

Effet in Vitro des Extraits d'Algues [*Sargassum natans* (Børgesen) Børgesen et *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen, Sargassaceae] sur *Fusarium* sp., Agent Causal de la Fusariose Vasculaire de la Tomate (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae)

Kouame Kra Frédéric

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Centre National de Floristique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Agre Don Josette

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Laboratoire de Biologie et Santé, Abidjan, Côte d'Ivoire

Komoe Koffi

Baka Yapi Richmond

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Laboratoire de Botanique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Kouadio Edouard Yves Gilchrist

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire de
Physiologie et Pathologies Végétales, Abidjan, Côte d'Ivoire

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n9p47](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p47)

Submitted: 14 February 2023

Accepted: 24 March 2023

Published: 31 March 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Kouame K.F., Agre D.J., Komoe K., Baka Y.R. & Kouadio E.Y.G. (2023). *Effet in Vitro des Extraits d'Algues [*Sargassum natans* (Børgesen) Børgesen et *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen, Sargassaceae] sur *Fusarium* sp., Agent Causal de la Fusariose Vasculaire de la Tomate (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae)*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (9), 47. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n9p47>

Résumé

La tomate occupe une place très importante dans la vie socio-économique de la population ivoirienne. Elle est une source importante de revenus pour les producteurs. Cependant, *Fusarium* sp. est parmi les champignons telluriques les plus agressifs causant la maladie de la fusariose chez la tomate. Pour contrôler ce pathogène, les agriculteurs utilisent généralement des méthodes de lutte chimique. Cette lutte n'est pas sans effet

secondaire. Elle a des répercussions sur la santé humaine et animale ainsi que sur l'environnement. Afin d'assurer une meilleure production, de réduire l'incidence et la sévérité des maladies de la tomate notamment de la fusariose vasculaire et de protéger l'environnement et la santé des populations ivoiriennes, des bio-fongicides ont été testés *in vitro*. Un total de 30 échantillons de feuilles et tiges de tomate symptomatiques de fusariose ont été collectés dans la localité de Songon. Puis, des isollements et purifications des souches dans des boîtes de Pétri sur milieu PDA ainsi que des caractérisations macroscopiques et microscopiques ont été réalisés au laboratoire. Une gamme de six concentrations (50, 100, 150, 200, 250 et 300 mg/ml) de mélanges d'un extrait total aqueux des algues marines *Sargassum natans* et *Sargassum fluitans* collectées dans la commune de Port-Bouët ainsi que d'un adjuvant (Cawet max), additionnées au milieu PDA a été testée *in vitro* sur la croissance mycélienne quotidienne des souches de *Fusarium* sp. obtenues, en comparaison au bio-produit Callifert spécial maraîchage et à un témoin sans fongicide. Pour chaque concentration, cinq boîtes de Pétri ont été utilisées par souche et l'expérience a été répétée trois fois. Les observations macroscopiques et microscopiques des souches isolées et purifiées ont permis de mettre en évidence deux souches de *Fusarium* sp. (*Fusarium* sp1 et *Fusarium* sp2). Le Callifert spécial maraîchage et le mélange des extraits d'algues à l'adjuvant Cawet max se sont avérés très efficaces, sur l'inhibition de la croissance mycélienne des deux souches de *Fusarium* sp., avec un taux d'inhibition de 100 % aux concentrations respectives de 200 et 300 mg/ml, singulièrement pour la souche *Fusarium* sp2. Par contre, l'extrait d'algues seul s'est montré relativement moins efficace même à la forte concentration de 300 mg/ml sur les deux souches de *Fusarium* sp. Les extraits de sargasses peuvent constituer une base pour la formulation de fongicides en vue d'une lutte intégrée et biologique contre la fusariose de la tomate.

Mots-clés : Tomate, *Fusarium*, extraits d'algues, Callifert, Cawet max

***In vitro* Effect of Algal Extracts [*Sargassum natans* (Børgesen) Børgesen and *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen, Sargassaceae] on *Fusarium* sp., Causal Agent of Fusarium wilt of Tomato (*Solanum lycopersicum* L., Solanaceae)**

Kouame Kra Frédéric

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Centre National de Floristique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Agre Don Josette

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Laboratoire de Biologie et Santé, Abidjan, Côte d'Ivoire

Komoe Koffi

Baka Yapi Richmond

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences,
Laboratoire de Botanique, Abidjan, Côte d'Ivoire

Kouadio Edouard Yves Gilchrist

Université Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire de
Physiologie et Pathologies Végétales, Abidjan, Côte d'Ivoire

Abstract

Tomatoes play a very important role in the socio-economic life of the Ivorian population. It is an important source of income for market gardening producers. However, *Fusarium* sp. is one of the most aggressive soil-borne fungi causing Fusarium disease in tomatoes. To control this pathogen, farmers usually use chemical control methods. This control is not without side effects. It has an impact on human and animal health as well as on the environment. In order to ensure better production, reduce the incidence and severity of tomato diseases, particularly vascular Fusarium disease, and protect the environment and the health of the Ivorian population, bio-fungicides were tested *in vitro*. A total of 30 samples of tomato leaves and stems symptomatic of Fusarium wilt were collected in the locality of Songon. Isolation and purification of strains in Petri dishes on PDA medium as well as macroscopic and microscopic characterization were carried out in the laboratory. A range of six concentrations (50, 100, 150, 200, 250, and 300 mg/ml) of mixtures of total aqueous extracts of sea algae *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans* collected in the locality of Port-Bouët, as well as an admixture (Cawet max), added to the PDA medium, was tested *in vitro* on daily mycelial growth of the *Fusarium* sp. strains obtained in the comparison of the Callifert vegetable bio-product and to control without fungicides. For each concentration, five Petri dishes were used per strain and the experiment was repeated three times.

Macroscopic and microscopic observations of the isolated and purified strains revealed two strains of *Fusarium* sp. (*Fusarium* sp1 and *Fusarium* sp2). Callifert special vegetables and the mixture of algal extracts with the admixture Cawet max proved to be effective in inhibiting the mycelial growth of *Fusarium* sp. strains, with an inhibition rate of 100% at the respective concentrations of 200 and 300 mg/ml, particularly for the *Fusarium* sp2 strain. However, the algal extract alone was relatively less effective even at the high concentration of 300 mg/ml on both strains of *Fusarium* sp. Sargassum extracts could be a basis for the formulation of fungicides for integrated and biological control of tomato Fusarium wilt.

Keywords: Tomato, Fusarium, algal extracts, Callifert, Cawet max

1. Introduction

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) appartenant à la famille des Solanaceae (Munro et Small, 1997) est une plante herbacée annuelle originaire des Andes et d'Amérique (De Lannoy, 2001). Sa consommation joue un rôle essentiel dans le métabolisme humain en fournissant au corps un vaste ensemble de minéraux, de vitamines et d'antioxydants d'origine végétale (Bachir, 2017). Les statistiques de la FAO en 2021 révèlent que, plus de 170 pays produisent de la tomate. Ceci en fait, le premier légume cultivé dans le monde, avec près de 189 millions de tonnes de tomates produites annuellement (FAOStat, 2021). En Côte d'Ivoire, la tomate occupe la deuxième place des légumes fruitiers rencontrés sur les marchés, après l'aubergine N'drowa (Ildefonse, 1995 ; Coulibaly et Bly, 2002). Elle constitue avec le gombo, l'aubergine et le piment les principaux légumes cultivés et consommés localement (Fondio et al., 2015). La production nationale s'élève à 48 804 tonnes/an (FAOStat, 2021) et les besoins sont estimés à plus de 100 000 tonnes/an depuis 2007 (Soro et al., 2007).

Cependant, la culture de la tomate est sujette à de nombreuses contraintes biotiques telles que les insectes ravageurs et les microorganismes pathogènes qui engendrent une baisse considérable de son rendement (Djeugap et al., 2011). Parmi ces derniers, figure le *Fusarium* qui est l'un des champignons telluriques les plus agressifs de la culture. Celui-ci est responsable de la maladie de la fusariose chez la tomate qui se traduit par des flétrissements de la plante, le jaunissement des feuilles et la nécrose vasculaire de la tige (Djeugap et al., 2011).

La réussite des traitements fongicides comme moyen de lutte nécessite l'utilisation des produits efficaces contre l'agent causal de la fusariose de la tomate, mais également, et surtout à des doses convenables. Ainsi, des fongicides d'origine biologique, issus des algues *Sargassum natans* (Børghesen) Børghesen et *Sargassum fluitans* (Børghesen) Børghesen ont été testés

in vitro à différentes concentrations sur la croissance mycélienne de deux morphotypes du genre *Fusarium* isolés en culture de tomate. Cette étude a pour but d'évaluer la sensibilité du champignon *Fusarium* sp. à l'extrait total aqueux des sargasses.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel d'étude

Deux types de matériels ont été utilisés au cours de cette étude. Il s'agit dans un premier temps du matériel fongique, constitué par des souches de *Fusarium* isolées à partir des feuilles et tiges de tomates présentant les symptômes de la fusariose. Dans un second temps, des bio-produits, constitués par des extraits d'algues *Sargassum natans* et *Sargassum fluitans*, par le Callifert spécial maraîchage de même qu'un adjuvant, le Cawet max, ont été utilisés. *S. natans* et *S. fluitans* sont des algues marines macroscopiques, de couleur brunâtre, de la famille des Sargassaceae.

2.2. Méthodologie

2.2.1. Échantillonnage

L'échantillonnage a été effectué dans la commune de Songon, dans la ville d'Abidjan, au sud de la Côte d'Ivoire, une des principales zones de production de la tomate (Ildefonse, 1995). Il a consisté en un prélèvement des fragments de feuilles et de tiges de tomate symptomatiques (Figure 1). Une trentaine d'échantillons ont été récoltés et conditionnés dans des enveloppes avant d'être acheminés par la suite au laboratoire pour l'isolement et la culture des champignons pathogènes. Sur chaque enveloppe, ont été inscrits le nom de la localité, la date et l'heure de collecte, les symptômes de fusariose observés ainsi que les organes atteints et prélevés.

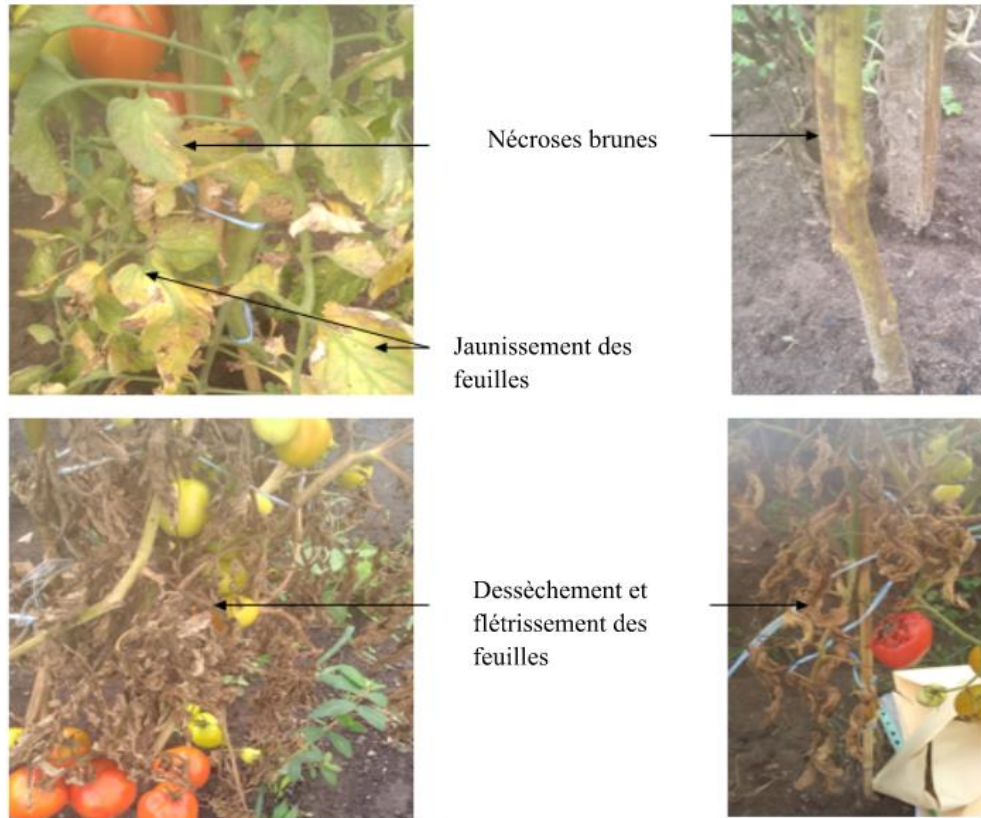


Figure 1. Symptômes de la fusariose observés sur les plants de tomate au champ

2.2.2. Isolement et culture des souches de *Fusarium sp.* sur milieu PDA

Les feuilles et tiges de tomate collectées ont été lavées à l'eau du robinet. Ensuite, des fragments ont été prélevés sur ces organes au niveau du front d'avancement de la nécrose et mis dans des bocaux. Puis, la désinfection des fragments prélevés a été faite pendant 3 minutes en ajoutant de l'alcool à 70 % dans les bocaux. Ceux-ci ont été ensuite trempés dans une solution d'hypochlorite de sodium (NaOCl) à 5 % durant 1 minute. Après désinfection, les fragments ont été rincés trois fois de suite avec de l'eau distillée stérile et ont été séchés pendant 1 minute, avant d'être transférés dans des boîtes de Pétri de 90 mm de diamètre contenant un milieu Potato-Dextrose-Agar (PDA) figé. Celui-ci a été préparé avec 20 g de glucose, 20 g de purée de pommes de terre, 20 g d'Agar-agar et 1 litre d'eau distillée puis stérilisé à l'autoclave, à 120 °C pendant 30 min, sous la pression de 1 bar. Après refroidissement sous une hotte à flux laminaire, le milieu a été distribué, en présence d'une flamme, dans des boîtes de Pétri stérilisées, à raison de 20 ml/boîte (Koffi et al., 2009 ; Camara, 2011). Après apparition du mycélium, les isolats obtenus ont été repiqués successivement sur de nouveaux milieux de culture PDA jusqu'à

l'obtention de cultures pures du mycélium et des fructifications (Essomé et al., 2020).

2.2.3. Identification des souches de *Fusarium* sp. isolées

Les souches de *Fusarium* sp. isolées ont été identifiées à partir d'observations macroscopiques et microscopiques. Les observations macroscopiques ont porté sur les caractères cultureux tels que la texture et la couleur du thalle ainsi que le contour de croissance et la couleur du mycélium (Fondio et al., 2015). Les souches de *Fusarium* sp. ont été également observées au microscope optique au grossissement X400. L'observation microscopique a été réalisée en prélevant un fragment mycélien grâce à une aiguille stérile. Ce fragment a été monté entre lame et lamelle avec ajout de quelques gouttes d'eau de robinet (Nmichi et al., 2014). L'identification microscopique des champignons a été faite sur la base de la morphologie des spores et du mycélium en présence (coloré ou non, cloisonné ou non, fusiforme ou non, etc.) selon les clés de détermination de Barnett et al. (1972).

2.2.4. Récolte et prétraitement des algues

La récolte des algues *Sargassum natans* et *Sargassum fluitans* s'est déroulée en bordure des plages de la commune de Port-Bouët, dans la ville d'Abidjan, au sud de la Côte d'Ivoire. Les algues échouées sur les plages ont été ramassées et rincées avec l'eau de mer. Puis, elles ont été entassées dans des sachets en plastiques stériles avant d'être acheminées au laboratoire. Concernant le prétraitement, les algues *S. natans* et *S. fluitans* collectées ont été trempées dans de l'eau de robinet pendant 7 jours, au laboratoire. Durant cette période, l'eau a été changée toutes les 24 heures afin d'éliminer sa contenance en sel. Ensuite, les algues ont été séchées à la température ambiante du laboratoire (27 ± 2 °C) puis transformées en poudre à l'aide d'un broyeur électrique (Ouattara et al., 2021).

2.2.5. Préparation de l'extrait total aqueux

La préparation des extraits totaux aqueux (ETA) a été faite selon la méthode décrite par Zirihi et al. (2003) et Ahon et al. (2011). Celle-ci consiste à macérer 100 g de poudre végétale (algues) dans 1 litre d'eau distillée stérile à l'aide d'un Mixeur. Afin d'optimiser le rendement en extrait, la macération a été faite jusqu'à épuisement du résidu. L'homogénat a été filtré sur du coton hydrophile puis sur du papier-filtre Whatman 3 MM (0,34 mm d'épaisseur). Le filtrat aqueux ainsi obtenu a été évaporé à l'aide d'une étuve à la température de 50 °C pour donner une poudre qui a constitué l'extrait total aqueux (ETA) des algues *S. natans* et *S. fluitans*.

2.2.6. Préparation de la gamme de concentration des biofongicides et évaluation de l'efficacité sur la croissance mycélienne des isolats de *Fusarium* sp.

Les bio-produits ont été testés sur la croissance mycélienne des souches pures de *Fusarium* sp., à une gamme de six concentrations correspondant à différentes quantités des bio-produits dans le milieu PDA. Les quantités de l'ETA d'algues, de l'adjuvant Cawet max et du Callifert spécial maraîchage ont été mélangées au milieu PDA qui est ensuite stérilisé à l'autoclave à 120 °C pendant 30 min sous une pression de 1 bar, avant de distribuer l'ensemble dans des boîtes de Pétri sous une hotte à flux laminaire et autour d'une flamme, à raison de 20 ml/boîte. Les concentrations préparées sont C1 = 5 % (50 mg/ml), C2 = 10 % (100 mg/ml), C3 = 15 % (150 mg/ml), C4 = 20 % (200 mg/ml), C5 = 25 % (250 mg/ml) et C6 = 30 % (300 mg/ml). Pour chaque concentration et pour un isolat, cinq répétitions ont été effectuées, soit cinq boîtes de Pétri inoculées. Des inocula de 5 mm de diamètre de chaque isolat, âgés de 7 jours ont été prélevés et déposés à l'aide d'un emporte-pièce au centre des boîtes de Pétri contenant le milieu PDA solidifié et amendé de chaque concentration de bio-fongicide. Pour les témoins, un disque mycélien de chaque souche a été déposé sur le milieu de culture PDA sans produit fongicide (Angaman et al., 2018). Les boîtes de Pétri ont été par la suite scellées avec du parafilm et incubées à la température ambiante du laboratoire (27 ± 2 °C) sous une photopériode de 12 heures. L'expérimentation a été reconduite à trois reprises. La croissance mycélienne des colonies a été évaluée chaque jour jusqu'au remplissage de la première boîte témoin, soit 8 jours après la mise en culture. La mesure de la croissance mycélienne a été faite suivant deux axes perpendiculaires tracés au revers de chaque boîte de Pétri qui se coupent au milieu du disque mycélien (Botton et al., 1990). L'effet des bio-fongicides a été déterminé à partir du taux d'inhibition de la croissance mycélienne calculé à l'aide des formules suivantes utilisées par Assiri et al. (2009) et Soro et al. (2010) :

$$I (\%) = \frac{D_o - D_c}{D_o} \times 100$$

$$D (\text{mm}) = \frac{X_1 + X_2}{2}$$

Avec : **I** : Taux d'inhibition de la croissance mycélienne ; **D_o** : Diamètre moyen de croissance mycélienne des colonies dans les boîtes de Pétri témoins ; **D_c** : Diamètre moyen de croissance mycélienne des colonies dans les boîtes de Pétri à la concentration (c) d'un fongicide donné ; **D (mm)** : Diamètre moyen de la colonie mycélienne ; **X₁** : Diamètre de croissance sur l'axe 1 ; **X₂** : Diamètre de croissance sur l'axe 2.

2.2.7. Analyse statistique

Les données des taux d'inhibition de la croissance mycélienne des souches de *Fusarium* sp. ont été traitées à l'aide du logiciel Statistica 7.1. Une analyse de variance à un facteur a été réalisée pour étudier les effets des biofongicides sur les taux d'inhibition. En cas de différences significatives entre les biofongicides, le test de comparaison de Newman-Keuls au seuil de 5 % a été appliqué pour classer les moyennes en groupes homogènes.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques macroscopiques et microscopiques des souches de *Fusarium* isolées et purifiées

Suivant les caractères cultureux, deux morphotypes de *Fusarium* sp. ont été identifiés (*Fusarium* sp1 et *Fusarium* sp2). Les souches de *Fusarium* sp1 (morphotype 1) obtenues ont été caractérisées par des thalles de coloration blanchâtre, avec des aspects cotonneux et dense. Au niveau microscopique, les souches de *Fusarium* sp1 ont présenté un mycélium cloisonné. Ces souches se sont également distinguées par la présence des macrospores fusiformes, allongées et peu incurvées. Les microspores sont ovales et cloisonnées. Concernant les souches de *Fusarium* sp2 (morphotype 2), des thalles de coloration rougeâtre ayant un aspect cotonneux et tapissé ont été observés. Les observations microscopiques ont mis en évidence la présence des macrospores fusiformes, allongées et parfois incurvées, avec un mycélium également cloisonné. Les microspores ovales présentent une seule cloison (Figure 2).

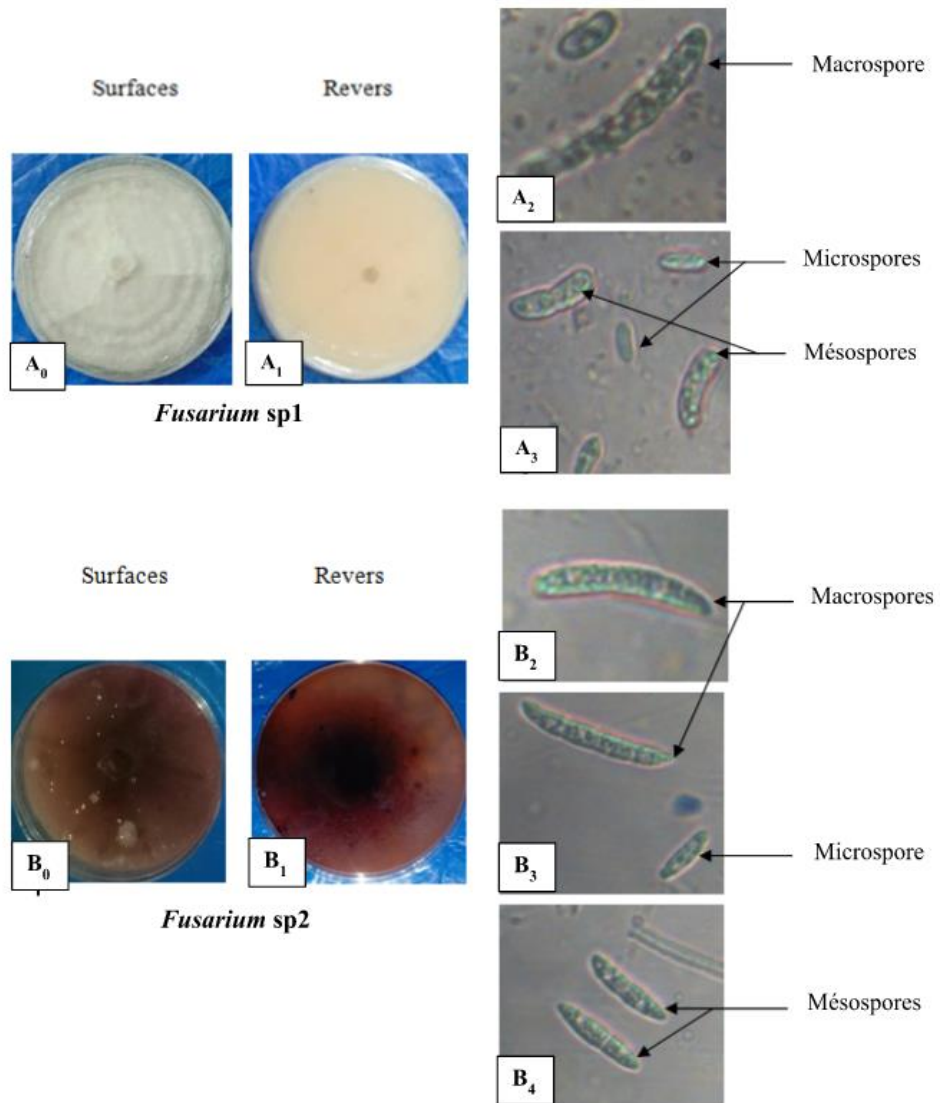


Figure 2. Structures macroscopiques et microscopiques des deux souches de *Fusarium sp.* formées sur milieu PDA après isolement

Aspects macroscopiques : A₀, A₁, B₀ et B₁

Aspects microscopiques : A₂, A₃, B₂, B₃ et B₄

3.2. Effet antifongique des concentrations de bio-fongicides sur la croissance radiale des souches de *Fusarium* sp.

Les bio-produits ont montré des effets antifongiques variables selon la concentration et le temps sur la croissance mycélienne de *Fusarium* sp.

Le Callifert spécial maraîchage a montré une bonne aptitude à réduire la croissance des souches *Fusarium* sp1 et *Fusarium* sp2 dans la gamme de concentrations employées. Toutes les concentrations (C1 à C6) ont eu un effet prononcé sur le développement du champignon, avec un taux d'inhibition supérieure à 60 %. Les doses C4, C5 et C6 ont été les meilleures durant toute la période d'incubation (Figure 3).

L'ETA d'algues + adjuvant Cawet Max a induit un taux d'inhibition supérieur à 60 % sur le *Fusarium* sp1 du 1^{er} au 5^e jour, quelle que soit la concentration. C1, C2 et C3 ont par la suite baissé en efficacité contrairement à C4, C5 et C6 (Figure 4). Concernant la croissance mycélienne de *Fusarium* sp2, seules les concentrations de 30 % (C6) et 25 % (C5) ont pratiquement inhibé de 90 à 100 % la croissance du champignon du premier au dernier jour. Les concentrations de 25 et 20 % (C5 et C4) ont généré des taux d'inhibition de 100 à 72,14 % du 1^{er} au 8^e jour. C1, C2 et C3 ont induit des taux d'inhibition inférieurs à 50 %, à l'exception des deux premiers jours, avec des baisses progressives à partir du 2^e jour.

L'ETA d'algues s'est montré moins répressif sur la croissance mycélienne des champignons *Fusarium* sp1 et *Fusarium* sp2 pendant le temps d'incubation, notamment à partir du 2^e jour, pour les concentrations C1, C2 voire C3. Les taux de réduction de la croissance du mycélium ont été stables et supérieurs à 60 % aux concentrations C4, C5 et C6 pour *Fusarium* sp1. Pour *Fusarium* sp2, dans les mêmes conditions, les taux d'inhibition ont régressé de 100 % à environ 60 %, mais ont été les plus importants (Figure 5). Les aspects des colonies des deux souches de *Fusarium* sp. sous l'effet des trois meilleures concentrations C4, C5 et C6 des bio-produits testés sont illustrés à la figure 6.

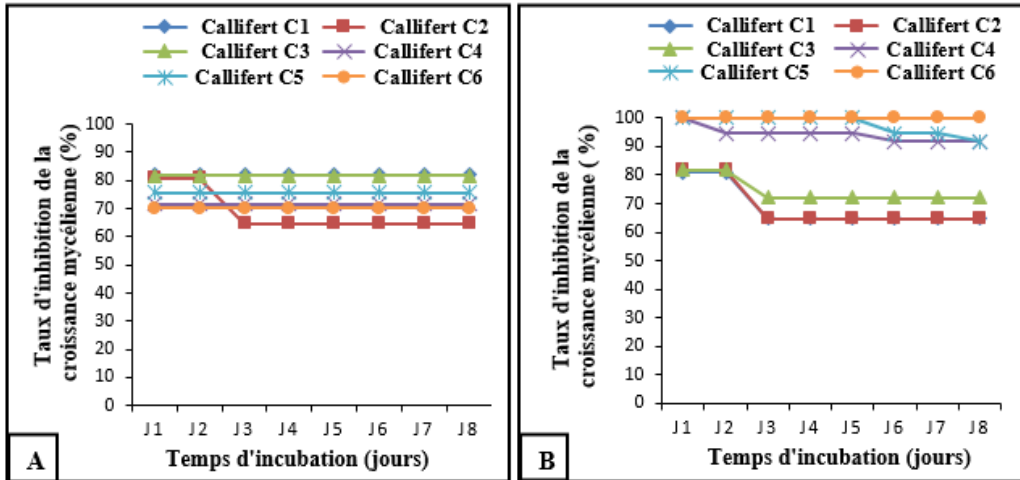


Figure 3. Taux d'inhibition de la croissance mycélienne journalière des colonies issues des souches de *Fusarium* sp. en présence de différentes concentrations du Callifert spécial maraichage

A : *Fusarium* sp1 et **B :** *Fusarium* sp2 ;

C1 = 5 % (50 mg/ml), **C2** = 10 % (100 mg/ml), **C3** = 15 % (150 mg/ml), **C4** = 20 % (200 mg/ml), **C5** = 25 % (250 mg/ml) et **C6** = 30 % (300 mg/ml).

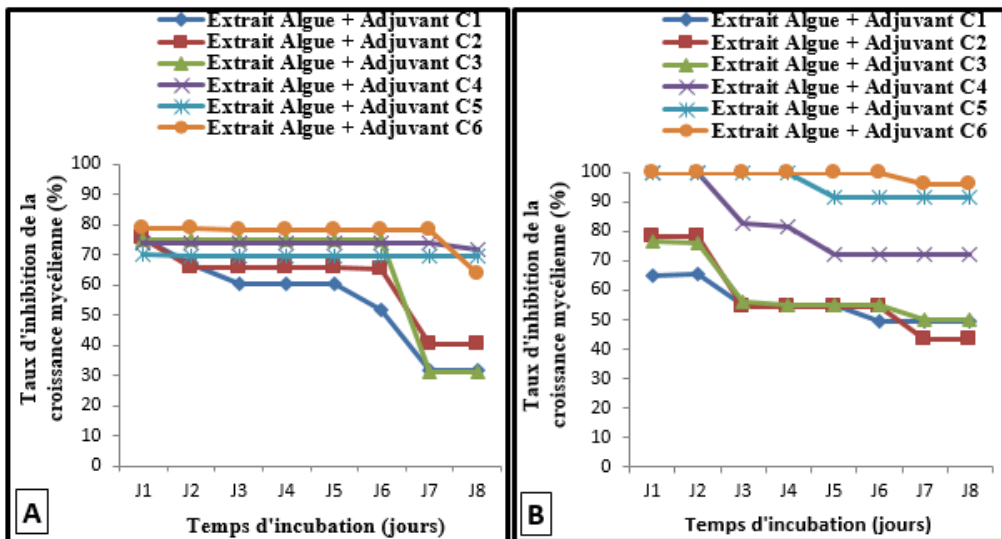


Figure 4. Taux d'inhibition de la croissance mycélienne journalière des colonies issues des souches de *Fusarium* sp. en présence de différentes concentrations de l'ETA d'algues + adjuvant Cawet Max

A : *Fusarium* sp1 et **B :** *Fusarium* sp2 ;

C1 = 5 % (50 mg/ml), **C2** = 10 % (100 mg/ml), **C3** = 15 % (150 mg/ml), **C4** = 20 % (200 mg/ml), **C5** = 25 % (250 mg/ml) et **C6** = 30 % (300 mg/ml).

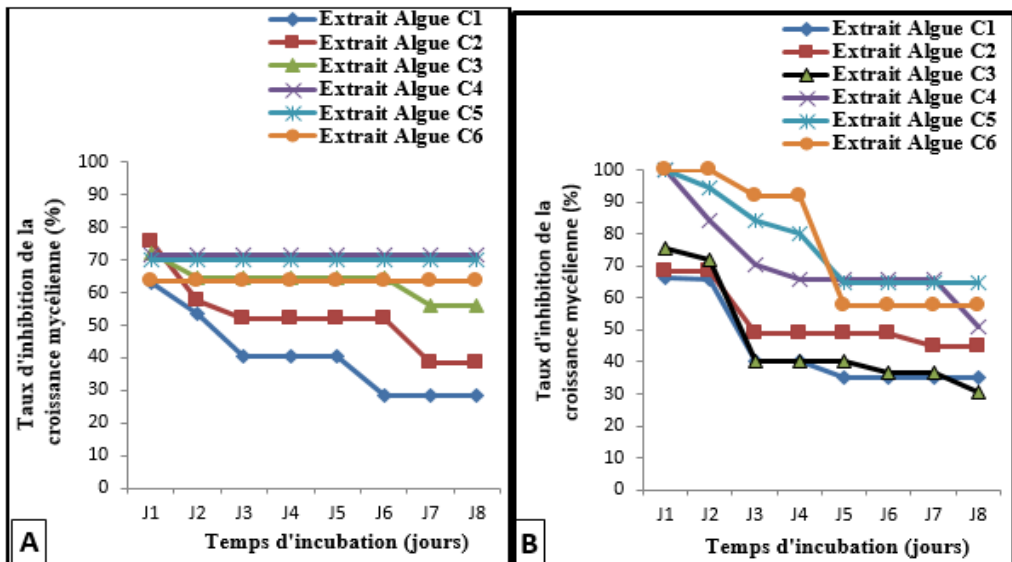


Figure 5. Taux d'inhibition de la croissance mycélienne journalière des colonies issues des souches de *Fusarium* sp. en présence de différentes concentrations de l'ETA d'algues

A : *Fusarium* sp1 et **B :** *Fusarium* sp2 ;

C1 = 5 % (50 mg/ml), **C2** = 10 % (100 mg/ml), **C3** = 15 % (150 mg/ml), **C4** = 20 % (200 mg/ml), **C5** = 25 % (250 mg/ml) et **C6** = 30 % (300 mg/ml).

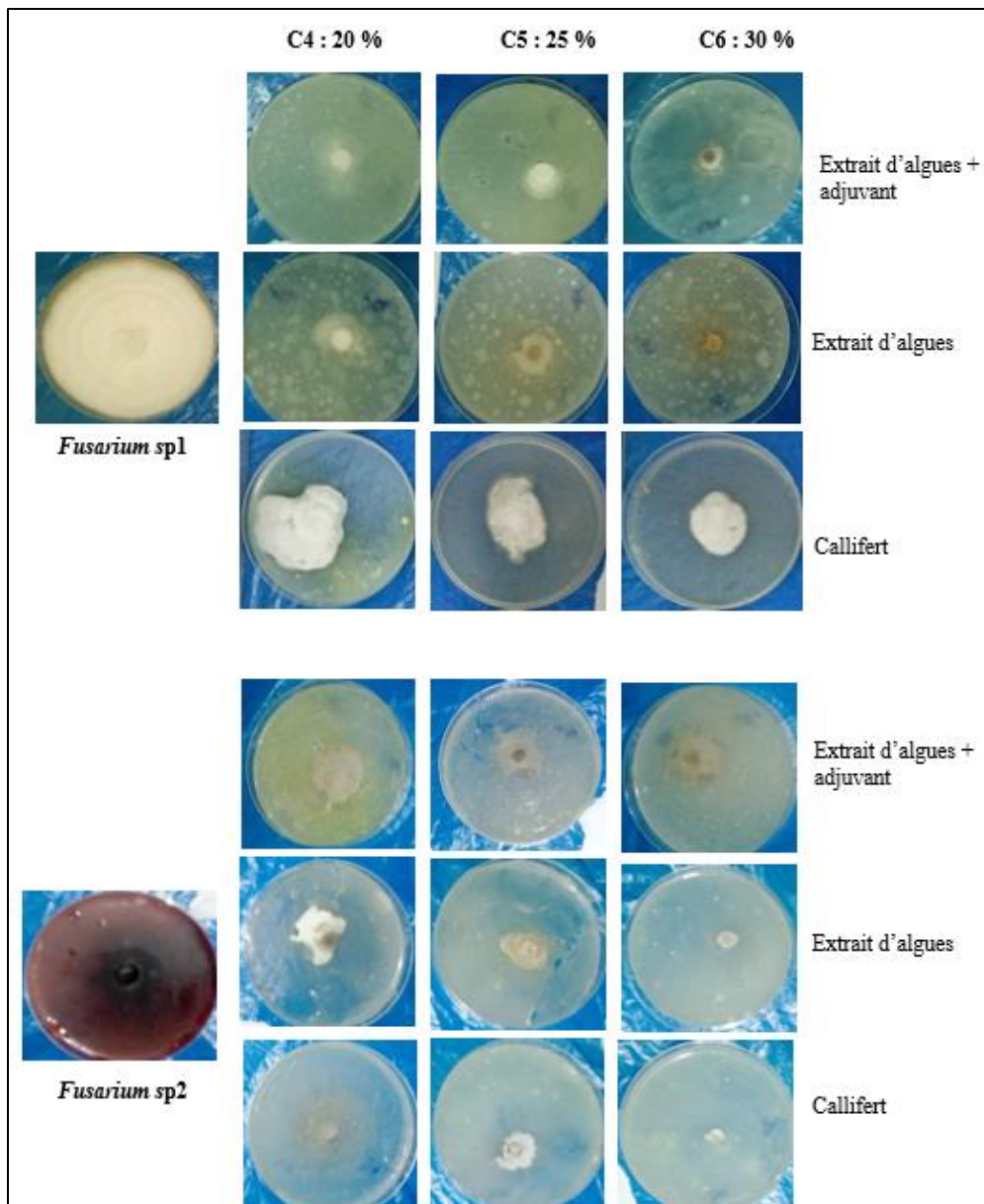


Figure 6. Colonies des deux souches de *Fusarium sp.* sur milieu PDA amendés de différentes concentrations des bio-produits

3.3. Effet antifongique des bio-produits sur la croissance mycélienne des souches de *Fusarium sp.*

La figure 7 présente les taux d'inhibition globaux de la croissance mycélienne des deux souches de *Fusarium sp.* isolées, en fonction des bio-fongicides (ETA d'algues + adjuvant Cawet Max, ETA d'algues et Callifert

spécial maraîchage). Les taux d'inhibition varient significativement en fonction du bio-produit utilisé. En effet, le Callifert spécial maraîchage a induit les plus fortes inhibitions, avec un taux d'environ 85 % pour *Fusarium* sp2 et 75 % pour *Fusarium* sp1. Dans une mesure moindre, suit le mélange ETA d'algues + adjuvant Cawet Max qui a permis un taux d'inhibition de 75 % pour *Fusarium* sp2 et 65 % pour *Fusarium* sp1. L'ETA d'algues simple vient en dernière position, avec les plus faibles taux d'inhibition pour les deux morphotypes (*Fusarium* sp1 et *Fusarium* sp2) du champignon.

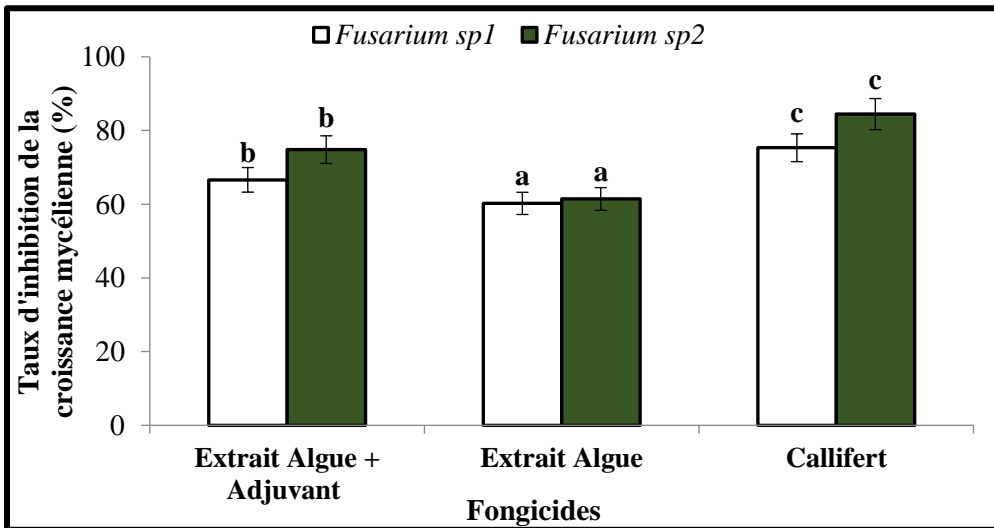


Figure 7. Taux d'inhibition de la croissance mycélienne des deux souches de *Fusarium* sp. en fonction des bio-fongicides

Les barres représentent les moyens \pm les écarts types. Les barres de la même couleur surmontées de la même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls.

4. Discussion

L'échantillonnage et les isollements des pathogènes à partir des organes présentant les symptômes de la fusariose ont mis en évidence deux souches de *Fusarium* sp. Cette situation montre que le champignon *Fusarium* sp est l'agent causal des symptômes observés et le pathogène le plus important de la culture de la tomate dans les champs de la zone prospectée. Ces résultats sont en accord avec ceux de Soro et al. (2008) qui ont rapporté que le genre *Fusarium* fait partie des principales contraintes phytosanitaires de la culture de la tomate en Côte d'Ivoire.

Les études menées au cours de ces travaux ont permis de déterminer l'activité antifongique de différents bio-produits (extraits totaux aqueux

d'algues, adjuvant Cawet, Callifert spécial maraîchage) sur les isolats de *Fusarium* obtenus. Ces bio-produits peuvent être qualifiés de fongicides biologiques (bio-fongicide), car ils ont tous eu des effets inhibiteurs *in vitro* sur la croissance mycélienne des deux souches obtenues de la culture du champignon *Fusarium* sp. Cependant, ces effets varient en fonction de la composition du fongicide et de la concentration utilisée. En effet, l'optimum d'inhibition (100 %) des souches *Fusarium* sp1 et *Fusarium* sp2 est atteint aux concentrations inhibitrices minimales à 20 % ou 200 mg/ml pour le produit Callifert spécial maraîchage et à partir de 300 mg/ml ou 30 % pour le bio-fongicide ETA d'algues + adjuvant Cawet max contrairement au bio-fongicide ETA d'algues qui n'a enregistré un taux d'inhibition de 100 % qu'au premier jour et à la forte concentration de 30 %. En effet, selon certains auteurs, les champignons ne réagissent pas de la même manière vis-à-vis des bio-pesticides (Koffi et al., 2009). Cette situation pourrait expliquer le comportement de *Fusarium* vis-à-vis des différents bio-fongicides utilisés. Cependant, le produit Callifert spécial maraîchage s'est avéré le plus efficace sur cet agent pathogène en diminuant la capacité de production mycélienne. Cette efficacité pourrait être liée à la présence d'azote, de phosphore, de potassium (4-3-12) et d'oligoéléments dans la composition de Callifert spécial maraîchage. Elle peut être également liée à la nature de ce produit, puisqu'il s'agit, selon les informations de sa fiche technique, d'un bio-fertilisant ayant des propriétés antifongiques orientées contre les champignons responsables de la pourriture du collet et le flétrissement des plants de tomate.

L'ETA d'algues + adjuvant Cawet max a donné un taux d'inhibition plus élevé que le produit ETA d'algues. Ce taux d'inhibition élevé serait imputable au fait que le bio-fongicide ETA d'algues + adjuvant Cawet max est amélioré par la présence de l'adjuvant qui permet une meilleure assimilation et pénétration des produits dans les cibles. Ces résultats sont similaires à ceux de N'gandi (2017) qui ont montré l'effet inhibiteur du biostimulant Rhizovital 45 sur la croissance mycélienne de *Fusarium* sp., qui toutefois ne tue pas le pathogène.

Les ETA d'algues ont donné un faible taux d'inhibition par rapport aux autres fongicides. Bien qu'ayant le taux d'inhibition le plus faible, l'action des extraits d'algues est aussi importante. Les extraits d'algues incluent une multitude de composés (hormones, acides aminés, microéléments) qui implique un ensemble complexe de modes d'action pouvant expliquer l'inhibition de la croissance mycélienne de *Fusarium* sp. (Badiane, 2017). *Fusarium* sp2 présente un taux d'inhibition plus élevé que *Fusarium* sp1. Cette différence de taux d'inhibition pourrait s'expliquer par les différences de résistance aux bio-fongicides due aux différences des caractères physiologiques des deux souches de *Fusarium* sp. (Drame, 2004).

Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer la sensibilité de deux souches de *Fusarium* sp. vis-à-vis de trois bio-fongicides à différentes concentrations (50, 100, 150, 200, 250 et 300 mg/ml) sur la croissance mycélienne des colonies obtenues à partir d'explants d'organes de tomates symptomatiques. Il en résulte que la sensibilité du champignon diffère en fonction du type du produit utilisé pour l'inhibition de la croissance mycélienne. Tous les bio-fongicides ont inhibé à plus de 50 % la croissance du pathogène à la concentration de 300 mg/ml ou 30 %. Cependant, le produit Callifert spécial maraîchage et l'ETA d'algues + adjuvant Cawet max se sont avérés très efficaces, avec un taux d'inhibition de 100 % pour les concentrations de 200 et 300 mg/ml, respectivement. Par contre, le bio-fongicide ETA d'algues utilisé seul a été moins efficace, même à la concentration de 30 %. De ce fait, ces bio-fongicides peuvent être testés *in vivo* dans la lutte contre le *Fusarium* afin de confirmer leur efficacité et valoriser, à terme, les algues marines considérées comme une source de désastres socio-économiques et environnementaux.

References:

1. Ahon, M. G., Akapo-Akue, J. M., Kra, M. A., Ackab, J. B., Zirihi, N. G., & Djaman, J. A. (2011). Antifungal activity of the aqueous and hydroalcoholic extracts of *Terminalia superba* Engl. On the *in vitro* growth of isolates of pathogenic fungi. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2(2), 250-257. DOI : <https://dx.doi.org/10.5251/abjna.2011.2.2.250.257>.
2. Angaman, R. K., Orsot, B. M. A. B., Camara, D., Abo, K., & Zirihi, N. G. (2018). Étude ethnobotanique de plantes de la flore du Département d'Abengourou, en Côte d'Ivoire et évaluation *in vitro* de l'activité antifongique d'extraits de *Terminalia superba* Engl. Diels sur deux espèces de champignons, *Aspergillus niger* Van Tieghem et *Fusarium solani* Sacc. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(3), 1208-1224. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i3.11>
3. Assiri, A. A., Yoro, G. R., Deheuvels, O., Kebe, B. I., Keli, Z. J., Adiko, A., & Assa, A. (2009). Les caractéristiques agronomiques des vergers de cacaoyer (*Theobroma cacao* L.) en Côte d'Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2(1), 55-66. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://m.elewa.org/JAPS/2009/2.1/3.pdf&ved=2ahUKEWjg1byGq679AhU-_7sIHYVgA4MQFnoECA4QAQ&usq=A0vVaw0rNjzXcYUUwV3qHQ0i4jcG

4. Bachir, B. S. (2017). Étude in vitro et in vivo du pouvoir pathologique de *Fusarium oxysporum* sur les variétés fixes et hybrides de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mills), faculté : sciences de la nature et de la vie, laboratoire de protection des végétaux de l'université Mostaganem, 84 p.
5. Badiane, B. C. (2017). Évaluation du pouvoir bio stimulant de l'Extrait Total Aqueux (ETA) de *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen (Algue brune) sur les paramètres de croissance de *Arachis hypogaea* L. (Leguminosae). Mémoire de Master, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, 47 p.
6. Barnett, H. L., Barry, B., & Hunter, (1972). Illustrated genera of imperfect fungi, 209 p.
7. Botton, B., Breton, A., Fevre, M., Gauthir, S., Larpent, J. P., Gay, P. H, Reymond, P, Sanglier, J. J., Vayssier, Y., & Veau, P. (1990). *Moisissures Utiles et Nuisible Importance Industrielle* (2nd Edn). Masson : Paris ; Milan; Barcelone; Mexico; 512.
8. Camara, B. (2011). Caractérisation des parasites fongiques foliaires et telluriques en Côte d'Ivoire chez les bananiers (*Musa* sp.) et recherche de méthodes de lutte. Thèse unique de Doctorat, UFR biosciences, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 219 p.
9. Coulibaly, N., & Bly, J. P. (2002). Aperçu de l'agriculture ivoirienne à travers les données de la base de sondage du recensement national de l'agriculture 2001 issue du RGPH 98. Projet GCP / IVC / 025 / EC – FAO – UE, MINAGRA, Côte d'Ivoire, 17 p.
10. De Lannoy, G. (2001). Légumes fruits. *In* : agriculture en Afrique tropicale. Direction générale de la coopération internationale. Ministère des Affaires Etrangères, du Commerce Extérieur et de la coopération Internationale, Bruxelles, Belgique, pp. 503 – 513.
11. Djeugap, J. F., Fontem, D. A., & TaponDjou, A. L. (2011). Efficacité *in vitro* des extraits de plantes contre le mildiou (*Phytophthora infestans*) de la morelle noire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5(6), 2205-2213. DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i6.3>
12. Drame, A. (2004). Pathogénie comparée de *Fusarium oxysporum* f. *sp. vasinfectum* Atk., agent pathogène de la fusariose du gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) au Sénégal. *Agronomie africaine*, 16(2), 33-38.
13. Essomé, S. C., Ngoh, D. J. P., Heu, A., Ndogho, P. A., Ngatsi, Z. P., Chewachong, G. & Ambang, Z. (2020). Évaluation des activités antifongiques des extraits de graines de *Thevetia peruviana* contre *Phytophthora colocasiae* (Oomycètes) agent causal du mildiou du taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) au Cameroun. *Journal of Applied*

- Biosciences*, 151, 15584 – 15597. DOI : <https://doi.org/10.35759/JABs.151.7>
14. FAOStat (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL> (consulté, le 20/03/2023).
 15. Fondio, L., N'zi, J.-C., & Kobenan, K. (2015). Comportement agronomique et sanitaire de nouvelles lignées de piment (*Capsicum* sp.) dans le Sud de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 92, 8594 – 8609. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v92i1.4>
 16. Ildefonse, N. (1995). Agriculture vivrière Ouest - africaine à travers le cas de la Côte d'Ivoire. Cultures légumières, Institut des Savanes, Abidjan, Côte d'Ivoire, pp. 249 – 258.
 17. Koffi, C. N. B., Diallo, H. A., & Kouadio, Y. J. (2009). Évaluation in vitro de la sensibilité de *Phythium aphanideramatum* aux fongicides utilisés dans les plantations de papayers en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(5), 1114-1123, DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs/v3i5.51089>
 18. Munro, B. & Small, E. (1997). Les légumes du Canada. Ed. Val. Morin, Québec, Canada, 436 p.
 19. N'gandi, D. F. (2017). Évaluation de l'impact du biostimulant Rhizovital FZB45 sur la capacité de résistance de la tomate aux champignons phytopathogènes du sol : Cas du *Sclerotium rolfsii* et du *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Mémoire de fin d'études, pour l'obtention du Diplôme d'Agronomie Approfondie (D.A.A). Option : Défense des cultures, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 80 p.
 20. Nmichi, A., El kholfy, S., Ouabbou, A., Outcoumit, A., El-assfour, A., Ouazzani, A., Touhami, A., Benkirane, R., Belahbib, N., & Douira A. (2014). Première récolte de deux espèces fongiques du genre *Polyporus* nouvellement récoltées au Maroc : *Polyporus arcularius* Batsch : Fr. et *Polyporus meridionalis* (A. David) Jahn. *Agronomie Africaine*, 26(3), 1-7.
 21. Ouattara, A., Kpan, W. B., Ouattara, D., Koné, M. W., & Komoé, K. (2021). The acute toxicity of *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen and *Sargassum natans* (Børgesen) Børgesen on some rats of wistar stock. *Journal of animal & plant sciences*, 47(3), 8542-8551. DOI : <https://doi.org/10.35759/AnmPISci.v47-3.5>
 22. Soro, S., Doumbia, M., Dao, D., Tschannen, A., & Girardin, O. (2007). Performance de six cultivars de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. contre la jaunisse en cuillère des feuilles, le flétrissement bactérien et les nématodes à galles. *Science & Nature*, 4(2), 123-130.
 23. Soro, S., Diallo, A. H., Doumbia, M., Dao, D., & Tano, Y. (2010). Inventaire des insectes de l'igname (*Dioscorea* spp.) : cas de Bouaké

- et Toumodi (Côte d'Ivoire). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 6(3), 715-723.
<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.m.elewa.org/JAPS/2010/6.3/8.pdf&ved=2ahUKEwj3dr6p679AhWAhf0HHUpwAZgQFnoECAkQAQ&usg=AOvVaw3wzlwdtZZZGtUS3hsPa4Tu>.
24. Soro, S., Doumbouya, M., & Koné, D. (2008). Potentiel Infectieux des Sols de Cultures de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Sous Abri et Incidence de l'Âge de Repiquage sur la Vigueur des Plants vis-à-vis de *Pythium* sp. Songon-Dabou en Côte d'Ivoire. *Tropicultura*, 26(3), 173-178. <https://studylibfr.com/doc/4043724/potentiel-infectieux-des-sols-de-cultures-de-tomate>.
25. Zirihi, G. N., Kra, A. K. M., & Guédé-Guina, F. (2003). Évaluation de l'activité antifongique de *Microglossa pyrifolia* (Lam) O. Ktze (Asteraceae) « PYMI » sur la croissance *in vitro* de *Candida albicans*. *Revue Médicale et Pharmacie Africaine*, 17, 1-19.