

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 sciences

Evaluation de l'effet combine de deux souches de mycorhize (*gigaspora margarita* et *acaulospora tuberculata*) sur l'evolution du mildiou du taro [*colocasia esculenta*(L) schott] cause par *phytophthora colocasiae* Racib

Mémoire redige en vue de l'obtention du D.I.P.E.S II

Par :

SOB NGUEPI Innocent
Licencie es Sciences

Sous la direction
NIEMENAK
Maitre de conferences



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 Papa NGUÉPI PAUL

et

À ma Maman DJUKEM ANNE

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier très humblement le DIEU Tout Puissant sans qui ce travail n'aurait jamais existé. Je tiens également à remercier avec gratitude :

- 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 nécessaire à la réalisation de ce travail ;
- le Pr SONKE Bonaventure, Chef de Département des Sciences biologiques de l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé pour tout son soutien moral et intellectuel ;
- le Pr OMOKOLO NDOUMOU Denis, responsable du laboratoire (L.A.F. 314) pour son soutien intellectuel et moral ;
- Mme DJEUANI Astride Carole pour toutes ses orientations, son attention permanente, ses conseils et sa grande disponibilité tout au long de ce travail ;
- tous les enseignants du Département des Sciences Biologiques, du département des Sciences de l'Education et du département des Sciences Mathématiques de l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé qui m'ont enrichi de connaissances relatives au métier d'enseignant des Lycées et Collèges ;
- tous mes camarades de Biologie V, 55^{ème} promotion de l'ENS, en particulier KOUMPOUAM ELLEME F., LONMENE T. A., ZEBAZE J., FOTSING L. pour leur soutien multiforme ;
- tous mes camarades de l'équipe de recherche au laboratoire de physiologie végétale (L.A.F. 314) en particulier BESSALA T., WADAWA J., KENNE P., METOPA D., NKOUNGA W., KETCHIEMO F., MILAWE D., NGOULA L., KOUMPOUAM E., NYANGONO M. et OMONO O. ;
- toutes mes tantes pour leur soutien multiforme ;
- tous mes frères et sœurs MAKEU, TCHIOTCHOUA, TCHEUZE, FOPA, FONE, DOUANLA et DJUINE pour leur soutien multiforme ;
- tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué pour la réalisation de ce travail de recherche.

TABLE DE MATIERES

DÉDICACE	i
REMERCIEMENTS.....	ii
TABLE DE MATIERES	iii
ABSTRACT.....	vii
LISTE DES ABREVIATIONS.....	viii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE	4
I.1. Généralités sur <i>Colocasiae esculenta</i> L. Schott.....	5
I.1.1. Origine et distribution géographique.....	5
I.1.2. Taxonomie et diversité	5
I.1.3. Différents cultivars du taro au Cameroun	6
I.1.3.1. Cultivar "Ekwanfré".....	6
I.1.3.2. Cultivar Banlah ou Ekhoueblah ou taro traditionnel.....	6
I.1.3.3. Cultivar "Macoumba" ou taro sélectionné	7
I.1.4. Biologie et écologie.....	8
I.1.4.1. Biologie	8
I.1.4.2. Reproduction du taro	9
I.1.4.3. Ecologie.....	10
I.1.5. Importances du taro	11
I.1.5.1. Importances économiques	11
I.1.5.2. Importances nutritionnelles	12
I.1.5.3. Importances médicinales	12
I.1.5.4. Contraintes dans la production du taro.....	12
I.1.5.5. Stratégies d'amélioration.....	13
I.2. Généralités sur les mycorhizes : <i>Gigaspora margarita</i> et <i>Acaulospora tuberculata</i>	14
I.2.1. Historique	14
I.2.2. Taxonomie et diversité	14

I.2.2.1. <i>Gigaspora margarita</i>	14
I.2.2.2. <i>Acaulospora tuberculata</i>	15
I.2.3. Importance agronomique de la mycorhization.....	15
I.2.4. Types de mycorhization	16
I.2.4.1. Endomycorhizes	16
I.2.4.2. Ectomycorhizes	16
I.3. Généralités sur <i>Phytophthora colocasiae</i> Racib.	17
I.3.1. Origine.....	17
I.3.2. Taxonomie et diversité	17
I.3.3. Biologie et écologie.....	18
I.3.3.1. Biologie	18
I.3.3.2. Ecologie.....	19
I.3.3.3. Symptômes de la maladie.....	19
I.3.3.4. Méthodes de lutte utilisées	20
I.3.3.4.1. Lutte chimique	20
I.3.3.4.2. Lutte biologique	21
I.4. Généralités sur les enzymes antioxydantes et l'expression des maladies chez les plantes	21
I.4.1. La catalase (CAT)	22
I.4.2. L'ascorbate peroxydase (AsP)	22
I.4.3. Les peroxydases (Pox)	22
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	23
II.1. Matériel.....	24
II.1.1. Matériel végétal	24
II.1.2. Matériel fongique.....	24
II.2. Méthodes	24
II.2.1. Culture des plantules.....	24
II.2.2. Arrosage	26
II.2.3. Prise de paramètres	26
II.3. Analyses histologiques	26
II.3.1. Récolte racinaire	26
II.3.2. Coloration des racines.....	26

II.3.3. Calcul de la fréquence et de l'intensité de colonisation des racines	27
II.4. Culture du champignon	27
II.4.1. Préparation du milieu de culture	27
II.4.2. Isolement et purification de <i>P. colocasiae</i> Racib.....	27
II.4.3. Préparation de l'inoculum de <i>Phytophthora colocasiae</i> Racib.....	29
II.4.4. Induction de la maladie en laboratoire.....	29
II.4.5. Evaluation de la fréquence de l'infection	29
II.5. Analyses biochimiques	30
II.5.1. Extraction et dosage de la chlorophylle	30
II.5.2. Extraction et dosage des protéines totales solubles	30
II.5.2.1. Extraction.....	30
II.5.2.2. Dosage	31
II.5.2.3. Dosage de l'ascorbate peroxydase (AsP).....	32
II.5.2.4. Dosage des peroxydases (Pox)	32
II.6. Analyses statistiques.....	32
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	33
III.1. Résultats	34
III.1.1. Paramètres de croissance chez les plantules de taro mycorhizées après 90 jours de mycorhization	34
III.1.1.1. Evaluation du nombre moyen de feuilles par plantule de taro au cours du temps	34
III.1.1.2. Evaluation de la taille moyenne des plantules de taro au cours du temps.....	34
III.1.1.3. Evaluation de la surface foliaire moyenne chez les plantules de taro au cours du temps.....	35
III.1.1.4. Aspect des plantules après 90 jours de mycorhization	36
III.1.2. Evaluation de l'établissement de la mycorhization au niveau des racines des plantules de taro mycorhizées après 90 jours	37
III.1.2.1. Analyses histologiques des racines mycorhizées	37
III.1.2.2. Détermination de la fréquence (F%) et de l'intensité (I%) de mycorhization...38	
III.1.3. Effet des mycorhizes sur le développement du mildiou causé par <i>Phytophthora colocasiae</i> Racib.....	39
III.1.3.1. Proportion moyenne de plantules malades suivant les cultivars	39

III.1.3.2. Proportion moyenne de limbes malades par plante suivant les cultivars	40
III.1.3.3. Proportion moyenne de pétioles malades suivant les cultivars	41
III.1.3.4. Fréquence de la maladie	42
III.1.3.5. Aspect des plantules de taro mycorhizées et malades	43
III.1.4. Analyses biochimiques	44
III.1.4.1. Dosage des chlorophylles a et b	44
III.1.4.2. Teneur en protéines totales des feuilles de <i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott	46
III.1.4.3. Teneur en Ascorbate peroxydase des feuilles de <i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott	47
III.1.4.4. Teneur en peroxydase des feuilles de <i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott	48
III.2. Discussions.....	48
CHAPITRE IV : INTERET DIDACTIQUE ET PEDAGOGIQUE.....	51
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	59
BIBLIOGRAPHIE.....	61
ANNEXES.....	70

ABSTRACT

Taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) is a tuber plant from South-East Asia origin. It is cultivated for its edible tubers and leaves. The main cause of the decline in production is attributed to *Phytophthora colocasiae* Racib., causal agent of the Taro Leaf Blight (TLB). Several studies have shown the importance of mycorrhizae in protecting plants against pathogens. Thus, to assess the combined effect of two strains of mycorrhizae (*Gigaspora margarita* and *Acaulospora tuberculata*) on the development of Taro Leaf Blight, three taro cultivars (Ekwanfré, Macoumba and Banlah) were cultivated. Morphological and histological parameters were taken every 30 days until the 90th. Morphological analysis showed that mycorrhizal Macoumba and Banlah cultivars have achieved greater heights is respectively 31.9 ± 0.2 cm and 26.5 ± 0.4 cm in D₉₀ against 17.3 ± 0.3 cm and 24.5 ± 0.3 cm in the control. Other morphological parameters are more pronounced in the absence of mycorrhizae although the differences are not significant. The small amount of significant results do not allow us interesting assertions about the growth and development of mycorrhizal seedlings. Histological analysis showed the maximum frequency of mycorrhization obtained is 64% in Macoumba at D₃₀, 63% in Ekwanfré at D₆₀ and 52% in Banlah at D₆₀. After these 90 days, the seedlings were infected and the impact of mildew evaluated for 12 days. It is highest in the control of 78.57% in Ekwanfré, 130% and 145% in Macoumba respectively for D₃, D₆ and D₉ against 15.38%, 18.18% and 9.09% in the same days at the same cultivars respectively. Biochemical analysis showed that mycorrhizal seedlings are richer in protein reserve is 4.31 ± 0.24 $\mu\text{g.g}^{-1}$ of WFM, 2.99 ± 00 $\mu\text{g.g}^{-1}$ of WFM and 4.29 ± 0.46 $\mu\text{g.g}^{-1}$ of WFM respectively at Ekwanfré, Macoumba and Banlah and in the presence of infection, non-mycorrhizal seedlings get richer in anti-stress proteins or enzymatic proteins of 3.16 ± 0.26 $\mu\text{g.g}^{-1}$ of WFM, 3.62 ± 0.01 $\mu\text{g.g}^{-1}$ of WFM and 3.35 ± 0.04 $\mu\text{g.g}^{-1}$ of WFM respectively at Ekwanfré, Macoumba and Banlah. As for AsP and Pox, levels decreased in the presence of mycorrhizae in all cultivars. All these results allow us to assign a role to the mycorrhizae, the AsP and Pox in the fight against infections in plants.

Keywords: *Colocasia esculenta* L. Schott, Taro Leaf Blight, *Phytophthora colocasiae* Racib, mycorrhizae, antioxidant enzymes.

LISTE DES ABREVIATIONS

USDA	: United States Department of Agriculture.
MINADER	: Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
INS	: Institut National des Statistiques.
<i>C. esculenta</i>	: <i>Colocasia esculenta</i> .
CIRAD	: Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement.
FAO	: Food and Agricultural Organization.
USA	: United States of America.
<i>P. colocasiae</i> Racib.	: <i>Phytophthora colocasiae</i> Raciborski.
<i>S. diastaticus</i>	: <i>Streptomyces Diastaticus</i> .
ROS	: Reactive Oxygen Species
Pox	: Peroxydase.
AsP	: Ascorbate Peroxydase.
CAT	: Catalase.
PVP	: Polyvinyl Pyrrolidone.
DO	: Densité Optique.
T.	: Témoin
Cv	: Cultivar
TLB	: Taro Leaf Blight

LISTE DES FIGURES

N°	Titres	Pages
Figure 1.	Représentation du Cv cultivar Ekwanfré A, Morphologie des plantules ; B, base ou rhizome ; C, aspect rosacé du rhizome en coupe longitudinale (Photo SOB). Trait : 1 cm.	6
Figure 2.	Représentation du Cv cultivar Banlah A, Morphologie des plantules ; B, base ou rhizome ; C, aspect rosacé du rhizome en coupe longitudinale (Photo SOB). Trait : 1 cm.	7
Figure 3.	Représentation du Cv cultivar Macoumba A, Morphologie des plantules ; A et B, Vues supérieures du limbe; C, base ou rhizome ; D, aspect rosacé du rhizome en coupe longitudinale (Photo SOB). Trait : 1 cm.	7
Figure 4.	Morphologie de la partie aérienne du taro A, limbes fixés sur de longs pétioles ; B, inflorescence du taro (Photo SOB). Trait : 1 cm.	8
Figure 5.	Morphologie de la partie souterraine du taro A, Cv Ekwanfré ; B, Cv Macoumba ; C, Cv Banlah (Photo SOB). Trait : 1 cm.	9
Figure 6.	Manifestations du mildiou du taro A, parties aériennes des plantules de taro affectées ; B, rhizome affecté (Photo SOB). Trait : 1 cm.	13
Figure 7.	Types de mycorhization (Anonyme).	17
Figure 8.	Cycle de <i>P. colocasiae</i> et épidémiologie (Singh <i>et al.</i> 2011).	19
Figure 9.	Symptômes du mildiou A, taches gorgées d'eau sur la face inférieure de la feuille ; B, taches gorgées d'eau sur la face supérieure de la feuille ; C, aspect infecté du pétiole (Photo SOB). Trait : 1 cm.	20
Figure 10.	Ferriprotoporphyrine IX des peroxydases végétales.	22
Figure 11.	Trois cultivars de taro récoltés à Yaoundé et cultivées sous ombrière suivant le protocole de Nouha <i>et al.</i> (2008), Mbouobda <i>et al.</i> (2009) A, Cv Cultivar Ekwanfré ; B, Cv cultivar Banlah ou Ekhouehlah ; C,	24

Cv cultivar Macoumba (Photo SOB). Trait : 1 cm.

- Figure 12. Protocole de préparation des boutures de taro en laboratoire selon 25
Nouha *et al.* (2008), Mbouobda *et al.* (2009) A, Cultivar placé dans
un bassinnet contenant de l'eau du robinet et laissé à la lumière ; B,
Cultivar pré-poussés 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 90 jours plus tard
(Photo SOB). Trait : 1 cm.
- Figure 13. Protocole de purification de *P. colocasiae* selon Djeugap *et al.* 28
(2009), Tsopmbeng *et al.* (2012) A, Feuille de taro infectée par *P.*
colocasia ; B, Fragments de feuilles infectés de deux cm environ
déposés dans un milieu de culture V8 ; C, souche pure de
champignon obtenue après trois purifications (Photo SOB). trait : 1
cm.
- Figure 14. Courbe d'étalonnage des protéines totales à partir du BSA 31
- Figure 15. Variation du nombre moyen de feuilles par plantule et par cultivar 34
chez *Colocasia esculenta* au cours du temps A, plantules
mycorhizées ; B, plantules non-mycorhizées.
- Figure 16. Variation de la taille moyenne des plantules par cultivar chez 35
Colocasia esculenta au cours du temps A, plantules mycorhizées ; B,
plantules non-mycorhizées.
- Figure 17. Variation de la surface foliaire moyenne en fonction du temps chez 36
trois cultivars de *Colocasia esculenta* A, plantules mycorhizées ; B,
plantules non-mycorhizées.
- Figure 18. Aspect des plantules de *Colocasia esculenta* après 90 jours de 36
mycorhization A, Cv Banlah ; B, Cv Macoumba ; C, Cv Ekwanfré
(Photo SOB). Trait : 1 cm.
- Figure 19. Aspect des racines mycorhizées de *Colocasia esculenta* au bout de 37
120 jours de mycorhization vu au microscope polarisant (x100) A,

Racine ne renfermant pas d'hyphes ; B, Racine renfermant des hyphes ; C, Racine renfermant des vésicules ; D, Racine renfermant des arbuscules (Photo SOB).

- Figure 20. Variation de la fréquence de mycorhization (F%) chez les plantules mycorhizées de *Colocasia esculenta* au cours du temps. 38
- Figure 21. Variation de l'intensité de mycorhization (IM%) chez les plantules mycorhizées de *Colocasia esculenta* au cours du temps 39
- Figure 22. Variation du pourcentage moyen de plantules malades de *Colocasia esculenta* au cours du temps A, plantules mycorhizées ; B, plantules non-mycorhizées. 40
- Figure 23. Variation du pourcentage moyen de limbes malades par cultivar chez *Colocasia esculenta* au cours du temps A, cultivars mycorhizés ; B, cultivars non-mycorhizés. 41
- Figure 24. Variation du pourcentage moyen de pétioles malades chez *Colocasia esculenta* au cours du temps A, cultivars mycorhizés ; B, cultivars non-mycorhizés. 42
- Figure 25. Variation de la fréquence de l'infection chez *Colocasia esculenta* au cours du temps A, plantules mycorhizées ; B, plantules non-mycorhizées. 43
- Figure 26. Aspect des plantules mycorhizées de *Colocasia esculenta* et infectées par le mildiou du taro A, Cv Banlah ; B, Cv Macoumba ; C, Cv Ekwanfré (Photo SOB). Trait : 1 cm. 43
- Figure 27. Aspect des plantules non-mycorhizées de *Colocasia esculenta* et infectées par le mildiou du taro A, Cv Banlah ; B, Cv Macoumba ; C, Cv Ekwanfré (Photo SOB). Trait : 1 cm. 44
- Figure 28. Variation de la teneur en chlorophylle a des feuilles de *Colocasia esculenta* A, chez les plantules mycorhizées ; B, chez les plantules non-mycorhizées. 45

Figure 29. Variation de la teneur en chlorophylle b dans les feuilles de *Colocasia esculenta* A, chez les plantules mycorhizées ; B, chez les plantules non-mycorhizées. 46

LISTE DES TABLEAUX

N°	titres	Pages
Tableau 1.	Dix premiers pays producteurs du taro dans le monde classés par valeur de production en dollar et en tonnes.	11
Tableau 2.	Variation de la teneur en Protéines totales (en $\mu\text{g/g}$ de matière fraîche) des feuilles de taro en fonction de l'état sanitaire de la plante, de la présence ou non des mycorhizes et selon les cultivars.	47
Tableau 3.	Variation de la teneur en Ascorbate peroxydases (en $\text{M.mn}^{-1}.\text{g}^{-1}$ de matière fraîche) des feuilles de taro en fonction de l'état sanitaire de la plante, de la présence ou non des mycorhizes et selon les cultivars.	47
Tableau 4.	Variation de la teneur en Peroxydases (en $\text{M.mn}^{-1}.\text{g}^{-1}$ de matière fraîche) des feuilles de taro en fonction de l'état sanitaire de la plante, de la présence ou non des mycorhizes et selon les cultivars.	48

INTRODUCTION

Le taro [*Colocasia esculenta* (L.) Schott] est une plante à tubercule de la famille des Aracées (Varin *et al.* 2010). Cette famille très polymorphe compte environ 1500 espèces regroupées sous 105 genres largement distribués dans les tropiques. *Colocasia* est le genre le plus cultivé avec notamment l'espèce *Colocasia esculenta* (Varin *et al.* 2010). L'espèce *C. esculenta* comporte huit variétés parmi lesquelles deux sont largement cultivées à travers le monde. La variété *esculenta* ou Dasheen ou Old cocoyam et la variété *antiquorum* (ou variété *globulifera*) ou Eddoe. Originaire de l'Asie du Sud-est, le taro est la quatrième plante à tubercule d'importance après la patate douce, l'igname et le manioc en termes de consommation. C'est un important aliment de base ou de subsistance pour de millions d'habitants des régions tropicales et subtropicales (Irwin *et al.* 1998; Mishra *et al.* 2008).

Sur le plan économique, le taro occupe le quatorzième rang mondial parmi les cultures vivrières avec une production annuelle de 10.520.791 tonnes (Anonyme 2008). En Afrique tropicale et subtropicale, la production des racines et tubercules est essentiellement une activité de subsistance et est concernée par la population paysanne. Pourtant le taro est devenu un principal produit d'exportation pour drainer les devises de certains pays du Pacifique comme la Chine, le Fiji et les États-Unis d'Amérique (Deo *et al.*, 2009). Sur le plan nutritionnel, le taro est cultivé essentiellement pour ses tubercules comestibles sous diverses formes : cuits à l'eau, frits ou rôtis en accompagnement, ou bien s'utilisent pour préparer le fofou. (Varin *et al.* 2010, Darkwa *et al.* 2013). Les usages du taro sur le plan médicinal sont moins nombreux. Les tubercules râpés sont appliqués en cataplasme pour accélérer la maturation des furoncles ainsi que pour traiter les morsures de serpent et les rhumatismes (Afsana *et al.* 2013). On ingère également les jeunes feuilles cuites à l'eau pour traiter l'hypertension artérielle et les affections hépatiques (Safo 2004). Quant au jus, il s'emploie en externe pour traiter l'eczéma (Safo 2004).

Malgré ses nombreux atouts, la production du taro est menacée depuis les années 1900 d'abord dans les îles du Pacifique et depuis 2010 au Cameroun, d'une attaque fongique due à *Phytophthora colocasiae* Racib. Le mildiou du taro causé par *Phytophthora colocasiae* entraîne des pertes énormes de rendement pouvant aller jusqu'à 100 % (Anonyme 2010, Guarino 2010). Cette maladie affecte les feuilles principalement mais aussi les pétioles et les tubercules avec l'apparition des taches circulaires gorgées d'eau sur les parties affectées de la

plante et est capable de détruire complètement les cultivars sensibles en moins de 10 jours (Gollifer *et al.* 1974).

Depuis son apparition, diverses stratégies de lutte ont été adoptées notamment l'utilisation conventionnelle des fongicides de synthèse à base de cuivre et de phosphore (Jackson 1999). Malgré leur efficacité parfois avérée, ces traitements sont non seulement fastidieux et onéreux mais aussi présentent d'énormes risques de pollution de l'environnement, du développement des résistances du pathogène, des problèmes de résidus, de phytotoxicité, de la non disponibilité et même très dangereux pour l'homme (Safo 2004). D'où l'urgence dans la recherche et l'adoption des méthodes de lutte biologiques respectueuses de l'homme et de l'environnement.

Les champignons mycorhiziens constituent un groupe très adapté dans les relations plante-sol. Plusieurs recherches ont déjà montré l'importance des mycorhizes dans la protection des plantes contre les parasites. Certains chercheurs ont également montré que l'effet bénéfique des mycorhizes est souvent plus accentué lorsque plusieurs souches de champignon mycorhizien sont associées. C'est le cas par exemple de Bartschi *et al.* (1981) qui ont montré que l'association de plusieurs souches d'endomycorhizes vésiculo-arbusculaires (genre *Glomus*) inhibait totalement l'évolution de *Phytophthora cinnamomi* chez *Chamaecyparis lawsoniana*. Malheureusement, les informations sur l'utilisation de ce potentiel écosystémique dans la lutte contre les pathogènes chez les Aracées en général et en particulier chez le taro sont à nos jours presque indisponibles (Anonyme). C'est la raison pour laquelle nous nous sommes donnés pour objectif d'évaluer l'effet combiné de deux souches de mycorhize (*Gigaspora margarita* et *Acaulospora tuberculata*) sur l'évolution du mildiou du taro. Plus spécifiquement, il s'agira:

- ❖ d'évaluer l'effet des mycorhizes sur la croissance des plantules du taro ;
- ❖ d'évaluer l'effet des mycorhizes sur l'évolution du mildiou du taro ;
- ❖ d'évaluer l'activité des enzymes antioxydantes dans l'interaction taro-mycorhizes-mildiou.

CHAPITRE I :
REVUE DE LA LITTERATURE

I.1. Généralités sur *Colocasiae esculenta* L. Schott

I.1.1. Origine et distribution géographique

Des auteurs s'accordent à reconnaître une origine Asiatique au genre *Colocasia*. Jusqu'à récemment, il était accepté que le centre d'origine et de domestication de *Colocasia* fussent l'Asie du Sud-est (Singh *et al.* 2010) avec la Papouasie-Nouvelle-Guinée comme centre majeur de diversité d'où il se serait étendu jusqu'au Nord de l'Australie (Safo 2004). Le genre *Colocasia* compte deux variétés les plus cultivées dans le monde : la variété *esculenta* ou Dasheen en Anglais et la Variété *antiquorum* ou Eddoe (Varin *et al.* 2010). *Colocasia esculenta* (L.) Schott arrive en Afrique de l'Est il y a environ 2000 ans et en Afrique de l'Ouest plus tard par le biais des Arabes (Safo 2004). Actuellement, le taro est cultivé dans plus de 65 pays du monde parmi lesquels le Cameroun (Anonyme 2001). Au Cameroun, il est cultivé dans sept des dix régions que compte le pays à savoir le Centre, Est, Littoral, Nord-ouest, Sud, Sud-ouest, et l'Ouest où il se présente comme l'une des principales cultures vivrières (Anonyme 2010).

I.1.2. Taxonomie et diversité

Le taro est une plante Monocotylédone appartenant à la famille des Aracées, tribu des *Colocasioideae*. Cette famille compte environ 1400 à 1500 espèces regroupées sous 105 genres largement distribués dans les tropiques humides. Le genre *Colocasia* est celui le plus cultivé dans le monde avec notamment l'espèce *Colocasia esculenta*. Cette espèce comestible est très polymorphe avec plusieurs milliers de cultivars. *Colocasia esculenta* comporte huit variétés parmi lesquelles deux sont largement cultivées :

❖ *Colocasia esculenta* (L.) Schott var. *esculenta* ou Dasheen ou Old cocoyam qui produit un tubercule principal comestible avec quelques rejets (tubercules secondaires), son génome est diploïde avec $2n = 28$ chromosomes.

❖ *Colocasia esculenta* (L.) Schott var. *antiquorum* (ou variété *globulifera*) ou Eddoe cultivé pour ses tubercules secondaires principalement, son génome est triploïde avec $2n = 42$ chromosomes (Varin *et al.* 2010).

La position systématique du taro est la suivante (Irwin *et al.* 1998):

Embranchement	: Magnoliophyta
Classe	: Liliopsida
Ordre	: Arales

Famille	: Araceae
Sous famille	: Aroideae
Genre	: <i>Colocasia</i>
Espèce	: <i>Colocasia esculenta</i>

I.1.3. Différents cultivars du taro au Cameroun

Trois variantes de *Colocasia esculenta* sont relativement cultivées au Cameroun sous les types *antiquorum* (Eddoe) et *esculenta* (Dasheen). Il s'agit de la variante Ekwanfré de la variété *esculenta*, la variante Banlah et de la variante Makoumba toutes deux de la variété *antiquorum*.

I.1.3.1. Cultivar "Ekwanfré"

Cette variante est essentiellement cultivée dans la zone agraire de l'ouest représentée par Dschang, Mbouda et Foumbot et aussi dans le littoral (localité du Moungo). La variante "Ekwanfré" se reconnaît par ses grandes feuilles vert-claires (Fig.1A), ses grands pétioles roses à leur base (Fig.1B). Le Tubercule est cylindrique à la base avec des tubercules latéraux arrondis. Chair rose, fibres mauves (Fig.1C). Ses rejets sont nombreux en fin de cycle et assez proches du pied mère. Le rendement espéré est de 44,5 t/ha (Anonyme 2011). Cette variante est particulièrement sensible à de fortes humidités en fin de cycle et moins sensible au mildiou (Kémékong 2015).

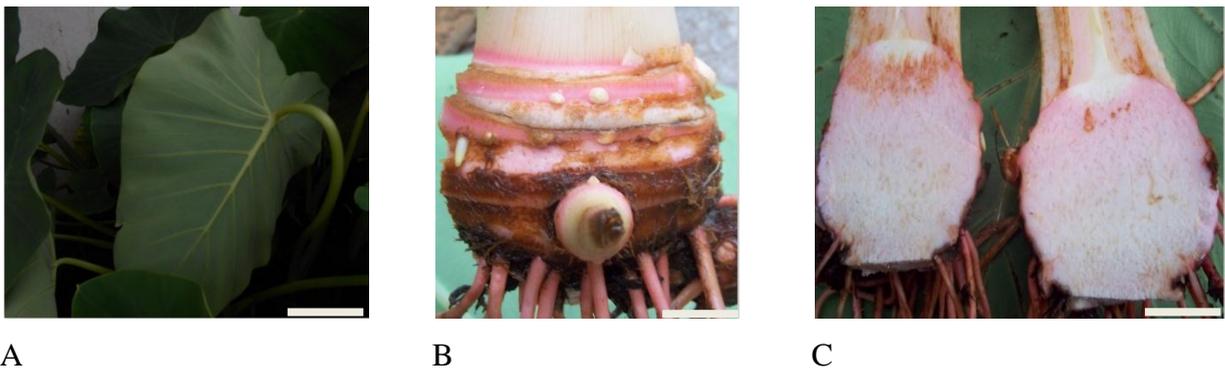


Figure 1. Représentation du cultivar Ekwanfré A, Morphologie des plantules; B, base ou rhizome ; C, aspect rosacé du rhizome en coupe longitudinale (Photo SOB). Trait : 1 cm.

I.1.3.2. Cultivar Banlah ou Ekhoughlah ou taro traditionnel

Rencontrée dans tous les agrosystèmes au Cameroun, cette variante se distingue par ses petites feuilles vert-claires (Fig.2A). Pétioles de petite taille, rose à leur base (Fig.2B). Le

rhizome à la base est ovale avec des tubercules latéraux allongés. Chair blanche avec des fibres jaune-pâles (Fig.2C). De nombreux rejets par pied en fin de cycle. Le rendement espéré pour cette variante est de 51,5 t/ha (Anonyme 2011). Cette variante est sensible à de fortes humidités en fin de cycle et au mildiou plus que la variante Ehkwanfré (Kémékong 2015).



Figure 2. Représentation du cultivar Banlah A, Morphologie des plantules; B, base ou rhizome ; C, aspect rosacé du rhizome en coupe longitudinale (Photo SOB). Trait : 1 cm.

I.1.3.3. Cultivar “Macoumba” ou taro sélectionné

Cette variante est la plus produite et la plus consommée à cause de sa chair farineuse et parfumée. Elle se reconnaît par ses petites feuilles (Fig. 3A). Le limbe est d'un vert-sombre avec un point coloré au-dessus de la jonction pétiolaire chez certaines formes (Fig.3B). Les pétioles de petite taille sont rosacés (Fig.3C), des tubercules arrondis et nombreux par pied, chair blanche avec des fibres jaune-claires (Fig.3D). Les rejets sont nombreux par pied en fin de cycle et sont proches du pied mère. Le rendement espéré est de 61,81 t/ha (Anonyme 2011). Cette variante est plus sensible que les deux précédentes à la pourriture du tubercule en fin de cycle due au *Phytophthora colocasiae* Racib. (Kémékong 2015).

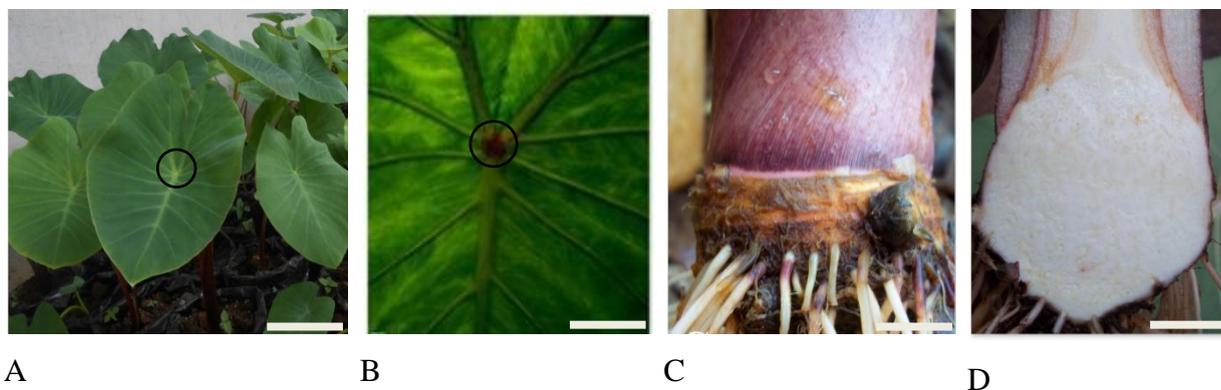


Figure 3. Représentation du cultivar Macoumba A ; Morphologie des plantules ; A et B, Vues supérieures de la feuille ; C, base ou rhizome ; D, aspect rosacé du rhizome en coupe longitudinale (Photo SOB). Trait : 1 cm.

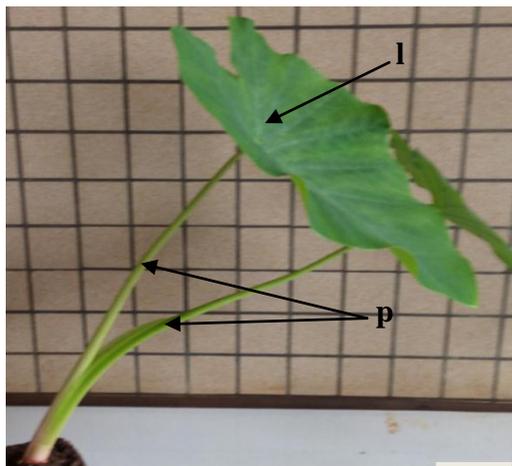
I.1.4. Biologie et écologie

I.1.4.1. Biologie

Colocasia esculenta (L.) Schott est une plante herbacée érigée ou dressée, une Monocotylédone à tubercule atteignant parfois 2 m de hauteur. C'est une plante vivace mais le plus souvent cultivée comme annuelle.

❖ Partie aérienne du taro (Fig. 4)

Le système caulinaire est constitué de feuilles uniquement, à très longs pétioles atteignant parfois plus de 1m de hauteur, pourvu d'une gaine distincte. Ses feuilles simples, peltées, sont disposées en spirale, formant une rosette. Le limbe cordé, atteignant 85 cm × 60 cm, à lobes arrondis à la base, entier, épais, glabre, possède trois nervures principales (Fig. 4A). L'inflorescence est un spadice terminé par un appendice stérile, entouré d'une spathe et soutenue par un pédoncule bien plus court que le pétiole (Fig. 4B). Les fleurs sont unisexuées, petite et sans périanthe. Les fleurs mâles à étamines entièrement fusionnées se trouvent dans la partie supérieure du spadice ; les fleurs femelles à ovaire supère uniloculaire pourvu d'un stigmate presque sessile se trouvent à la base du spadice, les deux fleurs (mâle et femelle) étant séparées par une bande de fleurs stériles. Le fruit est une baie avec de nombreuses graines étroitement serrées et formant une infructescence. Les graines ovoïdes à ellipsoïdes, de moins de 2mm de long sont pourvues d'un albumen abondant (Barrau 1959).



A (Photo SOB)



B (Source : Varin 2010)

Figure 4. Morphologie de la partie aérienne du taro A, limbe fixé sur de longs pétioles ; B, inflorescence du taro. Trait : 1 cm.

l : limbe

p : pétioles

f : fleurs

❖ **Partie souterraine du taro (Fig. 5)**

Elle est constituée du ou des tubercule(s) et les racines. Le tubercule étant la partie souterraine qui émet les bourgeons, c'est la partie principalement consommée du taro. Il est énorme, jusqu'à 4 kg pour les plus volumineux, cylindrique ou sphérique, atteignant 30cm × 15cm, cerné de nombreux anneaux, généralement brun avec les bourgeons latéraux donnant naissance aux tubercules secondaires. Le système racinaire est de type adventif, fibreux et superficiel se fixant à la base ou au tiers supérieur du tubercule selon les cultivars et la phase du cycle de développement (Varin *et al.* 2010).



A

B

C

Figure 5. Morphologie de la partie souterraine du taro A, Cv Ekwanfré ; B, Cv Macoumba ; C, Cv Banlah (Photo SOB). Trait : 1 cm.

I.1.4.2. Reproduction du taro

La reproduction du taro se fait essentiellement par multiplication végétative. Quatre types de matériel végétal sont principalement utilisés:

- ❖ Les bourgeons latéraux qui poussent sur la corne principale ;
- ❖ Les petits tubercules non commercialisables (60-150 g) ;
- ❖ Des morceaux de corne ;
- ❖ Des collets (semenceaux de 1-2 cm apicaux à la corne principale auxquels on a laissé 15-20 cm de pétiole).

Le matériel végétal doit être prélevé sur des plants de taro sains, vigoureux. (Catherinet 1965). On distingue trois phases dans le cycle du taro:

— La phase d'installation (qui dure 8 semaines soit deux mois environ après la plantation), cette phase sensible à l'enherbement est caractérisée par l'acclimatation et l'enracinement des plantules.

— La phase de croissance active ou de développement végétatif (de la 8^{ème} à la 25^{ème} semaine), cette phase dure jusqu'à ce que la plantule atteigne sa hauteur maximale.

— La phase de ralentissement de la croissance de la partie aérienne et de remplissage de la partie souterraine (de la 25^{ème} à la 40^{ème} semaine), les feuilles deviennent plus petites et moins nombreuses, la végétation s'ouvre, jaunit et sèche, il faut récolter (Varin *et al.* 2010).

I.1.4.3. Ecologie

Colocasia esculenta (L.) Schott est une plante des zones tropicales humides essentiellement. Vivant à l'ombre, en situation abritée et sans écart brusque de température.

❖ Besoins en chaleur

Les températures favorables sont de 21° à 27°C. Les types Eddoe résistent mieux à la sécheresse et aux basses températures que les types Dasheen et réussissent même bien en altitude comme en Corée et au Japon (Caburet *et al.* 2007).

❖ Besoins en eau

La pluviométrie annuelle située entre 2000 et 2500 mm/an est favorable. La variété *esculenta* se développe particulièrement mieux pour des pluviométries annuelles excédant 2500 mm/an (Varin *et al.* 2010). Le taro supporte bien les conditions de fortes humidités notamment pendant sa phase de pousse active. Ces conditions écologiques relativement humides font du taro une bonne culture à associer avec d'autres cultures telles que le cocotier, le cacaoyer, le caféier ou la canne à sucre et le maïs comme c'est le cas au Ghana (Onwueme 1999).

❖ Besoins en sol

Les sols convenables pour le taro sont très humides, légers, frais, riches en base échangeable. Le taro supporte des sols fortement réduits. La variété Dasheen est trouvée essentiellement dans les zones marécageuses, sur les berges et dans les zones de savane où le sol est lourd avec une capacité de rétention d'eau élevée. Un pH de 5,5-6,5 convient parfaitement. Certains cultivars supportent une salinité élevée. Les types Eddoe préfèrent les sols limoneux bien drainés (Safo 2004).

❖ **Besoin en altitude**

Certaines variétés de taro peuvent s'épanouir en haute altitude jusqu'à 2000 m et au-delà comme sur la côte atlantique et sur le mont Cameroun (Anonyme 1991).

I.1.5. Importances du taro

I.1.5.1. Importances économiques

Parmi les cultures vivrières pratiquées à l'échelle mondiale, le taro occupe le quatorzième rang avec une production de 10.520.791 tonnes (Anonyme 2008). La plus grande majorité de pays producteurs du taro le produit pour une consommation locale ce qui constitue l'essentiel des débouchés. Le taro est devenu un principal produit d'exportation pour drainer les devises de certains pays du Pacifique (Deo *et al.* 2009). La Chine, le Fiji et les États-Unis d'Amérique sont les trois premiers exportateurs du taro au niveau mondial avec 70.235 tonnes, 12.661 tonnes et 6.307 tonnes pour une valeur monétaire de 39.937.000 dollars, 15.885.000 dollars et 6.850.000 dollars respectivement. Les trois importateurs du taro au niveau mondial sont : Le Japon, Les USA, La Nouvelle-Zélande avec une production de 46.276 tonnes, 39.156 tonnes, 6.500 tonnes pour une valeur monétaire de 43.370.000 dollars 36.295.000 dollars 11.000.000 dollars respectivement (Anonyme 2008). Le Cameroun est le quatrième pays producteur mondial après le Nigeria, le Ghana et la Chine avec 1.200.000 tonnes de taro pour une valeur monétaire de 98.899.000 dollars américains (Anonyme 2008, Deo *et al.* 2009) (tableau 1). Depuis 2010, cette production a baissé de plus de 80% suite à l'attaque due au *Phytophthora colocasiae* Racib. (Anonyme 2010, Guarino 2010).

Tableau 1. Dix premiers pays producteurs du taro dans le monde classés par valeur de production en dollar et en tonnes.

Rang mondial	Pays	Valeur de la production en dollars (x1000)	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 NG	29.360	285.000
6	MADAGASCAR	17.307	240.000
7	JAPON	15.513	179.700
8	EGYPTE	13.698	151.971
9	RWANDA	11.394	110.607
10	PHILIPPINES	10.400	115.956

Source : (McGregor *et al.* 2011)

I.1.5.2. Importances nutritionnelles

Le taro est cultivé principalement pour ses tubercules comestibles. Les tubercules mous à chair blanche du taro se consomment cuites à l'eau, frits ou rôtis en accompagnement. Ils sont appréciés car ils rassasient vite, même consommés en petites quantités. Chez les cultivars à gros corme unique (type Dasheen), on a un produit relativement farineux tandis que chez les types Eddoe, les tubercules ont une structure plus ferme et un goût qui rappelle la noisette. Le taro est bien accepté par les enfants allergiques et par les adultes qui présentent des troubles gastro-intestinaux du fait de sa grande digestibilité estimée à 98,8% (Varin *et al.* 2010). L'amidon s'emploie dans l'alimentation infantile et comme substitut de céréales. Les feuilles et les pétioles de taro s'emploient comme légume-feuilles et comme herbe potagère pour les soupes et les sauces, ou comme condiment (Varin *et al.* 2010). En effet, les feuilles de taro contiennent une forte concentration de protéines et représentent une excellente source de carotène, potassium, calcium, phosphore, fer, riboflavine, thiamine, niacine, vitamine A, vitamine C et les fibres diététiques (Bradbury & Holloway 1988).

I.1.5.3. Importances médicinales

Les usages du taro sur le plan médicinal sont moins nombreux. Les tubercules râpés sont appliqués en cataplasme pour accélérer la maturation des furoncles ainsi que pour traiter les morsures de serpent et les rhumatismes (Safo 2004). On ingère également les jeunes feuilles cuites à l'eau pour traiter l'hypertension artérielle et les affections hépatiques (Safo 2004). Quant au jus, il s'emploie en externe pour traiter l'eczéma (Safo 2004). Le tubercule du Banlah cuit à l'eau et ramolli est appliqué en cataplasme pour accélérer la maturation du panaris ou mal blanc. Les extraits méthanoïques des feuilles de taro sont utilisés comme antidiabétiques oraux pour abaisser la glycémie, dans le traitement de la douleur et des inflammations (Afsana *et al.* 2013).

I.1.5.4. Contraintes dans la production du taro

La production du taro est menacée par de nombreuses attaques dues soit :

➤ Aux insectes tels que les pucerons du cotonnier (*Aphisgossipii*), le Cicadelle du taro (*Tarophagus proserpine*) et bien d'autres qui pullulent sur les feuilles de taro en les vidant de leur sève (Ooka 1990, Varin 2010) ;

- Aux virus tels que le complexe Alomae-Bobone causé par deux virus bacilliformes qui entraînent la mort du cultivar infecté (Gollifer & Brown 1974, Ooka 1990) ;
- Aux champignons tels que *fusarium* spp, *Rhizopus stolonifer* Sacc., *Clostridium colocasiae* Sawada, *Phytophthora colocasiae* Racib. et bien d'autres encore (Gollifer & Brown 1974, Ooka 1990, Safo 2004, Varin 2010).

Les maladies causées par les champignons sont les plus dévastatrices et responsables d'énormes pertes de rendement des cultures. Le mildiou du taro causé par *Phytophthora colocasiae* Racib. représente l'une des menaces agraires les plus redoutables qui s'est manifesté au Cameroun pour la première fois en 2010 causant d'énormes pertes de rendements jusqu'à 100 %. Il entraîne une baisse considérable du revenu des producteurs et une insécurité alimentaire dans le pays (Anonyme 2010, Guarino 2010).



A



B

Figure 6. Manifestations du mildiou du taro A, parties aériennes des plantules de taro affectées ; B, rhizome affecté (partie souterraine de la plantule) (Photo SOB). Trait : 1 cm.

I.1.5.5. Stratégies d'amélioration

Plusieurs techniques sont déployées quant à l'amélioration de la production du taro notamment

- la sélection des variétés résistantes aux maladies ;
- le choix et l'assainissement des champs de production ;
- une gestion harmonieuse des taros rejetés (on doit les déchiqueter, les enterrer, les composter ou les détruire d'une façon quelconque loin des champs de production avant la levée de la nouvelle récolte, détruire par ailleurs les repousses spontanées, les plantes hôtes de *P. colocasiae* et tous les plants infectés dès qu'on les repère),
- la culture de plusieurs petits champs séparés (Caldwell *et al.* 1998) ;

- les rotations de culture avec les semences non hôtes de *P. colocasiae* ;
- l'utilisation contrôlée de fumiers riches en azote (Julia *et al.* 2001).

I.2. Généralités sur les mycorhizes : *Gigaspora margarita* et *Acaulospora tuberculata*

I.2.1. Historique

L'endosymbiote originel (un *Gloméromycète* semble-t-il), serait apparu il y a environ 450 millions d'années au Paléozoïque, probablement au même moment que les premières plantes terrestres. Des fossiles de la flore de Rhynie (*Aglaophyton*), âgés d'environ 400 millions d'années, comportent des mycorhizes morphologiquement identiques aux *Glomales*. Ceci laisse penser que les mycorhizes ont été l'instrument d'une colonisation accélérée des terres émergées, par leur capacité à extraire l'eau et les minéraux du sol. À l'heure actuelle, 85 % des Archégoniates, ainsi que des Hépatiques, sont endomycorhizés par des *Glomales*. Cela suppose que la symbiose avec les *Glomales* soit la plus ancienne chez les Archégoniates et qu'elle aurait permis l'impressionnante radiation de ces derniers (diversité, lignification...). Les autres familles de Gloméromycètes (*Acaulosporaceae* et *Gigaspora*) sont apparues plus tard vers -250/-230 millions d'années. Elles possèdent des capacités supérieures pour l'exploitation des ressources minérales et hydriques des sols (Jean-Pierre 2012).

I.2.2. Taxonomie et diversité

I.2.2.1. *Gigaspora margarita*

Le genre *Gigaspora* est un champignon endomycorhizien, de taille microscopique de la classe des Gloméromycètes et de l'Ordre des Archéosporales (Hibbett *et al.* 2007). Ce genre est polymorphe avec plusieurs espèces parmi lesquelles *Gigaspora margarita* connue pour établir des associations symbiotiques avec les racines des plantes supérieures. *Gigaspora margarita* possède un thalle siphonné plus ou moins ramifié. Il est hétérothallique (anthéridie et oogone nés de deux filaments génétiquement différents) ou homothallique dans certains cas (anthéridie et oogone nés d'un même filament). Ce champignon se multiplie de façon asexuée essentiellement (Jean-Pierre 2012). La reproduction asexuée est assurée par des spores. Sa position systématique est la suivante:

Division	: Glomeromycota
Classe	: Gloméromycètes
Ordre	: Archéosporales

Famille	: Gigasporaceae
Genre	: <i>Gigaspora</i>
Espèce	: <i>Gigaspora margarita</i>

I.2.2.2. *Acaulospora tuberculata*

Le genre *Acaulospora* est également endomycorhizien, de taille microscopique, de la même classe et du même Ordre que le genre *Gigaspora* avec les mêmes caractéristiques taxonomiques (Gerald 2012). Sa position systématique est la suivante :

Division	: Glomeromycota
Classe	: Gloméromycètes
Ordre	: Archéosporales
Famille	: Acaulosporaceae
Genre	: <i>Acaulospora</i>
Espèce	: <i>Acaulospora tuberculata</i>

I.2.3. Importance agronomique de la mycorhization

Les mycorhizes sont à l'origine des écosystèmes les plus complexes, et en particulier dans les forêts et notamment les forêts tropicales qui vivent et évoluent souvent sur des sols ingrats. Leurs mycéliums forment des réseaux interconnectés qui influencent le fonctionnement des écosystèmes (cycles biogéochimiques, composition des communautés végétales, alimentation carbonée des plantules pendant leur développement, modification de la compétition...) en permettant ou augmentant des flux importants de carbone organique et de sels minéraux (azote, phosphore, eau...) via le sol (en moyenne 30 à 40 % des minéraux captés par les marges du réseau mycélien sont rétrocedés à la racine, cette dernière apportant 30 % des glucides photosynthétisés au champignon) . Ils constituent un des éléments les plus dynamiques de la symbiose mycorhizienne. Ils sont pourtant encore peu exploités en horticulture, agriculture et foresterie, ou pour la dépollution de certains sols pollués. Les mycorhizes interagissent avec diverses bactéries du sol (dont *Pseudomonas*) qui peuvent être pathogènes. Le mycorhize protège la plante contre ses pathogènes en émettant des antibiotiques (Francis 2009). Les mycorhizes interagissent aussi avec les autres mycorhizes et les autres champignons et avec certains prédateurs et parasites aériens des plantes. La nature de la population mycorhizienne modifie positivement ou négativement les capacités de défense des plantes, les communautés bactériennes sont modifiées par la variation des

exsudats entre racines mycorhizées et non-mycorhizées. La diversité des champignons mycorhiziens à arbuscules du sol contrôle la composition des communautés végétales par un effet direct du champignon sur la valeur sélective des individus qu'ils colonisent (effet bénéfique, neutre, négatif ou même suppressif). Ce phénomène est lié à la préférence d'hôte existant pour chaque champignon. Un cortège mycorhizien optimal agirait comme un « engrais » sans ses inconvénients, et gratuitement, en se passant de pesticides, fongicides et amendements (Francis 2009).

I.2.4. Types de mycorhization

On distingue deux principaux types de mycorhize : les Endomycorhizes et les ectomycorhizes

I.2.4.1. Endomycorhizes

Les endomycorhizes pénètrent la racine entre les cellules corticales et parfois même à l'intérieur où ils forment des structures d'échange, les arbuscules ou les vésicules. De cette façon, la surface de contact entre l'hyphe et la cellule est plus grande et ainsi facilite l'échange des métabolites entre les deux partenaires (Garbaye 2013).

I.2.4.2. Ectomycorhizes

Les ectomycorhizes ou mycorhizes externes concernent seulement 5 % des plantes vasculaires. Ces mycorhizes ne pénètrent pas à travers des parois cellulaires à l'intérieur des cellules de la plante, mais entourent simplement les racines, formant un manteau de mycélium et un réseau entre les parois des cellules de la racine (Garbaye 2013).

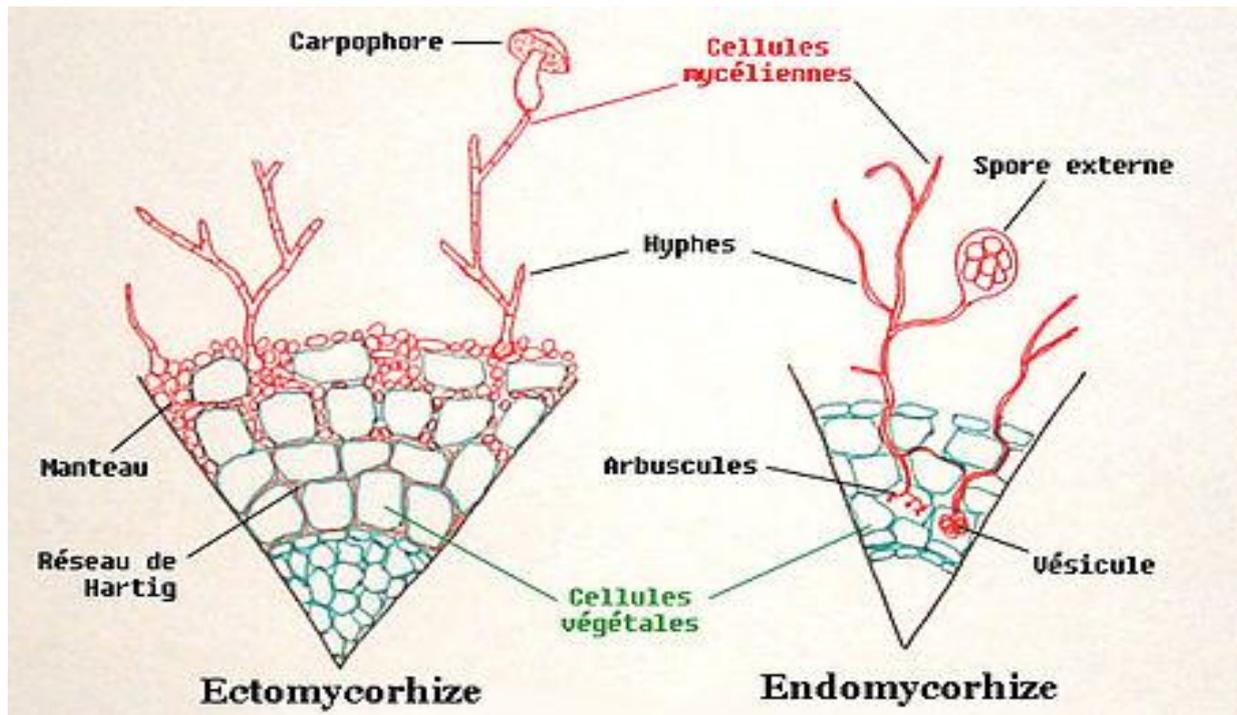


Figure 7. Types de mycorhization (Anonyme).

I.3. Généralités sur *Phytophthora colocasiae* Racib.

I.3.1. Origine

Les informations sur l'origine de *Phytophthora colocasiae* sont limitées. Sa zone d'origine reste indéfinie (Zhang *et al.* 1994). Le pathogène fût décrit pour la première fois en 1900 par Raciborski (Ooka 1990). En Guam en 1918 et plus tard à Hawaï en 1920, les effets dû au pathogène ont été constatés. Des auteurs pensent que *Phytophthora colocasiae* a été présent dans le Pacifique depuis l'aube du XX^{ème} siècle, dans le Sud-est de l'Asie (Carpenter 1920). Entre 1976 et 1988, *Phytophthora* se répand sur l'île de Manus et dans le campement de Milne respectivement détruisant à 100% la récolte à chaque occasion (Jackson 1996). Très rapidement, tous les agrosystèmes du taro à travers le monde furent atteints. De l'Asie en Océanie puis aux Etats-Unis d'Amérique (Trujillo 1967) et depuis 2010, l'épidémie est au Camerounais où elle a causé des pertes de rendements jusqu'à 100% à l'Ouest (Anonyme 2010, Guarino 2010).

I.3.2. Taxonomie et diversité

Le genre *Phytophthora* est un champignon microscopique de la classe des Oomycètes et de l'ordre des Péronosporales. Ce champignon est polymorphe avec une centaine d'espèces décrites parmi lesquelles *Phytophthora colocasiae* Racib. responsable du mildiou du taro. *P. colocasiae* possède un thalle siphonné plus ou moins ramifié. Il est hétérothallique (anthéridie

et oogone nés de deux filaments génétiquement différents) ou homothallique dans certains cas (anthéridie et oogone nés d'un même filament). Ce champignon se multiplie de façon sexuée et asexuée. Sa position systématique est la suivante selon Erwin (1996) :

Embranchement	: Oomycota
Classe	: Oomycètes
Ordre	: Peronosporales
Famille	: Péronosporaceae
Genre	: <i>Phytophthora</i>
Espèce	: <i>Phytophthora colocasiae</i>

I.3.3. Biologie et écologie

I.3.3.1. Biologie

Phytophthora colocasiae Racib. est un Oomycète microscopique à thalle filamenteux. Il se multiplie de façon sexuée et asexuée. L'unité reproductrice primaire du pathogène est le sporangie dont la germination nécessite la présence d'eau. La température influence la rapidité du développement du pathogène et l'intensité de l'attaque (Erwin *et al.* 1996). Sous le refroidissement ($t^{\circ} \leq 20^{\circ}\text{C}$), les zoospores se différencient rapidement à l'intérieur de chaque sporangie (15 à 20 zoospores par sporangie). Après libération, elles se déplacent grâce à leurs flagelles et en présence d'eau pour s'enkyster enfin sur les feuilles de taro et autres plantes hôtes. La zoospore peut donc germer en présence d'humidité et les filaments mycéliens s'introduisent dans les tissus foliaires. Le nouveau thalle produit les zoosporanges et les chlamydospores donc la germination directe donnera des zoospores biflagellées. C'est le mode de la reproduction asexuée du pathogène. C'est un processus assez rapide pouvant durer une dizaine de minute environ (Singh *et al.* 2011).

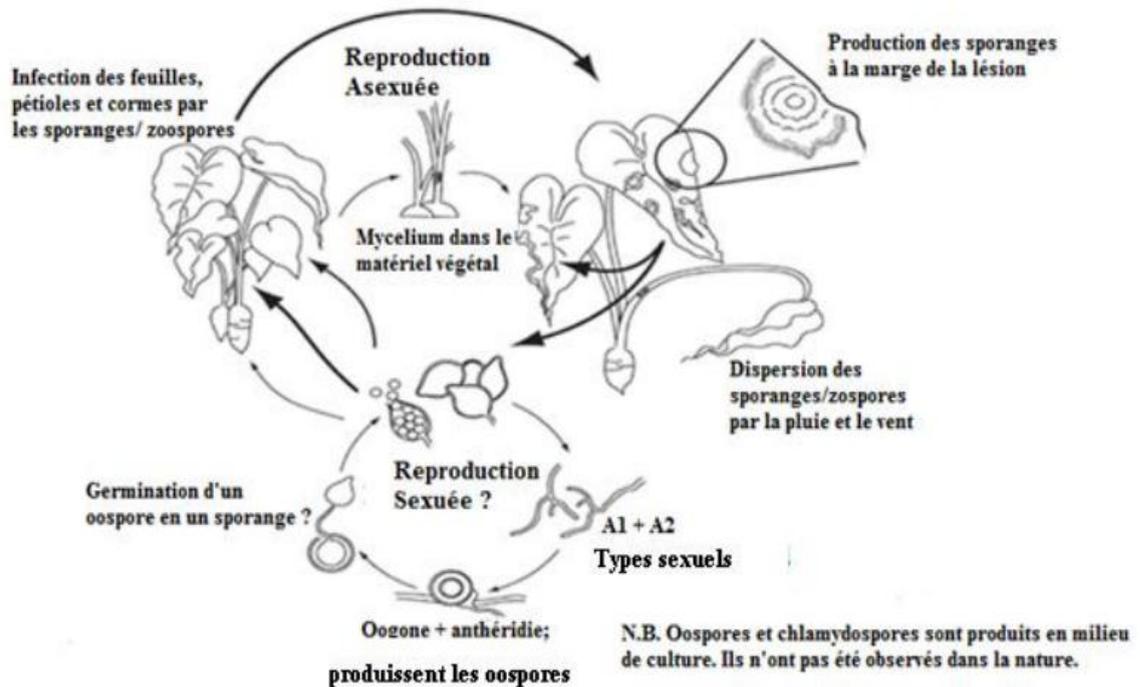


Figure 8. Cycle de développement de *P. colocasiae* Racib. et épidémiologie (Singh *et al.* 2011)

I.3.3.2. Ecologie

Le pathogène infecte principalement *Colocasia* spp. (*C. esculenta*, *C. esculenta* var. *globulifera*, *C. esculenta* var. *antiquorum*) et *Alocasia macrorrhiza*. L'infection du genre *Alocasia* est limitée par la faible production d'inoculum due aux facteurs génétiques de la plante (Singh *et al.* 2011). *Phytophthora* spp. est prévalent dans les domaines tropicaux humides, dans les sols acides à neutres avec une forte charge de nutriments et de matières organique surazotées, dans les sols mal drainés contenant peu de micro-organismes. Sa croissance est optimale pour un pH 7 et une température de 27°C alors que sa sporulation est optimale pour un pH 6 et une température de 18°C (Tsopmbeng *et al.* 2014a).

I.3.3.3. Symptômes de la maladie

Le mildiou du taro se manifeste par l'apparition des taches circulaires gorgées d'eau sur les limbes (Fig.9A et B), les pétioles (Fig.9C) et les tubercules (Gollifer *et al.* 1974). Il apparaît d'abord de petites taches sombres, brunes ou brunes pâles sur la face supérieure des limbes. (Jackson 2001). Les taches débutent leur formation au niveau des bordures des feuilles où l'eau s'accumule (Yamde 2012). L'évolution des taches est marquée par une apparence mouillée avec une masse blanche de sporanges (Fullerton *et al.* 2004). Au fur et à

mesure, les taches s'agrandissent, deviennent circulaires, brune-violacées ou brunes et finissent par détruire complètement et rapidement le limbe en l'envahissant (Jackson 2001). On peut aussi apercevoir un anneau jaunâtre autour des lésions (Nelson *et al.* 2011). Sur les pétioles, les lésions produisent des exsudats orangés à rougeâtres. Sur les fleurs, les lésions entraînent la pourriture des pédoncules floraux. La pourriture du tubercule commence à sa base et le tubercule infecté présente une couleur brun-noir ou blanc-gris (Gollifer *et al.* 1980).

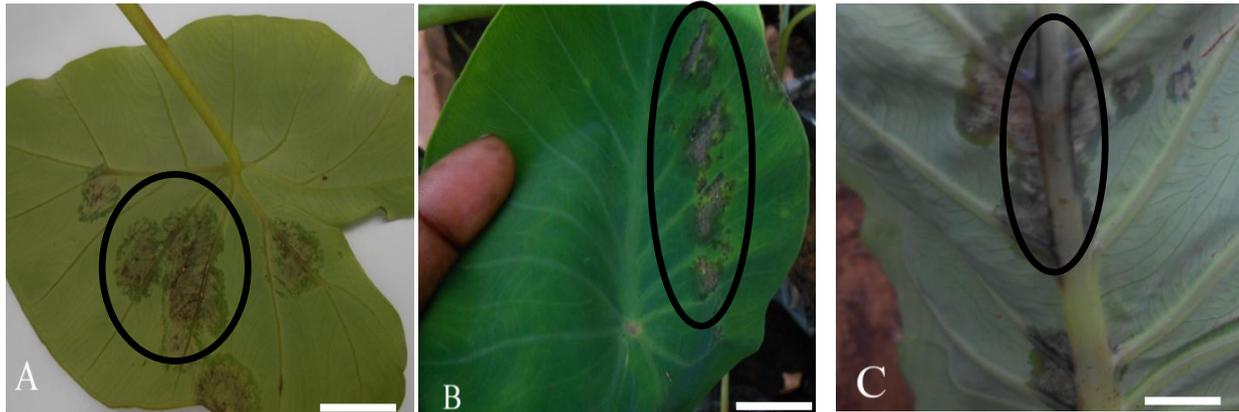


Figure 9. Symptômes du mildiou A, taches gorgées d'eau sur la face inférieure de la feuille ; B, taches gorgées d'eau sur la face supérieure de la feuille ; C, aspect infecté du pétiole (Photo SOB). Trait : 1 cm.

I.3.3.4. Méthodes de lutte utilisées

I.3.3.4.1. Lutte chimique

Les fongicides de synthèse sont utilisés pour lutter contre le mildiou du taro. De nombreux produits à base de cuivre ou de phosphore sont ainsi utilisés:

- ❖ L'Oxychlorure de cuivre dans un rapport de 4,5 kg de matière active pour 100 litres d'eau par hectare donnait un meilleur contrôle de la maladie dans les îles Salomon, rapporte Jackson (1996) ;
- ❖ Le Mancozebe au taux de 4 kg de matière active pour 750 litres d'eau par hectare ;
- ❖ l'Acide phosphorique à raison de 3,6 kg de matière active par hectare (Jackson 1999).

Ces produits sont appliqués à l'aide d'un pulvérisateur hydraulique à dos.

Malgré leur efficacité parfois avérée, ces traitements sont fastidieux et onéreux avec des risques de pollution de l'environnement, du développement des résistances du pathogène, des problèmes de résidus, de phytotoxicité, de la non disponibilité et même très dangereux pour

l'homme (Safo 2004) d'où la nécessité de recourir aux techniques de lutte biologique et aux méthodes de lutte intégrées.

I.3.3.4.2. Lutte biologique

Les organismes vivants tels que les champignons du genre *Trichoderma* et la flore bactérienne naturelle à la surface des feuilles sont exploités pour contrôler l'incidence et le développement de la maladie. En effet, Mishra *et al.* (2008) ont révélé que :

❖ Les champignons suivants : *Botrytis cinerea* et *Trichoderma spp.* inhibaient la croissance de *P. colocasiae* ;

❖ Anukworji *et al.* (2012) ont montré que les extraits méthanoïques d'*Allium sativum* et d'*Azadirachta indica* inhibaient la croissance du mycélium pendant la conservation des tubercules de taro. Par ailleurs, Tsopmbeng *et al.* (2014b) ont montré que les extraits méthanoïques de *Cupressus lusitanica* et de *Callistemon viminalis* et celui d'*Eucalyptus saligna* ont totalement inhibé la croissance radiale de *P. colocasiae in vitro*.

I.4. Généralités sur les enzymes antioxydantes et l'expression des maladies chez les plantes

Les enzymes antioxydantes sont des protéines s'opposant aux pouvoir oxydatif de certaines substances (ROS) c'est-à-dire capables de réduire significativement la peroxydation des composés biologiques tels les acides gras, les acides aminés, les acides nucléiques et les protéines. Elles réduisent les ROS en composés non réactifs avec les molécules biologiques. En effet, au cours des oxydations cellulaires, 1 à 2% de l'O₂ consommé n'est que partiellement réduit (Valko *et al.* 2006) et donne naissance aux espèces réactives de l'oxygène ou ROS (Reactive Oxygen Species en anglais). Ce sont des espèces radicalaires ou non radicalaires mais pouvant le devenir. Les ROS seraient la cause ou des facteurs aggravants de maladies chez les organismes les produisant. Pour empêcher les dommages cellulaires ou les limiter, les plantes ont développé des mécanismes permettant d'éliminer ou de réduire les ROS telles que le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), le radical superoxyde (O₂⁻), le radical hydroxyle (OH⁻). Ces systèmes de défense font intervenir les espèces enzymatiques telles que la catalase (CAT), la peroxydase (Pox) et l'ascorbate peroxydase (AsP) (Étienne *et al.* 2004).

I.4.1. La catalase (CAT)

La catalase ou CAT est une enzyme tétramérique contenant un groupe hème (une protoporphyrine IX associée à un atome de fer ferrique, Fe³⁺) qui catalyse la décomposition du H₂O₂ en H₂O et O₂. La catalase est présente dans la plupart des organismes eucaryotes (au niveau des peroxysomes) ou procaryote. Son activité est réduite par certaines conditions notamment lors de stress thermiques ou osmotiques (Hertwig *et al.* 1992). A faible concentration, elle réduit l'H₂O₂ en oxydant des substrats donneurs d'hydrogène tels que les phénols et alcools (Nordberg *et al.* 2001) :

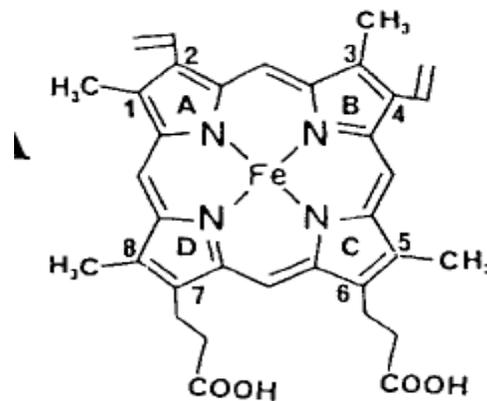


Figure 10. Ferriprotoporphyrine IX des peroxydases végétales.

I.4.2. L'ascorbate peroxydase (AsP)

Les ascorbates peroxydases (AsP) sont les principales enzymes de détoxification de l'H₂O₂ des végétaux supérieurs. Elles ont une très grande spécificité et une grande affinité pour l'ascorbate qui leur sert de réducteur dans la destruction de l'H₂O₂ (Smirnoff 2000) ; on les trouve dans le cytosol, les chloroplastes, les mitochondries, les peroxysomes et les glyoxysomes (Asada 1999). L'expression des gènes AsP semble directement contrôlée par l'H₂O₂ (Morita *et al.* 1999).

I.4.3. Les peroxydases (Pox)

Les peroxydases sont des protéines à hème capable de catalyser l'oxydation d'une grande variété de substrats en réagissant avec le peroxyde d'hydrogène. Ils interviennent dans le métabolisme hormonal, dans la réponse aux stress abiotiques et dans les interactions plante-micro-organismes et ravageurs (Étienne *et al.* 2004).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. Matériel

II.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de trois cultivars de taro (*Colocasiae esculenta* (L.) Schott. Le cultivar "Ekwanfré" (Fig.11A), le Banlah encore appelé Ekhkouehlah (Fig. 11B) et enfin le cultivar Macoumba (Fig. 11C). Les boutures sont prélevées à partir des rhizomes.



A

B

C

Figure 11. Trois cultivars de taro récoltés à Yaoundé et cultivées sous ombrière suivant le protocole de Nouha *et al.* (2008), Mbouobda *et al.* (2009) A, Cultivar Ekwanfré ; B, cultivar Banlah ou Ekhkouehlah ; C, cultivar Macoumba (Photo SOB). Trait : 1 cm.

II.1.2. Matériel fongique

Le matériel fongique est constitué de trois souches de champignon à savoir :

- ❖ une souche de champignon pathogène (*Phytophthora colocasiae*) utilisée pour induire la maladie chez les plantules ;
- ❖ deux souches de champignon symbiotique (*Acaulospora tuberculata* et *Gigaspora margarita*), deux espèces d'endomycorhize vésiculo-arbusculaire avec lesquelles les plantules de taro ont été cultivées.

II.2. Méthodes

II.2.1. Culture des plantules

Le matériel végétal récolté (arracher à la main ou utiliser un plantoir) a été minutieusement nettoyé (enlever les vieilles racines, tailler les pétioles entre 12 et 17 cm au-

dessus du collet et lavé à l'eau du robinet). Les boutures nettoyées ont ensuite été placées selon les cultivars dans des bassinetts contenant de l'eau du robinet et un antifongique : le métalaxyl (Mbouobda *et al.* 2009). L'eau devrait à peine submerger le collet (Fig. 12A). C'est le début de l'incubation qui s'effectue à la lumière. Le nettoyage des semençaux a lieu tous les 48 heures jusqu'à ce que les jeunes racines et feuilles se développent suffisamment. Après cette étape, l'expérimentation est menée en conditions climatiques naturelles avec une température journalière variant entre 20 et 25 °C. La culture est réalisée en sachets horticoles de 1 litre de volume sur un substrat composé de 1/3 de sable, 2/3 de terre végétale stérile auxquels 30 g de mélange de champignons mycorhiziens ont été introduits (l'ensemble est homogénéisé à la main ou à l'aide d'un objet quelconque). Le bouturage a été effectué à raison d'une bouture par sachet contenant les mycorhizes (*Acaulospora tuberculata* et *Gigaspora margarita*) (Fig. 12B et C) (Mohamed *et al.* 2014).

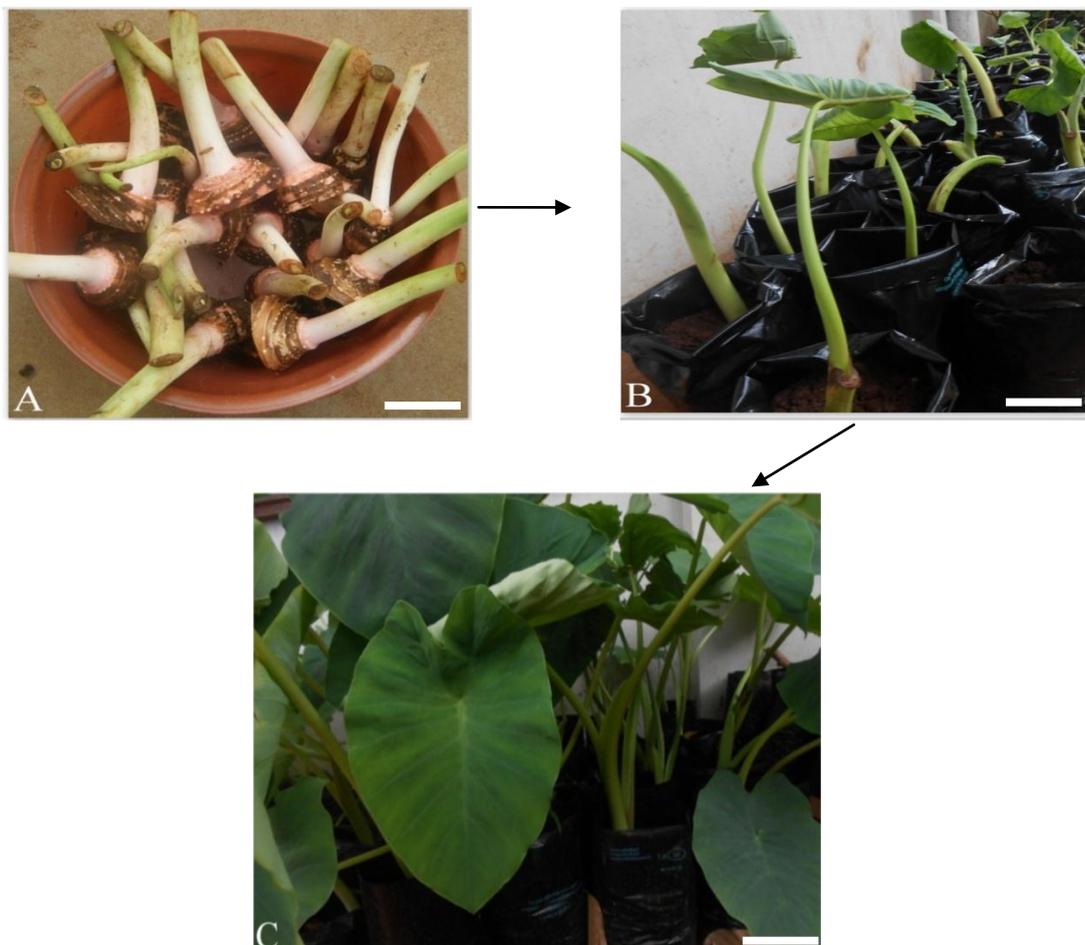


Figure 12. Protocole de préparation des boutures de taro en laboratoire selon Nouha *et al.* (2008), Mbouobda *et al.* (2009) A, Cultivar placé dans un bassinet contenant de l'eau du robinet et laissé à la lumière ; B, Cultivars pré-poussés mis dans des sachets horticoles

contenant un substrat constitué de terre noire et du sable tous stériles dans un rapport (2 : 1) et les mycorhizes ; C, Plantules obtenues 90 jours plus tard (Photo SOB). Trait : 1 cm.

II.2.2. Arrosage

L'irrigation est apportée à l'aide d'une eau ordinaire (eau du robinet ou de la pluie). Les arrosages sont effectués à raison d'une fois par jour (petit matin avant le levé du soleil) avec environ 10 litres d'eau pour une superficie de 1 m².

II.2.3. Prise de paramètres

A partir du 30^{ème} jour de culture, les observations ont porté sur le nombre de feuilles, la longueur du pétiole et sur la surface foliaire moyenne des plantules par cultivar et par traitement. Ces observations ont été effectuées tous les 30 jours jusqu'au 90^{ème}. Après ces 90 jours, les plantules ont été infectées et l'incidence du mildiou évaluée pendant 12 jours. Les observations ont à nouveau porté sur le nombre de plantules, le nombre de pétioles et sur le nombre de feuilles malades par cultivar et par traitement.

II.3. Analyses histologiques

II.3.1. Récolte racinaire

La récolte des racines a été effectuée avant l'induction de la maladie. Elle a été effectuée à partir du 30^{ème} jour de la plantation et s'est poursuivie tous les 30 jours jusqu'au 90^{ème}. En effet, à chaque récolte, trois plantules sont sélectionnées et sacrifiées à raison d'une plantule par cultivar et ceci pour chaque lot. Chacune d'elles est débarrassée de son substrat, le rhizome et les racines bien nettoyés à l'eau du robinet jusqu'à l'élimination de la dernière trace de substrat terre. Les racines ont été ensuite prélevées du rhizome et les poils absorbants délicatement séparés pour les observations microscopiques.

II.3.2. Coloration des racines

L'intensité et la fréquence de mycorhization ont été évaluées uniquement chez les plantules saines et mycorhizées suivant le protocole de Hayman et Phillips (1970) modifié. Les racines ont été soigneusement lavées à l'eau du robinet, couper 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, submergées 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. La fréquence et l'intensité de

mycorhization ont été mesurées en assignant un index de mycorhization de 0 à 5 (Koske *et al.* 1980). Des fragments de racine ont été montés sur des lames et observés au microscope optique au grossissement x100. Au total, 100 fragments racinaires ont été observés par échantillon prélevé.

II.3.3. Calcul de la fréquence et de l'intensité de colonisation des racines

La fréquence de mycorhization (F.M %) reflète l'importance de la colonisation des racines par les mycorhizes et a été calculée à partir de la formule suivante :

$$F.M \% = 100 \times (N - n_0) / N$$

N : nombre de fragments observés;

n_0 : nombre de fragments non mycorhizés.

L'intensité de mycorhization (I.M) a été déterminée de la manière suivante :

$$I.M \% = (95 n_5 + 70 n_4 + 30 n_3 + 5 n_2 + n_1) / N$$

Elle exprime la proportion du cortex racinaire colonisée par le mycorhize par rapport à la racine entière. Les nombres n_5 , n_4 , n_3 , n_2 , et n_1 dénotent le nombre de fragments portant l'index de mycorhization 5, 4, 3, 2 et 1 respectivement.

n : Nombre de fragments assignés à l'index 0, 1, 2, 3, 4 ou 5.

n_1 : trace, n_2 : moins de 10%, n_3 : entre 11 et 50 %, n_4 : de 51 à 90% et n_5 : plus de 90 %.

N: nombre de fragments observés (Abdul. *et al.* 2014).

II.4. Culture du champignon

II.4.1. Préparation du milieu de culture

Le milieu utilisé pour la culture du champignon est le milieu V8 (200 ml de jus de V8, 3g DE CaCO₃ et 20g d'agar, qsp 800ml d'eau distillée) auquel 250 mg/l pénicilline G, 250mg/l ampicilline et 20mg/l Nystatine ont été ajoutés. Le mélange ainsi préparé a été stérilisé à l'autoclave pendant 2h. Après stérilisation, le milieu a été coulé dans des boîtes de Pétri sous la hotte à flux laminaire d'après les protocoles de Djeugap *et al.* (2009) et Tsopmbeng *et al.* (2012).

II.4.2. Isolement et purification de *P. colocasiae* Racib.

Des feuilles de taro infectées par le mildiou ont été prélevées du champ et emmenées au laboratoire de Phytopathologie. Elles ont été découpées en fragments d'environ 2 cm au niveau du front de croissance du pathogène (Fig. 13A) avant d'être désinfectées superficiellement dans de l'alcool 95° pendant 2 min. Après trois rinçages à l'eau distillée, les

fragments ont été séchés sur du papier hydrophile puis déposés à raison de quatre fragments par boîte de Pétri sur milieu de culture V8 gélatinisé (Fig. 13B). Après trois jours d'incubation au laboratoire à une température de $23 \pm 1^\circ\text{C}$, des colonies du pathogène visibles autour des fragments ont été prélevées et repiquées dans de nouvelles boîtes de Pétri contenant le milieu de culture V8. Ce processus a été répété plusieurs fois jusqu'à l'obtention des souches pures de *P. colocasiae* (Fig. 13C) qui sont identifiées au microscope ordinaire sur la base des caractéristiques morphologiques du mycélium (non septé) et des fructifications (sporangies).

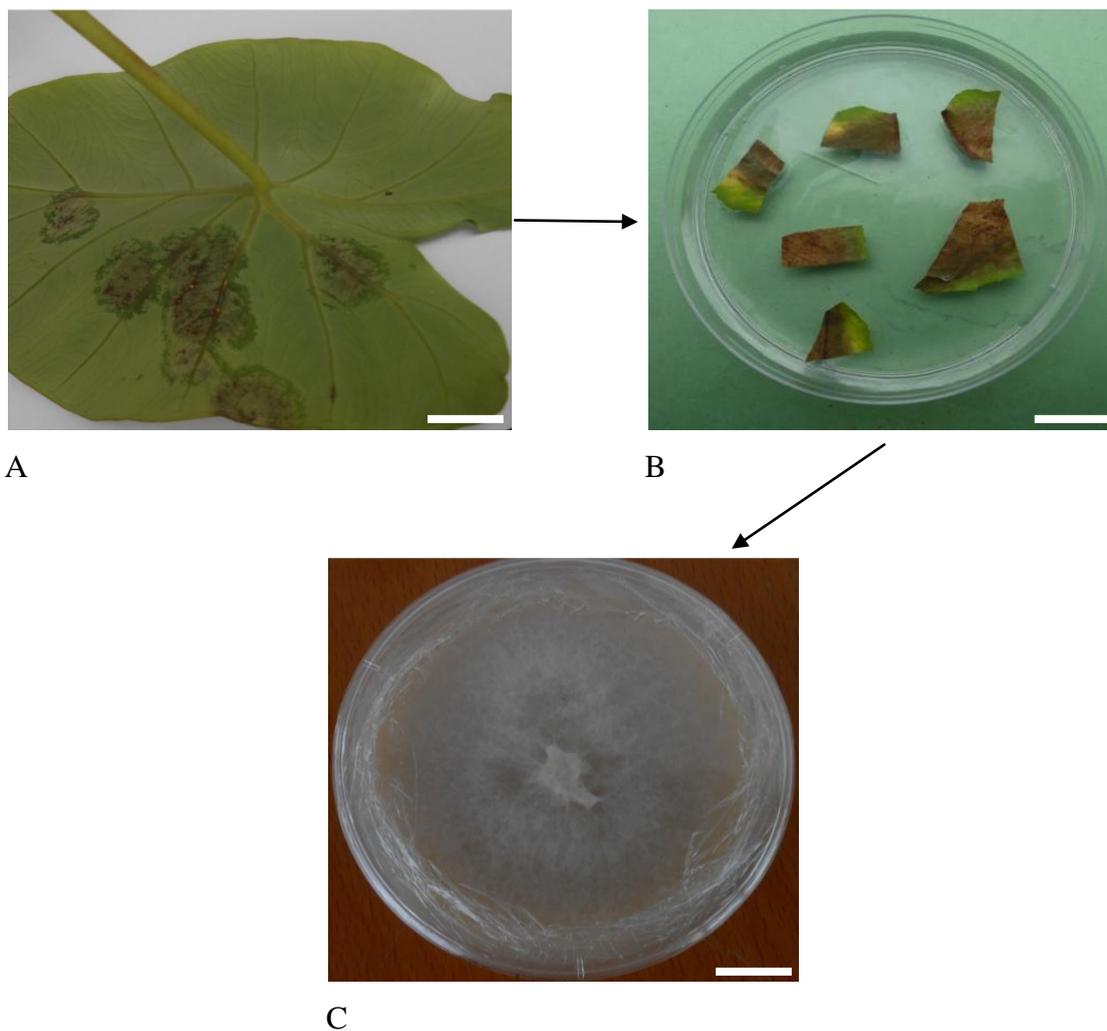


Figure 13. Protocole de purification de *P. colocasiae* selon Djeugap *et al.* (2009), Tsopmbeng *et al.* (2012) A, Feuille de taro infectée par *P. colocasiae* ; B, Fragments de feuilles infectés de deux cm environ déposés dans un milieu de culture V8 ; C, souche pure de champignon obtenue après trois purifications (Photo SOB). Trait : 1 cm.

II.4.3. Préparation de l'inoculum de *Phytophthora colocasiae* Racib.

Des cultures pures et fructifères de *P. colocasiae* âgées de 21 jours ont été délicatement brossées à l'aide d'un pinceau fin dans 20 ml d'eau distillée stérile. La suspension sporangiale obtenue a été filtrée à la mousseline pour éliminer les fragments mycéliens. Une goutte de Tween 20 y a été ajoutée pour homogénéiser la suspension de sporanges qui, par la suite a été quantifiée à 5×10^4 sporanges/ml à l'aide d'un hemacytomètre puis conservée à 4°C pendant 30 minutes dans un réfrigérateur pour stimuler la libération des zoospores (Zhu *et al.* 2001).

II.4.4. Induction de la maladie en laboratoire

Les plantules de taro âgées de 04 mois ont été séparées, chaque cultivar en deux (02) lots :

- un lot de plantules mycorhizées saines ;
- un lot de plantules mycorhizées et infectées ;
- un lot de plantules non-mycorhizées saines ;
- un lot de plantules non-mycorhizées infectées.

1 ml de suspension de spores (5×10^4 spores) a été utilisé pour induire la maladie chez les plantules.

II.4.5. Evaluation de la fréquence de l'infection

L'étude de la pourriture humide des feuilles de taro ou le mildiou du taro se fait suivant un diagnostic visuel basé sur l'observation des symptômes caractéristiques qui apparaissent d'abord sur les feuilles ensuite sur les pétioles et les tubercules. La détermination du degré de l'infection se fait en attribuant une note en pourcentage estimée suivant la présence des symptômes sur la surface foliaire. La note d'infection attribuée à chaque plante représente la moyenne déterminée à partir des estimations faites sur les feuilles individuelles observées. Selon le système de Stankévich (Stankévich 1969) :

- la note de 0 % correspond à l'absence totale de symptômes ;
- La note de 1-10 % correspond à une légère présence des symptômes occupant en moyenne moins d'un quart de la superficie de la feuille ;
- Une note de 11-30 % est attribuée à une occupation de moins de la moitié de la surface foliaire par les symptômes ;

- La note de 31-50 % correspond à une infection couvrant les trois quarts de la superficie foliaire ;
- une note de 51-70 % est attribuée à une infection couvrant plus de trois quarts de la surface des feuilles ;
- Une note de 71-100 % correspond à une infection dont les symptômes couvrent entièrement la superficie foliaire ;
- Une note de 100 % concerne les feuilles complètement déformées ou mortes.

Le niveau de l'infection a été calculé selon la formule d'Ouzounov (Ouzounov 1988).

$$I = \frac{\sum AB}{N}$$

Avec:

-I [%: intensité (sévérité) de l'infection];

-A: nombre de plants malades;

-B: degré d'infection correspondant à A donné en pourcentage et,

-N: nombre total des plantes malades sur la parcelle (Ouzounov 1988,).

II.5. Analyses biochimiques

II.5.1. Extraction et dosage de la chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle est effectuée dans l'acétone à 80% et à température ambiante (22 °C - 25 °C). 1 g de feuilles sont broyées dans un mortier en porcelaine avec 2 ml d'acétone et une pincée de sable fin stérile. Le broyat est introduit dans les tubes à essais puis centrifugé à 5000 g pendant 10 min. Après centrifugation, le surnageant constitue la fraction des chlorophylles. Le dosage des chlorophylles a été effectué à 663 nm et à 645 nm. Les teneurs en chlorophylle a et chlorophylle b sont calculées à partir des formules suivantes (Arnon 1949).

$$\text{Chlorophylle a (mg/ml)} = (0,127 \times D.O_{663}) - (0,00269 \times D.O_{645})$$

$$\text{Chlorophylle b (mg/ml)} = (0,0229 \times D.O_{645}) - (0,00468 \times D.O_{663})$$

Ces teneurs sont exprimées en mg/g de matière fraîche végétale.

II.5.2. Extraction et dosage des protéines totales solubles

II.5.2.1. Extraction

L'extraction et le dosage des protéines totales ont été réalisés selon la méthode décrite par Bradford (1976) 1 g de matériel végétal (rhizome et feuilles) est broyé à froid (4°C) dans du tampon TAMET (tris 0,5 M, acide ascorbique 0,3 M, β-mercaptoéthanol 2%, EDTA 0,01

M, Triton X 100 (2%) pH 7) additionné du polyvinyl pyrrolidone (PVP) et du sable fin stérile. Le broyat est incubé pendant 30 min à 4°C, puis centrifugé à 5000 g pendant 15 min à 4°C. Le surnageant récupéré constitue l'extrait protéique totale soluble. Ce surnageant est stocké dans les tubes Eppendorf et conservé à -20° C pour les analyses ultérieures (Mbouobda *et al.* 2013).

II.5.2.2. Dosage

Dans chaque tube à essai, introduire 10 µl d'extrait et 2 ml de réactif de Bradford. Homogénéiser et incubé à température ambiante pendant 5min. l'absorbance du complexe bleu formé est lue à 595 nm contre un blanc dans lequel l'extrait est remplacé par le tampon d'extraction. Pour chaque échantillon, deux lectures sont faites et la gamme d'étalonnage est réalisée grâce à une solution de BSA (Bovine Serum Albumine) à 1 mg/ml et se présente de la manière suivante :

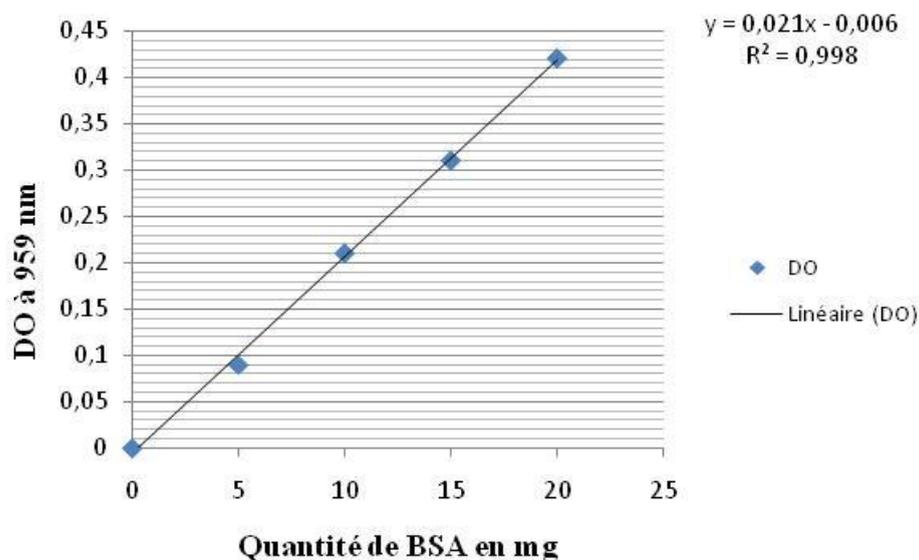


Figure 14. Courbe d'étalonnage des protéines totales à partir du BSA.

La teneur en protéine totale est déterminée à partir de la formule suivante :

$$T_p = \frac{DO_i \times V_s \times 10^3}{PE \times a \times m.MF} \quad (\mu\text{g/g de MF})$$

- | | |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| DO _i : densité optique au rang i ; | T _p : teneur en protéine (µg/g de MF); |
| V _s : volume du surnageant (ml); | a : pente de la courbe d'étalonnage; |
| PE : volume d'extrait (µl); | m.MF : masse de matière fraîche (g). |

II.5.2.3. Dosage de l'ascorbate peroxydase (AsP)

Le milieu réactionnel est constitué de :

- 1 volume de H₂O₂ à 0,2% (0,25 µM) (V/V) ;
- 2 volumes d'acide ascorbique à 1% (0,25 mM) (V/V) ;
- 5 volumes de tampon phosphate, 1/15 M, pH 6,8.

Dans chaque tube à essai, introduire 5 ml du milieu réactionnel, 10 µl d'extrait. Lire l'absorbance à 290 nm contre un blanc dans lequel l'extrait est remplacé par le tampon d'extraction. Pour chaque extrait, trois lectures sont faites et la teneur en peroxydase est exprimée en mM.g⁻¹ de PF, $\varepsilon = 2,8 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Mbouobda *et al.* 2013).

II.5.2.4. Dosage des peroxydases (Pox)

Le milieu réactionnel est constitué de :

- 1 volume de H₂O₂ à 0,2 % (V/V) ;
- 2 volumes de Gaïacol à 1 % (V/V) ;
- 5 volumes de tampon phosphate, 1/15 M, pH 6,8.

Dans chaque tube à essai, introduire 5 ml du milieu réactionnel, 10 µl d'extrait. Lire l'absorbance à 420 nm contre un blanc dans lequel l'extrait est remplacé par le tampon d'extraction. Pour chaque extrait, trois lectures sont faites et la teneur en Gaïacol peroxydase est exprimée en M.mn⁻¹.g⁻¹ de PF (coefficient d'extinction molaire des peroxydases $\varepsilon = 26,6 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) (Mbouobda *et al.* 2013).

II.6. Analyses statistiques

Le logiciel Excel version 2007 a été utilisé pour le traitement des données et la réalisation des graphiques.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. Résultats

III.1.1. Paramètres de croissance chez les plantules de taro mycorhizées après 90 jours de mycorhization

III.1.1.1. Evaluation du nombre moyen de feuilles par plantule de taro au cours du temps

De manière générale, le nombre moyen de feuilles par plantule ne varie pas entre les deux traitements (Fig. 15 A et B). Il varie faiblement au cours du temps au sein d'un même traitement.

Chez les plantules non-mycorhizées, le nombre moyen de feuilles plus élevé est croissant chez Macoumba et Banlah entre le J₃₀ et le J₉₀ avec un maximum de $2,35 \pm 0,4$ et de $2,57 \pm 0,5$ feuilles respectivement. Tandis que chez Ekwanfré, ce nombre est décroissant avec un minimum de $1,76 \pm 0,4$ feuilles par plantule (Fig.15B).

Chez les plantules mycorhizées, le nombre moyen de feuilles très faible est croissant chez Ekwanfré avec un maximum de $1,48 \pm 0,6$ feuilles au J₉₀. Tandis que le maximum de feuille est obtenu au J₃₀ chez Macoumba et au J₉₀ chez Banlah soit de $2,40 \pm 0,6$ et $2,45 \pm 0,5$ feuilles respectivement (Fig.15A).

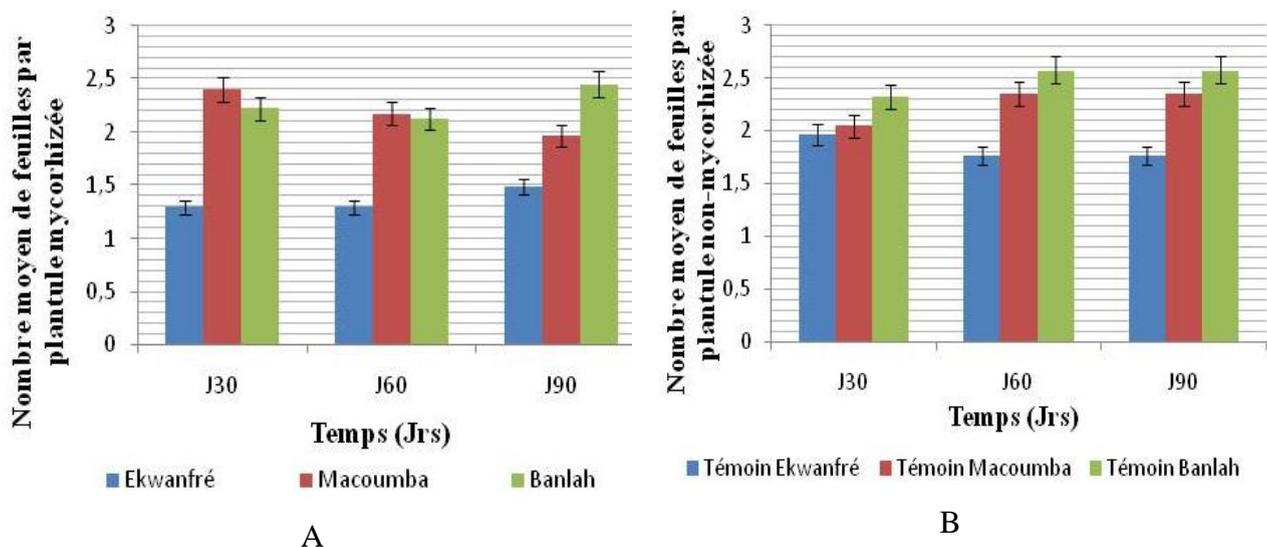


Figure 15. Variation du nombre moyen de feuilles par plantule et par cultivar chez *Colocasia esculenta* au cours du temps A, plantules mycorhizées ; B, plantules non-mycorhizées.

III.1.1.2. Evaluation de la taille moyenne des plantules de taro au cours du temps

De manière générale, la taille moyenne des plantules par cultivar est plus élevée chez les plantules mycorhizées (Fig.16 A et B). Dans l'ensemble, elle est croissante entre le J₃₀ et le J₉₀.

Chez les plantules non-mycorhizées, la taille moyenne des plantules plus faible est croissante chez Macoumba et Banlah entre les J₃₀ et J₆₀ avec un maximum de 17,38±0,3 cm et de 24,5±0,3 cm au J₆₀ respectivement et stable entre les J₆₀ et J₉₀. Tandis que chez Ekwanfré, elle est plus élevée et également croissante entre les J₃₀ et J₆₀ avec un maximum de 36,73±0,3 cm au J₉₀ et également stable entre les J₆₀ et J₉₀ (Fig. 16B).

Chez les plantules mycorhizées, la taille moyenne plus élevée est croissante chez Ekwanfré, Macoumba et Banlah au cours du temps avec un maximum de 31,5±0,4 cm au J₃₀, de 31,93±0,2 cm au J₉₀ et de 26,53±0,4 cm au J₉₀ respectivement (Fig. 16A).

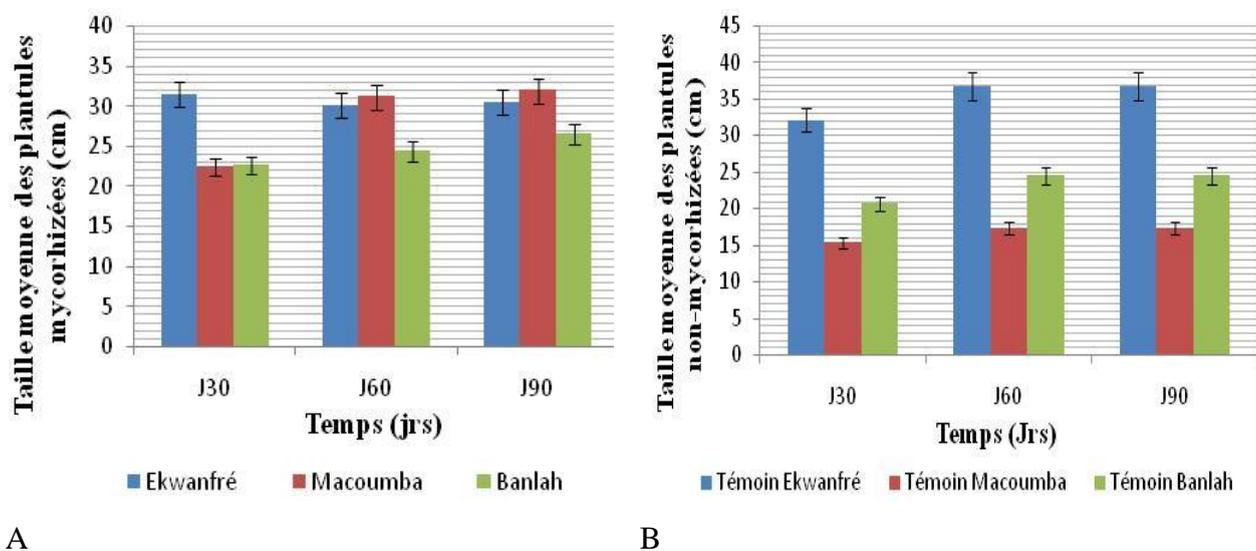


Figure 16. Variation de la taille moyenne des plantules par cultivar chez *Colocasia esculenta* au cours du temps A, plantules mycorhizées ; B, plantules non-mycorhizées.

III.1.1.3. Evaluation de la surface foliaire moyenne chez les plantules de taro au cours du temps

Dans l'ensemble, la surface foliaire moyenne est plus élevée chez les plantules non-mycorhizées par rapport à celles mycorhizées. Elle évolue progressivement entre le J₃₀ et le J₉₀ chez certains cultivars au sein des deux (02) traitements (Fig.17A et B).

Chez les plantules non-mycorhizées, la surface foliaire moyenne est croissante chez Ekwanfré et Banlah au cours du temps avec un maximum de 228,55±8 cm² et de 100,03±4 cm² au J₉₀ respectivement. Tandis que chez Macoumba, elle est faible et évolue au cours du temps vers un maximum de 57,00±3 cm² au J₉₀ (Fig. 17B).

Chez les plantules mycorhizées, la surface foliaire moyenne plus faible est croissante chez Banlah avec un maximum de 81,14±2 cm² au J₉₀. Chez Macoumba, elle est croissante au

cours du temps avec un maximum de $129 \pm 3 \text{ cm}^2$ au J₉₀ tandis que chez Ekwanfré, elle décroît vers un minimum de $127 \pm 4 \text{ cm}^2$ au J₉₀ (Fig. 17A).

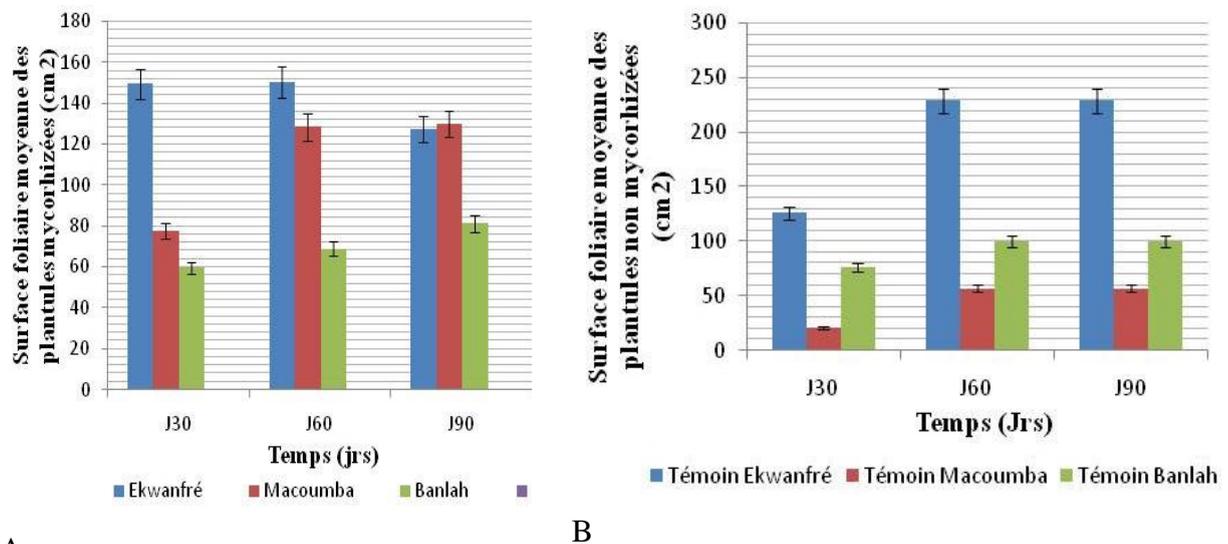


Figure 17. Variation de la surface foliaire moyenne en fonction du temps chez trois cultivars de *Colocasia esculenta* A, plantules mycorhizées ; B, plantules non mycorhizées.

III.1.1.4. Aspect des plantules après 90 jours de mycorhization

Un diagnostic visuel permet d'apprécier la turgescence et la coloration des feuilles de *Colocasia esculenta* après 90 jours de mycorhization (Fig.18).

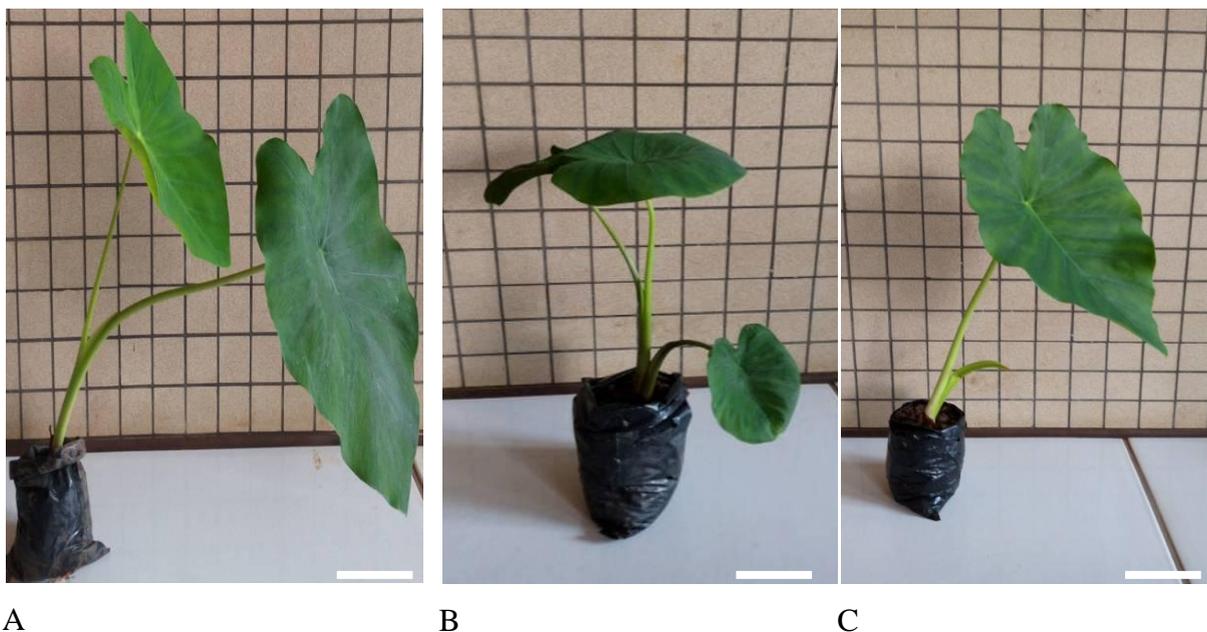


Figure 18. Aspect des plantules de *Colocasia esculenta* après 90 jours de mycorhization A, Cv Banlah ; B, Cv Macoumba ; C, Cv Ekwanfré (Photo SOB). Trait : 1 cm.

III.1.2. Evaluation de l'établissement de la mycorhization au niveau des racines des plantules de taro mycorhizées après 90 jours

III.1.2.1. Analyses histologiques des racines mycorhizées

Les analyses histologiques montrent que chez les plantules non-mycorhizées, on observe une absence totale des structures mycorhiziennes (Fig.19A). Cependant, on distingue le cortex (c) et les cellules végétales (ce). Chez les plantules mycorhizées, on observe dans les racines des structures mycorhiziennes telles que les hyphes (Fig. 19B), les vésicules (Fig. 19C) et les arbuscules (Fig. 19D).

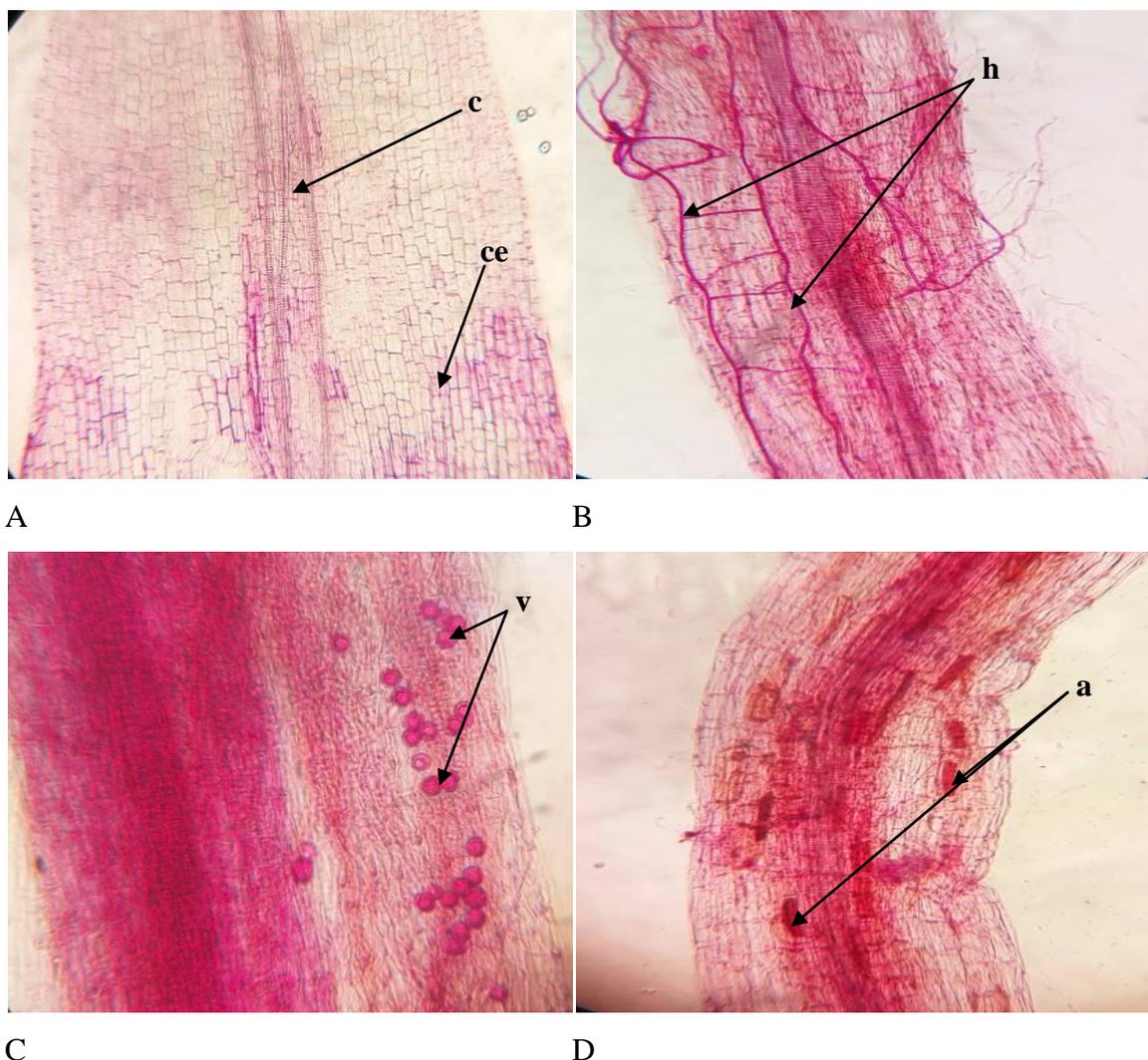


Figure 19. Aspect des racines mycorhizées de *Colocasia esculenta* au bout de 120 jours de mycorhization vu au microscope polarisant (x100) A, Racine ne renfermant pas d'hyphes ; B, Racine renfermant des hyphes ; C, Racine renfermant des vésicules ; D, Racine renfermant des arbuscules (Photo SOB).

h : hyphes mycéliens

v : vésicules

a : arbuscules

III.1.2.2. Détermination de la fréquence (F%) et de l'intensité (I%) de mycorhization

De manière générale, la fréquence de mycorhization varie au cours du temps chez tous les cultivars (Fig. 20) et est proportionnelle à l'intensité de mycorhization (Fig. 21).

Chez Ekwanfré, elle est croissante entre le J₃₀ et le J₆₀ avec un maximum de 63% et de 13,86% au J₆₀ respectivement pour F et I. elles chutent de 13% et de 0,54% au J₉₀ respectivement.

Chez Macoumba, elle est décroissante entre le J₃₀ et le J₆₀ avec un maximum de 64% et de 14% au J₃₀ respectivement pour Fet I. elles évoluent à nouveau à 59% et à 13,11% au J₉₀ respectivement.

Chez Banlah, elle est également croissante entre le J₃₀ et le J₆₀ avec un maximum de 52% et de 6,65% au J₆₀ respectivement pour F et I. elles chutent de 14% et de 1,09% au J₉₀ respectivement.

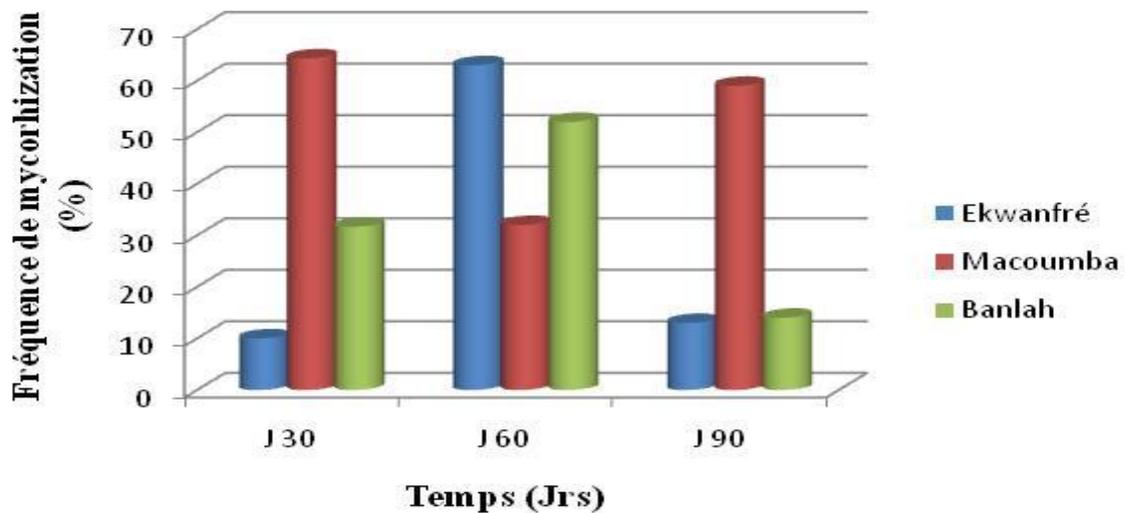


Figure 20. Variation de la fréquence de mycorhization (F%) chez les plantules mycorhizées de *Colocasia esculenta* au cours du temps.

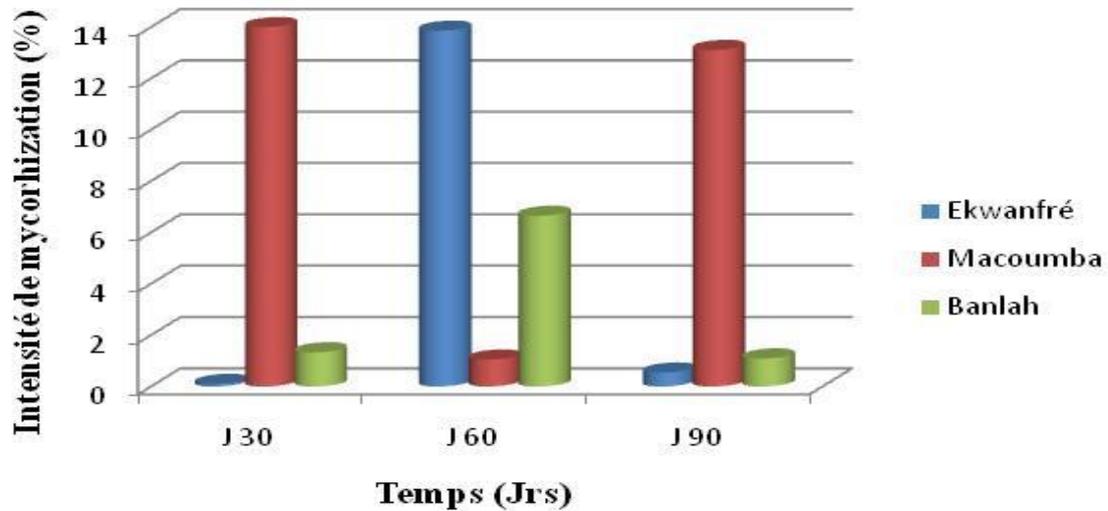


Figure 21. Variation de l'intensité de mycorhization (IM%) chez les plantules mycorhizées de *Colocasia esculenta* au cours du temps.

III.1.3. Effet des mycorhizes sur le développement du mildiou causé par *Phytophthora colocasiae* Racib.

III.1.3.1. Proportion moyenne de plantules malades suivant les cultivars

De manière générale, la proportion moyenne de plantules malades très faible est décroissante entre le J₃ et le J₁₂ chez les plantules mycorhizées alors qu'elle est forte et croissante chez celles non-mycorhizées (Fig. 22A et B).

Chez les plantules non-mycorhizées, elle est très élevée est croissante chez tous les cultivars avec un maximum de 100% au J₁₂ (Fig. 22B).

Chez les plantules mycorhizées, la proportion moyenne de plantules malades très faible est décroissante chez Macoumba avec un minimum de 9,09% au J₉ et de 0% au J₁₂. Tandis que chez Ekwanfré et Banlah, elle est variable au cours du temps et s'annule tout de même au J₁₂ (Fig. 22A).

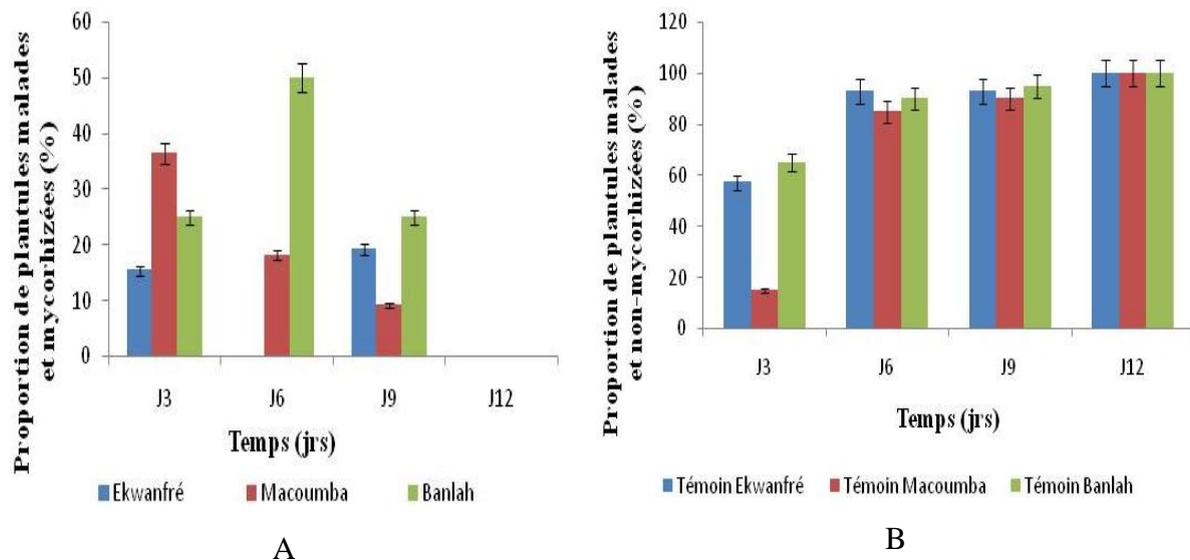


Figure 22. Variation du pourcentage moyen de plantules malades de *Colocasia esculenta* au cours du temps A, plantules mycorhizées ; B, plantules non-mycorhizées.

III.1.3.2. Proportion moyenne de limbes malades par plante suivant les cultivars

De manière générale, la proportion moyenne de limbes malades est plus élevée chez les plantules non-mycorhizées par rapport celles mycorhizées. Elle évolue progressivement entre le J₃ et le J₁₂ chez les plantules non-mycorhizées et diminue chez celles mycorhizées (Fig. 23A et B).

Chez les plantules non-mycorhizées, la proportion moyenne de limbes malades est élevée chez le cultivar Ekwanfré soit de 55%, 85%, 85% et de 113,33% aux J₃, J₆, J₉ et J₁₂ respectivement. Chez Macoumba et Banlah, elle est croissante au cours du temps avec un maximum de 59,48% et de 83,8% au J₁₂ respectivement (Fig. 23B).

Chez les plantules mycorhizées, elle est plus faible et décroissant au cours du temps chez Macoumba avec un minimum de 9,09% au J₉ et de 0% au J₁₂ ; variable chez Ekwanfré et Banlah mais, s'annule tout de même au J₁₂ (Fig. 23A).

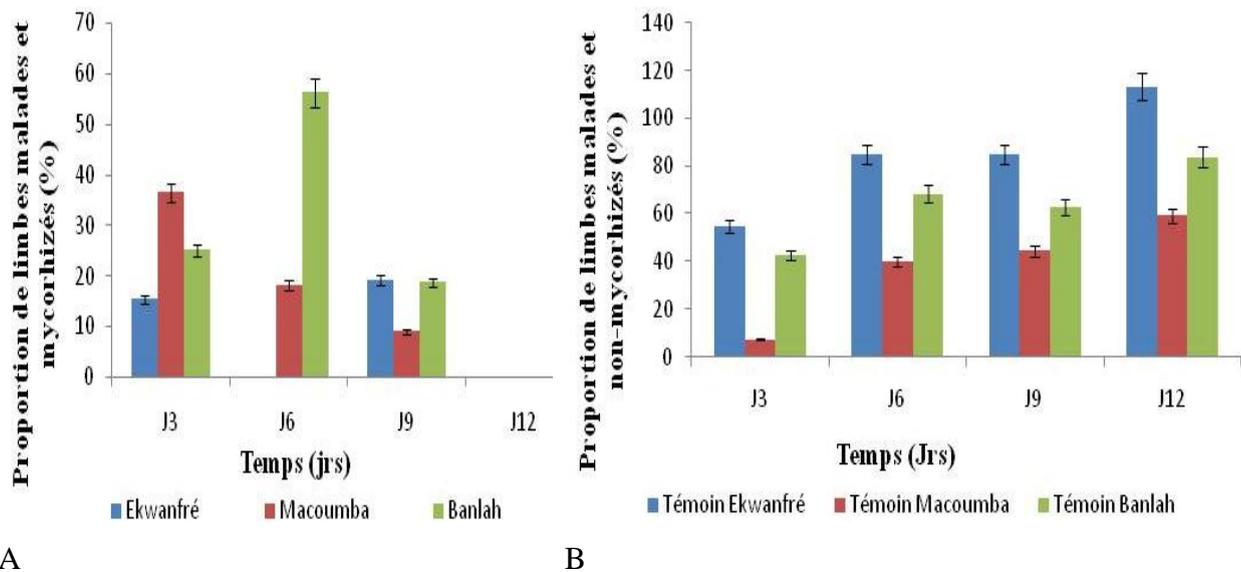


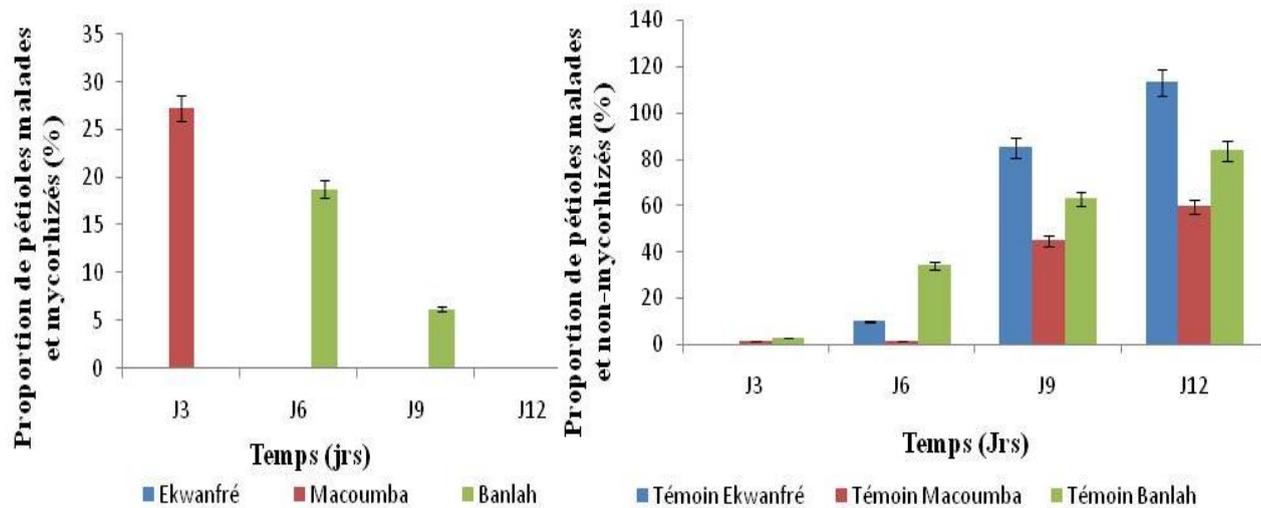
Figure 23. Variation du pourcentage moyen de limbes malades par cultivar chez *Colocasia esculenta* au cours du temps A, cultivars mycorhizés ; B, cultivars non-mycorhizés.

III.1.3.3. Proportion moyenne de pétioles malades suivant les cultivars

De manière générale, la proportion moyenne de pétioles malades est très élevée et croissante chez les plantules non-mycorhizées par rapport à celles mycorhizées (Fig. 24A et B).

Chez les plantules non-mycorhizées, la proportion moyenne de pétioles malades est élevée chez le cultivar Ekwanfré entre le J₉ et le J₁₂ soit de 85% et de 113,33% respectivement. Chez Macoumba et Banlah, elle est croissante avec un maximum de 59,48% et de 83,8% au J₁₂ respectivement (Fig.24B).

Chez les plantules mycorhizées, elle est nulle chez Ekwanfré entre le J₃ et le J₁₂. Tandis que chez Macoumba et Banlah, elle est décroissante et s'annule au J₁₂ (Fig. 24A).



A

B

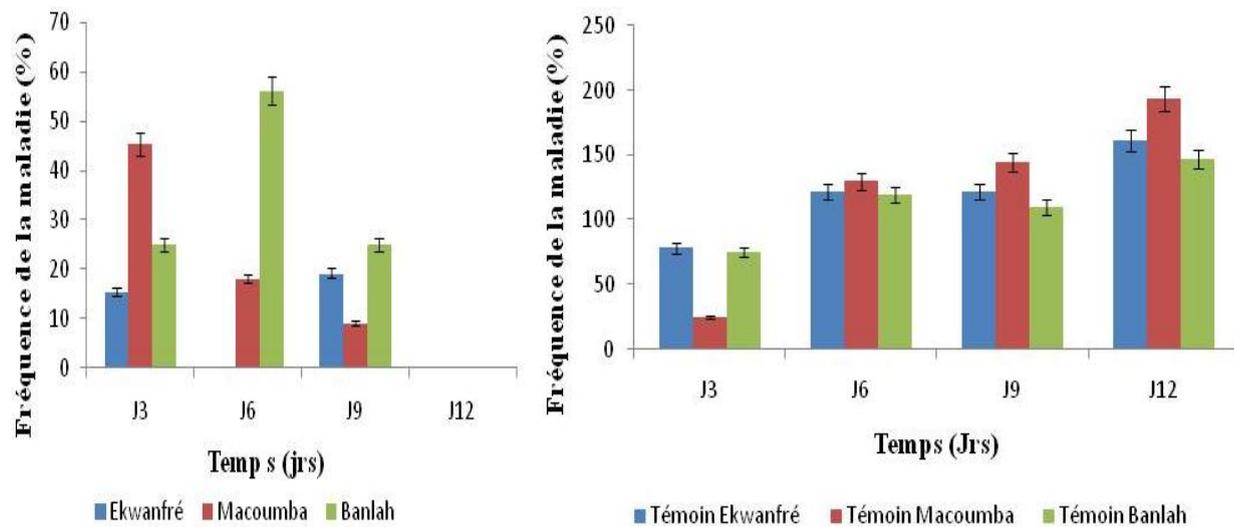
Figure 24. Variation du pourcentage moyen de pétioles malades chez *Colocasia esculenta* au cours du temps A, cultivars mycorhizés ; B, cultivars non-mycorhizés.

III.1.3.4. Fréquence de la maladie

De manière générale, la fréquence de l'infection est plus élevée et évolue au cours du temps chez les plantules non-mycorhizées par rapport à celles mycorhizées (Fig. 25A et B).

Chez les plantules non-mycorhizées, la fréquence de l'infection est plus élevée chez le cultivar Macoumba entre le J₆ et le J₁₂ soit de 130%, 145% et de 193,33% respectivement (Fig. 23B). Tandis que chez Ekwanfré et Banlah, elle est croissante au cours du temps avec un maximum de 161,49% et de 146,66% au J₁₂ respectivement (Fig. 25B).

Chez les plantules mycorhizées, elle est très faible et décroissante chez Macoumba avec un minimum de 9,09% au J₉ et de 0% au J₁₂. Chez Ekwanfré et Banlah, elle est variable au cours du temps mais, s'annule tout de même au J₁₂ (Fig. 25A).



A

B

Figure 25. Variation de la fréquence de l'infection chez *Colocasia esculenta* au cours du temps A, plantules mycorhizées ; B, plantules non-mycorhizées.

III.1.3.5. Aspect des plantules de taro mycorhizées et malades

Un diagnostic visuel permet d'apprécier la turgescence et la coloration des plantules de *Colocasia esculenta* mycorhizées et infectées trois jours plus tard (Fig. 26) par rapport à celles non-mycorhizées (Fig. 27).



A

B

C

Figure 26. Aspect des plantules mycorhizées de *Colocasia esculenta* et infectées par le mildiou du taro A, Cv Banlah ; B, Cv Macoumba ; C, Cv Ekwanfré (Photo SOB). Trait : 1 cm.



A B C
Figure 27. Aspect des plantules non-mycorhizées de *Colocasia esculenta* et infectées par le mildiou du taro A, Cv Banlah ; B, Cv Macoumba ; C, Cv Ekwanfré (Photo SOB). Trait : 1 cm.

III.1.4. Analyses biochimiques

III.1.4.1. Dosage des chlorophylles a et b

De manière générale, le niveau de chlorophylle est plus élevé chez les plantules mycorhizées par rapport à celles non-mycorhizées (Fig. 28A et B). Il est décroissant entre le J₃ et le J₆ chez les plantules mycorhizées et celles non-mycorhizées.

Chez les plantules non-mycorhizées, la teneur en chlorophylle a des feuilles faible, est élevée chez Ekwanfré, Macoumba et Banlah au J₃₀ soit de $0,10 \pm 0,004$ mg/g de PF, de $0,04 \pm 0,001$ mg/g de PF et de $0,12 \pm 0,003$ mg/g de PF respectivement. Elle est faible au J₆₀ et au J₉₀ chez tous les cultivars (Fig. 28B).

Chez les plantules mycorhizées, la teneur en chlorophylle a des feuilles est décroissante chez le cultivar Macoumba au cours du temps avec un maximum au J₃₀ de $0,10 \pm 0,001$ mg/g de PF et un minimum au J₉₀ soit de $0,003 \pm 0,001$ mg/g de PF. Tandis que chez Ekwanfré et Banlah, elle est décroissante entre le J₃₀ et le J₆₀ et croissante entre le J₆₀ et le J₉₀ avec un maximum au J₃₀ soit de $0,16 \pm 0,004$ mg/g de PF et de $0,16 \pm 0,003$ mg/g de PF respectivement (Fig. 28A).

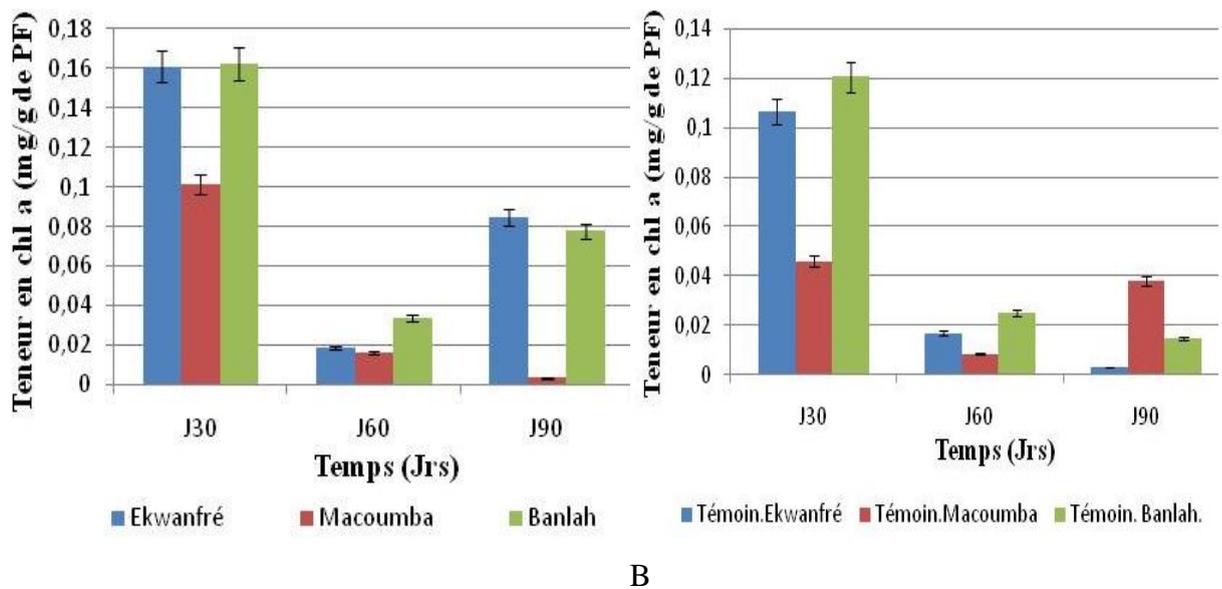
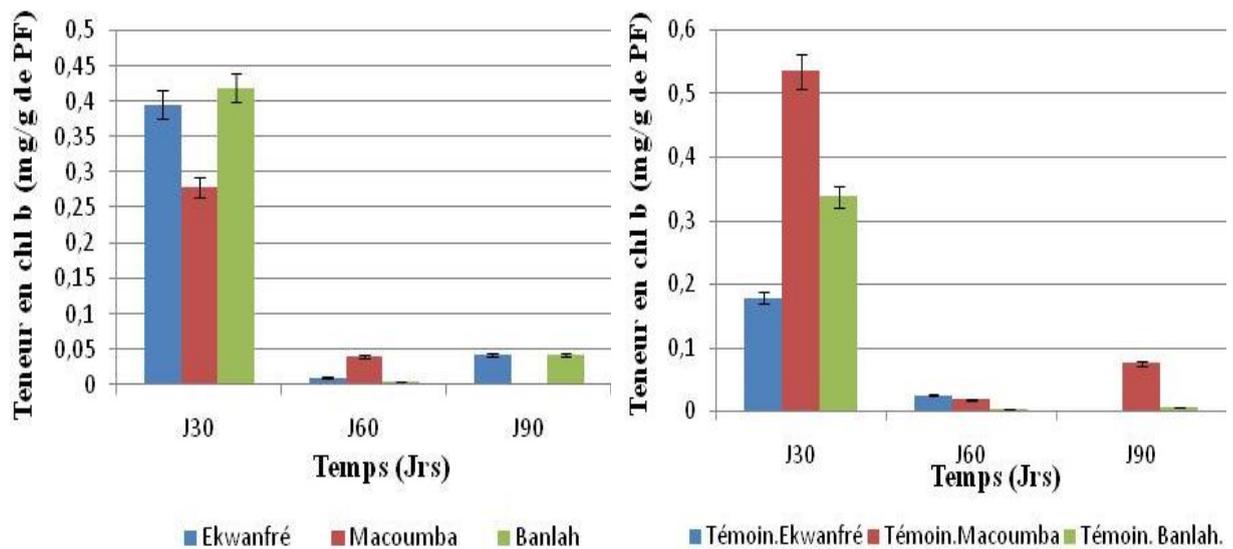


Figure 28. Variation de la teneur en chlorophylle a des feuilles de *Colocasia esculenta* A, chez les plantules mycorhizées ; B, chez les plantules non-mycorhizées.

De manière générale, la teneur en chlorophylle b des feuilles est plus importante chez les plantules mycorhizées par rapport à celles non-mycorhizées (Fig. 29A et B). Elle est décroissante entre le J₃₀ et le J₉₀ chez les plantules mycorhizées et celles non-mycorhizées.

Chez les plantules non-mycorhizées, elle est faible et décroissante chez les cultivars Ekwanfré et Banlah avec un maximum au J₃₀ de $0,17 \pm 0,002$ mg/g de PF et de $0,33 \pm 0,001$ mg/g de PF respectivement. Tandis que chez Macoumba, elle est plus élevée au J₃₀ avec $0,53 \pm 0,001$ mg/g de PF et plus faible entre J₆₀ et J₉₀ (Fig. 29B)

Chez les plantules mycorhizées, la teneur en chlorophylle b des feuilles est plus élevée et décroissante au cours du temps chez Ekwanfré et Banlah avec un maximum au J₃₀ soit respectivement de $0,39 \pm 0,001$ mg/g de PF et de $0,41 \pm 0,001$ mg/g de PF. Tandis que chez Macoumba, elle est faible et également décroissante au cours du temps avec un maximum de $0,27 \pm 0,001$ mg/g de PF au J₃₀ (Fig. 29A)



A

B

Figure 29. Variation de la teneur en chlorophylle b dans les feuilles de *Colocasia esculenta* A, chez les plantules mycorhizées ; B, chez les plantules non-mycorhizées.

III.1.4.2. Teneur en protéines totales des feuilles de *Colocasia esculenta* (L.) Schott

De manière générale, la teneur en protéines totales solubles des feuilles de *Colocasia esculenta* (L.) Schott est plus élevée chez les plantules mycorhizées par rapport à celles non-mycorhizées. Cependant en présence de l'infection, elle est plus élevée chez les plantules non-mycorhizées que chez celles mycorhizées. Elle varie d'un cultivar et d'un traitement à l'autre (Tableau 2).

Chez les plantules non-mycorhizées, la teneur maximale est obtenue chez le cultivar Macoumba infecté soit de $3,62 \pm 0,01 \mu\text{g/g}$ de MF. Chez les cultivars Ekwanfré et Banlah infectés, ces teneurs presque identiques sont néanmoins supérieures à celles obtenues lorsque les plantules n'ont pas été mycorhizées.

Chez les plantules mycorhizées, les teneurs maximales en protéines totales solubles sont obtenues chez les cultivars Ekwanfré et Banlah soit de $4,31 \pm 0,24 \mu\text{g/g}$ de MF et de $4,29 \pm 0,46 \mu\text{g/g}$ de MF respectivement. Chez le cultivar Macoumba, cette teneur faible, reste toutefois supérieure à celle obtenue lorsque ces plantules ont été infectées.

Tableau 2. Variation de la teneur en Protéines totales (en $\mu\text{g/g}$ de matière fraîche) des feuilles de taro en fonction de l'état sanitaire de la plante, de la présence ou non des mycorhizes et selon les cultivars.

	Ekwanfré	Macoumba	Banlah
Non mycorhizées	$1,42 \pm 0,10$	$2,83 \pm 0,14$	$3,58 \pm 0,08$
mycorhizées	$4,31 \pm 0,24$	$2,99 \pm 0$	$4,29 \pm 0,46$
Non mycorhizées et Infectés	$3,16 \pm 0,26$	$3,62 \pm 0,01$	$3,35 \pm 0,04$
mycorhizées et Infectés	$1,15 \pm 0,06$	$2,55 \pm 0,04$	$2,23 \pm 0,03$

III.1.4.3. Teneur en Ascorbate peroxydase des feuilles de *Colocasia esculenta* (L.) Schott

De manière générale, l'activité ascorbate peroxydase est plus importante chez les plantules non-mycorhizées par rapport à celles mycorhizées. Elle est variable d'un cultivar et d'un traitement à l'autre (tableau 3).

Chez les plantules non-mycorhizées, l'activité ascorbate peroxydase est très élevée chez tous les trois cultivars infectés. Particulièrement, elle est plus élevée chez le cultivar Macoumba avec $5,25 \pm 0,15 \text{ M.mn}^{-1}.\text{g}^{-1}$ de MF.

Chez les plantules mycorhizées, l'activité ascorbate peroxydase est plus élevée chez le cultivar Banlah infecté soit de $3,02 \pm 0,03 \text{ M.mn}^{-1}.\text{g}^{-1}$ de MF. Chez les cultivars Ekwanfré et Macoumba infectés, elle est moins élevée mais reste cependant plus importante que celle obtenue lorsque les plantules ont été mycorhizées et non-infectées.

Tableau 3. Variation de la teneur en Ascorbate peroxydases (en $\text{M.mn}^{-1}.\text{g}^{-1}$ de matière fraîche) des feuilles de taro en fonction de l'état sanitaire de la plante, de la présence ou non des mycorhizes et selon les cultivars.

	Ekwanfré	Macoumba	Banlah
Non mycorhizées	$2,67 \pm 0,02$	$1,42 \pm 0,07$	$4,16 \pm 0,07$
mycorhizées	$2,46 \pm 0,41$	$1,03 \pm 0,31$	$1,03 \pm 0,31$
Non mycorhizées et Infectés	$3,1 \pm 0,12$	$5,25 \pm 0,15$	$4,18 \pm 0,05$
mycorhizées et Infectés	$2,77 \pm 0,08$	$1,73 \pm 0,03$	$3,02 \pm 0,03$

III.1.4.4. Teneur en peroxydase des feuilles de *Colocasia esculenta* (L.) Schott

De manière générale, l'activité peroxydase est importante chez les plantules non-mycorhizées et davantage plus importante lorsque ces dernières subissent une infection. Elle varie d'un cultivar et d'un traitement à l'autre (Tableau 4).

Chez les plantules non-mycorhizées, l'activité peroxydase est élevée chez tous les trois cultivars infectés mais particulièrement plus élevée chez le cultivar Macoumba avec $0,553 \pm 0,015 \text{ M.mn}^{-1}.\text{g}^{-1}$ de MF.

Chez les plantules mycorhizées, l'activité peroxydase est élevée chez le cultivar Banlah soit de $0,318 \pm 0,003 \text{ M.mn}^{-1}.\text{g}^{-1}$ de MF. Chez Ekwanfré et Macoumba, elle est moins élevée mais reste cependant plus importante que celle obtenue lorsque les plantules n'ont subi aucune infection.

Tableau 4. Variation de la teneur en Peroxydases (en $\text{M.mn}^{-1}.\text{g}^{-1}$ de matière fraîche) des feuilles de taro en fonction de l'état sanitaire de la plante, de la présence ou non des mycorhizes et selon les cultivars.

	Ekwanfré	Macoumba	Banlah
Non mycorhizées	$0,281 \pm 0,002$	$0,150 \pm 0,007$	$0,438 \pm 0,007$
mycorhizées	$0,259 \pm 0,044$	$0,109 \pm 0,032$	$0,130 \pm 0,023$
Non mycorhizées et Infectées	$0,326 \pm 0,012$	$0,553 \pm 0,015$	$0,440 \pm 0,005$
mycorhizées et Infectées	$0,292 \pm 0,008$	$0,182 \pm 0,003$	$0,318 \pm 0,003$

III.2. Discussions

Pour ce travail dont l'objectif était d'évaluer l'effet combiné de deux souches de mycorhize (*Gigaspora margarita* et *Acaulospora tuberculata*) sur l'évolution du mildiou du taro, les analyses morphologiques ont montré une faible quantité de résultats significatifs obtenus en présence des mycorhizes. Les tailles optimales obtenues chez Banlah et Macoumba au J_{90} pourraient s'expliquer par le fait que les mycorhizes se sont bien établis au niveau de leurs racines, leur offrant ainsi de fortes capacités d'utilisation des ressources minérales et hydriques d'une part et d'autre part par l'influence des phytohormones produites par les champignons mycorhiziens (auxine, gibérelline, cytokynine, éthylène) qui favorisent la croissance des plantules. Ce résultat pourrait aussi s'expliquer par le phénomène d'étiollement mais, l'intensité de l'éclairage ayant prévalu au cours de l'expérimentation permet d'exclure cette hypothèse. Ce résultat s'accorde avec celui de Sohn *et al.* (2003) qui

ont observé une augmentation de la croissance des parties végétatives des plants de chrysanthème associée à la mycorhization. Khalvati *et al.* (2005) ont montré que les plants d'orge mycorhizés soumis à des conditions de sécheresse ont obtenu une biomasse plus élevée de 50 % comparativement aux plants d'orge non-mycorhizés. Ces résultats permettent de lier l'effet des mycorhizes à la fertilité du substrat et à l'irrigation. Nabila H. (2014) a montré qu'en plein champ, les mycorhizes arbusculaires du genre *Glomus* ont eu des effets bénéfiques sur la croissance des plants de pastèques et le rendement. Cependant, le mycorhize n'a pas toujours produit des effets bénéfiques chez tous les cultivars. Ce résultat s'expliquerait probablement par les facteurs tels que la fertilisation, la régie d'arrosage, le cultivar de la plante, l'espèce de champignons mycorhiziens et autres facteurs environnementaux qui influencent l'effet des mycorhizes. En effet, Gaur & Adholeya (2005) rapportent que les plantes de *Tagetes erecta* et *Petunia hybrida* mycorhizées ont formé moins de fleurs que les mêmes plantes non-mycorhizées.

Les résultats de l'analyse phytopathologique ont montré une régression de la maladie chez les plantules mycorhizées alors que chez les témoins, les plantules sont totalement détruites douze jours plus tard. L'inhibition de l'infection chez les plantules mycorhizées s'expliquerait par une optimisation des mécanismes de défense complétée par une meilleure association mycorhizienne assurée par les deux souches de champignons mycorhiziens utilisées. Les champignons mycorhiziens produisent également des substances antibiotiques ou antifongiques qu'ils libèrent dans le sol ou échangent avec la plante hôte (Perrin 1985). Ces résultats s'accordent avec ceux de Bartschi *et al.* (1981) qui ont montré que les mycorhizes inhibaient totalement l'évolution de *Phytophthora cinnamomi* chez *Chamaecyparis lawsoniana* lorsque les *Chamaecyparis* étaient confrontés à une population mélangée naturelle. L'aptitude prophylactique révélée ici découle d'une meilleure association mycorhizienne assurée par plusieurs espèces. Katznelson *et al.* (1962) ont également montré que la symbiose mycorhizienne exclut tout agent pathogène de la racine mycorhizée du bouleau jaune.

Les résultats des analyses biochimiques montrent des taux élevés en protéines totales chez les plantules mycorhizées d'une part, et d'autre part chez les plantules non-mycorhizées et infectées (Tableau 2). De forts taux de protéines obtenus chez les plantules mycorhizées pourraient s'expliquer par un fonctionnement optimal des mécanismes de biosynthèse des protéines associés à la mycorhization. Par contre les taux élevés observés chez les témoins

infectés pourraient trouver une explication dans ce sens que ces protéines ne sont pas des protéines de réserve mais plutôt des protéines enzymatiques telles que la Catalase, la peroxydase, l'ascorbate peroxydase (...) impliquées dans la réponse au stress. Ce résultat s'accorde avec celui de Radi *et al.* (2014) qui ont montré que les plantes de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) vivant en symbiose avec les champignons mycorhiziens à arbuscules étaient d'autant plus riches en protéines totales solubles que la fréquence de mycorhization est plus forte. Ce résultat permet d'associer la synthèse des protéines à la mycorhization.

Les activités ascorbate peroxydase et peroxydase sont plus importantes chez les témoins non-infectés et davantage chez les témoins infectés. L'activité de ces enzymes est liée à la présence du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) davantage produit en situation de stress. Les résultats de l'analyse biochimique nous permettent d'attribuer un rôle à l'ascorbate peroxydase et à la peroxydase dans les réactions de défenses aux stress environnementaux notamment dans les infections dues à *Phytophthora colocasiae* Racib. En effet Matsumura *et al.* (2002) ont observé chez le tabac une augmentation de l'activité Catalase sous conditions de basses températures. Fedina *et al.* (2006) mesurent une forte augmentation du contenu en H₂O₂ chez des plantes d'orge cultivées sous conditions de stress salin. De l'ensemble de nos résultats et ceux d'autres travaux, on peut déduire et suggérer que l'amélioration de la tolérance aux contraintes biotiques et abiotiques chez les plantes est attribuée à l'augmentation de leur capacité de détoxification des ROS optimisée par la présence des mycorhizes.

**CHAPITRE IV : INTERET DIDACTIQUE
ET PEDAGOGIQUE**

La nouvelle approche pédagogique en cours d'implémentation est connue sous le vocable d'Approche Pédagogique par les Compétences (A.P.C). Ce qui voudrait dire de prime à bord que les enseignements ne doivent plus être spéculatifs et destinés à former les théoriciens mais qu'à l'issue d'une leçon ou d'une séquence de leçons, l'apprenant devra être capable d'utiliser les connaissances acquises, dans une situation donnée pour résoudre efficacement des problèmes. C'est ainsi qu'on parlera de compétence. Cependant pour pouvoir développer ces compétences, il est impératif que les enseignements reçus soient qualifiants c'est-à-dire relevant du contexte social actuel. D'où l'importance de la recherche scientifique dont l'objet est de trouver des solutions aux problèmes de la société actuelle en perpétuel changement notamment en ce qui concerne l'insécurité alimentaire avec le Boom démographique. Ainsi ce travail permettra à l'enseignant d'enseigner les contenus intéressants et référencés et, aux apprenants d'acquérir des connaissances leur permettant d'agir dans la société à court ou à long terme. Bien que l'A.P.C ne soit pas encore appliquée dans toutes les classes du secondaire, le thème III du programme de la classe de seconde C/A intitulé «ORGANISATION FONCTIONNELLE DES VEGETAUX CHLOROPHYLLIENS» initie les apprenants aux sorties de ces classes à l'amélioration des cultures et à la production végétale. La leçon 3 du chapitre V intitulé «NUTRITION ET ORGANISATION D'UN VEGETAL CHLOROPHYLLIEN» qui se rapporte à ce travail de recherche sera présentée selon le modèle pédagogique ci-dessous.

FICHE PEDAGOGIQUE DE PREPARATION D'UNE LEÇON DE SVTEEHB SELON L'APO

ETABLISSEMENT :	Lycées et collèges du Cameroun.	-Nom de l'enseignant: SOB NGUEPI Innocent - Matricule : 10S0222 Classe : niveau V -Contacts : 693795119/670362178	
THEME III :	ORGANISATION FONCTIONNELLE DES VEGETAUX CHLOROPHYLLIENS.		
CHAPITRE V :	LA NUTRITION ET L'ORGANISATION D'UN VEGETAL CHLOROPHYLLIEN.	date :	.. /.. /....
LEÇON 3 :	L'ABSORPTION DE L'EAU ET DES IONS MINERAUX CHEZ LES VEGETAUX CHLOROPHYLLIENS : plantes terrestres et plantes aquatiques	Classe :	2 ^{de} C/A
		Effectif :.....	G :..... F :.....
		Durée : 50 min.	Période :
Objectifs Pédagogiques Opérationnels (O.P.O)	A la fin de cette leçon, l'élève sera capable de : <ul style="list-style-type: none"> • Reconnaître, nommer, situer et schématiser les structures qui assurent l'absorption de l'eau et des ions minéraux chez les plantes terrestres d'une part et d'autre part chez les plantes aquatiques; 		

Evaluation de l'effet combiné de deux souches de mycorhize (*Gigaspora margarita* et *Acaulospora tuberculata*) sur l'évolution du mildiou du taro

ETAPES	Objectifs pédagogiques opérationnels	Contenu spécifique aux OPOI	Matériels ou supports didactiques	Activités D'enseignement/apprentissage	Evaluation de l'atteinte des OPOI	Durée
INTRODUCTION	1. Etablir le contrat professeur-élève	Titre : absorption de l'eau et des ions minéraux chez les végétaux chlorophylliens : plantes terrestres et plantes aquatiques OBJECTIFS : A la fin de cette leçon, l'élève devra être capable de : voir O.P.O	- programme officiel ; - projet pédagogique.	- écrit le titre de la leçon au tableau puis dans le cahier de texte ; - communique les objectifs aux apprenants (par parties abordées) ; - prise des notes par les apprenants.		10 min.
	2. vérifier les pré-requis	les conditions de réalisation de la photosynthèse	Cours et connaissances antérieurs	R1. La réalisation de la photosynthèse nécessite de la chlorophylle, de l'énergie lumineuse, du CO ₂ , de l'eau et des sels minéraux.	Q1. Donner les conditions de réalisation de la photosynthèse	

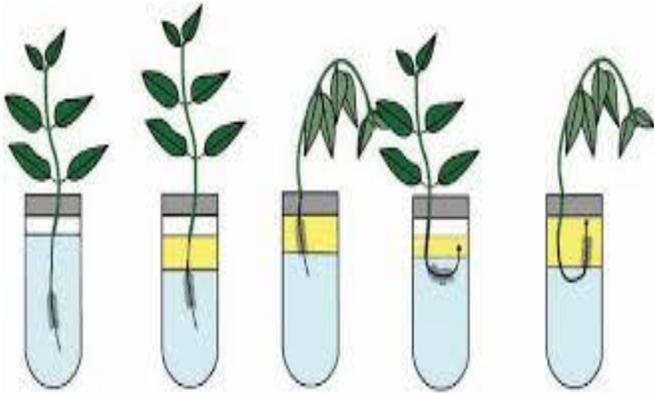
<p>3. déterminer les problèmes scientifiques et hypothèses émises</p>	<p>1. Comment les plantes absorbent-elles l'eau et les sels minéraux dont elles ont besoin? Hypothèses : 1. Les plantes absorbent l'eau par leurs racines.</p>	<p>Document 1</p>	<p>Document 1 : On met en culture sur un milieu sans sol (milieu constitué d'eau et de sels minéraux uniquement) trois plantules toutes saines. La première est plongée dans l'eau par son système racinaire, la seconde par son système foliaire et les racines hors de l'eau et la troisième est totalement submergée. On constate quelques temps après que seule la première plantule croisse normalement. Par ailleurs, lorsqu'on surcharge l'eau en chlorure de sodium (NaCl), on constate que toutes les plantules se dessèchent. Q. Quel questionnement soulève ce texte ?</p>		
<p>4. déterminer l'intérêt de la leçon</p>	<p>Avoir des connaissances scientifiques sur la nutrition des plantes vertes afin d'améliorer les cultures et les productions végétales. Trace écrite pour l'introduction Les végétaux chlorophylliens synthétisent leurs propres matières organiques. Cependant, ils ont besoin d'autres éléments qu'ils puisent dans leur milieu de vie naturel grâce aux structures spécialisées.</p>	<p>Vécu quotidien</p>	<p>Q. Quel intérêt pouvons-nous tirer en étudiant la nutrition et l'organisation fonctionnelle des végétaux chlorophylliens ?</p>		

DEVELOPPEMENT	<p>1) Reconnaître, nommer, situer et schématiser les structures qui assurent l'absorption de l'eau et des ions minéraux chez les plantes terrestres</p>	<p>1. Par les plantes enracinées ou terrestres</p> <p>Chez les plantes terrestres, l'eau pénètre avec les sels minéraux en solution par des cellules spécialisées appelées poils absorbants. Ces cellules forment l'assise pilifère située à l'extrémité de la racine. Les racines âgées sont entourées de tissus durs et imperméables (tissus sclérifiés). Les poils absorbants sont des structures de 0,1 à 10 mm de long sur 0,012 à 0,015 mm de diamètre, avec une grande cavité interne appelée vacuole. Le suc vacuolaire étant une solution hypertonique (de forte concentration), l'eau passe du sol où la solution est hypotonique à l'intérieur de la racine par osmose.</p> <p>Les mycorhizes sont des associations de type symbiose vraie (association à bénéfices réciproques) entre un champignon et les racines de nombreux arbres. L'assise pilifère est remplacée par un feutrage de filaments du champignon (mycélium) qui draine l'eau et les sels minéraux et les fournit à l'arbre qui, en retour, fournit des sucres au champignon. Les arbres mycorhizés se développent mieux sur des sols arides que les arbres non mycorhizés.</p>	<p>- programme officiel ; - document 1, 2 et 3.</p>	<p>Q1. reconnaître les structures racinaires responsables de l'absorption d'eau et des ions minéraux. R1. L'eau et les ions minéraux sont prélevés du sol par les poils absorbants</p> <p>Schéma : mise en évidence de l'absorption d'eau par un poil absorbant (expérience de Rosène).</p>	<p>Q1. Quelle est la structure de la plante responsable de l'absorption d'eau et des sels minéraux du sol ? Q2. Expliquez comment l'eau passe du sol vers le tissu vasculaire des racines. Q3. Comment peut-on améliorer l'utilisation d'eau et des sels minéraux par une plante ?</p>	30 min.
----------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------

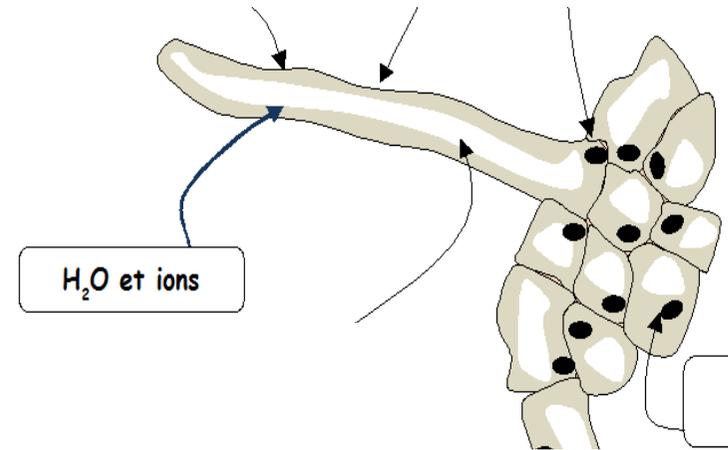
	2. Reconnaître, nommer, situer et schématiser les structures qui assurent l'absorption de l'eau et des ions minéraux chez les plantes aquatiques	2. Par les plantes aquatiques Chez les plantes aquatiques submergées, l'eau et les éléments minéraux sont absorbés par toute la surface de la plante en plus des poils absorbants. Le CO ₂ est absorbé au niveau des feuilles par les stomates qui sont des structures constituées d'un orifice appelé ostiole et deux cellules de garde.	Document 4	Q. Comment le Nénuphar absorbe-t-il l'eau et les ions minéraux ?	Q. Comment les plantes aquatiques absorbent-elles l'eau et les ions minéraux ?	
CONCLUSION	La photosynthèse est le processus par lequel les plantes vertes élaborent de la matière organique à partir de la matière minérale (CO ₂ , H ₂ O) et en présence de la lumière. L'absorption d'eau et des sels minéraux étant facilitée par les mycorhizes. Les produits de la photosynthèse sont utilisés soit pour la croissance de la plante elle-même, soit mis en réserve sous diverses formes.			1. Quelles sont les structures permettant à la plante d'absorber l'eau et les sels minéraux ? 2. les décrire à l'aide d'un schéma annoté.		10 min.

Bibliographie :

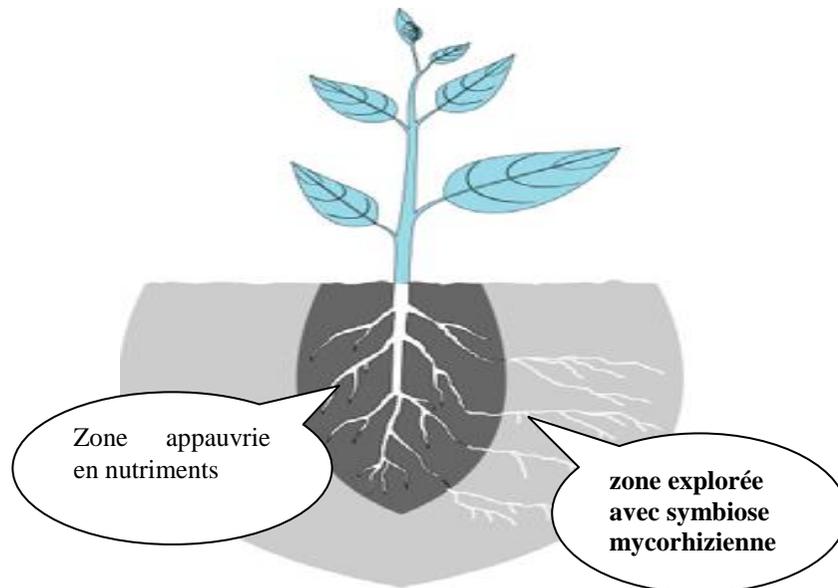
- Programme officiel 2nde C et A
- Biologie 2nd collection Bordas 1987
- Science de la Vie et de la Terre 2ndS collection Bordas 1993
- Cours-SVT-Inter-1^{ière}-bac-Sc-ex Matière et énergie Chapitre : 1-eau-et-sels, 17 P.
- MOTTE Patrick, Université de Liège, Faculté des Sciences, Embarcadère du Savoir, 2007.
- SVT SPE TS – Veillat



Document 1 : expérience de Rosène



Document 3 : un poil absorbant



Document 2 : symbiose entre une plante et le mycorhize



Document 4 : un nénuphar en milieu aquatique

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Arrivé au terme de ce travail dont l'objectif était d'évaluer l'effet combiné de deux souches de mycorhize (*Gigaspora margarita* et *Acaulospora tuberculata*) sur l'évolution du mildiou du taro, il en ressort des analyses morphologiques que certains cultivars ont obtenu une hauteur plus grande en présence des mycorhizes que lorsqu'ils sont non-mycorhizés bien que les différences ne soient pas significatives. Cependant, la faible quantité de résultats significatifs obtenus ne nous permet pas de conclusion intéressante sur la croissance et le développement des plantules de taro mycorhizées. Les analyses phytopathologiques ont montré que les plantules de taro mycorhizées résistent mieux au mildiou comparativement à celles non-mycorhizées. Les analyses biochimiques ont montré que le niveau de chlorophylle est plus élevé chez les plantules mycorhizées comparativement à celles non-mycorhizées. Ces mêmes analyses ont également montré qu'en l'absence du mildiou, les plantules mycorhizées sont plus riches en protéines qui seraient les protéines de réserve. Par contre, lorsque les plantules subissent une infection ou un stress, celles n'ayant pas reçu les mycorhizes sont plus saturées en protéines qui seraient les protéines enzymatiques antistress. Le dosage des protéines antioxydantes ou antistress a montré que les activités ascorbate peroxydase et peroxydase sont plus importantes chez les plantules non-mycorhizées. Ce qui justifie la haute teneur en protéines totales de ces dernières lorsqu'elles subissent une infection. L'ensemble de ces résultats et ceux d'autres travaux nous permettent d'attribuer un rôle aux mycorhizes, à l'AsP et à la Pox dans la lutte contre les infections chez les plantes. En effet, les mycorhizes sont des agents biologiques qui, pour maximiser leur performance ont besoin des conditions environnementales favorables. Dans un système de production conventionnel où pesticides et engrais chimiques sont régulièrement utilisés, les mycorhizes pourraient ne pas produire d'effets bénéfiques pour la plante pourtant, les champignons mycorhiziens ont bien leur place dans une approche de développement durable, dans l'approche d'une production biologique ou dans l'application de pratiques culturales qui valorisent les engrais organiques.

Ainsi, pour mieux valoriser les champignons mycorhiziens et améliorer la production végétale, il pourra être profitable :

D'approfondir ce travail à travers une expérimentation en champ, sous des conditions purement naturelles afin de raffiner le protocole et de valider les résultats obtenus lors de la présente étude ;

D'évaluer l'effet de la mycorhization sur la tubérisation du taro afin d'améliorer les rendements de production.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdul Hakim N. A. A., Mohamed C., Amina O. T., Rachid B, Allal D. (2014) Effect of a composite endomycorrhizal inoculum on the growth of *coffea arabica* seedlings. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences. Available online at www.ijpaes.com 4 (1): 185-194.
- Afsana A., S. R., Tanvir M., Sophia H., Sharmin J., Auditi S., Mohammed R. (2013) Evaluation of antihyperglycemic and antinociceptive potential of *Colocasia esculenta* (L.) Schott (Araceae) leaves. Advances in Natural and Applied Sciences. 7 (2): 143-148.
- Anonyme (1991) Mémento de l'Agronome, Edition 1991, Ministère français de la Coopération et de Développement. CIRAD/GRET. Jouve, Paris, France, pp. 831-864.
- Anonyme (2001) Crop profile for taro in American Samoa. Washington, DC: National Agricultural Statistics Service, pp. 203-207.
- Anonyme (2008) FAOSTAT database. Food and Agriculture of Organization of the United Nation. [Http:// apps Fao.org/page collections subset –agriculture](http://apps.Fao.org/page/collections/subset-agriculture). Visité le 12 mai 2015.
- Anonyme (2010) Division des Etudes et des Statistiques agricoles. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural/Institut National de la Statistique. Annuaire Statistique du Cameroun, cellule des Enquêtes et Statistiques Agricoles. Yaoundé-Cameroun : pp. 179-192.
- Anonyme (2011) Note de conjoncture no 11, La production du taro menacée. MINADER, Cameroun.
- Anukworji C. A., Ramesh R. P., Okigbo R. N. (2012) Isolation of fungi causing rot of cocoyam (*colocasia esculenta* (l.) schott) and control with plant extracts: (*allium sativum*, l., *garcinia kola*, heckel., *azadirachta indica*, l. et *carica papaya*, l.). Global Advanced Research Journal of Agricultural Science 1 (2): 033-047.
- Arnon D. I. (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoxydase in *beta vulgaris*. Plant physiology 24: 1-15.

- Asada K. (1999) The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 601-639.
- Barrau J. (1959) Fruits et graines du taro (*Colocasia esculenta* (Linn.) Schott). *Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique Appliquée* 6: 436-438.
- Bartschi H., Gianinazzi P. V., Vegii I. (1981) Vesicular-arbuscular mycorrhiza and root rot disease (*Phytophthora cinnamomi* Rands) development in *Chamaecyparis lawsoniana* (Murr.) Parl. *Phytopathology Zeitschrift* 102: 213-218.
- Bradbury J. H., Holloway W. D. (1988) Chemistry of tropical root crops: significance for nutrition and agriculture in the Pacific. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR). Monograph No 6, 201 p.
- Bradford M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72: 248-254.
- Caburet A., Lebot V., Rfaillac P., Vernier P. (2007) Les autres plantes amyliacées. In: *Mémento de l'agronome*. CIRAD/GRET, Jouve, Paris, France, pp. 831-864.
- Caldwell, Brian (1998) Late Blight. *Organic Farms, Folks & Foods*. January-February, 9 p.
- Carpenter C. W. (1920) Report of the plant pathologist. Report Hawaii Agric. Expt. Stn., pp. 49-54.
- Catherinet M. (1965) Note sur la culture du Macabo et du Taro au Cameroun. *Agron. Trop.* 20(8).Administration : I IO, rue de l'Université - Paris VIP - 468-497 : 717-723 pp. 718-724.
- Darkwa S, Darkwa A. A. (2013) TARO "*Colocasia esculenta*": It's Utilization in Food Products in Ghana. *Journal of Food Process and Technology* 4: 225 p. doi:10.4172/2157-7110.1000225.
- Deo P. C., Tyagi A. P., Taylor M., Becker D. K., Ha R. M. (2009) Improving taro (*Colocasia esculenta* var. *esculenta*) production using biotechnological approaches disease in Vietnam. ACIAR mograh no.129. Canberra, Australia. 210 p.

- Djeugap J. F., Fontem D. A., Tapondjou A.L. (2009) Évaluation des milieux de culture pour la croissance de *Phytophthora infestans*, agent causal du mildiou chez la morelle noire. *Biosciences Proceedings* 15: 85-92.
- Erwin, D. C., Ribiero, O. K. (1996). *Phytophthora diseases world-wide*. American Phytophthora Society. St Paul. 563 p.
- Étienne D., Philippe M., Claude P., Michel N. (2004) Les peroxydases végétales de classe III, *Acta Botanica Gallica*, 151 (4): 353-380, doi: 10.1080/12538078.2004.10515440 (<http://dx.doi.org/10.1080/12538078.2004.10515440>).
- Fedina I., Georgieva K., Velitchkova M., Grigorova I. (2006) Effect of pre-treatment of barley seedlings with different salts on the level of UV-B induced and UV-B absorbing compounds. *Environmental and Experimental Botany* 56: 225-230.
- Francis H. (2009) Des feuilles souterraines. *Alliage*, n° 64, 93 p.
- Fullerton R. A., Tyson J. L. (2004) The biology of *Phytophthora colocasiae* and implications for its management and control. In: Secretariat of the Pacific Community (Ed.). *Third Taro Symposium*, 2003.Nadi Fiji Islands, 107-111. future prospects. FAO Plant Production and Protection Paper 126, FAO, Rome. 228 p.
- Garbaye J. (2013) Une association entre les plantes et les champignons, Editions QUAE, Isbn: 9782759219636, 280 p.
- Gaur A., Adholeya A. (2005) Diverse response of five ornamental plant species to mixed indigenous and isolate arbuscular-mycorrhizal inocula in marginal soil amended with organic matter. *Journal of Plant Nutrition*, 28: 707-723.
- Gerald L. Benny (2012) Current systematics of Zygomycota with a brief review of their biology. Dans J.K. Mishra, J.P. Tewari et S.K. Deshmukh (éditeurs), *Systematics and evolution of Fungi*, Science Publishers, 412 p. (ISBN 978-1-57808-723-5, lire en ligne), pp. 55-106.
- Gollifer D. E., Brown J. F. (1974) *Phytophthora* leaf blight of *Colocasia esculenta* in the British Solomon Islands. *Papua New Guinea Agricultural Journal* 25: 6–12.

- Gollifer D. E., Jackson G. V. H., Newhook F. J. (1980) Survival of inoculum of the leaf blight fungus *Phytophthora colocasiae* infecting taro, *Colocasia esculenta* in the Solomon Islands. *Annals of Applied Biology* 94 (3): 379–390.
- Guarino L. (2010) Taro leaf blight in Cameroon. *Agricultural Biodiversity Weblog*. Available online: <http://agro.biodiver.se/2010/07/taro-leaf-blight-in-cameroon/> (accessed on 15 May 2015).
- Hayman D. S., Phillips J. M. (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transaction of the British Mycological Society* 55: 158-161.
- Hertwig B., Streb P., Feierabend J. (1992) Light dependence of catalase synthesis and degradation in leaves and the influence of interfering stress conditions. *Plant Physiology* 100:1547-1553.
- Hibbett D.-S (2007) A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research* 111(5): 509-547.
- Irwin S. V., Kaufusi P. K., Banks de la Peña R. et Cho J.J. (1998) Molecular characterization de taro (*Colocasia esculenta*) à l'aide de marqueurs RAPD. *Euphytica* 99: 183-189.
- Jackson G. V. H., Macfarlane R. (1996) Contingency plans for the eradication of *Phytophthora colocasiae* in Pacific Island countries and territories. *Taro Leaf Blight Seminar. Proceedings. Alafua, Western Samoa, 22–26 November, 1993. Noumea, New Caledonia: South Pacific Commission. Unpublished, pp. 101–107.*
- Jackson G. V. H. (1999) Taro leaf blight. *Pest Advisory Leaflet No. 3. Published by the Plant Protection Service of the Secretariat of the Pacific Community, 2 P.*
- Jackson G. V. H. (2001) Flétrissure des feuilles du taro. *Service de protection des végétaux. Secrétariat de la Communauté du Pacifique. Fiche technique No 3, 2 p.*
- Jean-Pierre G. (2012) Les Glomeromycota. *Bulletin de la Société Mycologique Nord Français, 92 : 01-17.*
- Julia B., Hunter D., Delp C. (2001) *A Bibliography of Taro Leaf Blight*; Secretariat of the Pacific Community: Noumea, New Caledonia, pp. 1–10.

- Katznelson A., Roualt B. N., Peterson F.A. (1962) The rhizosphere effect of mycorrhizal roots of yellow birch seedlings. *Canadian Journal of Botany* 40: 77-382.
- Kémékong M. A. (2015) Evaluation du mildiou cause par *Phytophthora colocasiae* chez le taro (*Colocasia esculenta*). Mémoire de D.I.P.E.S. II, Ecole Normale Supérieure de l'université de Yaoundé I, Cameroun.
- Khalvati M. A., Hu Y., Mozafar, Schmidhalter U. (2005) Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology* 7: 706-712.
- Koske I., Gemma J. N. (1980) "A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas," *Mycology Resources* 92: 486-505.
- Matsumura T., Tabayashi N., Kamagata Y., Souma C., Saruyama H. (2002) Wheat catalase expressed in transgenic rice can improve tolerance against low temperature stress. *Physiologia Plantarum* 116: 317-327.
- Mbouobda H. D., Boudjeko T., Djocgoue P. F., Tsafack T. J. J., Omokolo N. D. (2009) Morphological characterization and agronomic evaluation of cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium* L. Schott) germplasm in Cameroun. *Journal of Biological Sciences* 7: 27-33.
- Mbouobda H. D. (2013) Stimulation des mécanismes de défense par le chitosane (CTH) et l'acide-benzo (1, 2, 3) thiodiazole-7-carbothionnic-9-méthyl ester (BTH) dans l'interaction *Xanthosoma sagittifolium* (macabo)/*Pithium myriotylum*. Thèse Ph.D, Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Cameroun.
- Mc Gregor A., Armstro J., Amanda, Hollyer J., Masamdu R., Nalde K., Afeaki P. (2011) Pacific Island taro market access scoping study. Medicinal Plants, Crop Improvement, Production. <http://faostat.fao.org> . Visité le 5 octobre 2015.
- Mishra A. K., Sharma K., Misra R. S. (2008) Effect of benzyl amino purine on the pathogen growth and disease development of taro leaf blight caused by *Phytophthora colocasiae*. *Journal of Plant Pathology* 90 (2): 191-196.

- Mohamed C., Amina O. T., Abdelkarim F. M., Cherkaoui El M., Abdelmajid M., Ahmed O., Rachid B., Allal D. (2014) Effect of a composite endomycorrhizal inoculum on the growth of olive trees under nurseries conditions in Morocco. *International Journal Pure Apply Bioscience* 2 (2): 1-14.
- Morita S., H. Kaminaka, T. Masumura, K. Tanaka (1999) Induction of rice cytosolic ascorbate peroxidase mRNA by oxidative stress; the involvement of hydrogen peroxide in oxidative stress signalling. *Plant Cell Physiology* 40: 417-422.
- Nabila H. (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.
- Nelson S., Brooks F., Teves G. (2011) Taro Leaf Blight in Hawaii. *Plant Disease* 71 (2): 434-437.
- Nordberg, J., Arner E. S. (2001) Reactive oxygen species, antioxidants, and the mammalian thioredoxin system. *Free Radicals in Biology and Medicine* 31: 1287-1312.
- Nouha D., Mhamdi M., Bettaieb T., Denden M. (2008) Tolérance à la salinité d'une graminée à gazon: *Paspalum notatum* Flüggé. *TROPICULTURA* 26 (3): 182-185.
- Onwueme I. C. (1999) Taro cultivation in Asia and the Pacific. Food and Agriculture. Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific. Bangkok, Thailand, 15 p.
- Ooka J. J. (1990) Taro diseases. In *Proceedings of Taking Taro into the 1990s: A Taro Conference*, Hilo, HI, USA, 17 August 1989; University of Hawaii: Honolulu, HI, USA, pp. 51-59.
- Ouzounov I. S. (1988) Les maladies du manioc. *Phytopathologie tropicale*. Editions Université de l'Amitié des Peuples, Moscou, pp. 114-144.
- Perrin R. (1985) L'aptitude des mycorhizes à protéger les plantes contre les maladies : panacée ou chimère ? *Annales des sciences forestières, INRA/EDP Sciences* 42 (4): <hal-00882362> pp.453-470.

- Radi M., Hamdali H., Meddich A., Ouahmane L., Hafidi M. (2014) Le potentiel mycorhizogène des sols urbains en zones semi-arides et la tolérance du Palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) au déficit hydrique. *Journal of Materials and Environmental Science* 5 (6): 1957-1967.
- Safo Kantaka O. (2004) *Colocasia esculenta* (L.) Schott. [Internet] Fiche de PROTA4U. Grubben, G.J.H., Denton, O.A. (Editeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa/Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Pays Bas. <<http://www.prota4u.org/search.asp>>. Visité le 1 juillet 2015.
- Singh D., Hunter D., Iosefa T., Fonoti P., Okpul T., Delp C. (2010) Improving taro production in the South Pacific through breeding and selection. In *The Global Diversity of Taro: Ethnobotany and Conservation*; Ramanatha Rao, V., Matthews, P.J., Ezyaguire, P.B., Hunter, D., Eds.; Bioersity International: Rome, Italy; pp. 168–184.
- Singh S., Singh D. R., Faseela F., Naresh K., Damodaran V., Srivastava R.C. (2011) Diversity of 21 taros (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). *Accessions of Andaman Islands. Genet Resource Crop* 91 (3): 367–378.
- Smirnoff N. (2000) Ascorbic acid: metabolism and functions of a multi-faceted molecule. *Current Opinion in Plant Biology* 3: 229-235.
- Sohn B. K., Kim K.Y., Chung S. J., Kim W. S., Park S. M., Kang J. G., Rim Y. S., Cho J. S., Kim T. H., Lee J. H. (2003) Effects of the Projet d'essai des champignons mycorhiziens dans les paniers suspendus Rapport final different timing of AMF inoculation on plant growth and flower quality of chrysanthemum. *Scientia Horticulturae* 98: 173-183.
- Stankévich A. M. (1969) Méthodes d'évaluation des dommages causés par les maladies chez les plantes cultivées. Editions Koloss, Moscou, 126 p.
- Trujillo E. E. (1967) Diseases of the Genus *Colocasia* in the Pacific Area and their control. In *Proceedings of the International Symposium on Tropical Root Crops*, St Augustine, Trinidad, Volume 2. University of the West Indies, St Augustine, Trinidad, West Indies, pp.13-19.

- Tsopmbeng N. G. R., Fontem D.A., Yamdé K.F. (2012) Evaluation of culture media for growth and sporulation of *Phytophthora colocasiae* Racib. causal agent of taro blight. International Journal of Biological and Chemistry Sciences 6 (4): 1566-1573.
- Tsopmbeng N. G. R., Lienou J. A., Megatche C. J. P., Fontem D. A. (2014a) Effect of different pH and temperature levels on in vitro growth and sporulation of *Phytophthora colocasiae*, taro leaf blight pathogen. International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR) 4 (4): 202-206. 2223-7054 (Print) 2225-3610 (Online) <http://www.innspub.net>.
- Tsopmbeng N. G., Megatche C. J. P., Lienou J. A., Yaouba A., Djeugap F. J. et Fontem D. A. (2014b) Évaluation des activités antifongiques des extraits de plantes contre *Phytophthora colocasiae*, agent causal du mildiou du taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). Journal of Applied Biosciences 81: 7221 – 7232 <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v81i1.2>.
- Valko M., Rhodes C. J., Moncol J., Izakovic M., Mazur M. (2006) Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. Chemico-Biology Interactions 160 : 1-40.
- Varin D., Sébastien B., Julien B. (2010) Culture du taro d'eau en Nouvelle-Calédonie. Centre des tubercules tropicaux, 34 P.
- Yamde K. F. (2012) Evaluation des milieux de culture et des hôtes potentiels de *Phytophthora colocasiae*, agent causal du mildiou du taro (*Colocasia esculenta*). Thèse de Master of Science. Faculté des Sciences, Université de Dschang, Cameroun, 52 p.
- Zhang K. M., Zheng F.C., Li Y.D., Anne P.J., Ko W.H. (1994) Isolates of *Phytophthora colocasiae* from Hainan Island in China: Evidence suggesting an Asian origin of this species. Mycologia 86: 108–112.
- Zhu J., Zhang Z., Yang Z. (2001) General research methods on pathogen of potato late blight (*Phytophthora infestans*). Journal of Agriculture Science 24: 112-114.

ANNEXES

ANNEXE I : fiche de collecte des paramètres morphologiques avant l'infection

N°	NF	Taille de la plantule	Largeur de la feuille			Longueur de la feuille		
1								
2								
3								
4								
5								
...								
...								
...								
50								

ANNEXE II : préparation du réactif de Bradford

- Mélanger dans un bécher, 100 mg de bleu de coomassie G250, 50 ml d'éthanol 95° ;
- Ajouter 100 ml d'acide phosphorique 85% ;
- Ajuster le volume à 1000 ml avec de l'eau distillée ;
- Filtrer le tout sous vide.

ANNEXE III : matériels utilisés

Appariel	Marques
Agitateur magnétique	M
Balance électronique	KERN 572
pH-mètre	Sulzer
Réfrigérateur	Gallen Kamp
Spectrophotomètre	JENWAY 6305

ANNEXE IV : verrerie et autres

- 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, 1 à ml, 5 ml et 1 ml ;
- Tubes à essai, spatules, pincette, barrettes et barreaux aimantés, parafilm, papier aluminium, lames.