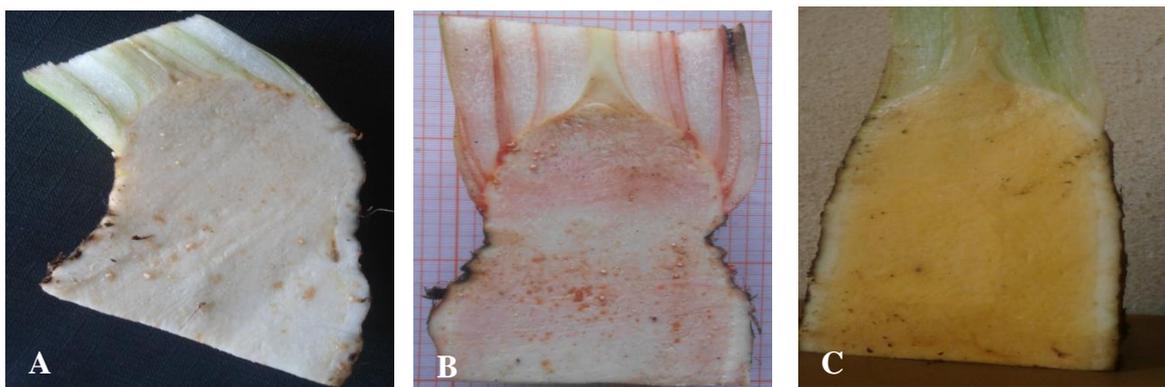


Figure 1. Aspect du parenchyme amylicé des rhizomes primaire chez les trois cultivars de macabo (A) Cultivar blanc (B) Cultivar rouge (C) Cultivar jaune. (photo KOUMPOUAM)

I.1.3. Biologie et écologie

I.1.3.1. Biologie

I.1.3.1.1. Partie aérienne

- **Feuilles** : elles sont portées par la tige et sont larges sur des pétioles forts pouvant atteindre un mètre ou plus. Souvent sagittées ou hastées, elles sont fixées à la base de leur sinus profond et ont entre 50 et 75 cm de long ; le sommet est pointu et les lobes basaux sont triangulaires (Bell *et al.* 2000).

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

- Le pétiole : de couleurs variables en fonction des cultivars (Reyes Castro 2006). De forme cylindrique il mesure environ 2-5 cm de diamètre, et c'est à son sommet qu'on retrouve les feuilles.
- La fleur : presque rare elle se présente sous forme d'un épi. Par son organisation elle permet de distinguer les différents cultivars entre eux. Le cultivar jaune diffère des autres par l'existence des pollens stériles (Mbouobda *et al.* 2007).

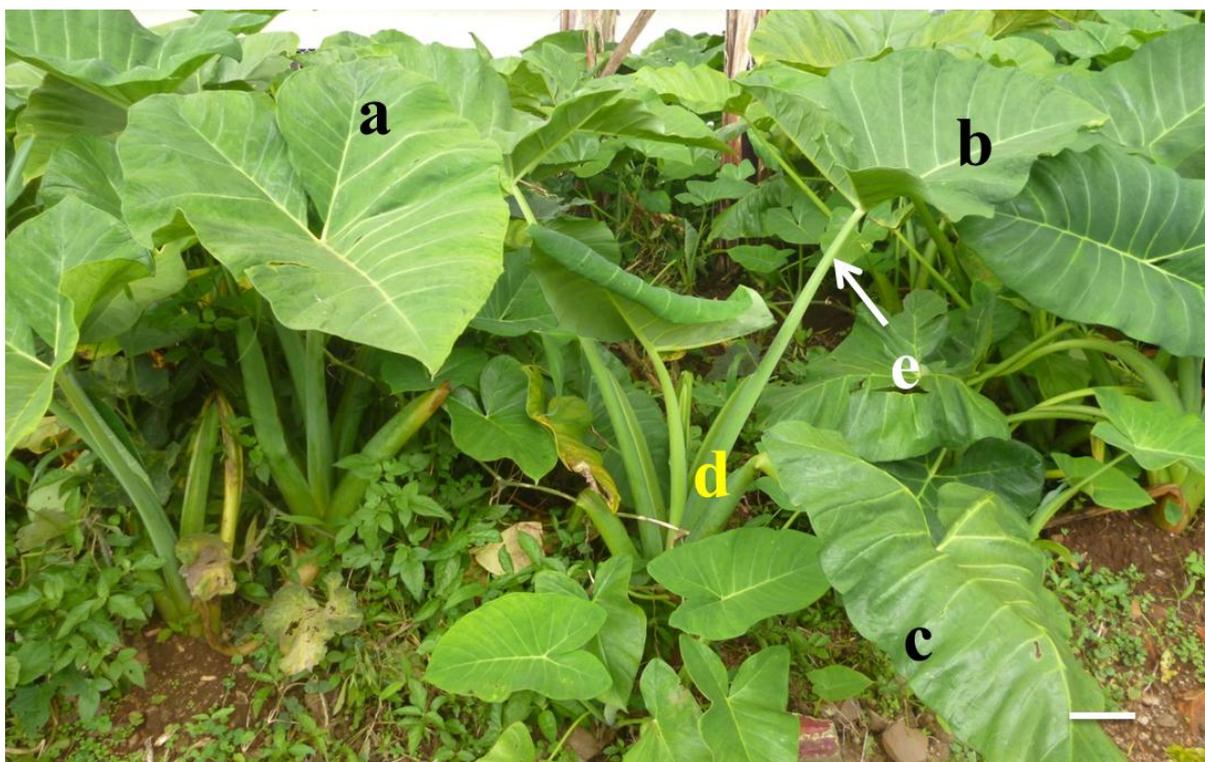


Figure 2. Morphologie de l'appareil aérien de *Xanthosoma sagittifolium*. Marge foliaire (a), nervure principale (b), limbe (c), gaine foliaire (d) et pétiole (e). Photo KOUMPOUAM)

I.1.3.1.2. Partie souterraine

- Le rhizome primaire : encore appelé tige, c'est sur lui que se greffent les pétioles et les tubercules. De forme cylindrique il mesure environ 20 et 25 cm de long et peut parfois atteindre 50 cm.
- Les rhizomes secondaires (tubercules) : de forme cylindrique ont une longueur d'environ 15 à 25 cm et sont plus larges vers l'apex (côté tourné vers le sol). Les tubercules latéraux sont produits par quantité de 10 ou plus (Bell *et al.* 2000).

I.1.3.2.Écologie

La culture du macabo est influencée par :

- Les conditions climatiques : *Xanthosoma sagittifolium* pousse en conditions de haute et de basse altitude, sous une pluviométrie bien distribuée de 1500-2000 mm par an, une température moyenne supérieure à 20 °C et des sols bien drainés ayant un pH de 5,5-6,5. Il tolère une ombre légère mais pousse le mieux à l'air libre (Kabore 2004).
- La saison de plantation : si l'eau est disponible, soit par l'irrigation ou une pluviométrie bien distribuée. Il peut être planté à n'importe quel moment de l'année. Il n'y a pas de saisonnalité. Là où la pluviosité est saisonnière on peut le planter lorsque les pluies deviennent abondantes (Anonyme 1965).
- La période de régénération : bien qu'il s'agisse d'une plante pérenne, il est préférable de la régénérer après 9 à 12 mois lorsque la plante centrale ou mère commence à dépérir. Si l'on considère que les évaluations concernant le rendement et les qualités organoleptiques ne sont pas importantes, la culture peut être laissée en terre. Si la récolte est retardée pendant trop longtemps, la probabilité de la survenue de pourritures des racines augmente, en particulier celles causées par *Pythium*. S'il n'y a pas de risque de pourriture des racines, on peut laisser repousser la culture ; ce qui double le temps de régénération (Anonyme 1965).

I.1.4. Importances du macabo

I.1.4.1.Importances économiques

Le macabo est largement cultivé en Afrique (Nwanekezi *et al.* 2010). C'est le sixième tubercule le plus cultivé dans le monde (Reyes Castro 2006, Ojeniyi *et al.* 2013) et le deuxième le plus cultivé au Cameroun après le manioc (Tsafack *et al.* 2009). D'après les statistiques de la FAO sa production mondiale est estimée à 0.45 millions de tonnes par an avec trois quarts provenant de l'Afrique. Il est consommé par environ 200 millions d'individus au niveau des tropiques et 400 millions de personnes dans le monde (Tsafack *et al.* 2009).Selon le journal *AGRISTAT N°17* (2012) la production du macabo passe de 1 537 057 tonnes pour 160 280 hectares cultivés en 2009 contre 1 632 004 pour 184 402 hectares cultivés en 2010 ; avec 12 830 tonnes exportées par voie aérienne vers l'Union Européenne, l'Afrique du Sud, les USA, le Zimbabwe.

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

Tableau 1. Les dix (10) premiers producteurs de taro/macabo dans le monde classés en fonction de la production en dollar et en tonnes.

Rang mondial	Pays	Valeur de la production en Dollar (x 1000)	la Production en tonnes
1	NIGERIA	554 968	5 387 000
2	GHANA	173 931	1 688 330
3	CHINE	160 558	1 638 592
4	CAMEROUN	98 889	1 200 000
5	PAPOUASIE	26 360	285 000
6	MADAGASCAR	17 307	240 000
7	JAPON	15 513	179 700
8	EGYPTE	13 698	151 971
9	RWANDA	11 394	110 956
10	PHILIPINE	10 400	111 956

Source: (McGregor *et al.* 2011)

I.1.4.2. Importances nutritionnelles

Compte tenu de sa composition chimique, le macabo constitue une importante source de carbone et d'hydrogène (Anyiro *et al.* 2013). Le macabo est un aliment conseillé aux diabétiques car il est pauvre en amidon, facile à digérer et contient des protéines (Anyiro *et al.* 2013). En outre le macabo contient les éléments nutritifs important de l'alimentation tels que les glucides, les lipides et les protéines qui sont des sources d'énergie pour le fonctionnement de l'organisme. On retrouve aussi dans le macabo les éléments fonctionnels que sont l'eau et les sels minéraux.

Tableau 2 : Composition nutritionnelle du macabo

Groupes d'aliments simples	Valeurs
Eau	70 - 77 %
Glucides	17 - 26 %
Lipides	0,2 – 0,4 %
Protéines	1,3 – 3,7 %
Vitamine C	35 mg/100g

(Bencini et Walston 1991)

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

Le pourcentage d'oxalate dans les tubercules de macabo varie entre 0,1 et 0,4 % du poids frais. Il ne pose pas de problème car il se décompose lors de la cuisson. Il en est de même pour les traces d'acide cyanhydrique également présentes (Bell *et al.* 2000).

Dans le monde, la consommation du macabo concerne les cornes secondaires les tubercules et les feuilles. Les cornes primaires sont réservées à la consommation des animaux (Anonyme 2011).

Qu'il soit blanc ou rouge, le macabo est consommés sous plusieurs formes. Au Cameroun par exemple, on le consomme sous forme de complément (râpé « *kwa coucou* ») ou simplement bouillie pour accompagner certains plats ou encore préparés sous forme de ragout ou malaxé (appellation au pays bamiléké). De plus, dans certaines régions du Cameroun (Est Centre Sud) en dehors des tubercules, les feuilles de macabo rouge sont consommées comme des légumes.

Cependant, face aux difficultés de conservation pendant des longues périodes, les tubercules de macabo vont être transformés en plusieurs autres produits qui vont avoir une longue période de conservation. C'est ainsi que selon les procédés décrits ci-dessous ils seront transformé en cosettes, farine de macabo, cendres utilisées comme condiment (Figure 3.)

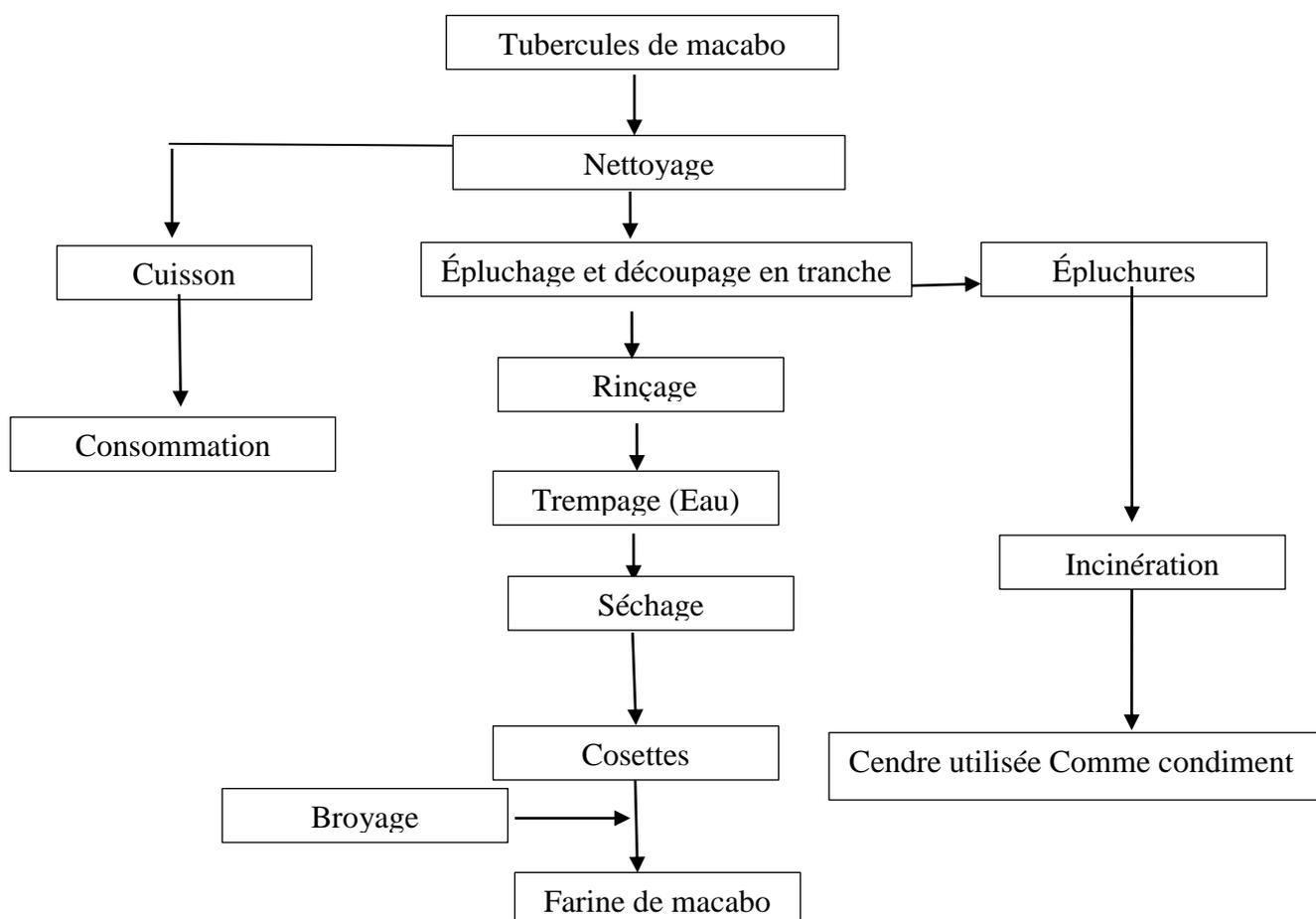


Figure 3. Les différentes transformations que peuvent subir les tubercules de macabo pour la consommation (anonyme 2011)

Les produits ainsi obtenus peuvent être consommé de plusieurs façons. Pour ce qui concerne les cosettes il suffit de les retremper dans de l'eau et faire frire ou tout simplement les faire cuire dans des soupes.

La farine de macabo peut être utilisée pour faire des beignets ou la bouillie.

La commercialisation du macabo concerne le plus souvent les tubercules frais ; et se fait soit dans des seaux, soit dans des tas soit dans des sacs de 50 Kg appelé *filets*.

I.1.4.3. Importance médicinale

Le macabo est généralement utilisé pour ses multiples vertus traditionnelles. Les jeunes feuilles cuites à l'eau servent à traiter l'hypertension artérielle et les maladies hépatiques alors que les extraits de feuille sont utilisés pour la coagulation du sang au niveau des blessures (Agueguia *et al.* 2000). De plus ces extraits sont utilisés pour neutraliser le venin de serpent. Quant aux cornes, ils servent à traiter les furoncles, les ulcères, les morsures de serpent et les rhumatismes (Thin, 1997). Les extraits de racine de macabo sont utilisés pour traiter le rhumatisme et l'acné (Onyenweaku et Okoye 2007).

De par sa facilité d'assimilation le macabo est conseillé aux personnes ayant des troubles digestifs. L'amidon s'emploie dans l'alimentation infantile et comme substitut de céréales. Selon le rapport de la FAO (1991), le macabo présente une bonne qualité digestive (sa digestibilité est estimée à 98,8 %) et contient des facteurs antiallergiques.

I.1.5. Contraintes de production

La culture du macabo fait face à diverses infections fongiques, virales et bactériennes (Reyes Castro *et al.* 2005). De plus on peut aussi avoir d'autres agresseurs tels que les insectes et les nématodes (anonyme 2011).

I.1.5.1. Maladies causées par les champignons

Le champignon qui cause le plus de ravage sur le macabo est *pythium myriotylum*. Transmis par l'intermédiaire du sol, il attaque les cornes et les racines de la plante surtout dans les conditions où l'eau est abondante dans le sol (Sama *et al.* 2011). Sur la partie aérienne de la plante on observe un flétrissement et un rabougrissement des feuilles, une chlorose du limbe (couleur vert-jaune) et un raccourcissement des pétioles. Quand on sectionne les cornes atteints, les parties malades sont décolorées et molles avec une

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

séparation marquée d'avec les zones saines qui restent bien blanches ou colorées selon le cultivar. Les racines malades sont sombres et flasques avant la nécrose complète, tandis que les racines saines sont de couleur crème ou rose et bien turgescente. De façon générale ce champignons cause le rabougrissement de la plante la baisse de la production des tubercules de macabo (Anonyme 2011).

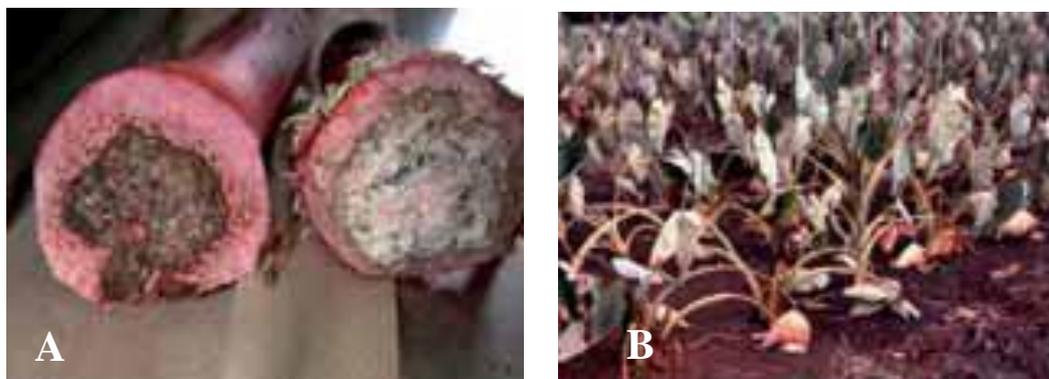


Figure 4. A) Cormes de macabo atteintes par *pythium myriotilum* B) Flétrissement des plants de macabo atteints par *pythium myriotilum* ; trait = 2cm (anonyme 1 2011)

I.1.5.2. Maladies causées par les virus

La principale maladie est causée par le virus *Dasheen Mosaïc Virus* (DsMV) (Reyes Castro 2006) transmis par les pucerons (aphides) au macabo. Ce virus une fois transmis à la plante peut attaquer toutes ses parties et au niveau des feuilles on peut observer une grande variété de type mosaïque : irrégulières, petites, éparpillées, avec des taches variant du vert au jaune en passant par le gris et le blanc ; et on peut observer comme conséquence la baisse et le rabougrissement de la plante (Anonyme 2011).



Figure 5. Feuille de macabo atteinte par *DsMV* (Anonyme 2011)

I.1.5.3. Contraintes liées aux insectes ravageurs

Les macabo fait face à l'attaque de plusieurs insectes avec des effets similaires ou différents. On peut par exemple citer :

- Le puceron *Aphis gossypii* : potentiel agent vecteur des virus appartenant à l'ordre des Hémiptères il se positionne préférentiellement sur la face inférieure des feuilles mais l'ensemble de la plante peut être couvert en cas d'attaque forte. Les attaques provoquent des flétrissements du limbe et le recroquevillement orienté vers le bas ainsi qu'un affaiblissement général de la plante en cas d'attaques sévères (Anonyme 2011).
- Aleurode de la patate douce/cotonnier *Bemisia tabaci*, *B. argentifolii* : entraîne les mêmes effets que le puceron *Aphis gossypii* (Anonyme2011).

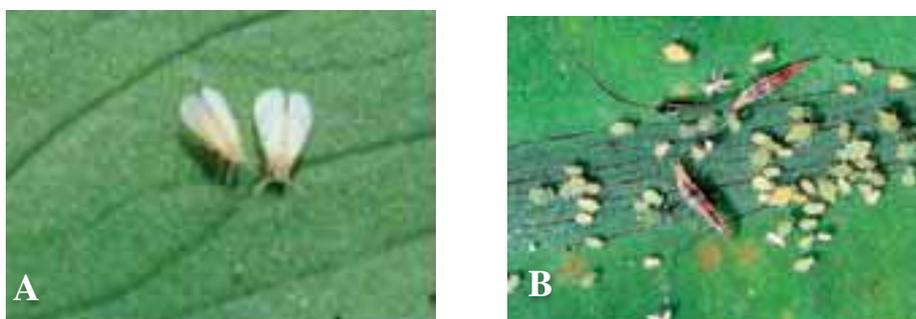


Figure 6. Les insectes ravageurs de *Xanthosoma sagittifolium* (A) aleurodes (B) Pucerons (anonyme 2011)

- *Spodoptera litura* : appartenant à l'ordre des lépidoptères, les jeunes chenilles de couleur vert pale pour devenir verte foncé à brun en fin de croissance mesurent environ 2-10 mm de long. Elles possèdent des bandes longitudinales jaunes brillant caractéristiques sur le dos. Le papillon nocturne a un corps brun-vert de 15 à 20 mm pour une envergure de 30 à 40 mm. Les premiers stades larvaires sont grégaires avec une progression radiale depuis le site d'éclosion. Ensuite les chenilles deviennent solitaires mangeant toutes les parties du limbe et pouvant couper les pétioles jusqu'au niveau du sol (Anonyme 2011).
- En en dehors des insectes *Xanthosoma sagittifolium* peut aussi être attaqué par certains vers tels que *Meloidogyne* spp. qui provoquent des symptômes assez discrets chez le macabo avec des renflements limités des racines et des galls généralement peu importantes en pénétrant dans les cornes (Anonyme 2011).



Figure7. Chenille de *meloidogyne spp*

I.1.6. Les stratégies de protection de *Xanthosoma sagittifolium* contre les attaques

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées contre les attaques des plants de macabo, des pathologies et des prédateurs ; on peut pour ainsi citer :

- le traitement des boutures avant la plantation avec des fongicides tels que Ridomil Gold MZ 68 et le Melody Duo (Areu 2003, Soudy *et al.* 2008), l'oxychlorure de cuivre, Mancozebe, Metalaxyl, et l'acide phosphorique (Jackson 1999; Brooks 2005) ;
- l'élimination des feuilles infectées du champ dès leur apparition (Putter 1976);et le choix des parcelles isolées des champs infectés (Nelson *et al.* 2011);
- L'utilisation de la biotechnologie; notamment la culture in vitro a permis l'obtention des plantes saines, la production des microtubercules, la conservation et la propagation des germoplasmes (Omokolo *et al.* 1995).

I.2. LES MYCORHIZES

I.2.1. Définition

Dans le sol, on a plusieurs organismes qui établissent des associations à bénéfice réciproque parmi lesquels on peut citer les champignons mycorhiziens (Balzergue *et al.* 2012).

Selon le dictionnaire de poche « Petit Robert » le mot mycorhize vient du Grec «Myco » qui signifie « Champignon » et « Rhiza » qui signifie « Racine ». Il renvoie pour ainsi dire à l'interaction qui s'établit entre les champignons et les racines des plantes.

I.2.2. Les différents types de mycorhizes

La symbiose entre les champignons et les racines d'une plante peut prendre différentes formes. On peut ainsi distinguer les ectomycorhizes, les endomycorhizes et les ectendomycorhizes selon les caractères anatomiques de l'association (Peyronel *et al.* 1968).

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

Certaines sont très spécifiques et ne se développent qu'avec quelques espèces végétales, alors que d'autres ont un large spectre d'action et sont largement distribuées dans les divers écosystèmes (Fortin *et al.* 2008).

I.2.2.1. Ectomycorhizes

Constitués d'environ 5000 espèces de champignons, les ectomycorhizes colonisent environ 5% des plantes vasculaires, en majorité des arbres des forêts tempérées (Heulin, 2014). Chez les ectomycorhizes les hyphes sans s'infiltrer dans les racines de l'arbre, entourent les cellules et forment aux alentours de la racine un amas d'hyphes appelé manchon. Les échanges entre champignons et racines se font au niveau inter cellulaire. Le manchon ainsi formé joue aussi un rôle dans la lutte contre les pathogènes (Dechamplain et Gosselin 2002). Plusieurs de ces champignons produisent des cormophores sur le tapis forestier. Cette symbiose ne concerne que 3% des espèces végétales (Mousain 1991) et son beaucoup plus observé chez les végétaux ligneux (Dexheimer 1997).

I.2.2.1. Les ectendomycorhizes

Elles sont ainsi nommées par ce qu'elles présentent à la fois des structures d'endomycorhizes et des structures d'ectomycorhizes. Chez l'Ericacée *Arbutus unedo*, le champignon forme un manteau, un réseau de Hartig et des pelotes intracellulaires (Münzenberger *et al.* 1992).

I.2.2.2. endomycorhizes

Apparues au dévonien, il y a 450 millions d'années (Fortin *et al.* 2008), les endomycorhizes arbusculaires sont les plus répandues à la surface du globe (Smith et Read 1997) et sont des composantes importantes des écosystèmes terrestres (Liu et Chen 2007). Elles sont ainsi nommées par ce que le champignon pénètre dans la cellule de l'hôte (Dexheimer 1997).

L'endomycorhize est la première symbiose mycorhizienne avec les plantes. De fait, ce fut celle qui permit aux végétaux de sortir de l'eau il y a environ 400 millions d'années. Elle résulte de champignons microscopiques dont les hyphes ont la particularité de pénétrer dans les cellules de la racine de la plante. Contrairement aux ectomycorhizes, le champignon ne forme jamais de « chapeau » et les hyphes ne forment pas de manchon autour des racines. Les hyphes forment plutôt une structure appelée « arbuscule », formant un manchon à l'intérieur des cellules végétales. Cette association se retrouve principalement chez les plantes cultivées,

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

mais aussi chez certains arbres forestiers dont l'if est l'érable à sucre ainsi que plusieurs petites plantes des sous-bois. (Bereau 2003).

Selon Hamza (2014), il existe trois types d'endomycorhizes :

- les endomycorhizes arbutoïdes des Ericacées;
- les endomycorhizes orchidoïdes des Orchidées;
- les endomycorhizes à arbuscules.

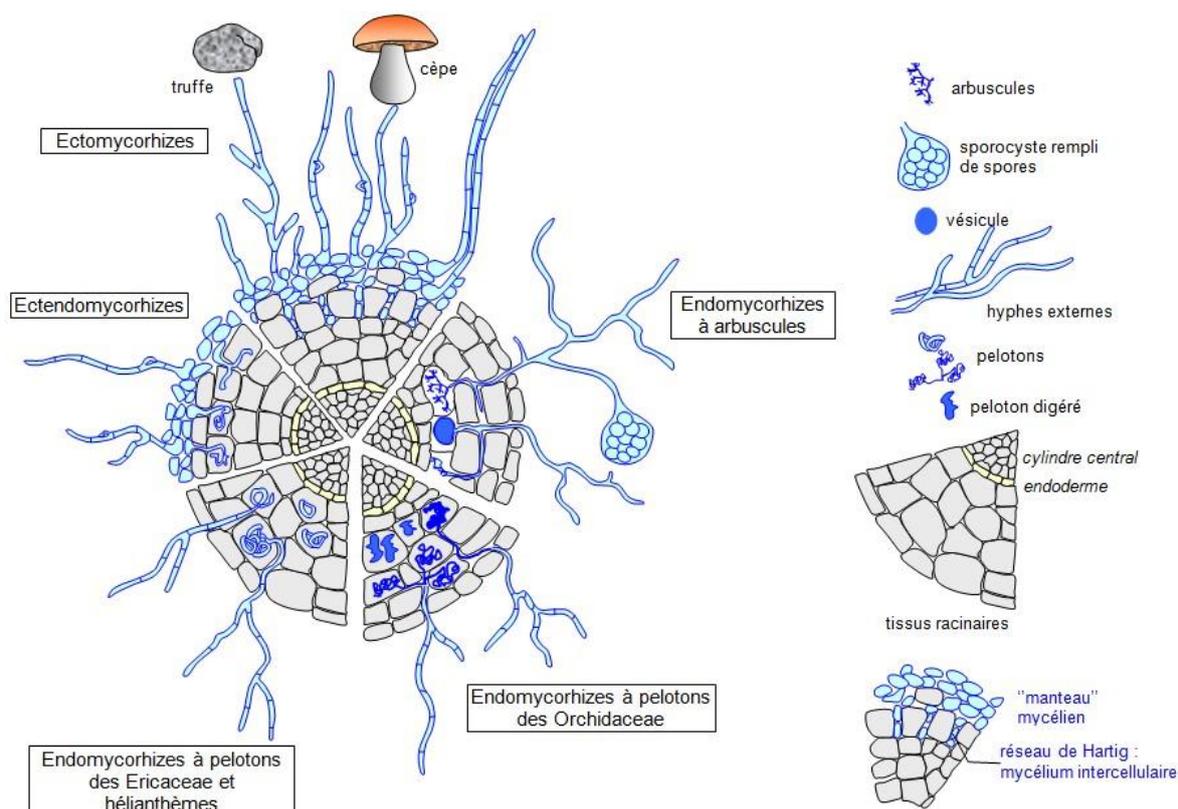


Figure 8. Principaux types de mycorhizes représentés sur une coupe transversale de racine (Tacon 1985)

I.2.3. Classification des mycorhizes

Les champignons mycorhiziens ont longtemps été considérés comme appartenant à la classe des zygomycètes, mais sont aujourd'hui regroupés à la classe des Gloméromycètes (Delaux, 2011). En fonction des données de la phylogénie moléculaire Rémi et ses collaborateurs (1994); Redecker et ses collaborateurs (2000) et Schüssler et ses collaborateurs (2001) tous repris par Delaux (2011) ont divisés cette classe en quatre (04) groupes distincts :

- Les glomérales (glomus du groupe A et B);
- Les Paraglomérales représentés ici par paraglomus;

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

- Les Archéosporales dont les principaux représentants sont archéospora, ambispora et géosiphon;
- Et les diversispora constitués de gigaspora, acaulospora, pacispora, diversispora, sculellospora.

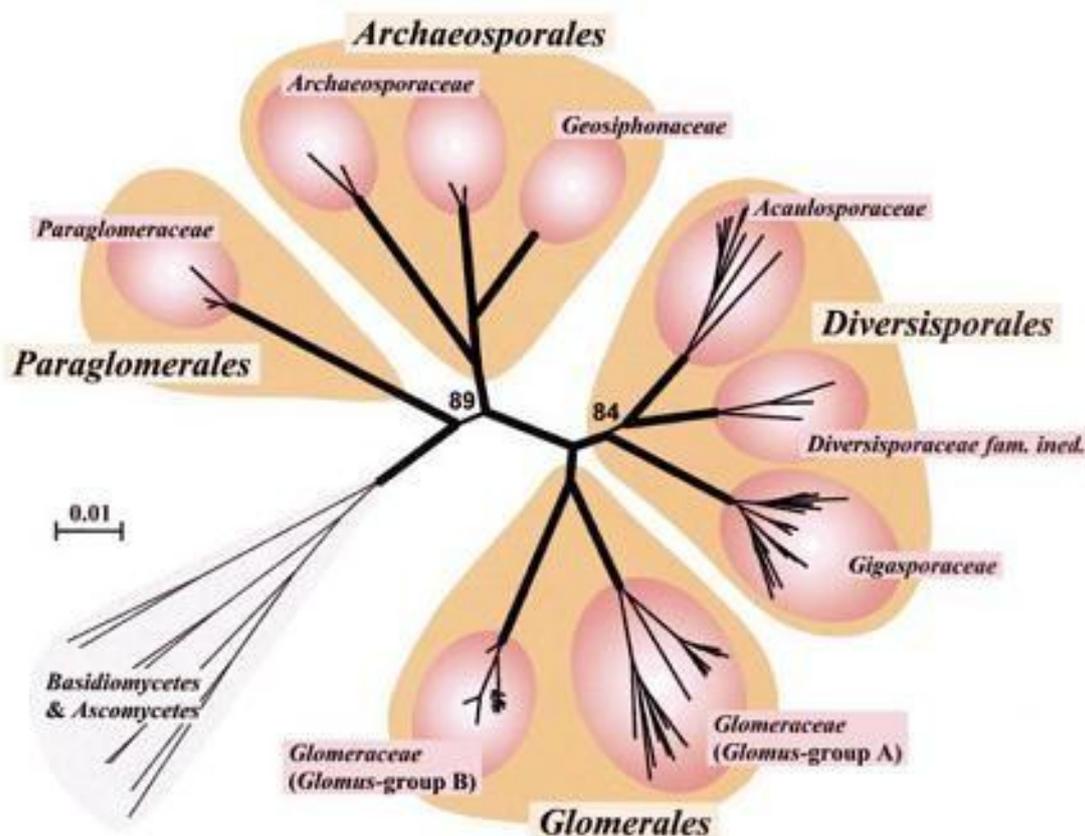


Figure 9. Classification phylogénétique des champignons mycorhiziens (Schübler *et al.* 2001)

I.2.4. Physiologie des mycorhizes

D'une façon générale certaines fonctions des végétaux sont modifiées par la présence des mycorhizes. Il s'agit de : l'absorption du phosphore et des sels minéraux, l'agrégation des sols, la protection contre les organismes pathogènes (Schübler *et al.* 2001).

I.2.4.1. Absorption du phosphore et d'autres éléments minéraux

Le phosphore fait partie des éléments les plus importants, car il intervient dans plusieurs réactions physiologiques chez les plantes, notamment la biosynthèse des acides nucléiques et des membranes biologiques, dans la photosynthèse, la respiration et la régulation des actions des enzymes. Bolan (1991), Smith et Read (1997) ont montré que la concentration de phosphore dans la plante est augmentée par la présence des mycorhizes car ceux-ci augmentent de façon significative leur absorption. Par contre la colonisation de la

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

plante par les mycorhizes diminue quand la concentration de phosphore augmente dans le sol (Bereau *et al.* 2003).

En dehors du phosphore les hyphes des mycorhizes favorisent l'absorption des autres minéraux parmi lesquels on peut citer : l'azote (N), le soufre (S), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le potassium (K), le Zinc (Zn) le cuivre (Cu)... (Béreau *et al.* 2003)

I.2.4.2. Protection contre les organismes pathogènes

Selon Mc Arthur (1993) et Sylvia et collaborateurs (1995), les plantes mycorhizées s'adaptent mieux aux variations des conditions environnementales (sécheresse, manque d'éléments nutritifs dans le sol, augmentation de la salinité...) et ont une meilleure résistance face aux attaques des pathogènes par rapport aux plantes non-mycorhizées.

I.2.5. Symbiose mycorhizienne

I.2.5.1. Les apports de la plante

La plante réalise la photosynthèse et produit de la matière organique qui est acheminée au niveau des racines et distribué aux filaments mycéliens intercellulaires du réseau de Hartig et aux expansions vésiculaires et arbusculaires des endomycorhizes. L'apport de ces molécules organiques semble être indispensable pour la fructification des mycètes (Daniel Richard 2010).

I.2.5.2. Les apports des champignons

Le champignon est le symbionte hétérotrophe qui tire profit des apports organiques de la plante mais apporte un grand nombre de services à la plante (figure 3).

- L'extension du réseau mycélien permet de coloniser un énorme volume édaphique et ainsi de prospecter des volumes inaccessibles pour la plante seule. Le réseau augmente ainsi la surface d'échange d'un facteur 10³ à 10⁴. Cela permet de collecter l'eau et les sels minéraux en direction des racines. Or le système mycélien se substitue aux poils absorbants qui disparaissent et il présente la même efficacité de prélèvement (grande surface d'échange, faible épaisseur de la paroi mycélienne, fort gradient entre le cytosol et le milieu extracellulaire).
- Les filaments agissent sur la disponibilité des ions du sol par leurs sécrétions enzymatiques et protoniques qui dégradent la matière organique, rendant accessibles des ions comme le phosphate et l'azote et favorisant leur absorption.

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

- Le métabolisme des filaments permet la réduction de l'azote par la présence du nitrate et du nitrite réductase ainsi que la synthèse d'acides aminés.
- Les filaments sont capables de stocker temporairement du phosphate sous forme de polyphosphate et de l'azote sous forme de glutamine, et de les transférer à la plante.
- Les filaments créent des ponts mycéliens entre plusieurs plantes permettant alors des échanges de molécules.

I.3. GÉNÉRALITÉS SUR LES SUCRES SOLUBLES, LES ACIDES AMINÉS ET LA PROLINE

I.3.1. Sucres totaux solubles

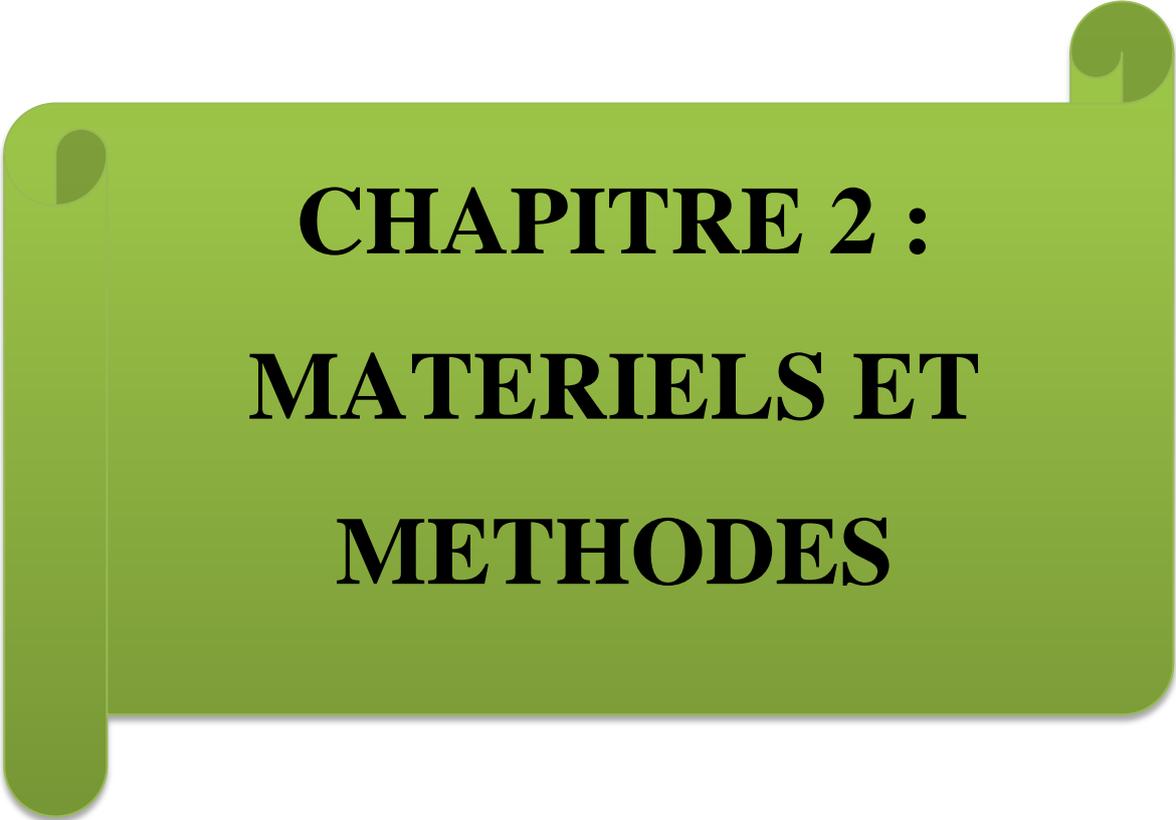
Ce sont des polyalcools ayant des fonctions aldéhydes et cétones. Ces composés jouent un rôle important dans le développement et le fonctionnement des cellules vivantes. Chez les ils sont impliqués dans la régulation des processus de développement, tels que le développement de l'embryon et de la graine, l'organogénèse post embryonnaire (Gibson 2005). En plus des situations de stress telles que la sécheresse, les fortes salinités, les faibles températures ou un excès d'énergie conduisent à une forte accumulation de sucre soluble, généralement interprétée comme une réponse adaptative (Korm *et al.* 2009).

I.3.2. Acides aminés

Les acides aminés sont des composés quaternaires constitués de carbone, hydrogène, oxygène et azote. Ces acides aminés jouent plusieurs fonctions et ont plusieurs destinations. Chez ceux rencontrés chez les végétaux, on distingue ceux qui entrent dans la composition des protéines, et ceux qui jouent un rôle dans le processus métabolique sans être incorporés dans les protéines (Kurlovich *et al.* 2003).

I.3.3. Proline

Les proline est un acide aminé qui comporte une chaîne aliphatique, qui joue plusieurs rôles chez les végétaux. En réponse au stress, la quantité de proline augmente de façon significative que la plante pour mieux s'adapter. (Belkhodja et Benkabilia, 2000) chez la halophyte la proline est utilisé pour déterminer le degré de résistance au stress (Heyser *et al.* 1989).

A large green scroll graphic with rounded corners and a shadow, containing the chapter title. The scroll has a vertical strip on the left side and a small circular tab on the top right.

CHAPITRE 2 :

MATERIELS ET

METHODES

II.1. MATÉRIELS

II.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué des explants de macabo blanc récolté dans trois des dix régions du Cameroun notamment la région du Centre (Yaoundé), l'Ouest (Bafoussam, Mbouda et Dschang), et l'Est (Messamena).



Figure 10. Macabo cultivar blanc après culture en laboratoire et mise en terre Trait= 3cm (Photo KOUMPOUAM 2015)

II.1.2. Les champignons mycorhiziens

Ils sont composés de trois souches de mycorhizes arbusculaires appartenant à la classe de Glomérocètes que sont : *Acaulospora tuberculata* et *gigaspora margarita* obtenu auprès de l'IRAD Cameroun antenne de Yaoundé.

II.2. MÉTHODES

II.2.1. Préparation et culture du matériel végétal

Les explants de macabo récoltés dans les régions ont été cultivés en laboratoire selon la méthode de Mbouobda *et al.* (2009). En effet, les explants de macabo ont été débarrassés des feuilles sèches et des pétioles mous, les cormes débarrassés de toutes les racines. Puis rincés à l'eau de robinet. Les explants ainsi obtenus sont placés dans des bacs et des bassinets contenant de l'eau et du métalaxyl pendant un mois. Au cours de ce mois, l'eau sera changée dans les bacs et les bassinets tous les deux jours.

II.2.2. Mycorhization

Les explants pré-germés vont être transférés dans des sachets plastiques contenant un mélange de terre et de sable dans la proportion 2/1 stérilisé au préalable ; puis repartis en lots de 50. Dans chacun des sachets 30g de mycorhizes ont été ajoutés. Et chaque lot sera transféré dans l'ombrière où ils seront arrosés chaque jour à l'eau de robinet.

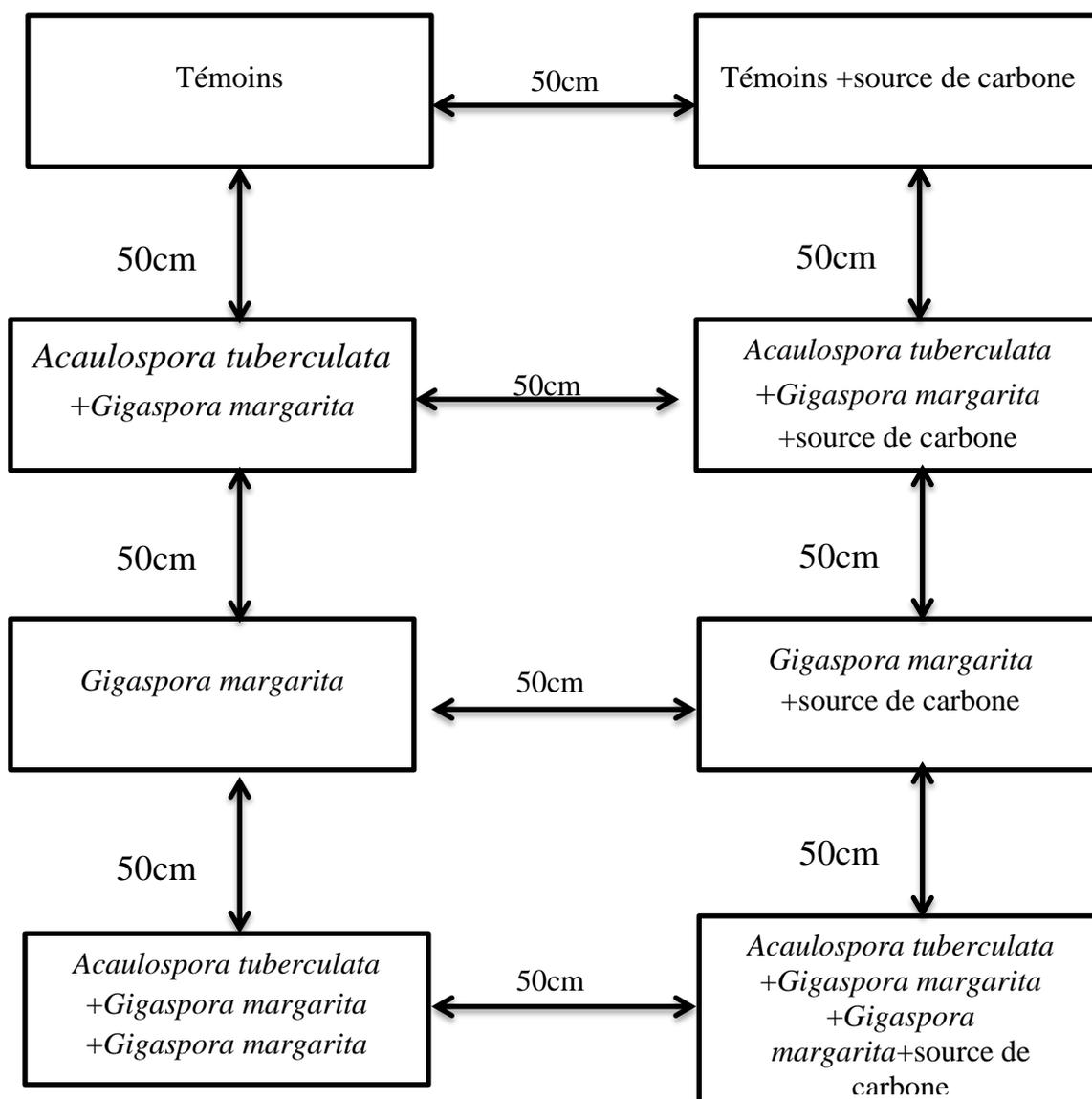


Figure 11. Disposition des lots de macabo sous l'ombrière selon les traitements après la mycorhization.

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)



Figure 12. Protocole de préparation des boutures de Macabo en laboratoire, (Mbouobda *et al.* 2009) A, Cultivar placé dans un bassinnet contenant de l'eau du robinet + du metalaxyl et laissé à la lumière ; B, Cultivar pré-poussé mis dans des sachets horticoles contenant un substrat constitué de terre noire et du sable stériles dans un rapport (2 : 1) et les mycorhizes ; C, Plantules obtenues 60 jours plus tard (Photo KOUMPOUAM).

II.2.3. Prise des paramètres

Les paramètres morphologiques seront relevés tous les 30 jours notamment le nombre de feuille, la longueur de la tige, la longueur et la largeur de la feuille. Des prélèvements seront effectués (feuilles, rhizomes et racines) pour des analyses en laboratoire, le dosage de la chlorophylle a et b, des sucres solubles, des acides aminés et de la proline. Et des observations microscopiques seront réalisées pour déterminer le taux de colonisation des racines par les mycorhizes.

II.3. ANALYSE MORPHOLOGIQUES ET HISTOLOGIQUES

II.3.1. Paramètres évalués

Les paramètres morphologiques évalués sont : le nombre de feuille, la taille des plantules, la surface foliaire et le nombre moyen des racines.

II.3.2. Analyses histologiques

Les racines après prélèvement ont été soigneusement lavées à l'eau du robinet, coupée en segments de 1-2 centimètre de long et submergées dans une solution de KOH à 10% pendant 15 minutes à 100°C. Elles ont été ensuite rincées trois fois à l'eau du robinet, trempé dans une solution de HCl 10% et un colorant (fuchsine). Après cette étape, les fragments de racine ont été à nouveau portés au bain-marie pendant 15 minutes à 90°C.

Les fragments de racine ainsi coloré ont été montés sur des lames et observés au microscope optique au grossissement x100. Au total, 100 fragments ont été observés par échantillon prélevé. Le calcul de la fréquence et de l'intensité de mycorhization a été fait selon la méthode de Trouvelot.

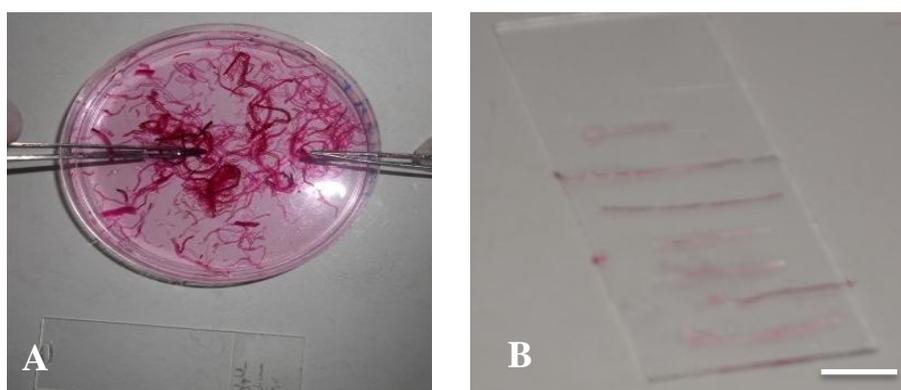


Figure 13. Montage des fragments de racine pour observation au microscope A) Montage des fragments de racine sur les lames B) Lame après le montage Trait= 2 cm (Photo Koumpouam)

Le décompte du nombre d'hyphe a été fait suivant une échelle définie par Trouvelot *et al.* (1986).

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

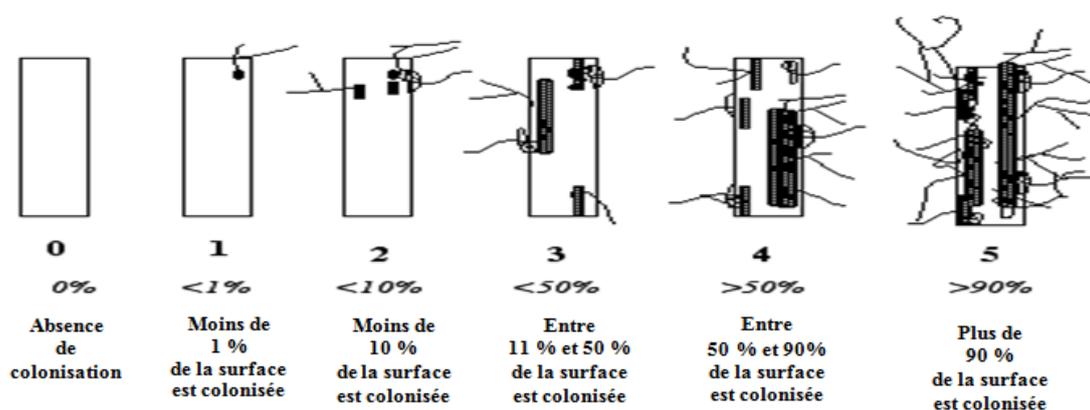


Figure 14. Échelle de décompte du nombre d'hyphes mycorhiziens (Trouvelot *et. al* 1986)

II.4. ANALYSES PHYSIOLOGIQUES ET BIOCHIMIQUES

Ces analyses sont effectuées avec 1g de feuilles et de rhizomes prélevé tous les 30 jours pendant la mycorhization et conservés à 2°

II.4.1. Analyses physiologiques

II.4.1.1. Extraction de la chlorophylle

Elle se fait selon la méthode de Marigo (1973). 1 g de feuille est prélevé et broyé dans l'acétone (80%) et une pincé de sable puis centrifugé à 4500 tr/min, et le surnageant est prélevé puis les densités sont lues dans un spectrophotomètre.

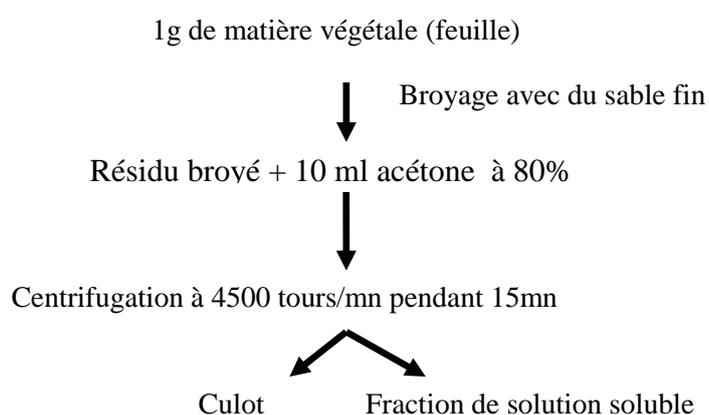


Figure 15. Protocole d'extraction de la chlorophylle (Marigo 1973)

II.4.1.2. Dosage de la chlorophylle a et b

Le dosage des chlorophylles se fait à 663 nm et à 645 nm. Les teneurs en chlorophylle a et chlorophylle b sont calculées selon les formules de Arnon (1949):

Chlorophylle a : $(0,127 \times D.O663) - (0,00269 \times D.O645)$ en mg/g de MF

Chlorophylle b : $(0,0229 \times D.O645) - (0,00468 \times D.O663)$ en mg/g de MF

II.4.2. Analyses biochimiques

II.4.2.1. Extraction des sucres solubles totaux et des acides aminés

L'extraction des sucres solubles totaux et des acides aminés est réalisée suivant la méthode décrite par Saha et Brewer (1994). Un gramme de matière fraîche est broyé dans un mortier en porcelaine avec du sable fin + 10 ml d'alcool à 80% est centrifugé à 5000 tours /mn pendant 30mn.

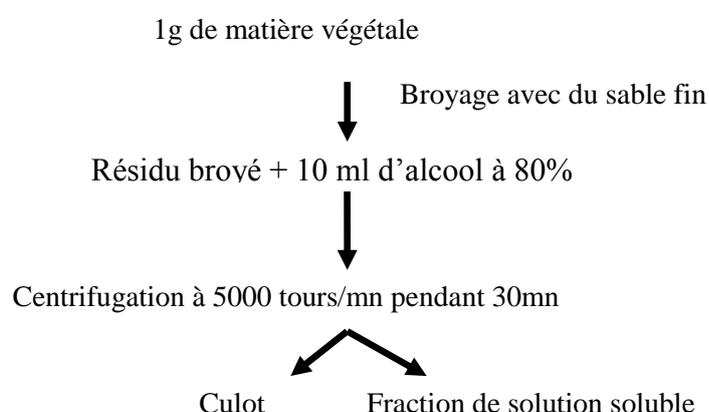


Figure 16. Protocole d'extraction des acides aminés et des sucres solubles totaux (Saha et Brewer 1994)

II.4.2.2. Dosage des sucres solubles et des acides aminés

II.4.2.2.1. Dosage des sucres solubles

Le dosage des sucres est réalisé selon la méthode de Saha et Brewer (1994). Le milieu réactionnel est constitué de 710 ml de H_2SO_4 coulé dans 290 ml d'eau distillée dans lequel 1g d'anthrone est ajouté après refroidissement dans la glace. Dans chaque tube on introduit

- 5 ml du réactif
- 10 μ l de l'extrait

Le mélange est porté à 80°C dans un bain marie pendant 20 mn. Après refroidissement l'absorbance du complexe vert formé est lue à 620 nm. La teneur en sucre est évaluée en référence à une gamme d'étalonnage établie avec une solution de glucose (1mg/ml) dans l'alcool à 80°C (Figure 13)

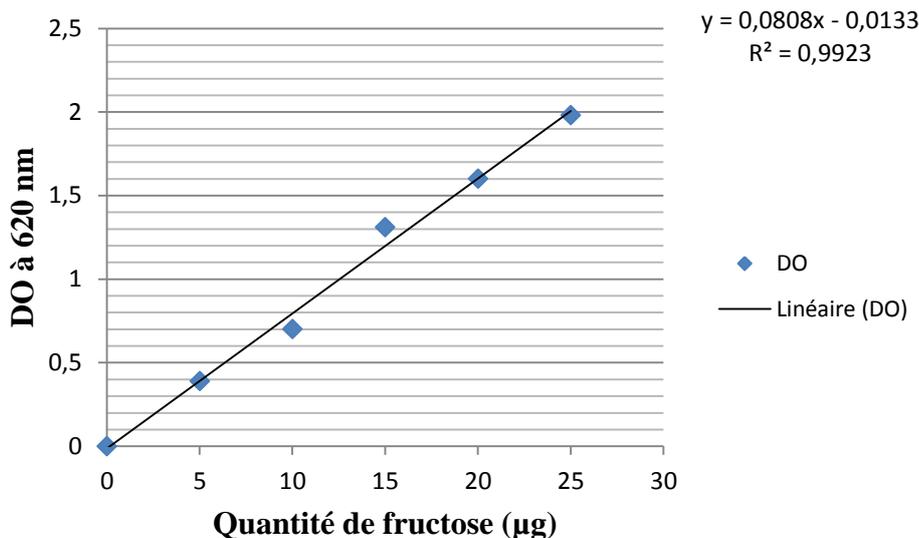


Figure 17: courbe d'étalonnage de sucres solubles

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

- **a** : coefficient directeur de la droite d'étalonnage
- **V_{tampon}** : volume du tampon en ml
- **V_{extrait}** : volume de l'extrait en µl
- **PF** : masse utilisée pour l'extrait en g
- **DO** : densité optique

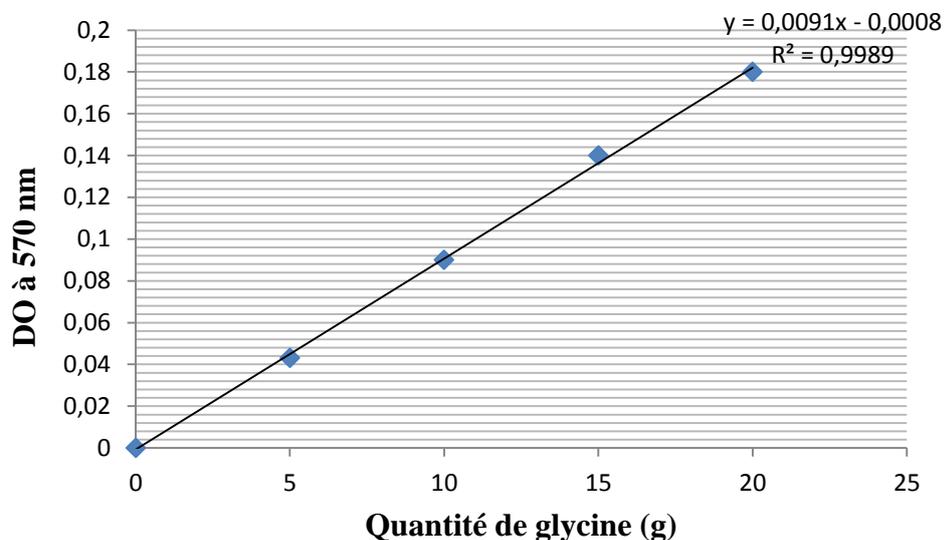
II.4.2.2.2. Dosage des acides aminés

Les acides aminés sont dosés 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 de l'acide aminé dans la solution.

Pour le dosage, le mélange réactionnel contenant 30µl d'extrait alcoolique, 0,5ml de tampon citrate 0,2M pH 5 et 1ml de solution acétonique de ninhydrine 1% + 0,06 % KCN est porté au bain marie bouillant pendant 15 mn. Après refroidissement à température ambiante, 8ml d'eau distillée y sont ajoutés. L'absorbance du complexe bleu violet formé est mesurée à 570 nm contre un blanc dans lequel l'extrait est remplacé par l'alcool 80%. Pour chaque

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

extrait, trois lectures ont été effectuées et les teneurs en acides aminés sont exprimées en $\mu\text{g/g}$ de matière fraîche, en fonction de la courbe d'étalonnage de la glycine.



II.4.2.2. Extraction et dosage de la proline

La proline est dosée selon la méthode de Monneveux et Nemmar (1986). Elle consiste à prendre 20 mg de 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 ($\text{CH}_3\text{-COOH}$);
- 25 mg de ninhydrine $\text{C}_9\text{H}_6\text{O}_4$;
- 1 ml d'un mélange contenant (120 ml d'eau distillé, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho phosphorique (H_3PO_4 , $d=1.7$)).

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 alors 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 concentrations en proline allant de 0 à 1 mg/ml

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

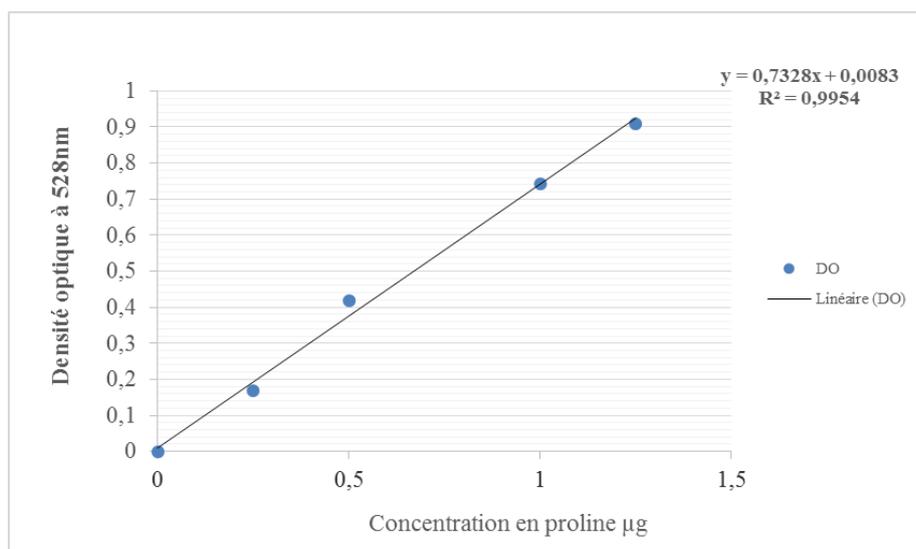


Figure 18. Courbe d'étalonnage de la proline

$$\text{Quantité} = \frac{\text{DO} \times V_{\text{tampon}}}{a \times V_{\text{extrait}} \times \text{PF}} \text{ (}\mu\text{g/mg de PF)}$$

- **a** : coefficient directeur de la droite d'étalonnage
- **V_{tampon}** : volume du tampon en ml
- **V_{extrait}** : volume de l'extrait en µl
- **PF** : masse utilisée pour l'extrait en g
- **DO** : densité optique

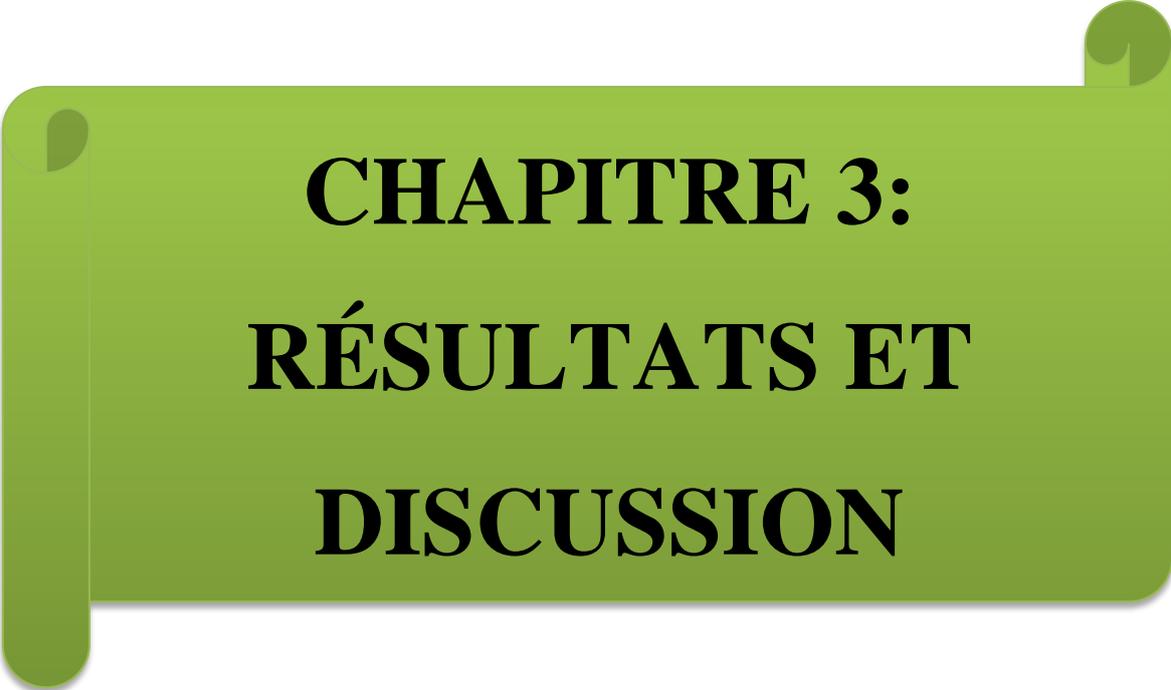
La méthode suivie pour le dosage de la proline est celle de Troll et Lindsley (1955), simplifiée par Dreier et Goring (1974) et modifiée par Monneveux et Nemmar (1986). Elle consiste à prendre 1g du matériel végétal, en présence de 2 ml de méthanol à 40%. Le mélange est chauffé à 85°C au bain- marie pendant 60mn. Après refroidissement, on prélève 1ml d'extrait auquel on ajoute: 1ml d'acide acétique (CH₃-COOH); 25 mg de ninhydrine (C₆H₆O) et 1ml de mélange contenant; 120ml d'eau distillée; 300ml d'acide acétique ; 80ml d'acide orthophosphorique (H₃PO₄, d=1.7). La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30mn à 100°C. La solution vire au rouge. Après refroidissement, 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée. Deux phases se séparent : une phase supérieure de couleur rouge contenant la proline et une phase inférieure transparente sans proline. Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure est récupérée et déshydratée par l'ajout d'une spatule de Sulfate de Sodium Na₂SO₄ anhydre (pour éliminer l'eau qu'elle contient). La

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

lecture est réalisée au spectrophotomètre à 528nm. 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 connue. Cette courbe est utilisée pour déterminer les teneurs en proline dans les feuilles des plantes.

II.2.5.1. Analyses statistiques

Le logiciel EXCEL a été utilisé pour le traitement des données et la réalisation des graphiques.

A green scroll graphic with a white border and a drop shadow, containing the chapter title. The scroll has a tab on the right side and a shadow on the left side.

CHAPITRE 3: RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1. RÉSULTATS

III.1.1. Paramètres de croissance chez les plantules de macabo mycorhizées après 120 jours de culture

III.1.1.1. Évaluation du nombre de feuilles moyen des plantules de macabo au cours du temps

Le nombre de feuilles moyen varie au cours du temps et suivant les traitements appliqués, au J30, J60, J90 et J120 (Figures 19 & 20)

Chez les témoins, le nombre de feuille moyen est important au J60. En absence de de source de carbone il est de $2,5 \pm 0,6$ donc très important par rapport à la présence de carbone soit de $2,1 \pm 0,9$ (Figures 19 & 20).

Chez les plantules mycorhizées, il est de $2,02 \pm 0,9$ chez le traitement *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* tandis que pour le traitement *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora marigarita* + *Gigaspora margarita* il est également important au J90 soit de $1,87 \pm 0,55$.

Chez les plantules mycorhizées en présence de la source de Carbone, le nombre moyen de feuille est important chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + source de carbone soit de $1,85 \pm 0,6$ au J90 et chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* + source de carbone soit de $2,260 \pm 0,28$ au J120.

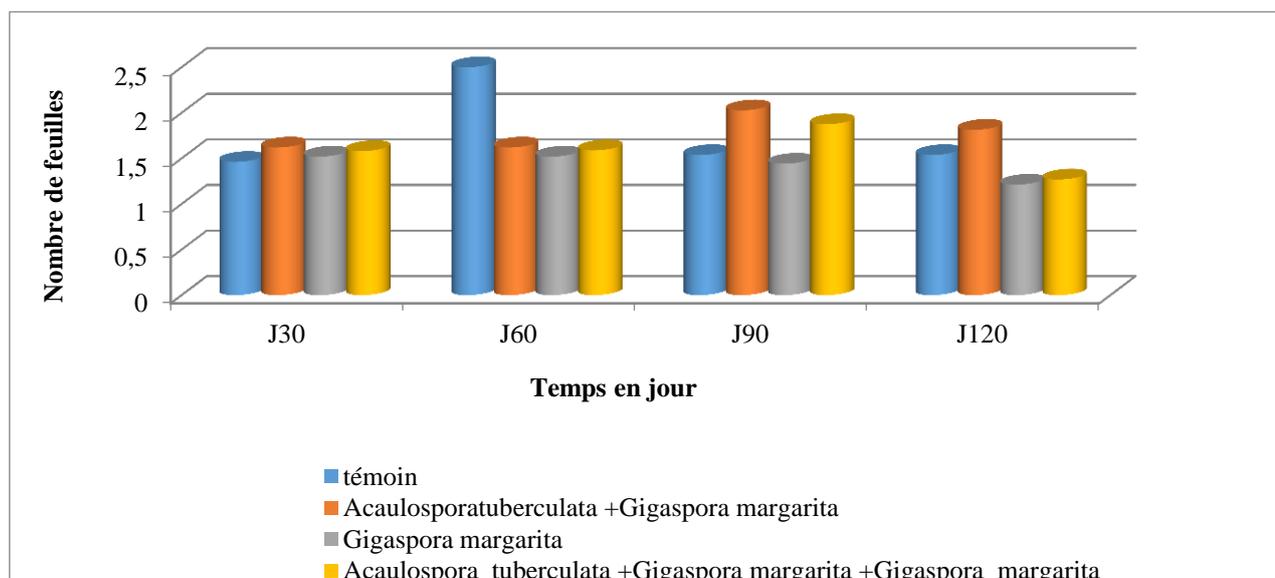


Figure 19. Nombre de feuilles des plantules suivant les traitements en absence de source de carbone au cours du temps

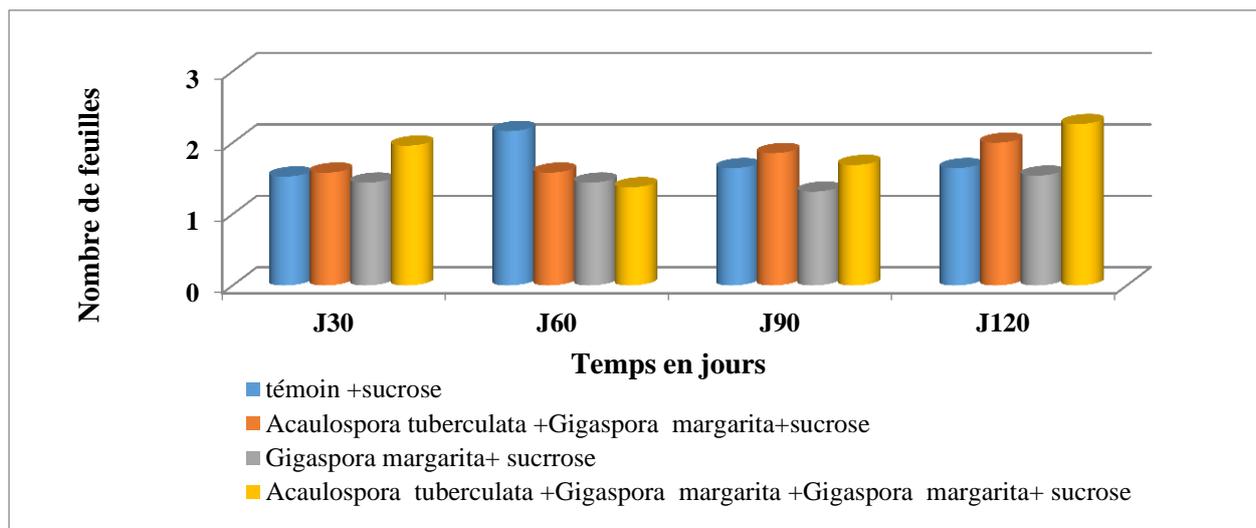


Figure 20. Nombre de feuilles des plantules suivant les traitements en présence de la source de carbone au cours du temps

III.1.1.2. Évaluation de la taille moyenne des plantules de macabo au cours du temps

La taille moyenne des plantules varie au cours de l'essai et suivant les traitements appliqués au J30, J60, J90 et J120 (Figures 21 & 22).

Chez les témoins, la taille est plus importante au J60. En absence de source de carbone, elle est de $17,36 \pm 1,03$ cm, et donc moins importante par rapport à la présence de carbone ; soit $16,84 \pm 2,3$ cm.

Chez les plantules mycorhizées, elle est de $18,52 \pm 1,3$ cm chez le traitement *Acaulospora tuberculata* +*Gigaspora margarita* au J90, tandis que pour le traitement *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita*, elle est également importante au J90, soit $17,18 \pm 2,00$ cm.

Chez les plantules mycorhizées en présence de source de carbone, la taille moyenne est importante chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + sucrose, soit $18,35 \pm 0,95$ cm au J120 ; et chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* + source ; soit $16,26 \pm 2,04$ cm au J120.

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

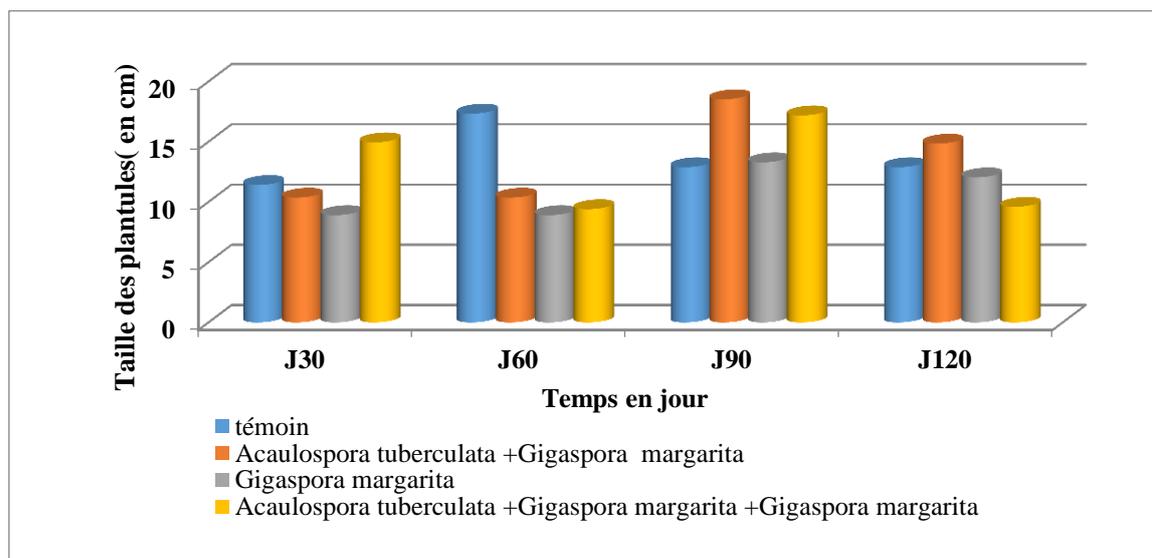


Figure 21. Taille moyenne des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps

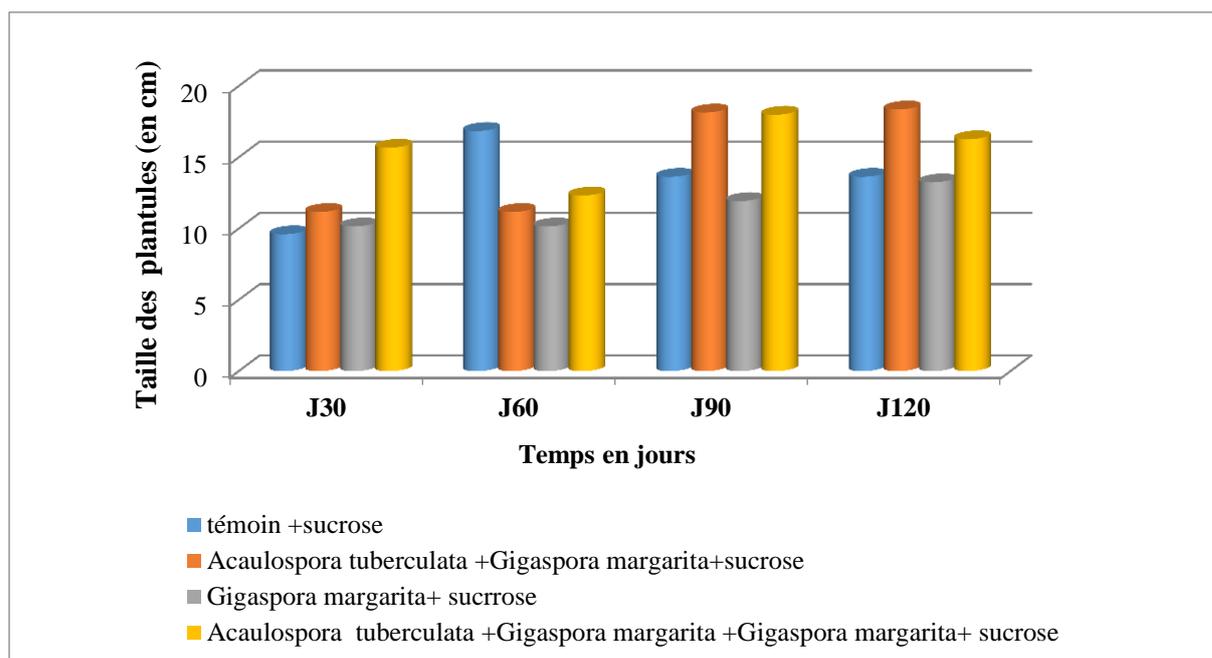


Figure 22. Taille moyenne des plantules suivant les traitements en présence de la source de carbone au cours du temps.

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

III.1.1.3. Évaluation de la surface foliaire moyenne chez les plantules de macabo au cours du temps

Les surfaces foliaires varient au cours du temps et suivant les traitements appliqués au J30, J60, J90 et J120. (Figures 23 & 24).

Chez les témoins, les surfaces les plus importantes sont obtenues au J60. En absence de source de carbone, il est de $41,06 \pm 0,3 \text{ cm}^2$, donc moins important par rapport à la source de carbone soit $41,26 \pm 0,7 \text{ cm}^2$.

Chez les plantules mycorhizées, elle reste $56,60 + 0,81 \text{ cm}^2$ chez le traitement *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* au J90. Tandis que pour le traitement *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* elle est également importante soit de $58,75 \pm 0,9 \text{ cm}^2$.

Chez les plantules mycorhizées en présence de la source de carbone, la surface est plus importante chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + sucrose soit de $60,41 \pm 0,84 \text{ cm}^2$ au J120 et chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* + sucrose soit $57,53 \pm 0,4 \text{ cm}^2$ au J90.

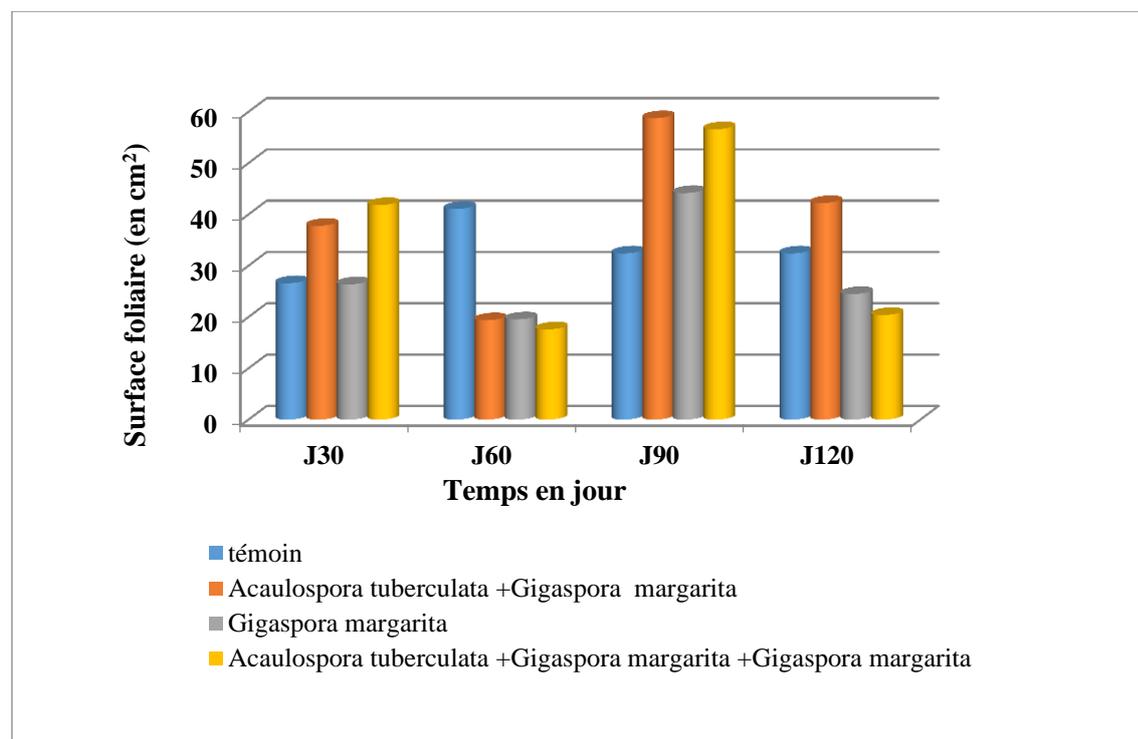


Figure 23. Sur foliaire des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

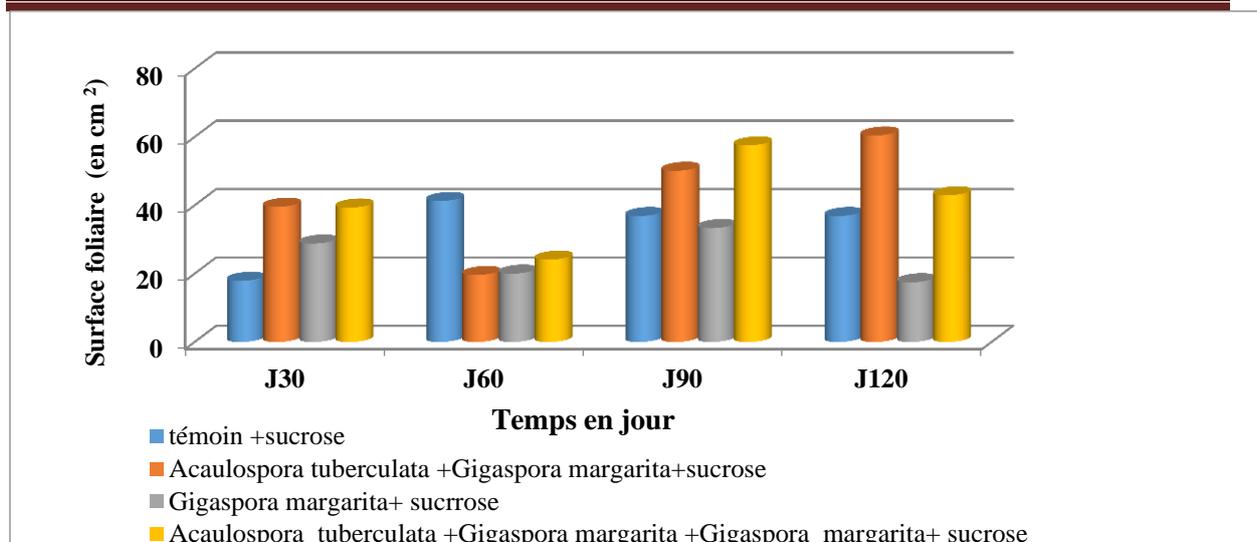


Figure 24. Sur foliaire des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps

III.1.1.4. Évaluation du nombre moyen des racines chez les plantules de macabo au cours du temps

Le nombre de racine varie au cours de l'essai et suivant les traitements appliqués au J30, J60, J90 et J120 (Figures 25 & 26).

Chez les plantules, le nombre de racine est important au J30. En absence de source de carbone, il est de $11 \pm 0,5$ et plus important en présence de carbone, soit de $23 \pm 2,01$.

Chez les plantules mycorhizées, il est de $21 \pm 0,4$ chez le traitement *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita*, tandis que chez *Gigaspora margarita*, il est de 20 ± 03 au J90.

Chez les plantules mycorhizées en présence de source de carbone, le nombre de racine est important chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* + sucrose, soit $17, \pm$ au J30, et chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + source de carbone, soit de $15,55 \pm 0,5$ au J90.

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

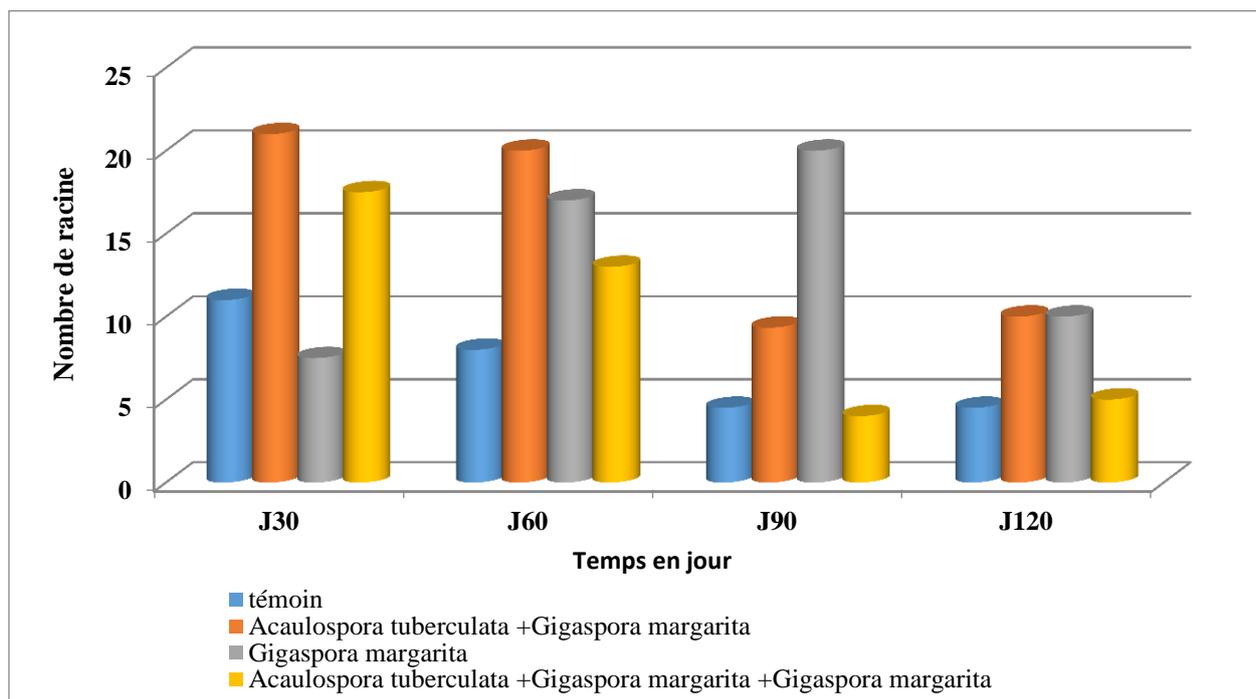


Figure 25. . Nombre moyen de racine des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps.

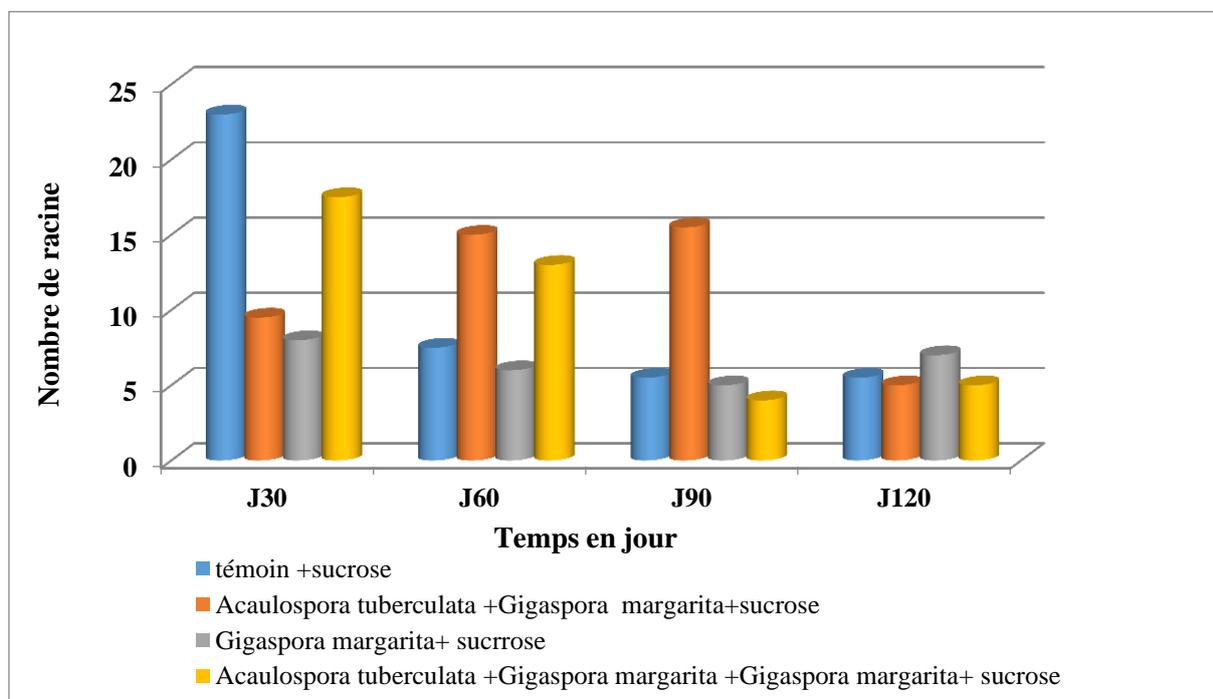


Figure 26. Nombre moyen de racine des plantules suivant les traitements en présence de la source de carbone au cours du temps.

III.1.1.5. Aspect des plantules de macabo après 120 jours de mycorhization

Les plantes après 120 jours ne présentent pas des différences significatives au niveau de leurs aspects, on note néanmoins des différences au niveau de la coloration des feuilles qui est plus accentuée chez les plantes qui ont reçu un traitement mycorhizien. (Figure 27)



Témoin



Témoin +source de carbone



Acaulospora tuberculata +*Gigaspora margarita*



Acaulospora tuberculata +*Gigaspora margarita* + source de carbone

Figure.27. Aspect des plantules de macabo après 120 jours de mycorhization (Photos KOUMPOUAM)

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)



Gigaspora margarita



Gigaspora margarita + source de carbone



Acaulospora tuberculata + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita*



Acaulospora tuberculata + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* + source de carbone

Suite figure 27.

III.1.2.Évaluation de la mycorhization au cours de la croissance

III.1.2.1. Fréquence de mycorhization (%F)

De façon globale le taux de mycorhization varie en fonction de la souche utilisée. Cette fréquence quelle que soit la souche utilisée évolue en deux temps ; en un premier temps il y a augmentation puis en un second il y a chute (Figures 28 & 29).

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

Au J30 les fréquences les plus importantes sont observées chez les plantes traitées par *Acaulospora tuberculata*+ *Gigaspora margarita*+ *Gigaspora margarita* et *Acaulospora tuberculata*+ *Gigaspora margarita*+ *Gigaspora margarita* + sucrose soit respectivement 81% et 49,33%. Au J60 ces valeurs chutent et les fréquences les plus importantes sont observées chez les plantes traitées par *Acaulospora tuberculata*+ *Gigaspora margarita* + sucrose et *Acaulospora tuberculata*+ *Gigaspora margarita* soit respectivement 79% et 75%. Au J90 les taux les plus importants sont obtenus chez les plantes traitées par *Acaulospora tuberculata*+ *Gigaspora margarita* + sucrose, *Acaulospora tuberculata*+ *Gigaspora margarita*, *Gigaspora margarita* et *Acaulospora tuberculata*+ *Gigaspora margarita* + sucrose soit respectivement 77,66 % ; 77% ; 71% et 59%. Au J120 ces valeurs chutent seul le taux de *Gigaspora margarita* reste constant

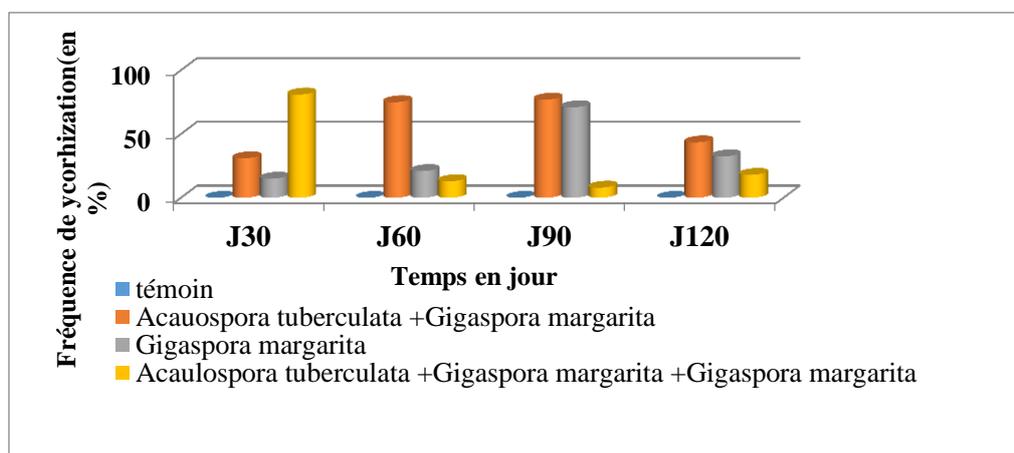


Figure 28. Fréquence de mycorhization des racines des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps.

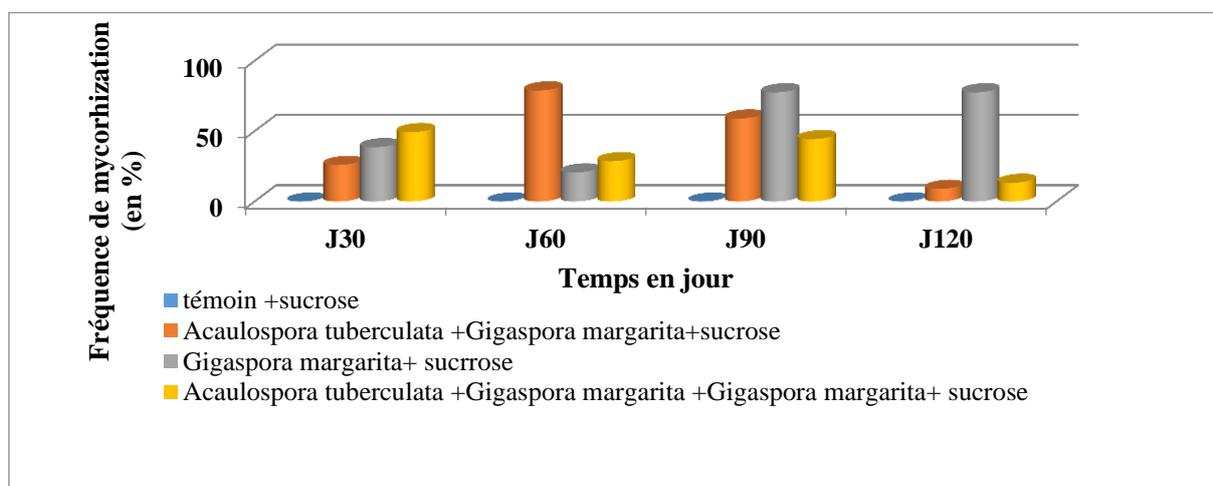


Figure 29. Fréquence de mycorhization des racines des plantules suivant les traitements en présence de la source de carbone au cours du temps.

III.1.2.2. Intensité de mycorhization (%I ou %M)

L'intensité de mycorhization varie au cours de l'essai et selon les traitements appliqués (Figure 30 &31).

Chez les plantules mycorhizées, il est de 47,16 chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* au J30 et de 17,17 chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* au J60.

Chez les plantules mycorhizées en présence de source de carbone, les intensités les plus importantes sont observées chez *Gigaspora margarita* + Source de carbone ; soit 12,35 au J30 et de 12,13 chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + source de carbone ; soit 12,13 au J60.

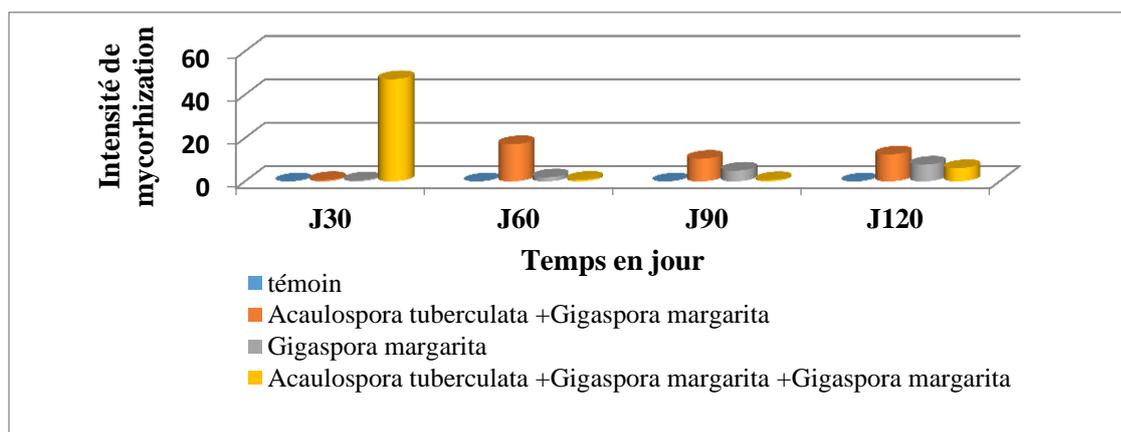


Figure 30. Intensité de mycorhization des racines des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps.

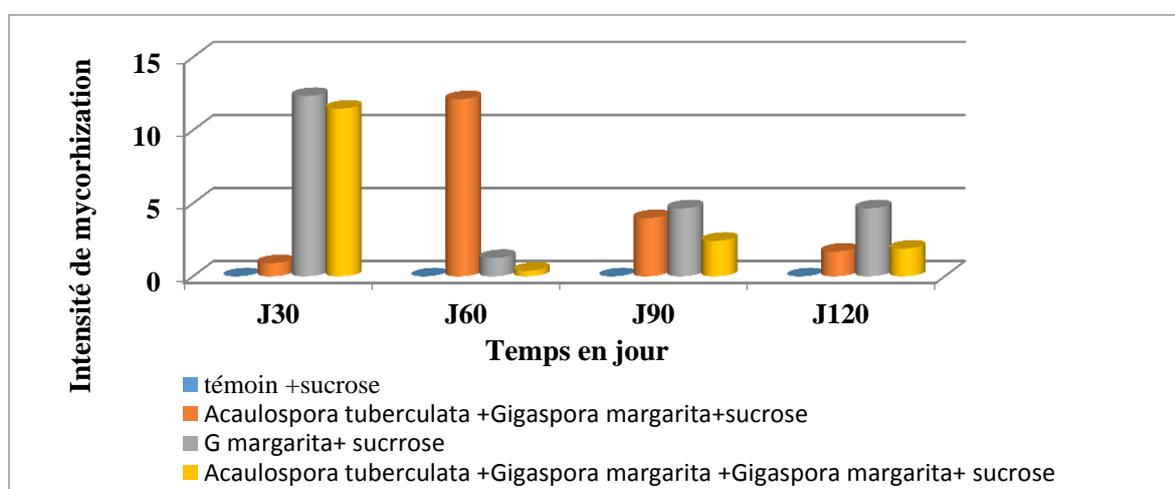


Figure 31. Intensité de mycorhization des racines des plantules suivant les traitements en absence de la source de carbone au cours du temps.

III.1.2. Analyses histologiques des racines mycorhizées chez les plantules de macabo

L'observation au microscope électronique des racines mycorhizées a permis de mettre en évidence la présence des arbuscules et des hyphes (Figure 32).



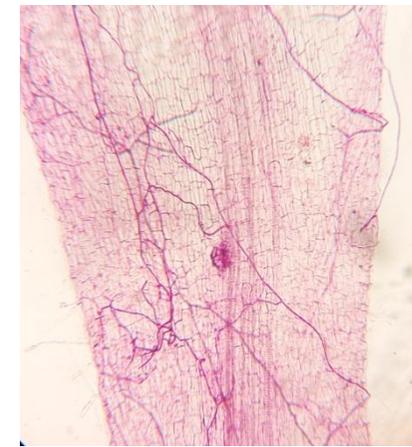
Témoin



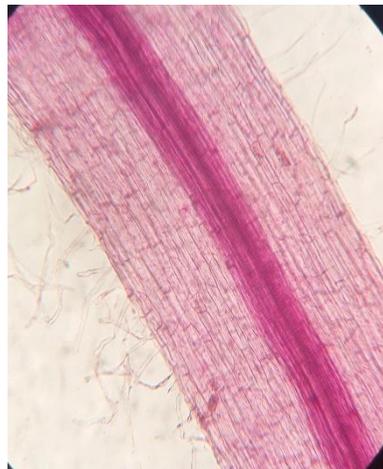
Acaulospora tuberculata + *Gigaspora margarita*



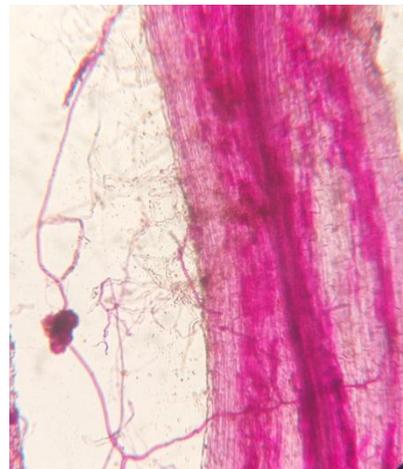
Gigaspora margarita



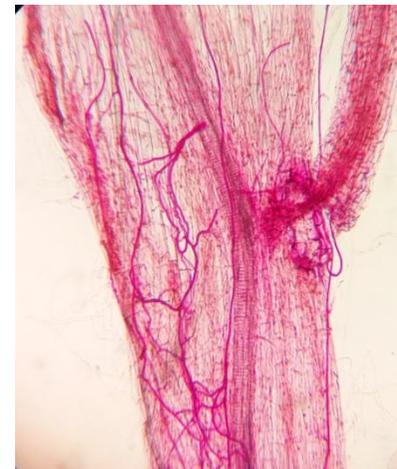
Acaulospora tuberculata + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita*



Témoin + source de carbone



Acaulospora tuberculata + *Gigaspora margarita* + source de carbone



Gigaspora margarita + source de carbone

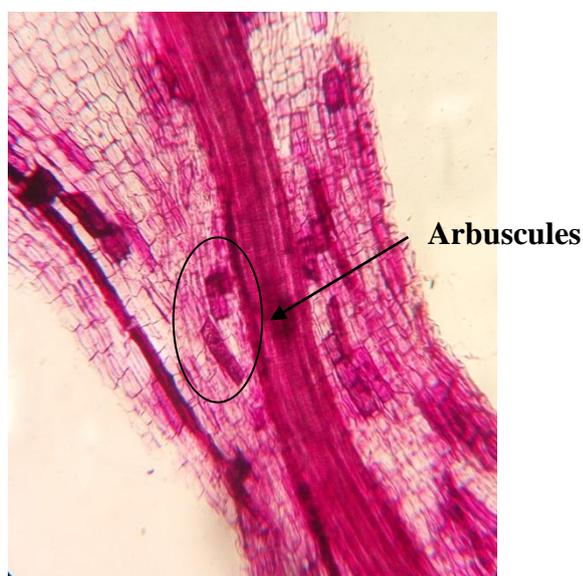


Acaulospora tuberculata + *Gigaspora margarita* + source de carbone

Figure 32. Aspect des racines suivant les traitements observés au microscopique a) Hyphes, b) Vésicule, c) Arbuscule (Photos KOUMPOUAM 2016)

III.1.2.3. Les hyphes mycorhiziens chez les différents traitements au J120

Aspect des arbuscules



Acaulospora tuberculata + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita*

Figure 33. Aspect des arbuscules après 120 jours de mycorhization (Photo KOUMPOUAM)

III.1.3. Analyses biochimiques

III.1.3.1. Évaluation de la teneur en chlorophylle a

La teneur de la chlorophylle varie au cours de l'essai et suivant les traitements appliqués au J30, J60, J90 et J120 (Figures 34A & 34B)

Chez les témoins, la teneur en chlorophylle a est importante au J60. En absence de source de carbone, elle est de $0,244 \pm 0,001 \text{ mg/g}$, donc plus importante par rapport à la présence de carbone soit de $0,23 \pm 0,00 \text{ mg/g}$.

Chez les plantules mycorhizées, elle est de $0,33 \pm 0,00 \text{ mg/g}$ de MF chez *Gigaspora margarita* au J90, tandis que pour le traitement *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita*, soit $0,283 + 0,00$ au J60.

Chez les plantules mycorhizées en présence de la source de carbone, la teneur est importante chez *Gigaspora margarita* + source de carbone, soit $0,36 \pm 0,00 \text{ mg/g}$ de M et chez $0,36 \pm 0,00$ au J60

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

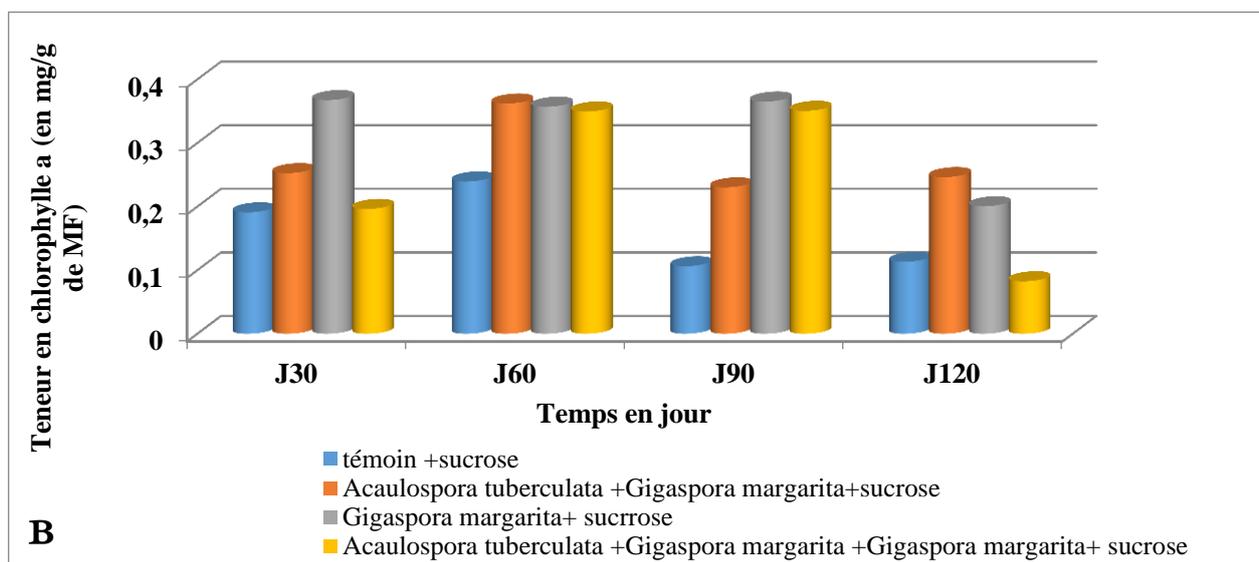
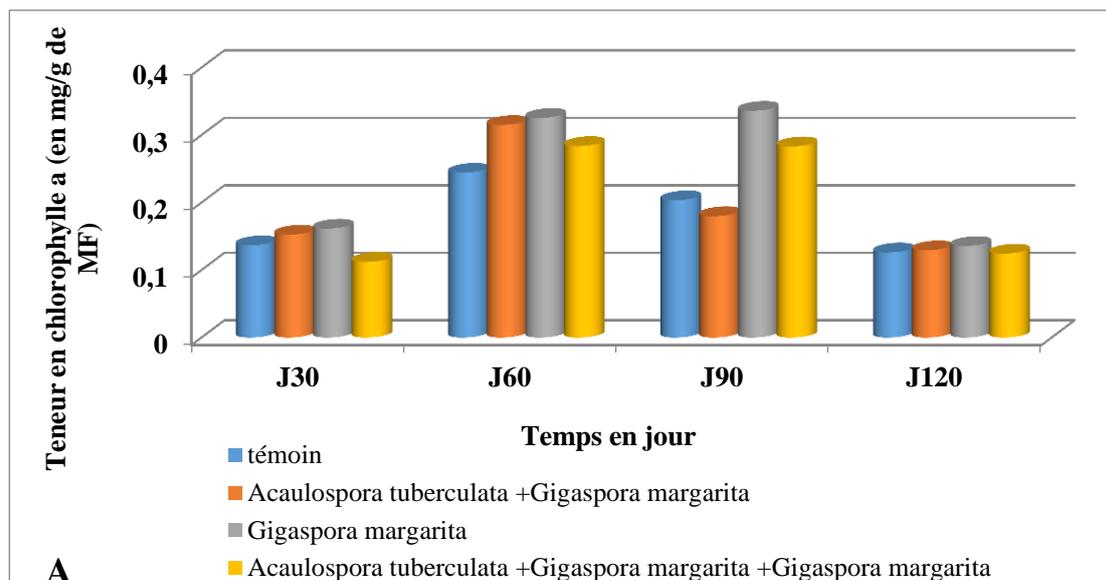


Figure 34. . Teneur en chlorophylle a suivant les traitements au cours du temps. A) en absence de la source de carbone. B) en présence de la source de carbone

III.1.3.2. Évaluation de la teneur en chlorophylle b

La teneur de la chlorophylle b varie au cours du temps et suivant les traitements appliqués au J30, J60, J90 et J120 (Figures 35A & 35B).

Chez les témoins, la teneur en chlorophylle est importante au J60. En absence de source de ce carbone, elle est de $0,42 \pm 0,00$ mg-g de MF ; donc plus très importante par rapport à la présence de carbone, soit $0,4 \pm 0,00$ mg/g de MF.

Chez les plantules mycorhizées, elle est de $0,511 \pm 0,00$ mg/g chez G margarita au J90, tandis que pour A tubercule + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* elle est de $0,42 \pm 0,00$ mg/g de MF.

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

Chez les plantules mycorhizées en présence de la source de carbone, la teneur est importante chez *Gigaspora margarita* + source de carbone, soit $0,54 \pm 0,00$ mg/g de MF et chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* + source de carbone ; soit $0,47 \pm 0,00$ au J90.

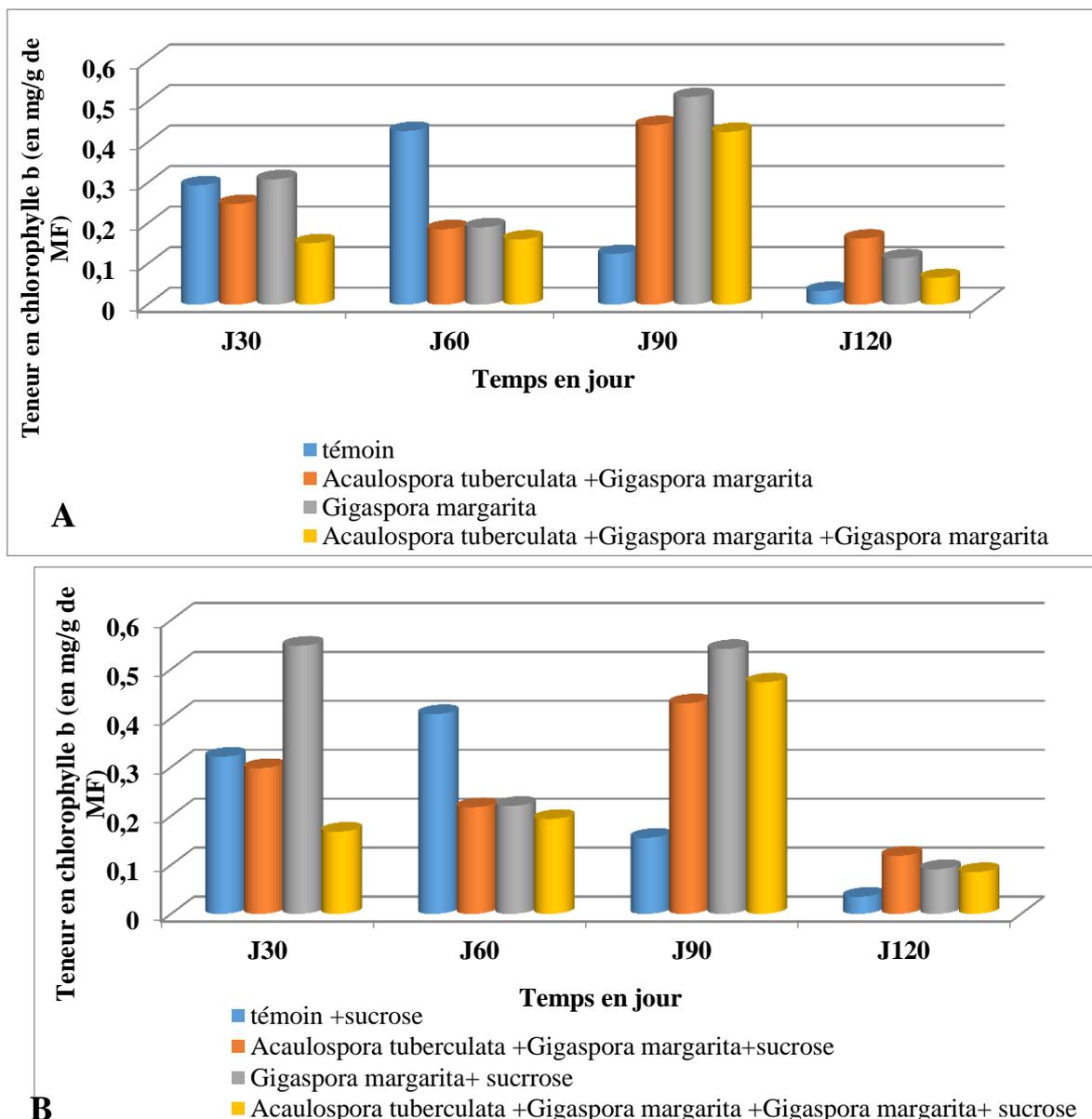


Figure 35. . Teneur en chlorophylle b suivant les traitements au cours du temps. A) en absence de la source de carbone. B) en présence de la source de carbone

III.1.3.3. Évaluation de la teneur en sucre soluble

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

La teneur en sucre soluble varie au cours du temps et suivant les traitements appliqués, dans les feuilles et dans les rhizomes aux J30, J60, J90 et J120. (figures 36 et 37).

Chez les témoins la teneur est importante au J30 dans les feuilles soit $3,05 \pm 0,57$ mg/g de MF, et dans les rhizomes au J90 soit $3,39 \pm$ mg/g de MF. Tandis chez les témoins en présence de la source de carbone elle est importante au J30. Dans les feuilles elle est de $2,90 \pm 0,10$ mg/g de MF et dans les rhizomes elle est de $6,70 \pm 0,17$ mg/g de MF.

Chez les plantules mycorhizées elle est plus importante chez le traitement *Gigaspora margarita* soit $4,97 \pm 0,80$ mg/g de MF dans les feuilles au J60, donc moins importante que dans les rhizomes chez le traitement *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* soit $5,47 \pm$ mg/g de MF au J90.

Chez les plantules mycorhizées en présence de la source de carbone, la teneur en sucre est importante chez *Acaulospora tuberculata*+ *Gigaspora margarita* +*Gigaspora margarita* + source de carbone au J60 dans les feuilles soit $6,13 \pm 0,35$ mg/g de MF et dans les rhizomes au J30 chez le traitement *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita*+ *Gigaspora margarita* soit $5,46 \pm 0,67$ mg/g de MF.

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

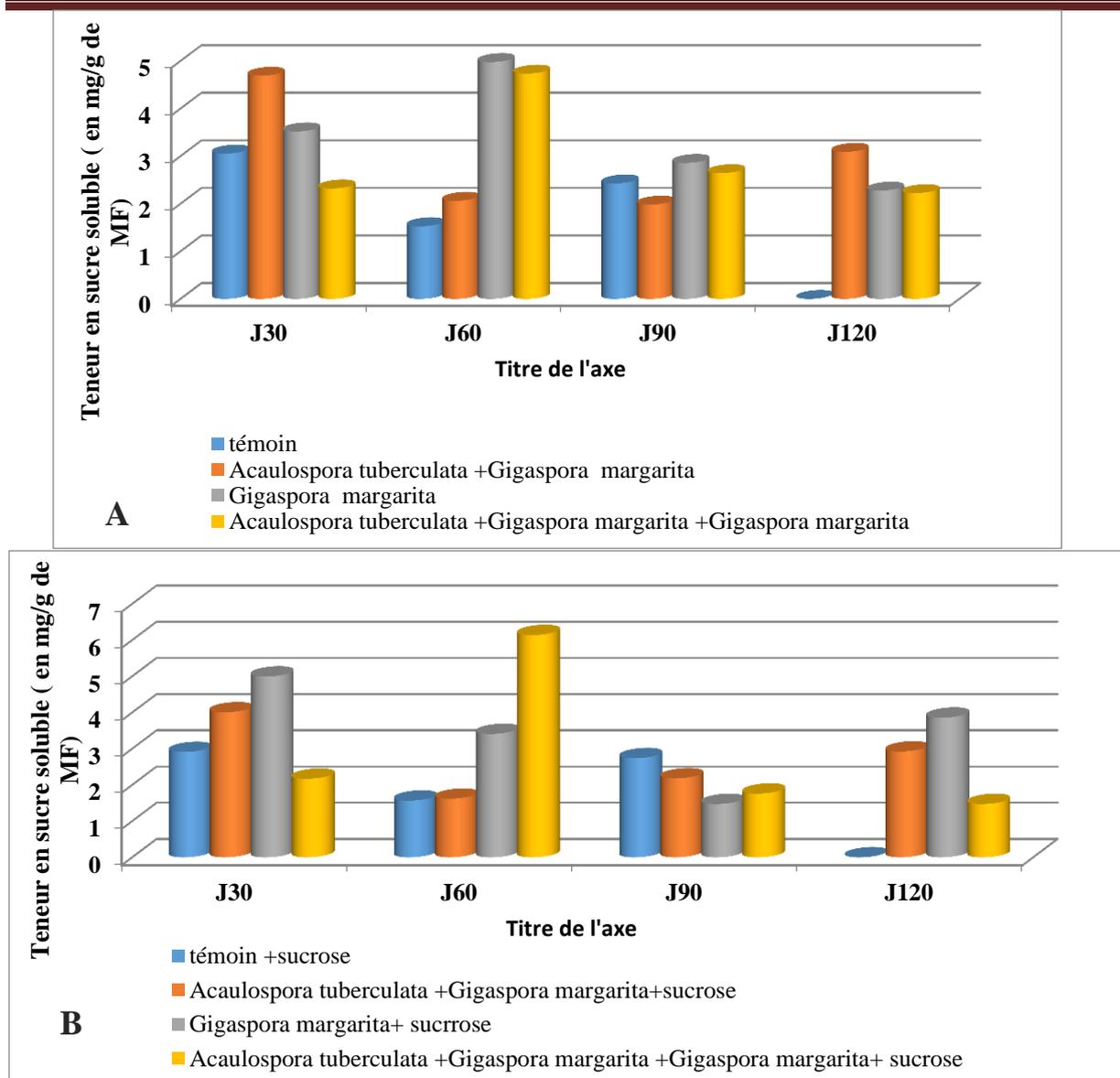


Figure 36. Teneur en sucres solubles dans les feuilles suivant les traitements au cours du temps. A) en absence de la source de carbone. B) en présence de la source de carbone

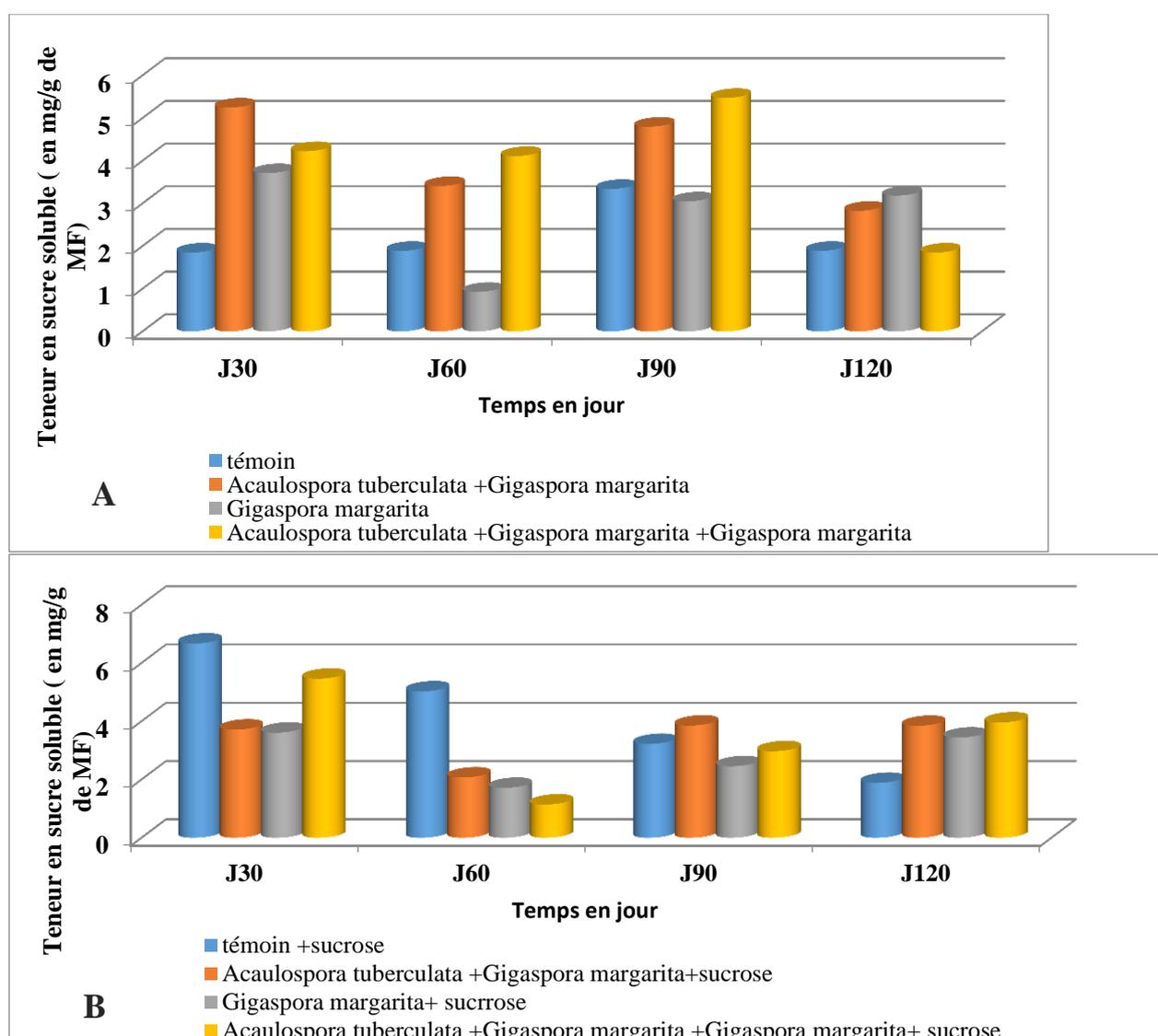


Figure 37. Teneur en sucre soluble dans les rhizomes suivant les traitements au cours du temps. A) en absence de la source de carbone. B) en présence de la source de carbone

III.1.3.4. Évaluation de la teneur en acides aminés

La teneur en acide aminé varie au cours de l'essai et suivant les traitements appliqués, dans les feuilles et les rhizomes au J30, J60, J90 et J120 (Figures 38 &39).

Chez les témoins la teneur en acide aminés est importante au J30 dans les feuilles soit $6,71 \pm 0,22$ mg/d/g de MF et dans les rhizomes au J90 soit $10,51 \pm 0,19$ mg/g de MF. Tandis que chez les témoins en présence de la source de carbone, elle est importante au J30 dans les feuilles, soit $13,27 \pm 0,35$ mg/g de MF et au J90 dans les rhizomes, soit $15,36 \pm 0,81$ mg/g de MF.

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

En ce qui concerne les plantules mycorhizées elle est importante au J120, soit $10,94 \pm 0,29$ mg/g de MF chez les traitements *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* dans les feuilles et $19,65 \pm 0,73$ mg/g de MF chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* dans les rhizomes.

Chez les plantules mycorhizées en présence de la source de carbone, la teneur en acides aminés est importante au J120 dans les feuilles chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* + source de carbone soit $10,94 \pm 0,96$ mg/g de MF, et au J90 chez *Gigaspora margarita* dans les rhizomes soit $16,70 \pm 0,86$ mg/g de MF.

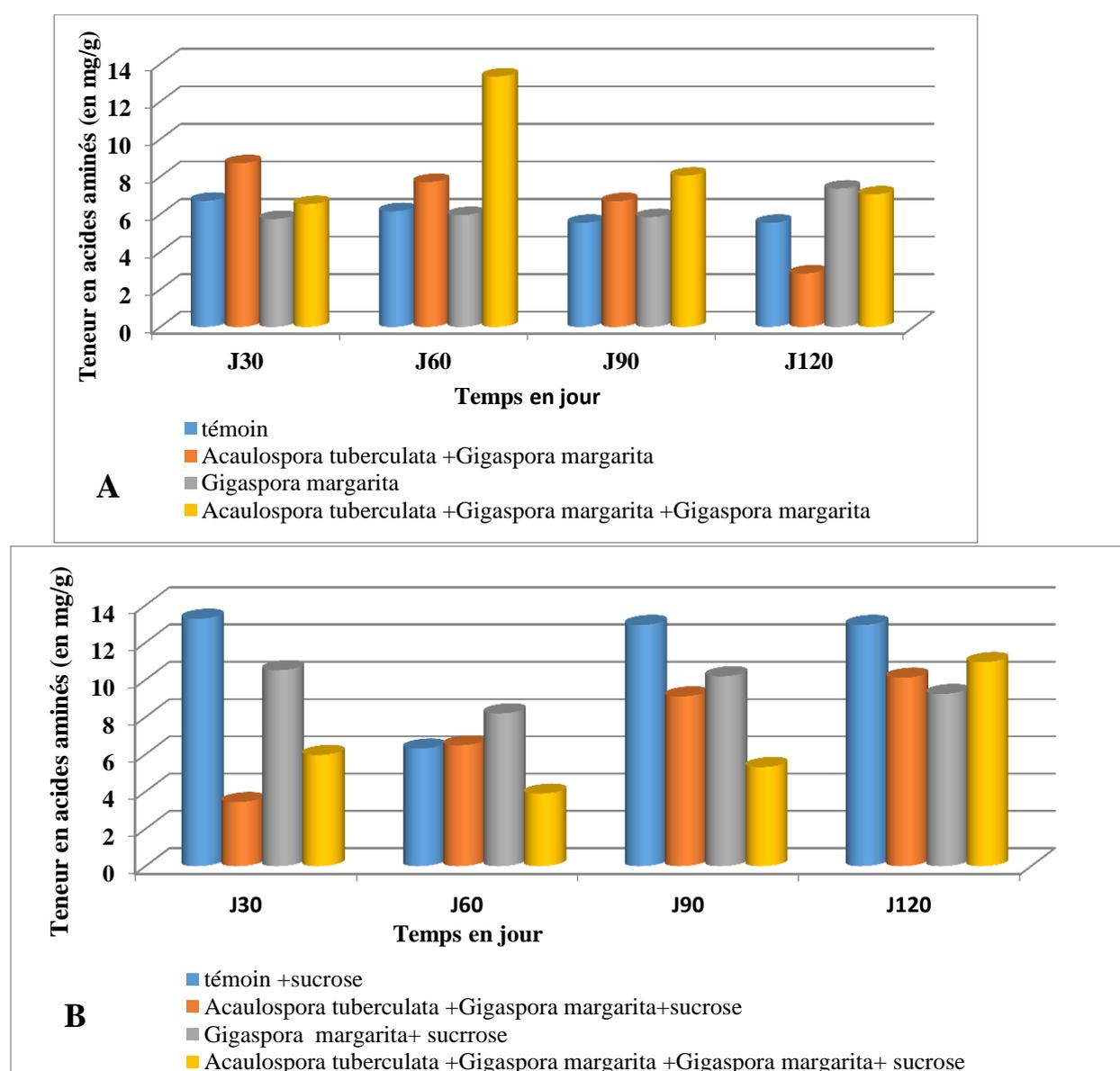


Figure 38. Teneur en acides aminés dans les feuilles suivant les traitements au cours du temps. A) En absence de la source de carbone. B) En présence de la source de carbone

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

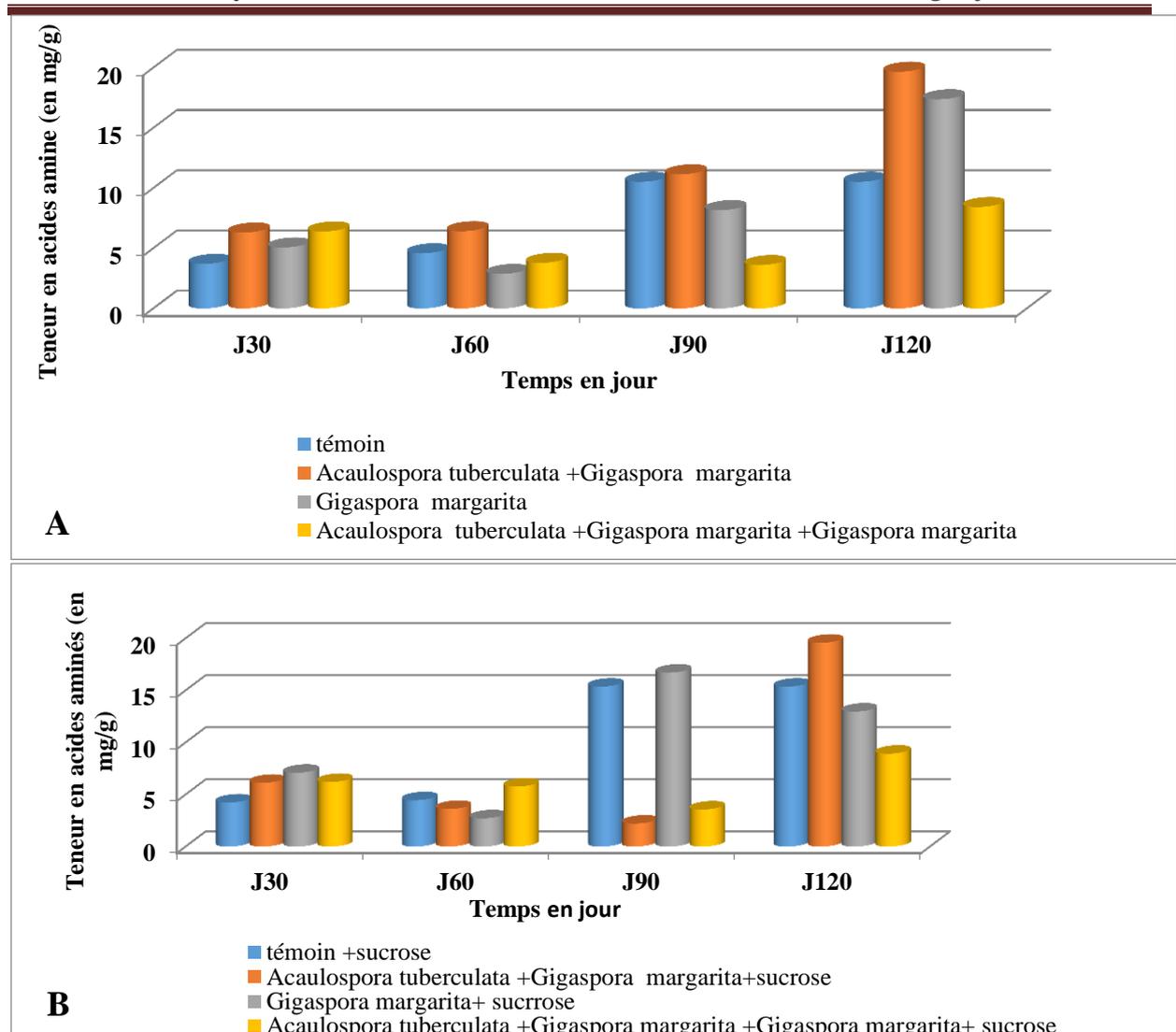


Figure 39. Teneur en acides aminés dans les rhizomes suivant les traitements au cours du temps. A) En absence de la source de carbone. B) En présence de la source de carbone

III.1.3.5. Évaluation de la teneur en proline

La teneur en proline varie au cours de l'essai selon les traitements appliqués dans les feuilles et les rhizomes aux J30, J60, J90 et J120 (Figures 40 & 41).

Chez les témoins elle est importante au J30 dans les feuilles soit $2,03 \pm 0,51$ mg/g de MF et dans les rhizomes au J90 soit $5,12 \pm 0,81$ mg/g de MF. Tandis que chez les témoins en présence de la source de carbone elle est de $1,51 \pm 0,03$ au J30 dans les feuilles et de $1,25 \pm 0,12$ dans les rhizomes.

Chez les plantules mycorhizées la teneur en proline est importante chez *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* soit $4,02 \pm 0,62$ mg/g de MF dans les feuilles et chez *Gigaspora margarita* soit $3,13 \pm 0,2$ dans les rhizomes au J120.

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

Chez les plantes mycorhizées en présence de la source de carbone la teneur la est importante chez *Acaulospora tuberculata*+ *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* + source de carbone, soit $3,90 \pm 0,57$ au J120 dans les feuilles et chez *Acaulospora tuberculata* +*Gigaspora margarita* + source de carbone dans les rhizomes au J120 soit $5,37 \pm 0,04$ mg/g de MF.

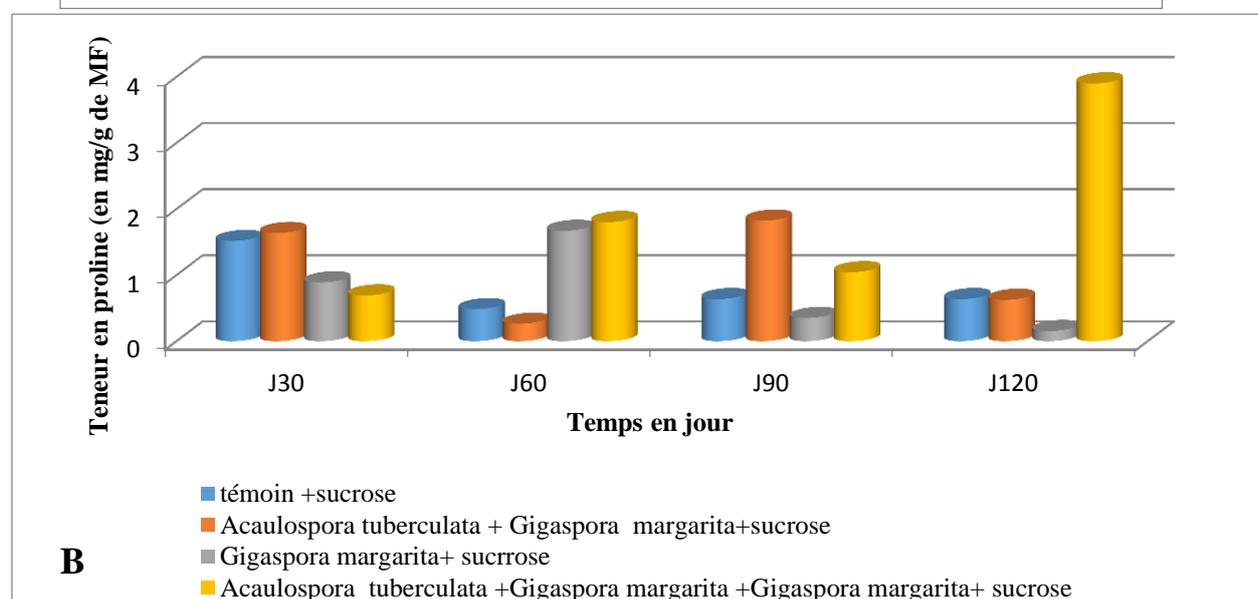
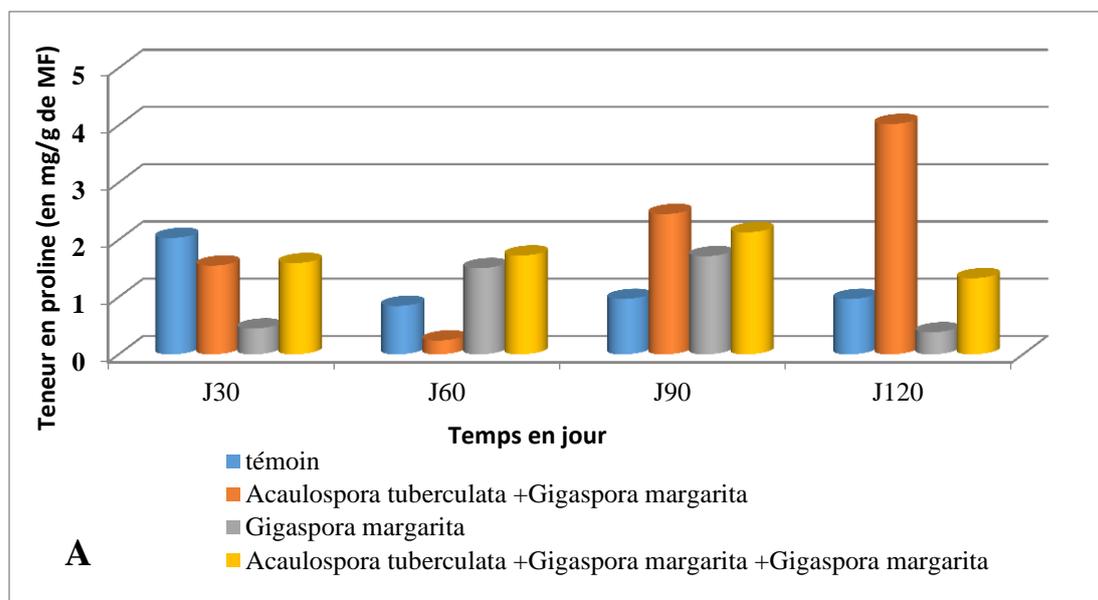


Figure 40. Teneur en proline dans les feuilles suivant les traitements au cours du temps. A) En absence de la source de carbone. B) En présence de la source de carbone

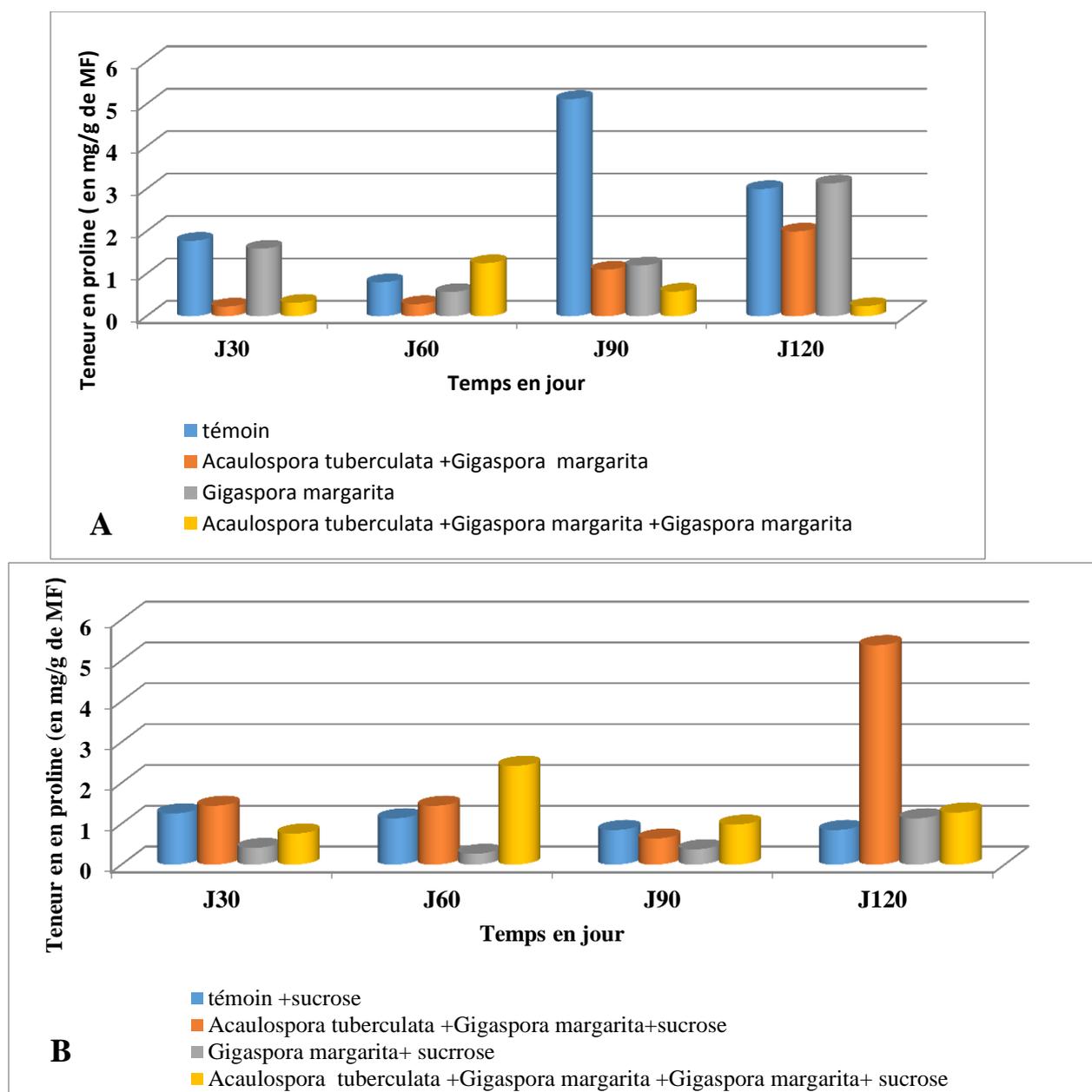


Figure 41. . Teneur en proline dans les rhizomes suivant les traitements au cours du temps. A) En absence de la source de carbone. B) En présence de la source de carbone

III.2. Discussion

Dans notre travail il est question d'évaluer l'effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*). Les analyses morphologiques ont montré que les plantes mycorhizées ont un nombre de feuilles inférieur aux témoins. Ces résultats sont en approbation avec ceux de Diallo (1998) qui a montré que les mycorhizes n'ont aucun effet sur la fréquence d'apparition des feuilles du niébé (*Vigna unguiculate*). Cependant, la surface

Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

foliaire, et la longueur des plantes sont supérieures chez les plantes mycorhizées par rapport aux témoins. Ces résultats corroborent ceux de Van Der Heijden *et al.* (1998) qui ont montré que la symbiose mycorhizienne stimulerait la croissance des plantes herbacées. De même, le nombre de racine des plantes mycorhizées est supérieur chez les plantes par rapport à celui des témoins. Ces résultats sont en accord avec ceux de Brunner *et al.* (2001) qui ont montré que le développement des mycorhizes dure quelques semaines et a pour effet de stimuler la croissance des racines. En outre ces paramètres sont d'autant plus important que les plantes qui ont reçu un supplément en carbone ces résultats sont en accord avec ceux de Dzung et al (2011) qui disent que un apport exogène de sucre augmenterait la croissance des plantes, et ces paramètres sont aussi différent en fonction de la souche de mycorhize utilisée. Ces résultats corroborent avec ceux de Ruiz Lazano *et al.* (1995) qui ont dit que les mycorhizes ont des effets variables en fonction des champignons mycorhiziens testés sur le comportement agro physiologique du niébé.

Les analyses histologiques relève la présence des structures filamenteuses à l'intérieure des racines. Ces structures sont appelées hyphes. On note aussi la présence des arbuscules et des vésicules preuves que ces racines ont été colonisées par les champignons. De plus le nombre de ces hyphes varie en fonction du traitement mycorhizien utilisé. C'est la présence de ces structures qui serait à l'origine de la différence de croissance observée entre les plante mycorhizées et les témoins. Ces résultats corroborent ceux de Hamza (2014) qui a montré qu'en plein champ, les mycorhizes arbusculaires du genre *Glomus* ont eu des effets bénéfiques sur la croissance des plants de pastèques.

Les analyses de la teneur en chlorophylle ont montré que la teneur en chlorophylle (a et b) est supérieure chez les plantes traitées que chez les témoins et, varie au cours de l'essai. C'est ainsi qu'on observe une phase de croissance et phase de chute. Ceci peut s'expliquer par le fait que la teneur de la chlorophylle varie en fonction de l'âge de la plante. Cette augmentation serait justifiée par le fait qu'en phase de croissance le phénomène de photosynthèse est accentué. De plus malgré le fait que les plantes soit en condition de stress la croissance est importante chez les plantes mycorhizées par rapport aux témoins car l'activité photosynthétique est importante car le taux de chlorophylle est élevé par rapport à la proline. Ces résultats sont en approbation avec les observations de Levigneron *et al.* (1995) qui ont montré qu'il semblerait qu'un signal enzymatique au niveau du chloroplaste qui déclencherait la biosynthèse de la chlorophylle, inhiberait la synthèse de la proline.

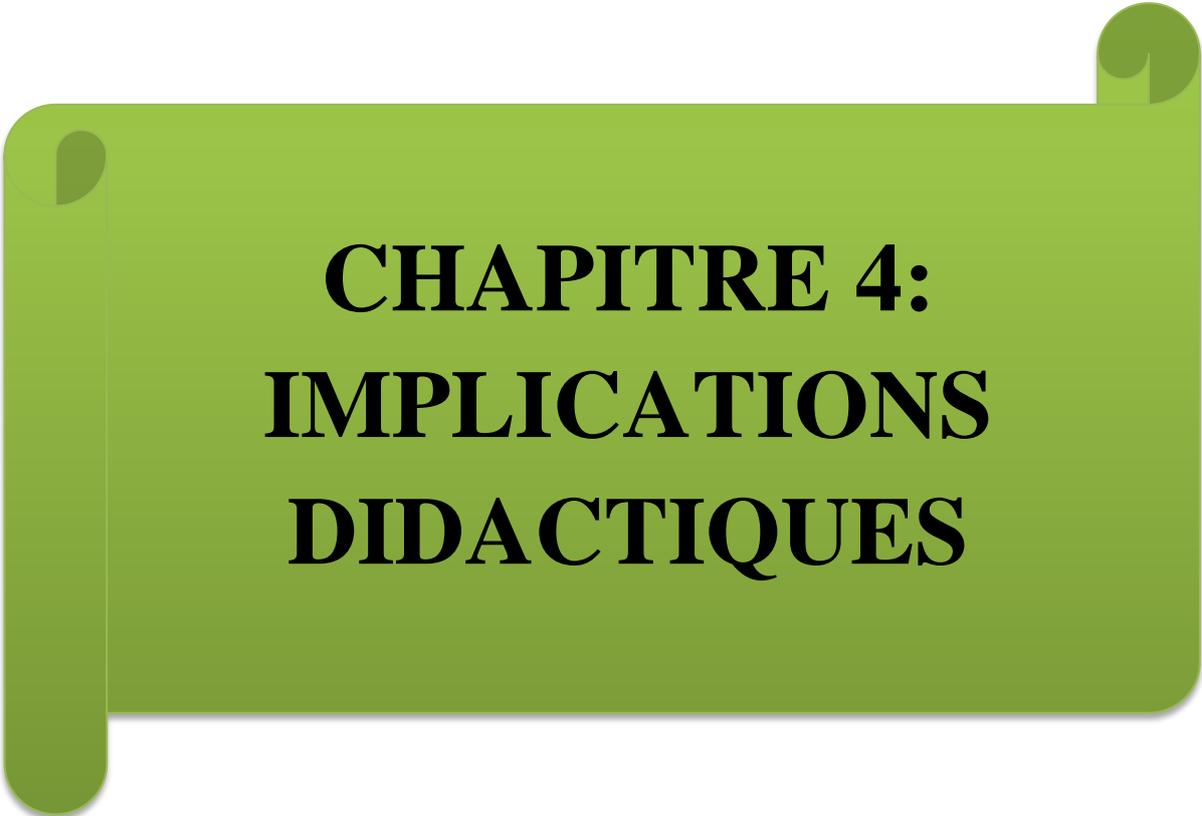
Effet des mycorhizes sur croissance la du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

Les analyses biochimiques, les teneurs en sucres sont plus importantes chez les plantes mycorhizées que témoins et ces teneurs sont d'autant plus importantes que les fréquences de colonisation des mycorhizes est sont élevées ; ceci trouve son explication dans le fait que les mycorhizes favorisent l'absorption de l'eau dans le sol et la synthèse des sucres est réaliser pour assurer l'osmorégulation ces observation vont dans le même sens de celles rapportées par Karmous *et al.* (2005) qui ont attribué l'accumulation du glucose au niveau foliaire chez le blé à une aptitude à réaliser une osmorégulation.

La teneur en acide aminé est plus importante chez les plantes mycorhizées que les témoins et augmente au cours du temps ; et cette teneur est importantes chez les plantes qui ont des fréquences et des intensités de mycorhization élevées. Ceci se justifie par le fait que l'essai est réalisé en grande partie en saison sèche. Les plantes sont soumises en stress hydrique et pour faire face à cette situation, elles augmentent leur production en acides aminés pour s'adapter aux mauvaises conditions, et de plus ces plantes sont en phase de croissance. Ces résultats corroborent les constats de Jonas (1980) qui indiquent que la teneur foliaire en acides aminés totaux augmente de façon très significative chez les plantes en cas de stress hydrique et en phase croissance.

La teneur en proline est plus importante chez les plantes mycorhizées que chez les témoins ; et cette teneur va croissante au cours de l'essai aussi bien dans les feuilles que dans les rhizomes. Cette augmentation peut se justifier par le fait qu'en cas de stress, la plante accumule la proline pour diminuer le potentiel osmotique. Ces résultats sont en accord avec ceux de Belkhodja et Benkabilia (2000) qui disent que l'accumulation de la proline est une stratégie adaptative déclenchée par la plante face aux contraintes de l'environnement

De plus malgré le fait que les plantes soient en condition de stress cela n'affecte en rien le métabolisme de la plante qui est marqué par une croissance significative des plantules au cours de l'essai car les mycorhizes favorisent l'assimilation du phosphore qui participe dans la production de l'ATP. Ces résultats sont en accord avec ceux de Stewart et Lee (1974) qui suggèrent que la proline à de fortes concentrations agit comme soluté pour l'ajustement osmotique, et sert aussi de réservoir de composés azotés et de carbone pour une utilisation ultérieure dans la croissance.



**CHAPITRE 4:
IMPLICATIONS
DIDACTIQUES**

**FICHE PÉDAGOGIQUE DE PRÉPARATION D'UNE SÉANCE D'ENSEIGNEMENT / APPRENTISSAGE
D'UNE LEÇON DE SVTEEHB SELON L'APC**

ÉTABLISSEMENT:	LYCEES ET COLLEGES DU CAMEROUN	Monsieur : KOUMPOUAM ELLEME FRANK IGOR	
MODULE : I	LE MONDE VIVANT	Professeur SVTEEHB	
FAMILLE DE SITUATIONS :	Couverture des besoins de l'homme en ressources animales et végétales	Date :	
EXEMPLE DE SITUATION :	Insuffisance des ressources comestibles.	Classe :	5 ^{ème}
PALIER DE COMPÉTENCES :	Améliorer la qualité des sols en utilisant les engrais biologiques (mycorhizes)	Effectif :	F G
CATÉGORIE D' ACTIONS N° :	Amélioration de la production animale et végétale	Durée :	
SÉQUENCE D'E/A N°2	Amélioration de la qualité des sols	Durée :	50min
TITRE DE LA SÉANCE D'E/A N° 1	Amélioration de la production végétale : utilisation des engrais biologiques (cas des mycorhizes)	Période :	
Objectif Pédagogique Opérationnel :	À partir du vécu quotidien et de l'exploitation des ressources proposées, l'apprenant sera capable de choisir convenablement un engrais qui ne cause pas d'effets néfastes pour sur l'environnement pour augmenter la production végétale.		

Références documentaires :

- Programme officiel de Sciences ; 6^{ème} – 5^{ème} ; page 23-24.
- Sciences et Technologie 6^{ème} ; les Classiques Africains ; pages 10-13
- Les Majors en Sciences et Technologie 5^{ème} ; pages 8-29.

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

Étapes	Actions spécifiques à mener	Contenu spécifiques aux OPOI	Matériels	Activités D'enseignement/apprentissage	Évaluation de l'atteint des OPOI	Durée
INTRODUCTION	1. Établir le contrat Enseignant / Apprenants	<p align="center">OPOI</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Titre : Amélioration de la production végétale : utilisation des engrais. ➤ Objectif : choisir convenablement un engrais qui ne cause pas d'effets néfastes sur l'environnement pour augmenter la production végétale. 	Programme officiel, Vécu quotidien, Situation de vie contextualisée livres au programme	<ul style="list-style-type: none"> -écrit le titre de la leçon au tableau -communication du titre des OPOI aux apprenants -prise de note par les apprenants. 		5min
	2. Vérifier les prérequis	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Les besoins de la plante pour une bonne croissance ➤ Les qualités d'un bon sol 		<p>Jeu</p> <p>question/réponse</p>	<p>Q : citer les éléments indispensables pour la bonne croissance d'une plante</p> <p>R : l'eau, les sels minéraux et la lumière</p> <p>Q : citer 4 qualités d'un bon sol</p>	

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

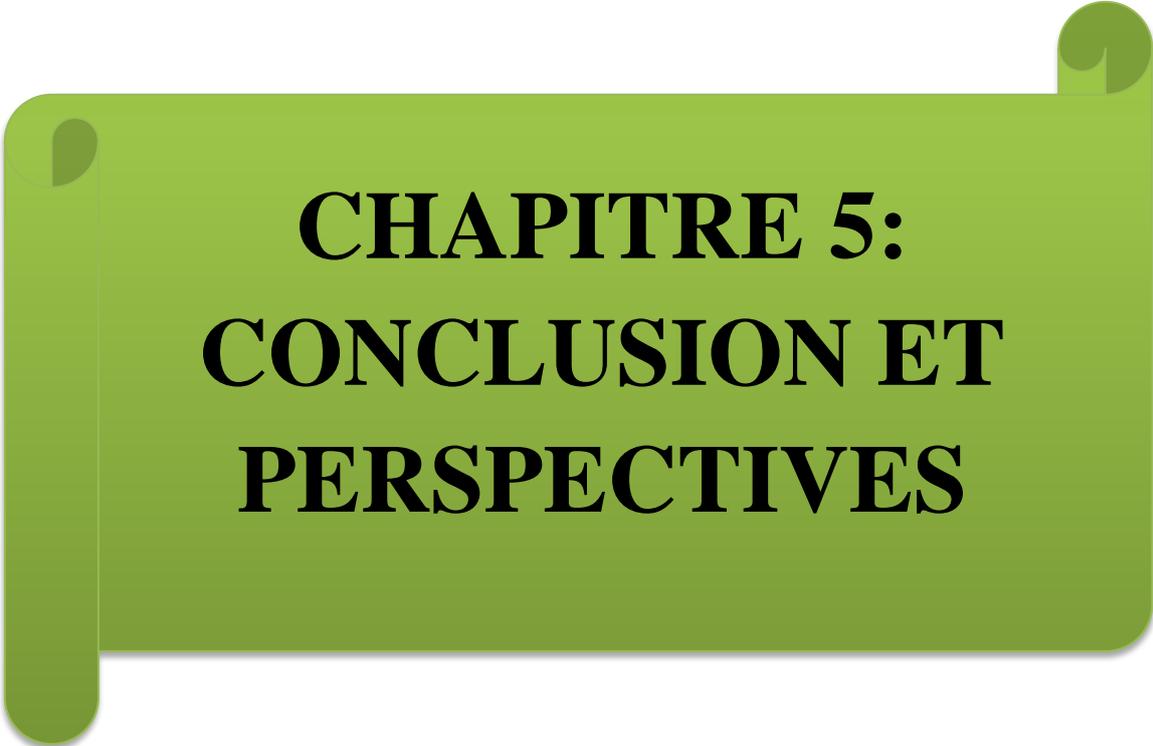
					<p>R :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>riche en sels minéraux ;</i> ➤ <i>Meuble pour le développement des racines ;</i> ➤ <i>Perméable et hydraté ;</i> ➤ <i>Dépourvu de parasites.</i>
	3. Déterminer l'intérêt de la séance d'apprentissage	Montrer que l'utilisation des engrais chimique pour augmenter la production végétale peut être néfaste pour l'environnement.			<p>Q : Pourquoi privilégier l'utilisation des engrais biologique au détriment des engrais chimiques ?</p> <p>R : <i>Montrer que l'utilisation des engrais chimiques pour augmenter la production végétale peut être néfaste pour l'environnement</i></p>
	4. Identifier et formuler le problème à résoudre	Comment éviter la pollution de l'environnement par l'utilisation des engrais chimiques.			<p>Q : quel est le problème que nous cherchons à résoudre</p> <p>R : <i>Comment éviter la pollution de l'environnement par l'utilisation des engrais chimiques.</i></p>

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

DÉVELOPPEMENT	<p>choisir convenablement un engrais qui ne cause pas d'effets néfastes sur l'environnement pour augmenter la production végétale.</p>	<p>Introduction</p> <p>L'utilisation des engrais organiques (cendres compost fientes herbe mortes) des engrais biologiques (mycorhizes) ou des engrais chimiques (nitrate de potassium ...) permet d'enrichir les sols en sels minéraux important pour la croissance des végétaux. L'utilisation abusive de certains de ces engrais a des effets néfastes sur l'environnement.</p> <p>I- Inconvénients de l'utilisation abusive des engrais chimiques.</p> <p>Les inconvénients de l'utilisation abusive des engrais chimiques sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Coût élevé ➤ Pollution des eaux ➤ Eutrophisation de la faune aquatique <p>II- Avantages de l'utilisation des engrais organiques et</p>	<p>Situation contextualisées</p> <p>Albert et Alvares sont deux jeunes garçons de Messamena qui vivent de l'agriculture et de la pisciculture.</p> <p>Pendant la saison de pluie ils ont décidé de faire des étangs dans les marécages et en amont ils ont fait des jardins. Pour améliorer la production de son jardin Albert a utilisé les mycorhizes (engrais biologique) et la fiente de poule (engrais organiques) alors qu'Alvares a utilisé les nitrates de potassium engrais chimique). Pendant la période de récolte les deux avaient des bons rendements. Mais quelques temps après dans l'étang d'Alvares on retrouve les poissons morts.</p>	<p>Q : De quoi parle le texte</p> <p>R : <i>il est question des conséquences et des avantages de l'utilisation des engrais.</i></p> <p>Q : donner le rôle des engrais sur les plantes.</p> <p>R : <i>améliorer la production végétale</i></p> <p>Q : donner la raison pour laquelle les poissons de l'étang de Alvares meurent alors que ceux de l'étang de Albert ne meurent pas.</p> <p>R : <i>par ce qu'il a utilisé un engrais chimique alors qu'Albert a utilisé un engrais biologique</i></p> <p>Q : comment appelle-t-on ce phénomène ?</p> <p>R : <i>c'est la pollution</i></p> <p>Q. donner trois connaissances de ce phénomène</p> <p>R. <i>mort des êtres vivants</i></p>	40min
---------------	---	---	---	--	-------

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

CONCLUSION	<p>L'utilisation des engrais chimiques entraîne plusieurs conséquences néfastes sur l'environnement. Tandis que l'utilisation des engrais organiques et biologiques ne présente pas d'effets néfastes.</p> <p>Jeux bilingue traduire engrais en anglais R: <i>fertilizer; manure.</i></p>	5min
-------------------	--	------



**CHAPITRE 5:
CONCLUSION ET
PERSPECTIVES**

L'objectif de ce travail était d'évaluer l'effet des mycorhizes au cours de la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*). Pour y arriver, après récolte, certains explants de macabo ont reçu différents traitements mycorhiziens (*Gigaspora margarita* ; *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* et *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* et d'autres ont reçu une source supplémentaire de carbone. Puis des prélèvements et des prises de paramètres morphologiques ont été faits tous les trente jours pendant 4 mois. Il en ressort des analyses morphologiques que les plantes mycorhizées ont une croissance plus élevée que les témoins. En outre, les analyses histologiques des racines de ces plantes ont révélé la présence des hyphes et des arbuscules mycorhiziens, ce qui serait à l'origine de la différence de croissance observée. De même pour les analyses biochimiques faites pour déterminer les teneurs de : sucre soluble, acides aminés, proline, chlorophylle a et chlorophylle b montre ce sont chez les plantes mycorhizées qu'on observe les meilleurs teneurs soit respectivement $6,13 \pm 0,35$ mg/g MF dans les feuilles les plantules traitées par *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita* + source de carbone, $19,57 \pm 0,41$ mg/g de MF dans les rhizomes des plantules traitées par *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita* + *Gigaspora margarita*, $5,37 \pm 0,04$ mg/g de MF dans les rhizomes des plantules traitées par *Acaulospora tuberculata* + *Gigaspora margarita*, $0,36 \pm 0,001$ mg/g de MF chez les plantules traitées par *Gigaspora margarita* + source de carbone et $0,557 \pm 0,002$ mg/g de MF chez les plantules traitées par *Gigaspora margarita* + source de carbone.

Afin d'améliorer ce travail il serait judicieux :

- D'étudier l'effet des mycorhizes au cours de la tubérisation du macabo.
- D'étudier l'effet des mycorhizes dans la lutte contre *Pythium myriotylum*



BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme (2011) Fiches techniques. La voix du Paysan - Mensuel de l'entrepreneur rural.
- Anyiro C.O., Osondu C.K., Ezeh C.I., Akabueze I.C. (2013) Resource-use Efficiency of Rural Women Smallholder Cocoyam Farmers in Onitsha Agricultural Zone of Anambra, Nigeria. Full Length Research Paper. Pp 12-17.
- Arnon D.I. (1949) Copper enzyme in isolate chloroplasts, polyphenoxidase in beta vulgaris. Plant physiologie. 24: 1-15.
- Asaa Nguengang P. (2008) L'agriculture urbaine et péri-urbaine à Yaoundé : analyse multifonctionnelle d'une activité montante en économie de survie. thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique. Université libre de Bruxelles.
- Athar H.R., Khan A., Asharf M. (2008) Exogenously applied ascorbic acid deficient tomato tavermutant, involve timely production of hydrogen peroxide and cell wall modification in the epidemis. Plant Physiologie 144: 1863-1877.
- Belkhodja M. Benkabilia M. (2000) Proline response of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress. Egypt. J. of Agric. Res 78 (1): 185-195.
- Bell A., Mück O., Schuler B. (2000) Les richesses du sol, les plantes à racines et tubercules en Afrique: une contribution au développement des technologies de récolte et d'après-récolte. Zentralstelle für Ernährung und Landwirtschaft : p6.
- Bell A., Muck O., Schuler B. (1980) Les plantes à racines et tubercules en Afrique: une contribution au développement des technologies de récoltes et d'après récolte. Tropical science 13 : 251-263.
- Brewer B.W. (1994) Review and critique of models of psychological adjustment to athletic injury. Appl Sport Psychol 6: 87-100.
- Brunner I., Brodbeck S. (2001) Response of mycorrhizal Norway spruce seedlings to various nitrogen loads and sources. Environmental Pollution 114: 223-233.
- Diallo T.A. (1998) Contribution à l'étude taxonomique et écologique des Glomales et de l'influence de la mycorhization avec *Glomus mosseae* et *Glomus versiforme* sur la croissance et la productivité du niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. cultivé en condition de déficit hydrique. Thèse De Doctorat De 3^{ème} Cycle De Biologie Végétale, Université Cheikh Anta diop , Faculté des sciences et techniques, Sénégal.

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

- N.A., Phuong Khanh V.T. and Dzung T.T. (2011) Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. *Carbohydrate Polymer* 84: 751-755.
- FAO (1991) : Racines, tubercules, plantains et bananes dans la nutrition humaine. Rome, Italie.
- FAO (2008) Food and Agriculture Organization statistical database: World production of fruit and vegetable available from [http: apps.Fao.Org](http://apps.Fao.Org).
- Fortin J A., plenchette C., and Piche Y. (2008) Les mycorhizes, la nouvelle révolution verte. Quebec, Edition Multimonde : p138.
- Guillermo Reyes Castro (2006). Studies on cocoyams (*Xanthosoma* spp.) in Nicaragua, with emphasis on Dasheen mosaic virus. Swedish university of Agricultural science Uppsala : 1-15.
- Hamza Nabila (2014), Application des mycorhizes arbusculaires en culture maraîchère cas de la pastèque (*Citrullus lanatus*). Mémoire de Magister en Biologie et Physiologie Végétale, Université Ferhat Abbas Sétif 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Tunisie.
- Heyser JW., DeBruin D., Kincaid M., Johnson R.Y., Rodriguez M.M. and Robinson N.J. (1988) Characterisation of Proline biosynthesis in halophytic and non halophytic suspension cultures by ¹³C NMR. *J.Plant Physiol* 135: 459-446.
- Irwin S.V., Kaufusi P.K., Banks de la Peña R., Cho J.J. (1998) Molecular characterization de taro (*Colocasia esculenta*) à l'aide de marqueurs RAPD. *Euphytica* 99: 183-189.
- Jackson G.V.H. (2008) Directives pour la regeneration : principaux aroïdes. In Dullo M.E., Thormann I., Jorge M.A. and hanson J., editors. Crop specific regeneration guidelines (CD-ROM). CGIAR System-wide Genetic resource programme (SGRP), Rome, Italy.
- Janos DP (1980) Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica*, 12, 56-64.
- Kabore D. (2004). Étude des caractéristiques nutritionnelles et technologiques du tabouchi (*Xanthosoma sagittifolium*). Mémoire de DEA : sciences alimentaires et nutritionnelles au DBM. Université d'Ouagadougou, Burkina-Faso.
- Kemekong Manedong A. (2015) Évaluation du mildiou causé par *Phytophthora colocasiae* chez le taro (*Colocasia esculenta*). Mémoire de DI.P.E.S. II, Ecole Normale Supérieure de l'université de Yaoundé I, Cameroun.

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy, Casse-Delbart F., (1995) Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures4 (4): 263-273.

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

M'Barek B., Rabmoune C., Sdiri H., Medabi ML., Salmi M. (2001) Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grain de quelque variété maghrébine de blé. Science et changements planétaires sécheresse12 (3): 167-174.

Mbouobda H.D., Boudjeko T., Djocgoue P.F., Tsafack T.J.J. and Omokolo D.N. (2007). Morphological Characterization and Agronomic Evaluation of Cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* L. Schott) Germplasm in Cameroun. Journal of Biological Sciences 7 (1): 27-33.

Monneveux P., 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 développement. Agronomie 6 (6) : 583-590.

Münzemberg B., Kottke I., Oberwinler F. (1992) Ultrastructural, investigation of arbuscules *Unedo laccaria amethystea mycorrhiza* synthesized in vitro-trees. Agronomie 7: 40-47.

Ngouo L.V. (1988) Contribution to the study of cocoyam (*Xanthosoma* sp.) in Cameroon: identification and analysis of some constraints to the hybrids production. Doctoral thesis, University of Yaoundé, Cameroon.

Ojeniyi S.O., Amusan O.A., Adekiya A.O. (2013) Effet of Poultry Manure on Soil Physical Properties, Nutrient Uptake and Yield of Cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) in Southwest Nigeria. Agronomie 13(1) : 121-125.

Omokolo N.D., Boudjeko T., Tsafack Takadong J.J. (2003) In vitro tuberization of *Xanthosoma sagittifolium* L.Schott: effects of phytohormones, sucrose, nitrogen and photoperiod. Scientia Horticulturae 98: 337–345.

Patricia G. Owusu-Darko, Alistair P., Emmanuel L., Omenyo (2014) Cocoyam (corms and cormels) an underexploited food and feed resource. Journal of Agricultural Chemistry and Environment 3(1): 22-29.

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

- Phillips J.M., Hayman D.S. (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Reddy P.S., Veeranjanyulu K. (1991). Proline metabolism in senescing leaves of horsgram (*Macrotyloma uniflorum* Lam.). *J. Plant. Physiol* 137: 381-383.
- Reyes Castro G., Nyman M., Rönnerberg-Wästjung A.C. (2005) Agronomic performance of three cocoyam (*Xanthosoma violaceum* Schott) genotype grown in Nicaragua. *Euphatica* 142: 265-272.
- Reyes Castro G. (2006) Studies On Cocoyam (*Xanthosoma* Spp.) In Nicaragua, With Emphasis On Dasheen Mosaic Virus. Doctor's Dissertation. ISSN: 1652-6880.
- Sama E. A., Harrison G.H., Abbas M.S., Shahba A.M. (2012) An Efficient In Vitro Propagation Protocol Of Cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* (L) Schott).*The Scientific Worldjournal*: 10.
- Schüßler A, Schwarzott D., Walker C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*; 105:1413–21.
- Stewart G.R. and Lee J. A. (1974) The role of proline accumulation in halophytes. *Planta*. 120: 279-289.
- Tchatat M. (1996). Les jardins de case agroforestiers des basses terres humides du cameroun : Études de cas des zones forestières des provinces du centre et du sud. Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI).
- Thinh N.T. (1997) Cryopreservation of germplasm of vegetatively propagated monocots by nitrification. PhD thesis. Kobe university.
- Troll W., Lindsley J. A. (1955) Photometric method for the determination of proline. *J. Boil. Chem.* 215 : 655-660.
- Trouvelot A., Kough J.L., Gianinazzi-Pearson V. (1986) Mesure du taux de mycorhization VAD'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: physiology and genetics aspects of mycorrhizae. Gianinazzi-Pearson V et Gianinazzi : 217-221.

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

Tsafack T. J. J., Gilbert P., Charles A., Hourmant , Omokolo N. D., Branchard M. (2009) Effect of photoperiod and thermoperiod on microtuberization and carbohydrate levels in Cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* L. Schott). *Plant Cell Tiss Organ Cult* 96:151–159.

Ugbajah M.O., Uzuegbuna C.O. (2012) Causative factors of decline in cocoyam production in Ezeagu local government area of Enugu state: implications for sustainable food security. *Journal of Agriculture and Veterinary Sciences* 4: 35-64.

Van der Heijden M.G.A., Klironomos J.N., Ursic, M., Moutoglis P., Streitwolf-Engel R., Boller T., Wiemken A., Sanders I.R. (1998) Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 72-75.

Watanabe K.Z. (2002) Challenges in biotechnology for biotic stress tolerance on root and tubers. *JIRCAS. Working Reports*: 75-83.



ANNEXES

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

ANNEXE 1 : fiche de collecte des paramètres morphologiques

Prélèvement du							Traitement:.....		
cv:.....									
N°	NF	T. plant	Largeur feuille			Longueur feuille			NR
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
...									
...									
...									
...									

ANNEXE 2 : appareillage

- Microscopes électronique ° ;
- Vortex ;
- Centrifugeuse ;
- Spectrophotomètre.
- Agitateur magnetique

ANNEXE 3 : Verrerie

- Erlenmeyers de 500 ml, 250 ml et 100 ml ;
- Bechers de 1000 ml, 500 ml et 250 ml ;
- Eprouvettes graduées de 1000 ml, 500 ml et 250 ml ;
- Pipette de 50 ml, 20 ml, 1à ml, 5 ml et 1 ml ;

Effet des mycorhizes sur la croissance du macabo (*Xanthosoma sagittifolium*)

- Tubes à essai, spatules, pincette, barrettes et barreaux aimantés, parafilm, papier aluminium, lames.

