



HAL
open science

Contrôle des principaux insectes ravageurs de la tomate à Mayotte par l'utilisation de kaolin

Roukaya Youssouf

► **To cite this version:**

Roukaya Youssouf. Contrôle des principaux insectes ravageurs de la tomate à Mayotte par l'utilisation de kaolin. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-02961829

HAL Id: dumas-02961829

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02961829>

Submitted on 8 Oct 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

Année universitaire : 2019-2020
Spécialité/Mention : Horticulture
Spécialisation/Parcours :
Protection des Plantes et de
l'Environnement en Horticulture (PPE-H)

Mémoire de fin d'études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Contrôle des principaux insectes ravageurs de la tomate à Mayotte par l'utilisation de kaolin

Par : Roukaya YOUSOUF



Neoceratitis cyanescens (Roukaya Youssouf, 2020)

Soutenu à ANGERS le 24 Septembre 2020

Devant le jury composé de :

Président : LE CLERC Valérie

Autres membres du jury : PRISCA Pierre

Maître de stage : RYCKEWAERT Philippe

Enseignant référent : JALOUX Bruno

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

REMERCIEMENTS

Ce travail de dernière année de Master est le fruit d'un travail de plusieurs mois, qui n'aurait pas été possible sans les personnes qui m'ont aidé et soutenu. Je souhaite donc leur adresser tous mes remerciements.

Tout d'abord, je tiens à remercier vivement mon maître de stage **Philippe Ryckewaert**, ma co-encadrante **Pauline Duval** ainsi que le reste de l'équipe de l'antenne du Cirad de Mayotte, **Manocitra Breme**, **Fatima Saindou**, **Tim Dupin**, **Emeline Rébert** et **Driss Ezzine De Blas**, pour m'avoir accueilli au sein de cette structure et ainsi m'avoir permis de réaliser mon stage de fin d'études. Je les remercie aussi pour leur soutien et leurs conseils qui m'ont permis de faire avancer mon stage même dans les conditions quelque peu difficiles rencontrées cette année. Je tiens en particulier à remercier **Philippe Ryckewaert** et **Pauline Duval**, pour tout ce qu'ils ont pu m'apprendre durant le temps passé avec eux, de la mise en place d'un essai expérimental, à la reconnaissance de ravageurs et d'auxiliaires, ainsi que la mise en place d'un élevage d'insectes. Je souhaite d'ailleurs témoigner ma reconnaissance à Philippe pour ce dernier point, car il a fait grandir en moi un intérêt pour les insectes. Je remercie aussi l'ensemble de l'équipe du Cirad de Mayotte pour les bons moments passés ensemble que je n'oublierai pas.

Je souhaite ensuite remercier tous les agents et les équipes de la DRTM de Dembeni chez qui j'ai effectué mon essai et avec qui j'ai passé des moments agréables lors de mes pauses. Je souhaite aussi témoigner ma reconnaissance à **Bryce Bouvard**, **Juliette Soulezelle** et **Pierrot Lionel Yemadje**, qui m'ont aidé à mettre en place l'essai malgré les conditions difficiles et m'ont mis en contact avec des producteurs chez qui j'ai pu effectuer mes observations. Je remercie donc aussi **Ouirdane**, **Mohamed**, **Alaoui** et **Kamal**, de m'avoir laissé sillonner leur champ de tomate à la recherche de ravageurs, et de m'avoir laissé ramasser des fruits piqués afin d'alimenter mon élevage d'insectes.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble de l'équipe de la spécialité PPE-H, enseignants et camarades, qui m'ont soutenu et conseillé et sans qui je n'aurais pas les bases de connaissances pour mener à bien ce stage.

Enfin, je remercie grandement tous mes proches, famille et amis, pour tout le soutien et les conseils qu'ils m'ont apportés de loin ou de près. A vous qui avez passés des heures à m'écouter parler de mes tomates et de mes insectes, à m'écouter me plaindre dans les moments difficiles ou stressant, à m'écouter me réjouir quand un problème était résolu, je vous témoigne ma profonde gratitude et ma reconnaissance.

Marahaba niengui ! (Merci beaucoup)

TABLE DES MATIERES

Table des Illustrations	
Table des Tableaux	
Table des Annexes	
Introduction	1
A- Contexte	1
1- L'agriculture mahoraise et ses enjeux	1
2- La culture de tomate à Mayotte	2
B- La mouche de la tomate, <i>Neoceratitis cyanescens</i> (Bezzi, 1923)	2
1- <i>Neoceratitis cyanescens</i> une mouche des fruits nuisible à Mayotte	2
2- Répartition géographique	3
3- Gamme d'hôtes	3
4- Biologie et écologie	3
5- Moyens de lutte et méthodes de suivi des populations	5
C- Une stratégie de lutte utilisant le kaolin	7
1- La technologie des films à particules	7
2- L'argile blanche	8
3- Mode d'action du kaolin dans la gestion des insectes ravageurs	8
4- La gestion des ravageurs de la tomate avec le kaolin	9
5- Les facteurs d'efficacité de la lutte avec le kaolin	9
D- Cadre institutionnel de l'étude, objectif et mes mission	10
Matériel et méthodes	11
A- Site expérimental et condition de l'essai	11
B- Matériel végétal utilisé	11
C- Facteurs étudiés et dispositif expérimental	11
D- Application des traitements et paramétrage de l'atomiseur	12
1- Application et positionnement des traitements	12
2- Paramétrage de l'atomiseur	12
E- Mesure des dégâts sur fruits	12
F- Détection et surveillance des populations	13
G- Analyse des résultats	14
1- Paramétrage de l'atomiseur	14
2- Mesure des dégâts sur fruits	14
Résultats	15
A- Paramétrage de l'atomiseur	15
B- Influence du kaolin sur les dégâts sur tomate	16
Discussion	17
A- Influence du kaolin sur les dégâts de <i>Neoceratitis cyanescens</i> sur tomate	17
B- Influence du kaolin sur les dégâts d' <i>Helicoverpa armigera</i> et <i>Tuta absoluta</i>	18
C- Paramétrage de l'atomiseur	19
Conclusion	20
Bibliographie et Sitographie.....	21

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Occupation des sols par les différentes cultures. Le cercle noir délimite la zone centre de l'île. Source : DAAF Mayotte, Recensement agricole de 2010.

Figure 2 : Répartition des exploitations selon les surfaces cultivées. Source : DAAF Mayotte, Recensement agricole de 2010.

Figure 3 : Répartition de la SAU occupée par les différentes cultures. Source : DAAF Mayotte, Recensement agricole de 2010.

Figure 4 : A. Photo d'une tomate piquée par *N. cyanescens*. Source : Youssef ; B. Photo d'une tomate piquée par *N. cyanescens* commençant à pourrir. Source : Blancard.

Figure 5 : Planche de photo de *Neoceratitis cyanescens*. Source : Franck et al. 2018.

Figure 6 : Photo des différents stades de développement de l'œuf à l'adulte émergeant. Source : Photo Franck in Brevault, 1999.

Figure 7 : Cycle biologique de la mouche des tomates *Neoceratitis cyanescens*. Source : Youssef d'après Orian et Moutia, 1960 ; Brévault, 1999 Quilici, 2004 ; Ryckewaert et Rhino, 2017.

Figure 8 : Mécanisme de localisation de la plante hôte chez *Neoceratitis cyanescens*. Source : Youssef d'après Brevault et Quilici, 1999 ; Quilici, 2004 ; Brevault et Quilici, 2010 ; Ryckewaert et al., 2010.

Figure 9 : Couche de kaolin (Surround®) sur une feuille de pommier vu au microscope électronique à balayage. Source : Glenn et Puterka, 2005.

Figure 10 : Dispositif expérimental de l'essai Kaolin 2020.

Figure 11 : Photo du dispositif expérimentale de l'essai Kaolin 2020. Source : Youssef.

Figure 12 : Photo de l'atomiseur SR 430 du fabricant STIHL. Source : Youssef.

Figure 13 : Photo du pulvérisateur à dos de 16 L du Fabricant Inter. Source : Youssef.

Figure 14 : Plant de tomate avec deux papiers hydrosensibles agrafés sur les feuilles (indiqués par les flèches noires). Source : Youssef.

Figure 15 : Photo d'un piège à phéromone de type delta pour *Tuta absoluta*. Source : Youssef.

Figure 16 : Photo d'un piège à phéromones de type Funnel pour *Helicoverpa armigera*. Source : Youssef.

Figure 17 : Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau au pulvérisateur manuel ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite).

Figure 18 : Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau à l'atomiseur ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite).

Paramètres : grille à jet large ; débit de 0.17 l/min ; accélération 1/3 de la course de la gâchette ; 1 côté pulvérisé.

Figure 19 : Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau à l'atomiseur ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite). Paramètres : grille déviation 45° ; débit de 0.17 l/min ; accélération 1/3 de la course de la gâchette ; 1 côté pulvérisé.

Figure 20 : Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau à l'atomiseur ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite). Paramètres : débit de 0.76 l/min, grille à jet large ; accélération 1/3 de la course de la gâchette ; 1 côté pulvérisé.

Figure 21 : Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau à l'atomiseur ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite). Paramètres : débit de 0.17 l/min ; grille à jet large ; accélération 2/3 de la course de la gâchette ; 1 côté pulvérisé.

Figure 22 : Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau à l'atomiseur ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite). Paramètres : débit de 0.17 l/min ; grille à jet large ; accélération de 1/3 de la course de la gâchette ; 2 côtés pulvérisés.

Figure 23 : Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau à l'atomiseur ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite). Paramètres : débit de 0.17 l/min ; grille à jet large ; accélération de 2/3 de la course de la gâchette ; 2 côtés pulvérisés.

Figure 24 : Histogramme de l'ensemble de la production de tomate récoltés par modalités tout au long de l'essai.

Figure 25 : Représentation graphique de l'Anova avec un test de Chi² suivi d'un test post-hoc de Tukey, sur la variable NC_piqué. Les lettres indique une différence significative lorsqu'elles sont différentes.

Figure 26 : Totalité des pesées à la récolte sur l'ensemble des planches, soit sur une surface de 48 m² pour chaque modalité, pour l'essai plein champ en saison sèche de 2019. Source : Duval et al., 2020.

Figure 27 : Photo du piège Funnel à phéromone pour la capture d'adulte d'*Helicoverpa armigera*. Source : Youssouf.

Figure 28 : (à droite) Photo d'*Helicoverpa armigera* sortant de sa galerie sur tomate ; (à gauche) Photo d'une mine et d'une galerie de *Tuta absoluta* sur tomate. Source : Youssouf.

Figure 29 : A. Photo de tomates pulvérisées avec du kaolin au pulvérisateur. Source : Duval ; B. et C. Photos de tomates pulvérisées au kaolin avec l'atomiseur. Source : Youssouf.

Figure 30 : A. Photo de feuilles de manguier pulvérisées avec du kaolin à l'atomiseur ; B. Photos de *N. cyanescens* sur une tomate pulvérisée au kaolin avec l'atomiseur. Source : Youssouf.

TABLES DES TABLEAUX

Tableau 1 : Pourcentage de présence des cultures dans les exploitations sondées lors du recensement agricole de 2010 et de l'enquête SISE/DAAF de 2015. Source : SISE/DAAF Mayotte, 2015.

Tableau 2 : Constitution du panier (kanga) de la ménagère mahoraise (10kg). Source : SISE/DAAF Mayotte, 2019.

Tableau 3 : Liste des méthodes alternatives à la lutte chimique existantes pour les mouches des fruits et intéressantes pour la gestion de *Neoceratitis cyanescens*.

Tableau 4 : Liste des ordres d'insectes sur lesquels des effets du kaolin ont été observés.

Tableau 5 : Produits à base de kaolin autorisés sur le marché (à partir des données Ephy). Source : Duval et al., 2020.

Tableau 6 : Présentation des actions (Work packages) du projet INNOVEG et des différents acteurs impliqués. Source : David-Mougel, 2017.

Tableau 7: Informations et applications des différents traitements de l'essai Kaolin 2020.

Tableau 8 : Echelle de notation des papiers hydrosensibles. Source : Ballouhey et Colombier, 2015 ; RAP, 2020 ; Chambre d'agriculture de Seine-et-Marne, S.D.

Tableau 9 : Comparaison statistique du nombre et du poids de tomates par modalité. La différence de lettre signifie qu'il y a une différence significative entre les modalités.

Tableau 10 : Comparaison statistique du nombre de fruits non commercialisables non piqués par modalité. La différence de lettre signifie qu'il y a une différence significative entre les modalités.

Tableau 11 : Comparaison multiple des variables, Poids Total de fruits récoltés (PT) et poids total de fruits non commercialisable. La différence de lettre signifie qu'il y a une différence significative entre les modalités.

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE I : Localisation géographique de Mayotte

ANNEXE II : Liste des plantes hôtes de *Neoceratitis cyanescens*

ANNEXE III : Enregistrement Tinytag

ANNEXE IV : Suivi agronomique et d'observation de l'essai

ANNEXE V : Paramètres testés lors du paramétrage de l'atomiseur

ANNEXE VI : Variables mesurées pendant les récoltes

ANNEXE VII : Scripte R de l'analyse statistique

ANNEXE VIII : Résultats complémentaires de l'essai

Introduction

A- Contexte

L'île de Mayotte est une île volcanique située au Nord du canal du Mozambique dans l'Océan Indien (Annexe I). Du fait de sa position géographique, l'île est soumise à un climat de type tropical chaud humide et maritime avec de faibles variations annuelles. On y distingue deux saisons, l'une chaude et pluvieuse de décembre à mars (saison des pluies), l'autre beaucoup plus sèche de juin à septembre (saison sèche) [1]. Cette île, autrefois une collectivité départementale [2], a acquis depuis peu, deux nouveaux statuts faisant de Mayotte un territoire en pleine mutation (Huat, 2008). Il s'agit du statut de département français, obtenu en 2011 et celui de Région Ultra Périphérique obtenu en 2014 (lui permettant d'intégrer l'Union Européenne). Ces changements de statuts impliquent de nombreuses évolutions institutionnelles et sociales (Huat, 2008). Le secteur agricole n'y échappe pas : l'agriculture mahoraise est dorénavant soumise aux nouvelles normes environnementales et sanitaires européennes (SISE/DAAF Mayotte, 2016b), en plus des nombreux enjeux auxquels elle doit faire face.

1- L'agriculture mahoraise et ses enjeux

L'agriculture est une activité prédominante à Mayotte, elle concerne près d'un tiers de la population mahoraise. Mais seulement 48% des chefs d'exploitation sont agriculteurs à titre principal (SISE/DAAF Mayotte, 2011). Elle est majoritairement concentrée dans le centre de l'île (Figure 1), du fait de bonnes conditions pédoclimatiques et de la proximité avec le chef-lieu (Mamoudzou) (SISE/DAAF Mayotte, 2011). L'agriculture mahoraise est caractérisée par une majorité de très petites exploitations agricoles familiales (Deffontaines, 2013). En moyenne la taille des exploitations est de 0,45 ha et près de la moitié des exploitations cultivent moins de 0,25 ha (Figure 2) (SISE/DAAF Mayotte, 2011). Le modèle traditionnel de l'exploitation agricole est « le jardin mahorais ». Ce système de production est caractérisé par une diversité de production en agroforesterie et un objectif d'autoconsommation (Deffontaines, 2013). Il permet ainsi d'autoalimenter en fruits et légumes frais (ananas, embrevade, manioc, banane, jacquier, etc...) les 15 700 familles qui ont une activité agricole, à hauteur de 80% de leurs besoins (SISE/DAAF Mayotte, 2011 ; 2016b). Ce modèle de production est omniprésent à Mayotte (Figure 3), il occupe plus de 90% des surfaces cultivées (SISE/DAAF Mayotte, 2011 ; 2016b). Cependant, l'agriculture mahoraise doit faire face à de nombreux défis : une forte croissance démographique (3,8% par an en moyenne (Champion et al., 2019)) ; une pression foncière importante [3] ; un épuisement des sols dû à un manque de fertilisation et à l'érosion (SISE/DAAF Mayotte, 2016b)) ; et enfin une dominance du circuit informel¹ de vente, aboutissant à une faible présence des productions végétales dans les circuits de commercialisation officiels (d'où des ruptures de stock en période de forte demande) (SISE/DAAF Mayotte, 2017). Par ailleurs, la population souhaite des produits alimentaires accessibles et pour la classe aisée émergente, le souhait grandissant d'une offre alimentaire diversifiée répondant à leurs exigences environnementales, sanitaires et gustatives (SISE/DAAF Mayotte, 2017).

¹ Selon le Bureau International du Travail, le secteur informel est défini comme l'ensemble des entreprises individuelles non agricoles et non enregistrées, qui produisent des biens et des services pour le marché (Roubaud, 2014). Ici, le terme désigne les vendeurs ambulants.

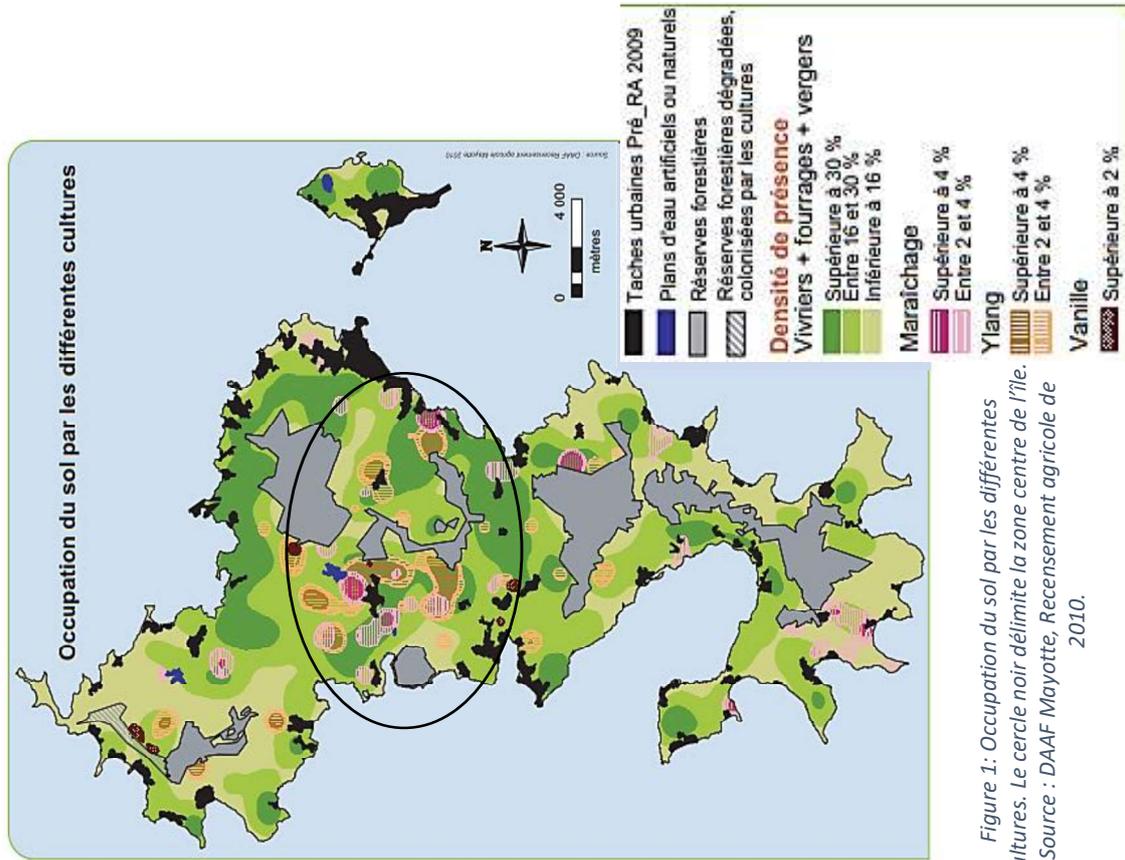


Figure 1: Occupation du sol par les différentes cultures. Le cercle noir délimite la zone centre de l'île.
Source : DAAF Mayotte, Recensement agricole de 2010.

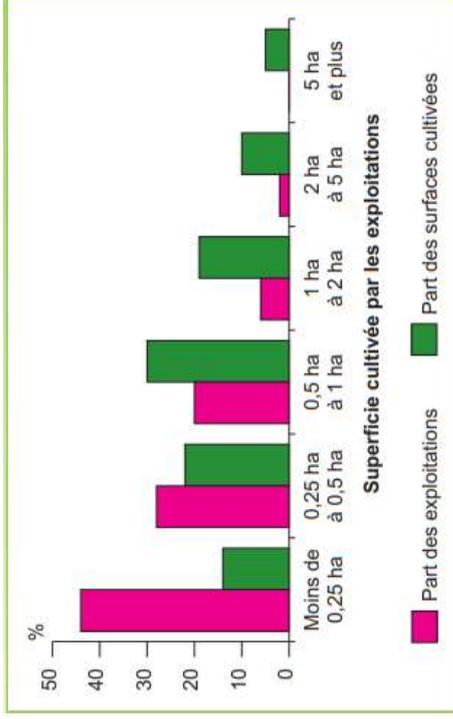


Figure 2: Répartition des exploitations selon les surfaces cultivées. Source : DAAF Mayotte, Recensement agricole de 2010.

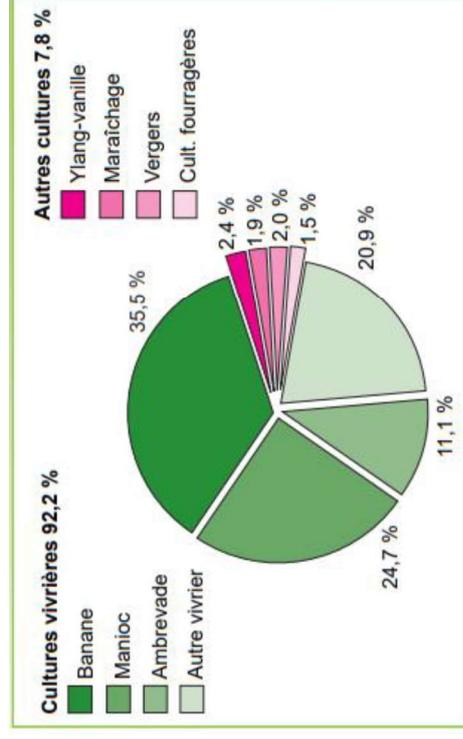


Figure 3: Répartition de la SAU occupée par les différentes cultures.
Source : DAAF Mayotte, Recensement agricole de 2010.

2- La culture de tomate à Mayotte

Ainsi, pour répondre aux enjeux de l'agriculture mahoraise, le maraîchage est présenté comme un atout (Vanhuffel et Huat, 2019). En effet, la production maraîchère qui n'occupait qu'une faible part des exploitations lors du recensement agricole de 2010, est en augmentation (Tableau 1), en réponse, notamment, à la grève contre la vie chère de 2011, ainsi que pour augmenter l'autonomie alimentaire de l'île (Aubert et al., 2019). De plus, les légumes font largement partis de l'alimentation mahoraise, ils représentent 7 kg sur les 10 kg de produits composant le panier de la ménagère (Tableau 2) (SISE/DAAF Mayotte, 2019). La principale culture maraîchère à Mayotte est la tomate, 1000 à 1200 tonnes sont produites annuellement (Huat, 2008 ; SISE/DAAF Mayotte, 2016c). Elle est conduite majoritairement en plein champ (93%) pendant la saison sèche (Huat et al., 2013 ; SISE/DAAF Mayotte, 2016c ; Aubert et al., 2019). En effet, en saison des pluies, les fortes températures et intensité des pluies (80% de la pluviométrie annuelle) ainsi qu'une humidité de l'air élevé (supérieur à 85%), sont favorable à une importante pression en bioagresseurs (Vanhuffel et Huat, 2019). La culture de tomate est présente dans 44% des exploitations, ce qui représente 58 ha dans 522 exploitations. De plus, 44% des tomates consommées sont produites localement (SISE/DAAF Mayotte, 2016c). C'est une culture spéculative (le prix au kilogramme peut plus que doubler en saison des pluies) à forte valeur ajoutée (Huat, 2008). Néanmoins, la production de tomate plein champ reste encore fragile. Les rendements sont 8 fois inférieurs à ceux de la métropole, soit 1,7 kg/m² à Mayotte contre 13kg/m² en métropole (SISE/DAAF Mayotte, 2016c). La première cause de cette variabilité des rendements sont, les pertes engendrées par les bioagresseurs (Huat et al., 2013). Les principaux ravageurs de la tomate à Mayotte sont la mouche des fruits, *Neoceratitis cyanescens*, et la noctuelle *Helicoverpa armigera* (présent de façon plus secondaire (com. pers. Bryce Bouvard et Juliette Soulezelle)). Un autre ravageur important de la tomate est présent depuis quelques années sur l'île, la chenille mineuse *Tuta absoluta*, mais il ne semble être problématique qu'en fin de cycle et sur de grandes parcelles de tomates (com. pers. Bryce Bouvard et Juliette Soulezelle).

B- La mouche de la tomate, *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi, 1923)

1- *Neoceratitis cyanescens* une mouche des fruits nuisible à Mayotte

La famille des Tephritidae, comprend ce qui est communément appelé « mouches des fruits ». Ces mouches font parties des ravageurs les plus important des cultures maraîchères et fruitières (Brevault, 1999). Au moins cinq mouches des fruits et des légumes sont présentes sur le territoire mahorais, issues pour la majorité d'introductions. Elles appartiennent aux tribus des Dacini et Ceratitini. Il s'agit de *Ceratitis capitata* et *Bactrocera dorsalis*, présentes sur cultures fruitières et présentant une large gamme d'hôtes (Mérot, Abdoul-Karime, 2011 ; CAPAM, 2016 ; Doorenweerd et al., 2018) [4]. *Dacus ciliatus*, *Dacus etiennelus* (espèce endémique de l'archipel des Comores qui reste encore méconnue (Meyer et al., 2012; White, 2006 cité par CAPAM, 2016)) et *Neoceratitis cyanescens*, sont présentes sur cultures légumières (Franck et al., 2018) [5].

Tableau 1: Pourcentage de présence des cultures dans les exploitations sondées lors du recensement agricole de 2010 et de l'enquête SISE/DAAF de 2015. Source : SISE/DAAF Mayotte, 2015.

Cultures	% des 15000 enquêtés au RA 2010	% des 600 enquêtés 2015
Banane verte et dessert	93,7%	85,5%
Manioc	86,1%	65,6%
Agrumes	52,2%	53,5%
Manguiers	67,2%	53,4%
Cocotiers	69,9%	47,8%
Ananas	28,5%	36,7%
Anones	24,9%	24,9%
Maïs	21,8%	16,4%
Goyaves	20,5%	15,5%
Taro et patate douce	22,4%	14,9%
Avocatiers	10,7%	13,4%
Letchis	10,3%	13,3%
Piment	6,3%	10,9%
Concombre, courgette, potiron	1,8%	9,7%
Aubergine	3,4%	8,2%
Salade	2,8%	7,3%
Tomate	3,5%	6,3%

Tableau 2: Constitution du panier (kanga) de la ménagère mahoraise (10kg). Source : SISE/DAAF Mayotte, 2019.

FRUITS (2 kg)	LEGUMES (7 kg)	CONDIMENTS (1 kg)
• Ananas = 400 g	• Aubergine = 400 g	• Ail = 100 g
• Banane dessert = 400 g	• Banane verte = 1,5 kg	• Oignon = 200 g
• Cocos = 400 g	• Mafanes = 1 kg	• Piment = 200 g
• Papaye = 400 g	• Morelles = 1 kg	• Purée de piment = 200 g
• Mangues = 400 g	• Concombre = 300 g	• Achards = 200 g
	• Manioc = 1,5 kg	• Jus de citron = 100 g
	• Fruit à pain = 200 g	
	• Salade = 500 g	
	• Tomate = 600 g	

Neoceratitis cyanescens est le principal ravageur de la tomate à Mayotte (Huat et al., 2013). Elle peut provoquer jusqu'à la perte totale de la récolte (Aubert et al., 2019). En effet, les femelles pondent leurs œufs sous l'épiderme des fruits, rendant ce dernier impropre à la commercialisation. Une ponctuation plus ou moins décolorée correspondant aux piqûres, est en générale visible sur le fruit (Figure 4) [6]. De plus, les larves se nourrissent de la chair pour se développer, causant ainsi, avec le cortège de ravageurs secondaire dû à la piqûre du fruit, un pourrissement avancé de ce dernier (Quilici, 2004) (Figure 4).

2- Répartition géographique

Neoceratitis cyanescens est originaire de Madagascar où elle ne causerait que peu voire pas de dégâts (comm. pers Philippe Ryckewaert). Elle a ensuite été introduite dans les autres îles du sud-ouest de l'océan Indien. En effet elle est mentionnée en 1951 à La Réunion et en 1958 à Maurice (Orlan et Moutia, 1960 ; Franck et al., 2018). Elle a été signalée à la Grande Comore en 1982, puis 10 ans plus tard à Mayotte, lors de missions d'expertise de Dominique Bordat. Elle était cependant, probablement présente sur ces territoires bien avant leur signalement par Bordat D. (CABI et OEPP, [sans date] ; Ryckewaert et al., 2010). La mouche de la tomate est donc uniquement retrouvée dans cette zone [7].

3- Gamme d'hôtes

La mouche de la tomate est inféodée aux Solanacées. C'est une espèce oligophage dont le spectre d'hôtes assez étroit comprend des Solanacées cultivées, sauvages ou subspontanées. Son hôte principal est cependant la tomate, *Solanum lycopersicum* (encore appelé *Lycopersicon esculentum*) (Franck et al., 2018) [6]. On lui connaît 13 plantes hôtes dont une majorité est présente sur le territoire mahorais (Annexe II). La distribution de ces plantes sur l'ensemble de l'île, offre des conditions favorables au maintien de la mouche de la tomate dans l'environnement, hors saison de culture de la tomate.

4- Biologie et écologie

a- *Identification et cycle biologique*

La mouche de la tomate est facilement identifiable, les adultes sont de petite taille, environ 5 mm, ils ont des ailes zébrées, le scutellum entièrement noire dans la partie apicale et l'abdomen rougeâtre (Figure 6). Les œufs blancs sont allongés et longs d'environ 1 mm. Les larves sont de couleurs blanc-jaunâtre (Figure 5). Elles atteignent au maximum 5 mm de long. Les pupes quant à elles, ont la forme d'un tonnelet et sont de couleur brune (Figure 5) (Brevault, 1999 ; Ryckewaert et Rhino, 2017).



Figure 4: A. Photo d'une tomate piquée par *N. cyanescens*. Source : Youssouf ; B. Photo d'une tomate piquée par *N. cyanescens* commençant à pourrir. Source : Blancard.

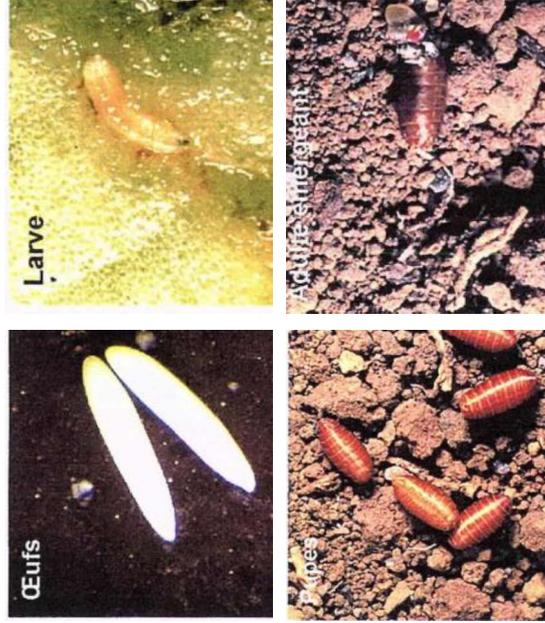


Figure 5: Photo des différents stades de développement de l'œuf à l'adulte émergeant. Source : Photo Franck in Brevault, 1999.



Figure 6: Planche de photo de *Neoceratitits cyanescens*.

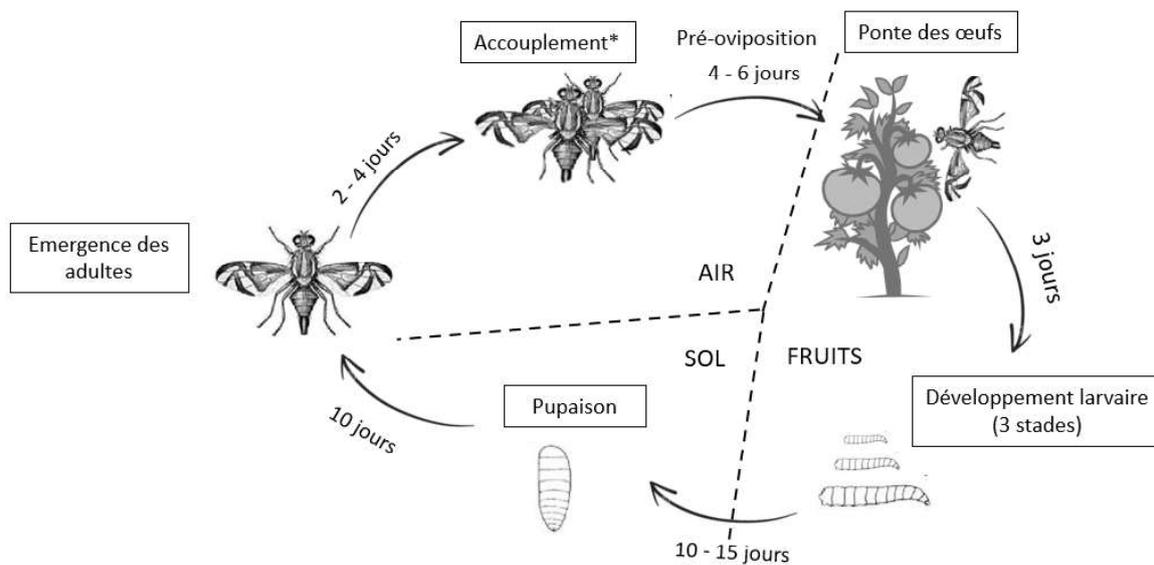
Source : Franck et al. 2018

(a. mâle en vue latérale ; b. femelle en vue latérale ; c. abdomen du mâle en vue dorsale ; d. abdomen de la femelle en vue dorsale ; e. thorax et scutellum en vue dorsale ; f. aile ; g. tête du mâle en vue latérale ; h. tête de la femelle en vue latérale ; i. tête du mâle en vue frontale.)

Neoceratitis cyanescens est une espèce multivoltine. Son cycle biologique dure 21 à 31 jours (Orlan et Moutia, 1960) (Figure 7). Peu de temps après l'émergence des adultes a lieu l'accouplement des mouches qui se déroule principalement la matinée sur des plantes non hôtes (Brevault, 1999). Il prend fin en début d'après-midi, et les femelles se dirigent alors vers les plantes hôtes à la recherche d'un site de ponte. Elles pondent sous l'épiderme des fruits grâce à leur ovipositeur. Le nombre de piqûres peut varier de 2 à 12 par fruit (Orlan et Moutia, 1960). Les femelles peuvent pondre dans une piqûre qu'elles n'ont pas faites car il n'y a pas de marquage de ponte (Quilici, 2004). Ce qui peut entraîner une compétition larvaire. Celle-ci s'opère sur une gamme de densité étroite, au-dessus de laquelle la mortalité est forte (Brevault, 1999). En fin d'après-midi les femelles retournent sur les plantes non hôtes, qui leur servent de site de repos (Brevault, 1999). Sur ces plantes se retrouvent aussi le plus souvent les mâles et les femelles immatures qui s'y reposent ou s'y accouplent (Brevault, 1999 ; Ryckewaert et al., 2010). Ainsi, les activités liées à la reproduction (accouplement et ponte) sont très organisées dans le temps et l'espace. L'organisation des activités, très forte chez cette espèce, dépend néanmoins, des conditions climatiques, de la présence des mâles ainsi que de la proximité de la ressource et de la difficulté à la localiser (Quilici, 2004). Une fois la ponte effectuée, les œufs éclosent 3 jours après et les larves se développent dans les fruits pendant 10 à 15 jours. Les asticots passent par 3 stades larvaires, puis en fin de développement sortent du fruit pour s'enfouir dans le sol (2-4 cm de profondeur) afin d'effectuer leur pupaison pendant 10 jours (Orlan et Moutia, 1960 ; Ryckewaert et Rhino, 2017).

b- Comportement de localisation de la plante hôte

La sélection du végétal-hôte par la femelle pour la ponte conditionne le succès reproducteur de l'espèce. En effet, c'est dans les fruits que les larves vont se développer, la viabilité de la descendance dépend donc des plantes-hôtes choisis par les femelles. Ainsi la capacité de la femelle à localiser puis reconnaître l'hôte est importante, et passe principalement par des stimuli visuels et olfactifs (Quilici, 2004). Des tests comportementaux sur la mouche de la tomate, ont permis de mettre en évidence l'importance des stimuli visuels et olfactifs dans la localisation de la plante hôte. En effet, des préférences pour certains stimuli visuels, ont été mises en évidence, concernant la teinte, l'intensité, la forme et la réflectance du stimulus (Quilici, 2004). Ainsi, la mouche de la tomate est sensible aux couleurs de teinte jaune, et orange (quel que soit le contraste), une réflectance autour de 610nm et aux formes en 3D, notamment la forme sphérique lorsqu'elle est associée à la couleur orange. Quant au stimulus olfactif, il dépend du génotype de la plante et de l'organe considéré (les femelles matures répondent au stimulus olfactif spécifique des fleurs et fruits des plantes-hôtes). Ainsi, les fruits verts de bringellier marron (*Solanum mauritianum*) et les fruits mûrs de tomate déclenchent le vol de la mouche (Brevault et Quilici, 2010). Cependant, les deux types de stimulus n'ont pas la même importance selon le genre, l'état physiologique des mouches, la maturité des femelles et la distance qui les séparent de la plante hôte. En effet, à courte distance la femelle mature détecte les fruits hôtes seulement à l'aide de stimuli visuels (Brevault et Quilici, 2010). Sa réponse est cependant fortement conditionnée par sa charge en œufs, son état nutritif et la nature de l'habitat (Brevault et Quilici, 1999 ; Quilici, 2004). A longue distance, les stimuli visuels seuls sont peu spécifiques, mais leur association à un stimulus olfactif voire le stimulus olfactif seul permet la localisation du fruit hôte (Quilici, 2004 ; Brevault et Quilici, 2010). Ainsi, à distance l'odeur dégagée par les plantes-hôtes est transportée par le vent et guide les femelles jusqu'au végétal hôte par des vols successifs. Une fois proche, les stimuli visuels seuls suffisent pour l'atterrissage sur le fruit (Figure 8) (Ryckewaert et al., 2010).



*Fréquence moyenne d'accouplement élevée (3 ou 4 fois / jour à 25°C)

*Accouplement a lieu en général sur les plantes non-hôtes

Figure 7: Cycle biologique de la mouche des tomates *Neoceratitis cyanescens*. Source : Youssouf d'après Orian et Moutia, 1960; Brévault, 1999 Quilici, 2004; Ryckewaert et Rhino, 2017.

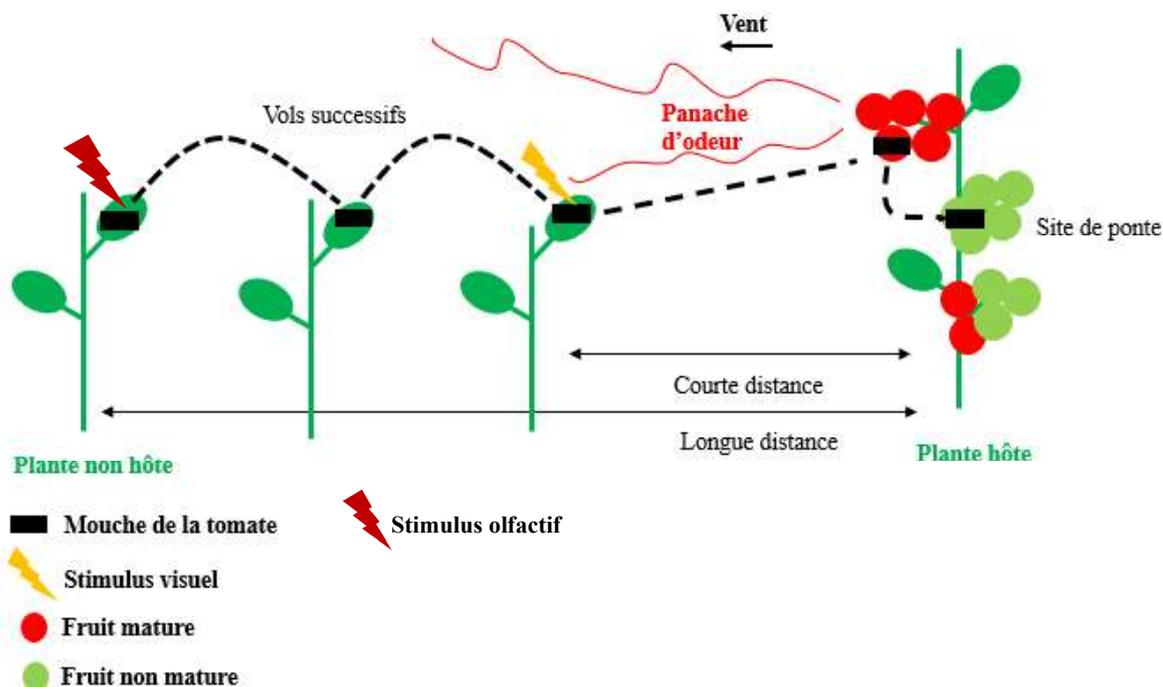


Figure 8: Mécanisme de localisation de la plante hôte chez *Neoceratitis cyanescens*. Source : Youssouf d'après Brevault et Quilici, 1999 ; Quilici, 2004 ; Brevault et Quilici, 2010 ; Ryckewaert et al., 2010.

On observe ainsi deux types de vols impliqués dans les mécanismes d'orientation vers l'hôte : un premier direct et rapide correspond à la réponse à un stimulus visuel (Bursell, 1987; Gibson et Brady, 1988; Gibson et al., 1991; Aluja et Prokopy, 1992, cités par Quilici, 2004), alors que le second plus lent et soutenu, s'effectue dans le panache d'odeurs et impliquerait une réaction optomotrice (Cardé, 1984; Baker, 1985; cité par Quilici, 2004). Une fois que le végétal-hôte est détecté, les femelles doivent ensuite choisir leur site de ponte. Il semblerait alors que les fruits verts soient préférentiellement choisis comme site de ponte, par rapport aux fruits mûrs, bien que l'odeur de ces derniers déclenche le vol de la mouche (Quilici, 2004 ; Ryckewaert et al., 2010). Ainsi, les pontes sur jeunes tomates peuvent commencer assez tôt dans le cycle, soit une dizaine de jours après la floraison. Le taux d'attaques augmente ensuite rapidement pour atteindre son maximum environ 3 semaines après la floraison [6].

Les espèces oligophages multivoltines comme la mouche de la tomate, sont généralement moins mobiles que les espèces polyphages, même si elles peuvent parcourir de longues distances à la recherche d'une plante-hôte.

5- Moyens de lutte et méthodes de suivi des populations

Afin d'agir efficacement, la lutte doit être menée pendant la période du cycle la plus accessible. Il s'agit notamment de la période après l'émergence des adultes (accouplement et pré-oviposition) pour ainsi empêcher la ponte. La sortie des larves du fruit pour la pupaison et la période de pupaison sont des étapes du cycle où l'insecte est relativement inaccessible.

a- La lutte chimique

La lutte s'effectue principalement via des insecticides de contact. A Mayotte une gamme limitée de substance active est utilisée, il s'agit de la deltaméthrine et du lambda-cyhalothrine (SISE/DAAF Mayotte, 2016a ; Aubert et al., 2019). Or, ces derniers ne sont pas spécifiques et ne permettent qu'un contrôle partiel de *Neoceratitis cyanescens* (Aubert et al., 2019). Par ailleurs, l'utilisation des formulations commerciales est intensive et parfois déraisonnée (SISE/DAAF Mayotte, 2016a ; Aubert et al., 2019). En effet, les producteurs mahorais traitent 2 à 3 fois plus souvent que ne l'autorise l'homologation des produits, et le dosage moyen quel que soit la formulation commerciale, est 2 fois supérieur à la dose réglementée (SISE/DAAF Mayotte, 2016a). De plus, des insecticides non autorisés en France, tel que le Diméthoate, peuvent être trouvés chez beaucoup d'agriculteurs (Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, 2017) [8]. Seulement 20% des agriculteurs sont formels² et peuvent se fournir légalement auprès des réseaux de distribution conventionnels (Aubert et al., 2019), ainsi, l'utilisation d'insecticides moins coûteux et interdits est courante. Les règles sanitaires et de sécurité liées à l'utilisation de ces produits ne sont souvent pas respectées (Aubert et al., 2019). Ainsi, la lutte chimique montre des limites, efficacité insuffisante des formulations sur les adultes et conséquences sanitaires et environnementales importantes (Atiama-Nurbel, 2014 ; SISE/DAAF Mayotte, 2016a ; 2016c ; Duval et al., 2020).

Aussi, des méthodes alternatives à la lutte chimique existent et ont été développées et testées pour contrôler les mouches des fruits. Cependant, la majorité de ces techniques montre pour l'instant une efficacité limitée sur *N. cyanescens*. Il s'agit de la prophylaxie, de la lutte physique, de la lutte biotechnique et de la lutte biologique (Tableau 3) (Ryckewaert et al., 2010 ; Atiama-Nurbel, 2014).

² Il s'agit ici des agriculteurs possédant un numéro SIREN

Tableau 3: Liste des méthodes alternative à la lutte chimique existantes pour les mouches des fruits et intéressantes pour la gestion de *Neoceratitis cyanescens*.

Type de méthode	Méthode de lutte	Points forts	Points faibles	Sur <i>N. cyanescens</i> à Mayotte	Références
Prophylaxie	Destruction des sources d'infestations	Diminution de la population jusqu'à 60%	Fonctionne si mesures prises à l'échelle d'un bassin de production donc efficacité limitée pour une parcelle	Peu mis en place par les producteurs	Ryckewaert et al., 2010 ; Franck et al., 2018
Physique	Utilisation d'un filet	Efficace	Coût élevé, gestion de la température et de l'humidité nécessaire, armature à mettre en place	Peu utilisé	Ryckewaert et al., 2010; David-Mougel, 2017; Fleuet, 2018
Biotechnique	Utilisation d'un piège coloré/visuel	Intéressant pour le suivi des populations	Peu sélectif selon la couleur du piège, peu pratique à mettre en place et inefficace pour le piégeage de masse	Pas utilisé	Brevault, 1999 ; Quilici, 2004 ; Brevault et Quilici, 2007; Ryckewaert et al., 2010
	Male Annihilation Technique	Très attractif pour les mâles et spécifique	Peu efficace pour réduire la population à l'échelle d'une parcelle	Pas utilisé car pas de paraphéromones efficace	Ryckewaert et al., 2010
	Bait Application Technique	Attire principalement les femelles	Peu sélectif	Pas utilisé car pas d'attractifs alimentaires efficace	Ryckewaert et al., 2010; Franck et al., 2018
Biologique	Utilisation des ennemis naturels	Spécificité des ennemis naturels	Impact faible sur la population	Pas utilisé	Ryckewaert et al., 2010 ; [6]

b- La prophylaxie

La prophylaxie est peu mise en place par les producteurs de tomates mahorais (Duval et al., 2020). Cette méthode consiste à détruire les sources d'infestations, telles que, les fruits piqués, les résidus de cultures, les plantes hôtes alternatives présentes dans et autour de la parcelle. Mise en place à l'échelle d'un bassin de production, cette mesure permet de réduire considérablement la population de mouche (Ryckewaert et al., 2010 ; Franck et al., 2018). L'utilisation d'un sanitorium, pour récupérer et détruire les fruits piqués est donc recommandé (CAPAM, 2016). Cela consiste en une structure fermée laissée au soleil, dans laquelle on dépose régulièrement les fruits infestés. Ces derniers sont alors stockés, selon les besoins, et tout au long de leur dégradation, les mouches émergeantes restent bloquées dans la structure et finissent par mourir.

c- La lutte physique

La lutte physique consiste à utiliser des filets ou des écrans pour éviter la ponte des œufs par les femelles. Les filets ont déjà été étudiés, testés et mis en place à Mayotte pour la mouche de la tomate (David-Mougel, 2017 ; Fleuet, 2018). Malgré son efficacité contre la mouche de la tomate, cette méthode est contraignante pour les producteurs qui doivent mettre en place une armature de type tunnel et gérer l'ouverture des filets (pour éviter une augmentation de la température et de l'humidité sous le filet). De plus, le coût économique non négligeable de l'achat du filet, est aussi une contrainte à l'adoption de cette technique par les agriculteurs de tomates plein champ (David-Mougel, 2017 ; Fleuet, 2018). Par ailleurs, il a été observé que sous le filet, le ravageur *Helicoverpa armigera*, devenait plus problématique (comm. pers. Juliette Soulezelle).

d- La lutte biotechnique

La lutte biotechnique a notamment été étudié à La Réunion et s'est révélé peu efficace contre *N. cyanescens* en condition réelle de culture de tomates. Cette technique de lutte est définie comme « l'utilisation de stimuli ou d'agents physiques ou chimiques qui influencent le comportement ou le développement de l'insecte-cible » (Boller, 1983, cité par Ryckewaert et al., 2010). Elle inclut différentes méthodes comme l'utilisation de pièges colorés, d'attractifs sexuel, ou d'attractifs alimentaire. Cette méthode de lutte vise principalement à effectuer un piégeage de masse. Concernant les pièges colorés, *Neoceratitis cyanescens*, peut être piégé grâce à des sphères orange enduites de colle. La couleur orange offre une plus forte spécificité au piège pour la mouche de la tomate, surtout si la sphère est associée à un stimulus olfactif (Brevault, 1999 ; Brevault et Quilici, 2007). Cependant, ce type de piège est peu pratique à mettre en place en conditions de culture et est inefficace pour le piégeage de masse (Ryckewaert, Fabre, 2001 ; Ryckewaert et al., 2010). La méthode MAT (Male Annihilation Technique) consiste à utiliser des paraphéromones associées à un insecticide pour attirer puis tuer les mouches des fruits. Cette technique efficace sur certaines mouches des fruits permet de capturer jusqu'à une centaine d'individus par pièges (Ryckewaert et al., 2010). Cependant du fait de leur très forte mobilité et du fort taux d'accouplement des insectes, cette technique n'est pas très efficace quand les pièges sont positionnés à l'échelle de la parcelle (Ryckewaert et al., 2010). De plus, la MAT est pour l'instant inefficace contre la mouche de la tomate, car il n'existe pas de paraphéromone efficace.

Il en est de même, pour la méthode utilisant des attractifs alimentaires (à base de levure ou autre source protéinée ou de substance naturelle). En effet, la BAT (Bait Application Technique) consiste à mettre à disposition un attractif alimentaire associé ou non à un insecticide, pour attirer puis tuer les femelles (Ryckewaert et al., 2010). Cependant, pour la gestion de *Neoceratitis cyanescens*, cette méthode est peu efficace et peu mise en pratique car il n'existe pas d'attractif alimentaire efficace (Rioux, 2001). Dans le cas d'un piégeage de suivi des populations de mouche de la tomate, ces méthodes peuvent être appliquées mais ne permettent pas d'établir une corrélation entre le nombre d'individus capturés et les dégâts observés au champ (Ryckewaert et Fabre, 2001).

e- *La lutte biologique*

La lutte biologique a été observée sur le terrain, mais son impact sur la population de *Neoceratitis cyanescens* est assez faible. En effet, certains parasitoïdes comme *Psytalia insignipennis* (Granger) sont présents à Mayotte, mais leur taux de parasitisme sur la mouche de la tomate est inférieur à 8% [6]. Ce parasitoïde, s'attaque principalement aux larves, or ces dernières sont visibles lors de leur sortie du fruit pour effectuer leur nymphose dans le sol, soit pendant un temps très court (Ryckewaert et al., 2010) [6]. Des prédateurs tels que les fourmis peuvent aussi s'attaquer aux larves tombées au sol et aux pupes, ou comme les araignées qui peuvent s'attaquer aux adultes (Franck et al., 2018). Cependant la lutte biologique est peu efficace car les ennemis naturels sont peu favorisés dans les cultures de tomate plein champ (du fait entre autres de l'utilisation abondante de la lutte chimique et du faible taux de parasitisme des prédateurs).

C- Une stratégie de lutte utilisant le kaolin

1- La technologie des films à particules

La technologie des films de particules est une méthode de protection des plantes basée sur le principe, que les particules minérales peuvent influencer de manière importante le comportement des insectes selon différents mécanismes d'action (Glenn et al., 1999 ; Puterka et al., 2000), ce qui permet ainsi de réduire les dégâts des insectes sur les cultures. C'est une technique non biocide, qui agit comme une barrière minérale sur les plantes (Figure 9). Il n'y a alors pas de pression de sélection toxique exercée sur le ravageur, ce qui évite ainsi les problématiques de résistances liées à l'utilisation d'insecticides (Glenn et Puterka, 2004). Les substances minérales utilisées pour cette technologie doivent posséder 7 caractéristiques (Glenn et Puterka, 2005) : (1) inertie chimique ; (2) le diamètre des particules doit être inférieur à 2 µm (poudre surfine) ; (3) formation d'une couche uniforme une fois répandu sur le végétal ; (4) porosité de la couche, afin qu'il n'y ait pas d'interférence dans les échanges gazeux des parties foliaires ; (5) transmission d'un rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) et dans une certaine mesure pas de transmission des longueurs d'ondes Ultra-Violet (UV) ni Infrarouge (IR) ; (6) altération du comportement des insectes sur la plante ; (7) facilement nettoyable pour la récolte.

Les recherches sur cette technologie ont débuté dans les années 90 en Amérique du Nord, et se sont originellement développées sur l'utilisation du kaolin comme substance minérale (Glenn et Puterka, 2005).

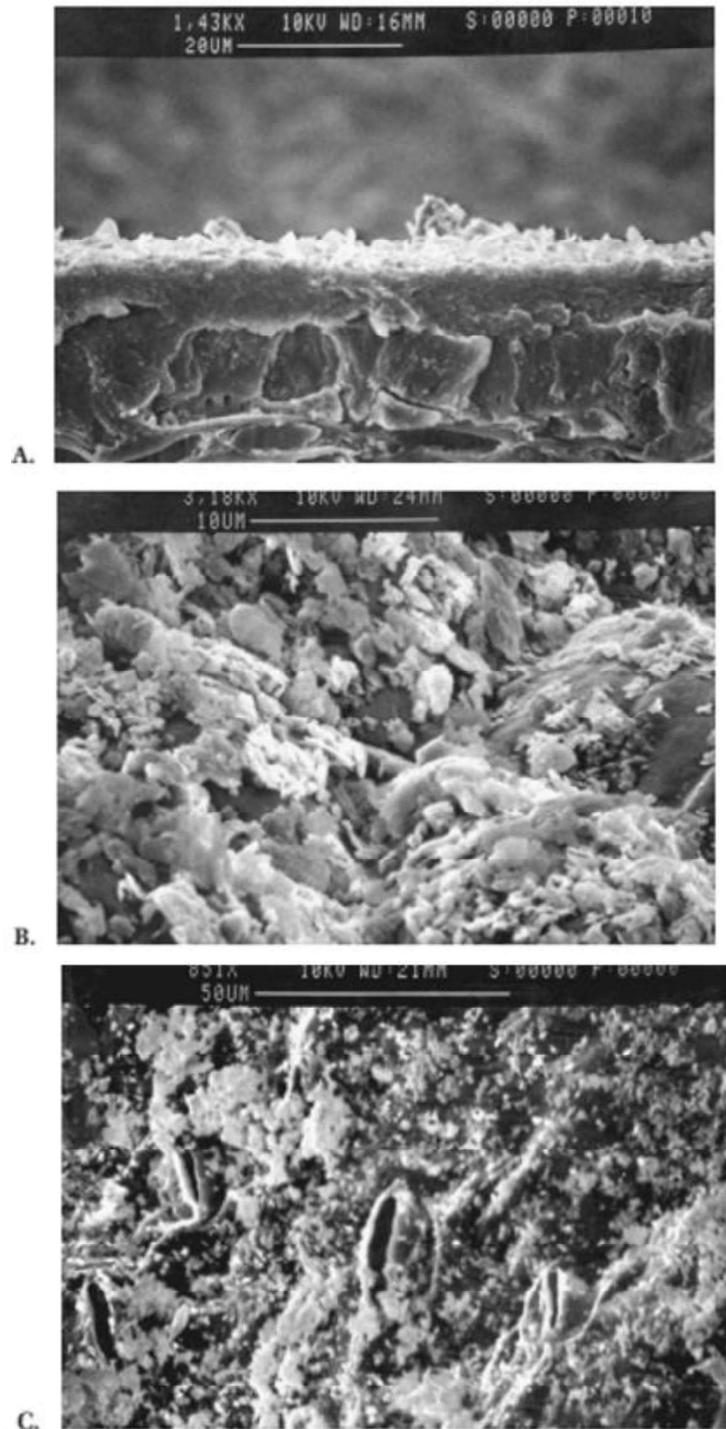


Figure 9: Couche de kaolin (Surround®) sur une feuille de pommier vu au microscope électronique à balayage. Source : Glenn et Puterka, 2005.
 Légende : A. Couche de kaolin sur une coupe transversale de feuille de pommier ; B. Particules de kaolin sur la face supérieure d'une feuille de pommier ; C. Particules de kaolin sur la face inférieure d'une feuille de pommier.

2- L'argile blanche

Les argiles ont initialement été utilisées pour protéger les cultures du soleil, mais ont montré leur intérêt dans la protection phytosanitaires des cultures (Berud et al., 2013). Il existe différents types d'argiles, avec des propriétés quelque peu différentes. Parmi elles l'argile blanche ou kaolin, est l'argile la plus couramment utilisée. Composée de kaolinite ($[Al_4Si_4O_{10}(OH)_8]$), l'argile blanche est un matériau blanc, non-poreux, non gonflant, peu abrasif, à grain fin, et chimiquement inerte sur une large gamme de pH (Glenn et Puterka, 2005). Des gisements d'argile blanche sont présents à Mayotte, dans le sud de l'île (commune de Chirongui) où il est appelé localement « talmalandi » ou terre blanche (Mouron, 2002 ; Spencer et al., 2004). Ce matériau naturel montre peu de dangerosité pour la santé humaine et pour l'environnement. Il semble améliorer la texture du sol et sa dissolution dans l'eau de pluie lui permet d'avoir une rémanence nulle dans l'environnement (Petit, 2010). Pour ce qui concerne la santé humaine, le kaolin est approuvé comme additif alimentaire (E559) par le Codex Alimentarius.

3- Mode d'action du kaolin dans la gestion des insectes ravageurs

Une fois pulvérisé sur les plantes, le kaolin forme une barrière physique protectrice. Les particules minérales agissent de façon dissuasive sur les insectes, en gênant leurs mouvements, leur alimentation ainsi que l'oviposition des femelles. Les particules se collent sur le corps de l'insecte provoquant une réponse d'auto-nettoyage qui interfère avec ses autres activités. De plus, la couleur blanche de la plante dû au kaolin semble altérer les sens de l'insecte intervenant dans la localisation et la reconnaissance de la plante hôte (Glenn et Puterka, 2004). Par ailleurs, certaines études ont mis en évidence une possible mortalité sur quelques ravageurs et ennemis naturels (Glenn et Puterka, 2005 ; Bengochea et al., 2010 ; Laget et al., 2015) [9]. Ainsi, la couche de kaolin peut agir selon différents modes d'action : **(1)** un effet répulsif ou dissuasif sur les adultes limitant ainsi toute alimentation ou oviposition sur le végétal (Glenn et Puterka, 2005) ; **(2)** une réduction de la survie des adultes et des larves lorsqu'ils sont nés sur un organe de la plante couverte de kaolin (Knight et al. 2000; Unruh et al. 2000; Cottrell et al. 2002, cités par Glenn et Puterka, 2005) ; **(3)** une réduction du succès de l'accouplement pour les lépidoptères exposés aux particules minérales recouvrant le végétal (Knight et al. 2000 cité par Glenn et Puterka, 2005) ; **(4)** un camouflage de la plante hôte par la couleur blanche du kaolin (Puterka et al., 2003) ; **(5)** une gêne de l'insecte dans ses mouvements et dans sa capacité à s'accrocher à la plante (Puterka et al., 2003).

Le mode d'action de cette technique à base de kaolin est essentiellement préventif. Son efficacité réside donc dans la couverture de la plante et dans le positionnement précoce du traitement (Berud et al., 2013). Il est important de renouveler l'application quand le feuillage et les fruits ne semblent plus couverts à cause du lessivage par la pluie ou à cause du vent qui en agitant les feuilles fait tomber l'argile, afin d'assurer une bonne couverture de la plante (Berud et al., 2013). L'argile blanche peut alors permettre de gérer une large gamme de bioagresseurs avec une efficacité de 50 à près de 100% selon les bioagresseurs visés (Glenn et Puterka, 2005) (Tableau 4).

Tableau 4: Liste des ordres d'insectes sur lesquels des effets du kaolin ont été observés.

Ordre	Famille	Plante	Références
Coléoptères	Curculionidae	Coton, citrus, poire	Lapointe, 2000 ; Puterka et al., 2000 ; Showler, 2002
	Chrysomelidae	Concombre	Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, 2019
Diptères	Tephritidae	Olivier, noyer, pommier, cerisier, Citrus, fruit à noyau, fruit tropical	Ephy ; Glenn et Puterka, 2004 ; Braham et al., 2007 ; D'Aquino et al., 2011 ; Laget et al., 2015 ; [9]
Lépidoptères	Tortricidae	Poire, pomme	Glenn et Puterka, 2004
Hémiptères	Aleyrodidae	Chou, melon, poivron	Liang et Liu, 2002 ; Poprawsky et Puterka, 2002a,b
	Aphididae	Pommier, Prunus	Ephy ; Glenn et al., 1999 ; Cottrell et al., 2002 ; Wyss et Daniel, 2004
	Cicadellidae	Vigne, pommier, carotte, persil, laitue, pomme de terre	Ephy ; Glenn et al., 1999 ; Puterka et al., 2003 ; Glenn et Puterka, 2004 ; Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario, 2019
	Cixiidae	Lavande et lavandin	Ephy
	Psyllidae	Poire, pomme de terre, tomate	Glenn et al., 1999 ; Puterka et al., 2000 ; Mckenzie et al., 2002
Thysanoptères	Thripidae	Poireau	Picault et al., 2018

L'argile blanche a ainsi montré son efficacité sur plusieurs mouches des fruits dont, la mouche de l'olive (*Bactrocera oleae*) (Laget et al., 2015) [9], la mouche du noyer (*Rhagoletis completa*) (Laget et al., 2015) [9], la mouche de la pomme (*Rhagoletis pomonella*) (Glenn et Puterka, 2004), la mouche du cerisier (*Rhagoletis cerasi*) (Laget et al., 2015) [9], la mouche orientale (*Bactrocera dorsalis*) sur plusieurs fruits tropicaux (Marquier et Fontaine, 2019), ainsi que la mouche méditerranéenne (*Ceratitis capitata*) sur Citrus et fruits à noyaux (Braham et al., 2007 ; D'Aquino et al., 2011 ; Laget et al., 2015). Des études ont permis de mettre en évidence une réduction partielle de l'oviposition de *Drosophila suzukii* sur vigne et myrtille (Cahenzli et al., 2018 ; Daniel et al., 2018). Pour la mouche de l'olive, de la cerise et du brou du noyer, la pulvérisation d'argile est un levier principal de la gestion de ces ravageurs. Alors que pour la mouche méditerranéenne, c'est un levier complémentaire sur les variétés tardives de pommier et clémentinier [9].

4- La gestion des ravageurs de la tomate avec le kaolin

En France, l'argile blanche est homologuée (en agriculture biologique et comme solution de biocontrôle [10]) sous trois formulations commerciales différentes pour un usage en arboriculture et sur plantes à parfum, aromatiques, médicinales et condiments (Tableau 5). Plusieurs études sur l'action du kaolin contre les stress abiotiques sur culture de tomate ont été effectuées (Saavedra Del R. et al., 2006 ; Cantore et al., 2009 ; Boari et al., 2015 ; 2014 ; 2016 ; Djurović et al., 2016). Seules quelques études concernent la gestion des ravageurs de la tomate. Parmi elles, une étude a été effectuée sur les effets du kaolin comme répulsif contre le psylle de la pomme de terre, *Bactericera cockerelli*, sur tomate. Cette étude a conclu que le kaolin permet de réduire la présence des adultes, des œufs ainsi que des nymphes sur les plants de tomates traitées (Peng et al., 2011). Un essai effectué sur la tomate de plein champ à Mayotte a mis en évidence une réduction partielle et non satisfaisante des dommages de *Neoceratitis cyanescens* (Duval et al., 2020). Cet essai, a aussi permis de mettre en évidence que la technique de pulvérisation est primordiale pour assurer l'efficacité de la technique (Duval et al., 2020). D'autres études ont permis de mettre en évidence l'intérêt du kaolin combiné à d'autres substances toxiques (comme des huiles essentielles), afin de stabiliser et d'augmenter l'efficacité de ces dernières pour lutter contre des ravageurs de la tomate (Reitz et al., 2008 ; Zarrad et al., 2017).

5- Les facteurs d'efficacité de la lutte avec le kaolin

De nombreux facteurs sont déterminants dans l'efficacité de la stratégie de lutte à base de kaolin. Ainsi, un nombre de traitement élevé, une période précoce d'application, et un cumul des pluies inter-traitement faible, influencent favorablement l'efficacité du kaolin. La qualité de l'application, de préférence fine et homogène, est un des facteurs les plus importants (Laget et al., 2015 ; Colombier et Laveau, 2019 ; Duval et al., 2020). Cette dernière dépend de la concentration de la bouillie (concentration de 4 à 8% à privilégier (Siciliano, [sans date])). Une concentration trop importante (supérieur à 10%) ou trop faible est à éviter car cela pourrait causer des bouillies trop épaisses donc un ruissellement ou un recouvrement beaucoup trop faible.

Tableau 5: Produits à base de kaolin autorisés sur le marché (à partir des données Ephy). Source : Duval et al., 2020

PRODUIT	ORIGINE	SUBSTANCE ACTIVE	AMM
SOKALCIARBO WP®	Massif armoricain, Bretagne (France)	100 % Kaolin (silicate d'aluminium) < 5 µm	2100038 – 1 mars 2010 PPAMC – Ravageurs divers ; Vigne – Cicadelles ; Noyer – Mouches ; Agrumes – Cicadelles, cercopides et psylles ; Pommiers – Psylles & pucerons ; Olivier – Mouche de l'olive ; Arbres fruitiers <i>Prunus</i> - Pucerons
SURROUND WP®	Géorgie (USA)	95 % Kaolin (silicate d'aluminium)	2060034 – 7 avril 2006 Olivier – Mouche de l'olive & chenilles phytophages ; Arbres fruitiers <i>Prunus</i> – pucerons ; Pommier – psylles et pucerons
ARGICAL PRO®	Aquitaine (France)	99% Kaolin (silicate d'aluminium)	2120157 – 15 oct. 2012 Cerisier – Mouches et pucerons ; Olivier – Mouche de l'olive ; Pommier – Pucerons et psylles ; Arbres fruitiers <i>Prunus</i> – Pucerons ; Vigne – Cicadelles ; Agrumes - Cicadelles, cercopides et psylles

Il est nécessaire d'utiliser un matériel de pulvérisation adéquat notamment avec une pression convenable pour obtenir une pulvérisation fine et homogène. Une pression de pulvérisation autour de 8-12 bar est suffisante (Siciliano, [sans date] ; Berud et al., 2013). Une telle pression permet d'obtenir une taille optimale des gouttes, soit des gouttelettes de 100 microns. Evitant ainsi un ruissellement ou une dérive et une évaporation trop important (Berud et al., 2013). De plus, les buses les plus adaptées pour une aspersion fine sont des buses à turbulences (Duval et al., 2020).

D- Cadre institutionnel de l'étude, objectif et mes missions

Le plan national Ecophyto, mis en place depuis 2013 à Mayotte, prévoit de diminuer le recours aux produits phytopharmaceutiques et incite les professionnels de la filière agricole à faire évoluer leurs pratiques (Bruchon et al., 2015 ; Aubert et al., 2019). Ce plan qui s'intègre dans le projet Agro-écologie pour la France initié par le Ministre de l'agriculture en 2012, insiste sur l'importance de l'innovation et des partenariats entre tous les acteurs de la filière agricole (Bruchon et al., 2015). Les pratiques innovantes permettant de réduire l'utilisation de produits phytopharmaceutiques dans le secteur maraîcher à Mayotte sont en partie développées et soutenues par le Réseau de Transfert Agricole (RITA). Mis en place en 2011 dans chacun des DROM (David-Mougel, 2017), ce réseau vise à soutenir le développement de l'agriculture de ces territoires. Ainsi, l'antenne du CIRAD de Mayotte est un acteur du RITA. A Mayotte, les activités de ce réseau sont structurés autour de trois projets : (1) biomasse et la fertilité des sols mahorais (BIOFERM), (2) itinéraires techniques innovants en filières végétales (INNOVEG) et (3) développement des filières animales (DEFI ANIMAL) (David-Mougel, 2017). Le projet Innoveg vise à structurer et développer les filières végétales mahoraises en intervenant tout le long de la filière (David-Mougel, 2017). Pour répondre à ces objectifs, le projet se structure sous plusieurs actions (ou work packages (WP)) (Tableau 6). C'est au sein du WP2 que mes missions se positionnent, un des objectifs étant de lutter durablement contre la mouche de la tomate, *Neoceratitis cyanescens*.

Ainsi, l'étude présentée ici s'intéresse à une approche utilisant une solution de biocontrôle pour gérer les populations de ce ravageur. La question traitée dans cette étude est donc la suivante : **La pulvérisation de kaolin permet-elle une gestion efficace des populations de *Neoceratitis cyanescens* sur culture de tomate plein champ à Mayotte pendant la saison sèche ?**

Il sera alors question dans cette étude de déterminer si le kaolin permet de réduire les piqûres de *Neoceratitis cyanescens* sur tomate. Dans une moindre mesure, cette étude s'intéressera aussi à l'impact du kaolin dans la réduction des dégâts dû à *Helicoverpa armigera* et *Tuta absoluta*, sur tomates. Par ailleurs, étant donné le manque de données concernant la pulvérisation du kaolin sur des plants de tomates avec un atomiseur, la phase d'étalonnage de l'atomiseur sera présentée dans cette étude.

Tableau 6: Présentation des actions (Work packages) du projet INNOVEG et des différents acteurs impliqués. Source : David-Mougel, 2017.

WP	Partenaires
WP 1 : Coordination du projet	CIRAD
WP 2 : Santé du végétal à Mayotte : gestion agro-écologique des bio-agresseurs	CAPAM, CIRAD, EPN
WP 3 : Amélioration des itinéraires techniques des filières maraîchère, fruitière et vivrière et diversification variétale	CIRAD, APPAPAMAY, COOPANAM
WP 4 : Mise au point de nouveaux process de transformation apportant de la valeur ajoutée aux productions typiques de Mayotte	AFICAM, COOPAC, ASSM
WP 5 : Transfert des résultats et diffusion en milieu paysan	CAPAM, CFPPA, CIRAD, COOPAC, COOPANAM, ASSM, AMMEFLHORC

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CAPAM : Chambre d'Agriculture de la Pêche et de l'Aquaculture de Mayotte

EPN : Etablissement Professionnel National

APPAPAMAY : Association des Planteurs de Plantes à Parfum, Aromatique et Médicinale de Mayotte

COOPANAM : Coopérative des Producteurs d'Ananas de Mayotte

ASSM : Association Saveurs et Senteurs de Mayotte

COOPAC : Coopérative Agricole du Centre

AFICAM : Association pour la Formation Initiale et Continue Agricole à Mayotte

CFPPA : Centre de Formation Professionnel et de Promotion Agricole

AMMEFLHORC : Association Mahoraise pour la Modernisation de l'Economie Fruitière, Légumière et Horticole

Matériel et méthodes

A- Site expérimental et condition de l'essai

L'essai s'est déroulé à la station expérimentale de Dembéni (dans le centre de l'île) pendant la saison sèche de 2020 (d'Avril à Août 2020). La station est gérée par la Direction des Ressources Terrestres et Maritime (DRTM) du Conseil Départemental de Mayotte. Les conditions de température et d'humidité présentent pendant le déroulement de l'essai ont été enregistrées à l'aide d'un Tinytag (Annexe III). La parcelle expérimentale fait 832 m² et est située à proximité d'une zone particulièrement humide (désignée comme zone marécageuse). Les sols y sont très argileux et difficiles à travailler. Un couvert végétal, mélange de millet, niger et radis fourrager (ce dernier ne semble pas avoir poussé) a été maintenu sur la parcelle de décembre 2019 à fin avril 2020. Avant la mise en place des placettes et du système d'irrigation (goutte à goutte) en mai 2020, un gyro-broyage, un débroussaillage puis un travail de sol ont été effectués. Ce dernier a été exécuté manuellement (faute de tracteur) en creusant des trous au niveau de la ligne de plantation avec une pioche et une barre à mine. A la suite de ce travail du sol, un amendement organique a été effectué avec du fumier de volaille à raison d'une poignée de fumier par trou.

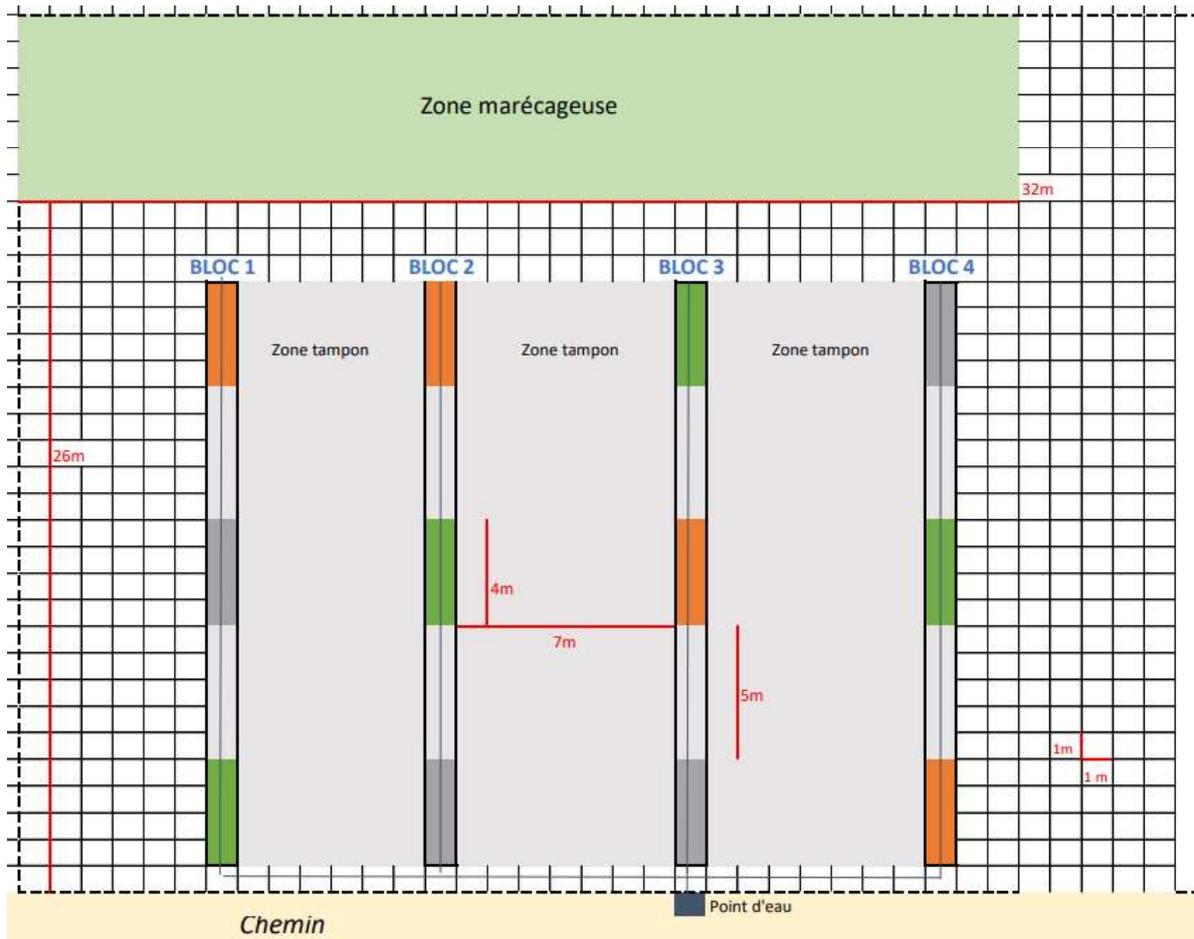
B- Matériel végétal utilisé

La variété de tomate choisie pour l'essai, est Mongal F1 (de Technisem®). C'est une variété adaptée au climat tropical. Elle est de plus très utilisée par les maraîchers mahorais, notamment du fait de sa tolérance au flétrissement bactérien (*Ralstonia solanacearum*) et de sa résistance à différentes maladies dont *Fusarium oxysporum*, le TMV (Tobacco Mosaic Virus), les nématodes à galles et *Stemphyllum spp.* (Duval et al., 2020). C'est une variété à croissance déterminée, assez précoce (60-65 jours) et avec une bonne vigueur (Vanhuffel, Huat, 2019). Un semis de 432 graines a été effectué en deux fois (semis de secours) sur 4 plaques de 54 trous, en utilisant le terreau Peltracom 113AT. Ce dernier est composé de tourbe noire (75%) et tourbe blonde (25%) d'un engrais NPK à 12-14-24, ainsi que d'oligoéléments et de chaux magnésienne. Le repiquage a été effectué au stade 3-4 feuilles vraies dans des godets de 8*8 avec le même terreau. La plantation a eu lieu au stade 5-6 feuilles vraies. Un suivi agronomique et sanitaire a été planifié tous les deux jours (Annexe IV).

C- Facteurs étudiés et dispositif expérimental

Deux facteurs sont étudiés dans cette analyse : le facteur traitement à 3 modalités, kaolin, decis (traitement insecticide de référence), témoin non traité et le facteur bloc à 4 modalités, bloc 1, 2, 3, 4.

Le dispositif expérimental envisagé est un dispositif en blocs aléatoires avec 4 répétitions (Figure 10 et Figure 11). Chaque planche est composée de 14 plants disposés en quinconce sur deux lignes de plantations le long de la ligne de goutteur. Sur une même ligne de plantation, les plants sont espacés entre eux de 60 cm. Chaque bloc est composé de trois planches de 1*4,62 m, soit de 42 plants par bloc. Les planches d'un même bloc sont espacées entre elles de 5 m. Les blocs sont quant à eux espacés de 7 m. Le dispositif comprend donc au total 168 plants, soit une surface de plantation nette de 55,44m². Les zones tampons entre chaque bloc permettent de limiter le risque de contamination d'un produit d'une planche à l'autre.



Modalité 1 – Témoin Non Traité (TNT)

Modalité 2 – Traitement de référence (insecticide conventionnel)

Modalité 3 – Traitement kaolin

Figure 10: Dispositif expérimental de l'essai Kaolin 2020

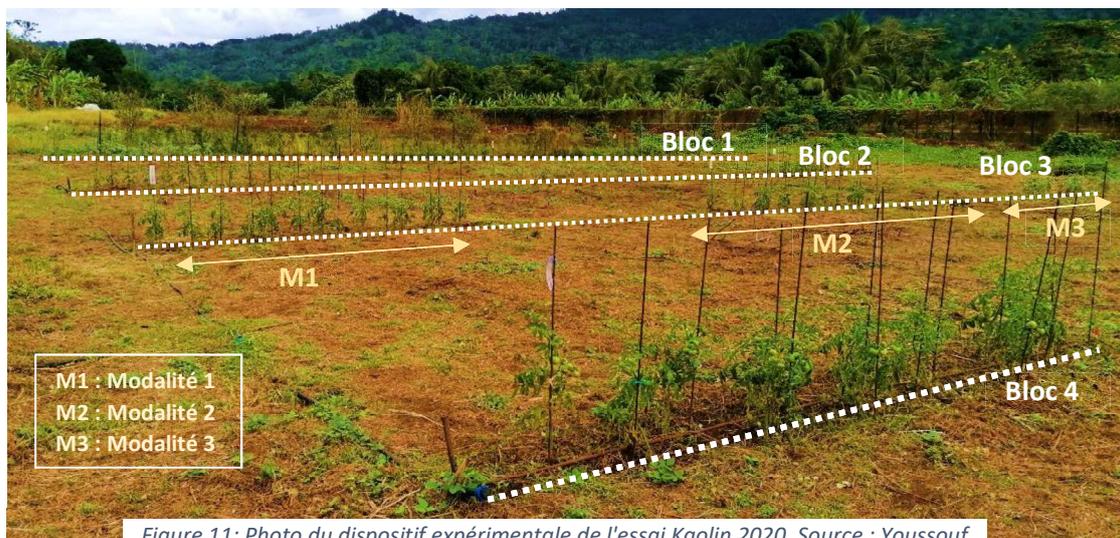


Figure 11: Photo du dispositif expérimentale de l'essai Kaolin 2020. Source : Youssouf

D- Application des traitements et paramétrage de l'atomiseur

1- Application et positionnement des traitements

Pour cet essai deux solutions commerciales sont testées, l'argile blanche (SOKALCIARBO®) et un insecticide (DECIS PROTECH®) (Tableau 7). Pour les deux solutions commerciales un adjuvant est ajouté à la bouillie. Il s'agit de l'adjuvant ESCAPADE®, du fabricant Action Pin. Il doit être utilisé à raison de 0,75 L/ ha. La bouillie d'argile est pulvérisée sur les plants à l'aide d'un atomiseur SR 430 du fabricant STHIL (Figure 12). L'insecticide est quant à lui appliqué avec un pulvérisateur à dos de 16 L du fabricant Inter (Figure 13). Les traitements kaolin et insecticide ont débuté à la nouaison des fruits et ont été répétés tous les 7 jours pour le kaolin et tous les 15 jours pour l'insecticide avec un nombre de traitement maximum de 3 pour ce dernier.

2- Paramétrage de l'atomiseur

Afin de déterminer les paramètres de l'atomiseur adapté aux conditions de l'essai, une phase de paramétrage a été effectuée. Cette dernière a permis, de déterminer le débit, la distance entre l'opérateur et les plants, le régime du moteur, le type de grille de diffusion, ainsi que le nombre de passage sur la placette (Annexe V), adéquats pour l'essai. Le paramètre vitesse de déplacement est à ajuster par l'opérateur une fois les autres paramètres fixés. Le calibrage de l'atomiseur a été effectué en deux phases. Une première phase qualitative permettant de déterminer la distance entre l'opérateur et les plants (pour la grille de déviation 45°) à l'aide de papier buvard fixé à un support et un décimètre. Pour la grille de diffusion à jet large, la distance entre l'opérateur et les plants est fixée par le fabricant (< 1,50 m). La pulvérisation sur papier buvard a été faite avec de l'eau. Ensuite, des papiers hydro sensibles ont été agrafés sur des plants de tomates, de sorte à pouvoir observer le résultat d'une pulvérisation avec de l'eau en différents niveaux de la végétation. Le papier hydro sensible se présente comme un papier rigide avec une surface jaune qui devient bleu au contact avec l'eau. Il permet ainsi de juger de la qualité de la pulvérisation. Les papiers ont donc été agrafés au niveau des inflorescences quand elles étaient présentes, à l'intérieur et à l'extérieur de la végétation, ainsi que sur les niveaux supérieurs ou inférieurs, ou sur des branches avant ou arrière de la plante. Les papiers sont de plus pliés en deux de sorte à couvrir les faces inférieures et supérieures des feuilles (Figure 14). Ceci nous permet de déterminer si toutes les faces du fruit seront potentiellement couvertes par la pulvérisation. Les paramètres testés lors de cette deuxième phase sont, tout d'abord le type de grille de diffusion, ensuite le débit, puis le régime du moteur, et enfin le nombre de passage sur la placette. A la fin de chaque test concernant un même paramètre, les papiers sont relevés et scannés, afin d'être analysés.

E- Mesure des dégâts sur fruits

Plusieurs hypothèses ont été testées afin de répondre à 4 objectifs : (1) Déterminer l'influence du traitement sur le poids ou le nombre de fruits non commercialisables piqués par *Neoceratitis cyanescens* (2) Déterminer l'influence du traitement sur le poids ou le nombre de fruits non commercialisables non piqués par *Neoceratitis cyanescens*; (3) Déterminer l'influence du traitement sur le poids ou le nombre de fruits commercialisables ; (4) Déterminer l'influence du traitement sur le poids ou le nombre de fruits non commercialisables.

Tableau 7: Informations et applications des différents traitements de l'essai Kaolin 2020

Modalité	Insecticide	Kaolin	Témoin Non Traité
Formulation commerciale	DECIS PROTECH®	SOKALCIARBO	PAS DE TRAITEMENT
Fabricant	Bayer	SOKA	
Substance active	Deltaméthrine	Kaolinite	
Teneur	15g/L	100%	
Formulation	Emulsion de type aqueux	Poudre mouillable (WP)	
Dose réglementaire	0,5 L/ha (sur tomates)	50 kg/ha à la première application et 30 kg/ha pour les applications suivantes (en arboriculture)	
Application	3 maximum	Tous les 7 jours à partir de la nouaison	
Délai avant récolte	3 jours	-	
Surface à traiter	18,48 m ²	18,48 m ²	



Figure 14: Plant de tomate avec deux papiers hydrosensibles agrafés sur les feuilles (indiqués par les flèches noires). Source : Youssouf



Figure 12: Photo de l'atomiseur SR 430 du fabricant STIHL. Source : Youssouf



Figure 13: Photo du pulvérisateur à dos de 16 L du Fabricant Inter. Source : Youssouf

L'objectif (2) permet notamment de prendre en compte un éventuel impact du traitement sur d'autres ravageurs de la tomate. Dans cette étude, un fruit était considéré comme commercialisable, s'il ne présentait aucun dégât ou grosse déformation. Et à l'inverse s'il présentait des dégâts ou de grosses déformations, il était considéré comme non commercialisable. Dans la catégorie non commercialisable une distinction a été faite. Les fruits présentant au moins une piqûre de *N. cyanescens*, ont été classés comme « non commercialisable piqué ». Et ceux qui étaient non commercialisables du fait notamment d'autres ravageurs, ou de problèmes physiologiques (comme le cul noir) ou du fait de grosses déformations, ont été classés comme « non commercialisable autre ». Ainsi, dans ces deux catégories de fruits non commercialisables, plusieurs sous-catégories ont été créées afin de décrire au mieux la cause de non commercialité du fruit

Etant donné le dispositif utilisé (en bloc de Fisher) le facteur bloc a été inclus dans les hypothèses à tester. Ainsi, pour chaque objectif les hypothèses H0 et H1 associées sont les suivantes :

- (1) - H0 : Le traitement et le bloc n'ont pas d'influence sur le poids ou le nombre de fruits non commercialisables piqués par *Neoceratitis cyanescens* (variables PNC_piqué et NC_piqué). H1 : le traitement et/ou le bloc influence le poids ou le nombre de fruits non commercialisables piqués par *Neoceratitis cyanescens*.
- (2) - H0 : Le traitement et le bloc n'ont pas d'influence sur le poids ou le nombre de fruits non commercialisables non piqués par *Neoceratitis cyanescens* (variables PNC_autres et NC_autres). H1 : le traitement et/ou le bloc influence le poids ou le nombre de fruits non commercialisables non piqués par *Neoceratitis cyanescens*.
- (3) – H0 : Le traitement et le bloc n'ont pas d'influence sur le poids ou le nombre total de fruits commercialisables (variables PC et NbC). H1 : le traitement et/ou le bloc influence le poids ou le nombre total de fruits commercialisables.
- (4) – H0 : Le traitement et le bloc n'ont pas d'influence sur le poids ou le nombre total de fruits non commercialisables (variables PNC et NC). H1 : le traitement et/ou le bloc influence le poids ou le nombre total de fruits non commercialisables.

Les fruits ont donc été récoltés lorsque la taille définitive a été atteinte, c'est-à-dire quand ils sont devenus jaune/orange à rouge. Les récoltes ont été effectuées du 24 juillet au 21 août, 2 à 3 fois par semaine. Pour chaque planche les fruits ont ensuite été pesés à l'aide d'une balance et dénombrés selon leurs caractéristiques. Une vingtaine de variables ont alors été relevées (Annexe VI). Par ailleurs, pour chaque récolte un échantillon de 5 fruits piqués par *Neoceratitis cyanescens* a été placé dans des boîtes à émergence pendant 20 jours, afin de s'assurer de l'identité du ravageur. Les fruits sains ont été placés une semaine pour vérifier qu'aucun ravageur n'en est sorti. Le rendement de chaque planche a été calculé en sommant l'ensemble des poids commercialisables récoltés tout au long du cycle.

F- Détection et surveillance des populations

Afin de suivre la population des ravageurs, des pièges pour la détection et la surveillance ont été envisagés. Concernant *Neoceratitis cyanescens*, plusieurs pièges (visuels et olfactifs, attractif alimentaire, attractif sexuel) ont déjà été étudiés mais leur attractivité est insuffisante (Rioux, 2001 ; Ryckewaert et Fabre, 2001). Il est alors difficile d'établir une bonne corrélation entre le nombre d'individu capturé et les dégâts observés sur la culture (Ryckewaert et Fabre, 2001).

Ainsi, étant donné l'efficacité présumée de ces pièges, aucun piège n'a été installé pour ce ravageur. Le suivi de l'infestation, se faisait lors des récoltes par un comptage de fruits piqués. Concernant les ravageurs, *Helicoverpa armigera* et *Tuta absoluta*, des pièges de détection et de surveillance existent et ont été installés 3 semaines avant la fin de l'essai (le 03/08), lors de la détection des premières mines de *T. absoluta* sur feuilles. Il s'agit pour le premier, d'un piège à phéromone de type Funnel (Figure 15) et pour le second, d'un piège à phéromone de type delta avec une plaque engluée (Figure 16). Ils permettent de capturer uniquement des mâles (phéromones sexuelles). Ils ont été installés au niveau des planches « Témoin » à une hauteur de 1m20 environ. Les pièges ont été relevés en fin d'expérimentation afin de comptabiliser le nombre d'adultes capturés. En plus du piège à phéromone, le suivi de l'infestation d'*Helicoverpa armigera* a aussi été effectué par un comptage de fruits endommagés, lors de la récolte. Ce comptage n'a pas été effectué pour *Tuta absoluta*, étant donné qu'il est arrivé sur la parcelle en fin d'essai.

G- Analyse des résultats

1- Paramétrage de l'atomiseur

Pour juger de la qualité de la pulvérisation et faire le choix des paramètres, 3 variables ont été évaluées en utilisant une échelle qualitative de notation. Il s'agit de la taille globale des gouttes, la densité moyenne des gouttes et l'homogénéité des gouttes (Tableau 8). L'échelle de notation comprend pour chaque variable 2 à 3 niveaux possible. Pour chaque pulvérisation les papiers hydrosensibles ne sont pas évalués individuellement mais ensemble. Pour un tableau de notation correspondant à une pulvérisation, la valeur du paramètre sera choisie en fonction de la pulvérisation obtenant le plus de variable satisfaisante. Ainsi, lorsque les papiers hydrosensibles d'une même pulvérisation, ont globalement une densité de goutte correcte et une taille de goutte moyenne, la pulvérisation est jugée comme satisfaisante et la valeur du paramètre est choisie. Au fur et à mesure des tests, les paramètres qui ont permis d'obtenir une pulvérisation satisfaisante sont sélectionnés. Il faut noter qu'un seul opérateur (moi-même) a évalué chaque pulvérisation à l'aide de cette échelle, qui lui est propre. Dans le cas où les tableaux de notations sont identiques, le choix de la valeur du paramètre s'est fait en tenant compte d'autres caractéristiques observées pendant la pulvérisation. Dans le cas où dans chaque tableau, une seule variable est satisfaisante (en vert), le choix se fera selon la hiérarchie suivante : Densité des gouttes > Taille des gouttes > Homogénéité des gouttes. On favorisera ainsi, la pulvérisation permettant une densité de goutte satisfaisante sur les papiers hydrosensibles.

2- Mesure des dégâts sur fruits

Les hypothèses ont été testées avec le logiciel R (version 3.6.1), en effectuant dans un premier temps un modèle linéaire généralisé (pour les variables ne suivant pas une loi normale) ou une analyse de variance à un facteur. Dans le premier cas, le modèle linéaire est suivi d'une analyse de variance à un facteur (si un effet significatif est mis en évidence) avec un test de Chi2 (Wajnberg, 2011), puis d'une comparaison multiple (Procédure de Tukey), pour déterminer les groupes qui se distinguent des autres (script de l'analyse sur R en Annexe VII). Les représentations graphiques des résultats des tests ont aussi été effectuées avec le logiciel R (version 3.6.1). Les rendements ont eux aussi été comparés en suivant la même démarche. Les représentations graphiques concernant le suivi des récoltes dans le temps et par planche, ainsi que les rendements par traitement ont été effectués avec le logiciel Excel®.

Résultats

A- Paramétrage de l'atomiseur

Sept pulvérisations ont été évaluées. Pour chaque pulvérisation, les papiers hydrosensibles correspondant sont présentés, ainsi que le schéma de la pulvérisation et le tableau de notation. La Figure 17 est le résultat d'une pulvérisation avec un pulvérisateur à dos classique de 16 L. On observe alors sur la face supérieure des papiers hydrosensibles une densité correcte de goutte de taille moyenne. Ces gouttes ont d'ailleurs une forme allongée. Cependant sur la face inférieure des papiers, la densité est plus faible et les gouttes sont plus fines. Pour ce qui concerne la pulvérisation avec l'atomiseur, on observe des différences selon le paramètre testé. En effet, concernant le paramètre type de grille de diffusion, on observe une densité de goutte sur la face supérieure forte, avec la grille de déviation 45° dirigée (vers le bas) par rapport à la grille à jet large. Cependant, avec cette première grille de diffusion la taille des gouttes est correcte c'est-à-dire moyenne, alors que pour la grille à jet large les gouttes sont plus fines. Dans les deux cas, la face inférieure est peu voire pas couverte par des gouttes (Figure 18 et Figure 19). Pour les deux types de grilles, le tableau de notation est assez semblable (une seule variable satisfaisante à chaque fois). Le choix du type de grille sélectionné pour la suite des tests, s'est donc basé sur la pulvérisation permettant une densité de goutte correcte. Ainsi, la grille à jet large a été sélectionnée. De plus, avec la grille de déviation 45°, le jet pulvérisé était important et risquait d'endommager les inflorescences. On observe une tendance similaire au précédent test, lorsque la pulvérisation se fait avec la grille à jet large et un débit de 0.76 l/min, par rapport à une pulvérisation à un débit de 0.17 l/min (Figure 19 et Figure 20). Chaque tableau de notation ayant seulement une variable satisfaisante, le débit a été choisi en favorisant le paramètre densité des gouttes. C'est donc le débit de 0.17 l/min qui a été utilisé dans la suite des tests. Pour le choix du régime du moteur, les résultats sont identiques (Figure 19 et Figure 21). En effet, la densité de goutte sur la face supérieure est correcte et nulle à faible sur la face inférieure. De plus, quelle que soit la face, la taille des gouttes est très petite. N'ayant pas d'autres caractéristiques à comparer, le choix a été effectué lors du test suivant sur le paramètre « nombre de passage sur la placette » (Figure 22 et Figure 23). Ainsi, lorsque les deux côtés de la planche sont pulvérisés, en appliquant une accélération d'1/3 de la course de la gâchette, les variables densité et taille des gouttes sont satisfaisantes quelle que soit la face du papier hydrosensible. Ce qui n'est pas le cas lorsque que l'accélération appliquée est de 2/3 de la course de la gâchette d'accélération. En effet, seule la densité de goutte sur la face inférieure du papier est satisfaisante. Ainsi, les valeurs sélectionnées pour les paramètres testés sont, une grille à jet large, un débit de 0.17 l/min, une accélération d'1/3 de la course de la gâchette et une pulvérisation des 2 côtés de la planche.

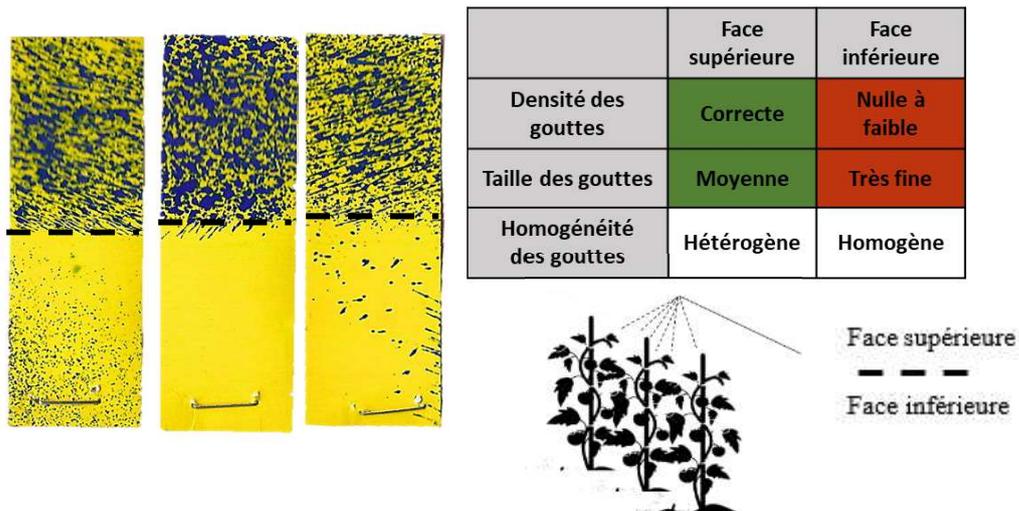


Figure 17: Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau au pulvérisateur manuel ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite)

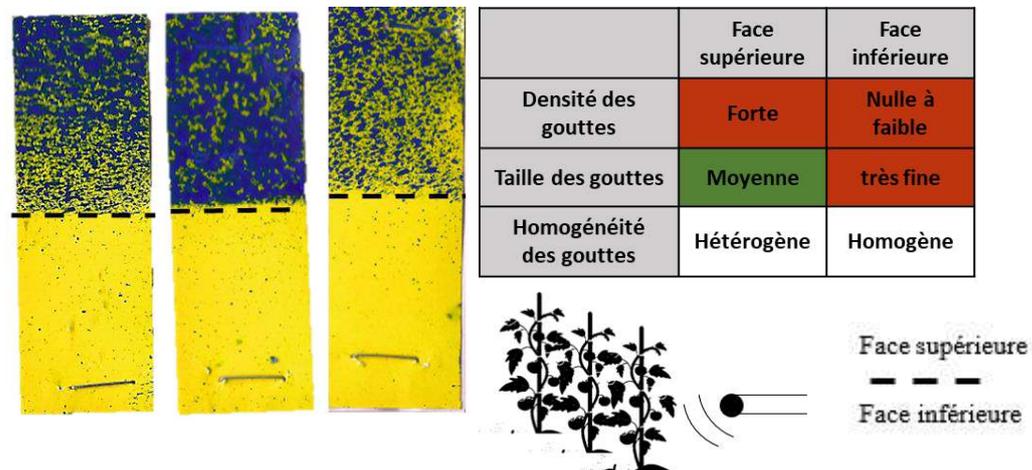


Figure 18: Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau à l'atomiseur ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite). Paramètres : grille déviation 45° ; débit de 0.17 l/min ; accélération 1/3 de la course de la gâchette ; 1 côté pulvérisé.

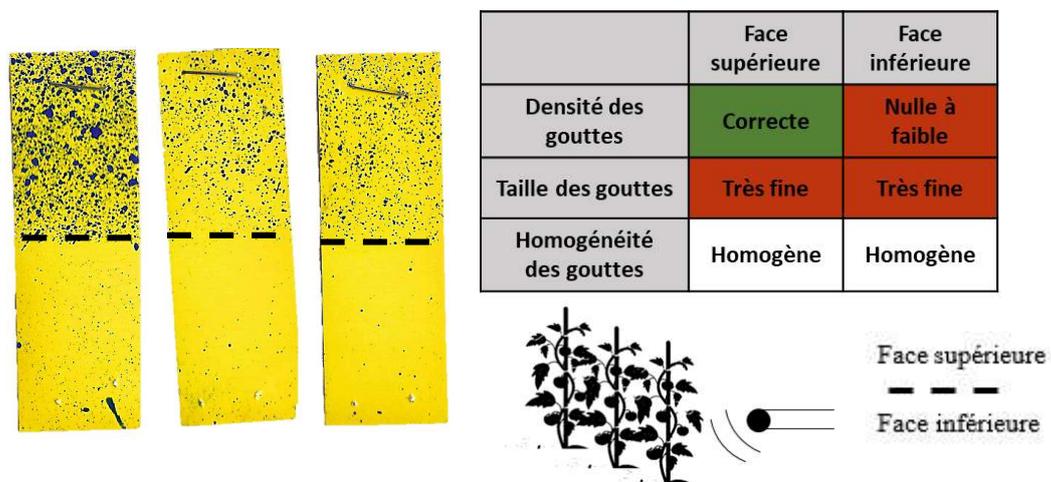


Figure 19: Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau à l'atomiseur ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite). Paramètres : grille à jet large ; débit de 0.17 l/min ; accélération 1/3 de la course de la gâchette ; 1 côté pulvérisé.

B- Influence du kaolin sur les dégâts sur tomate

Tout au long du cycle de récolte, 11.9, 14.4 et 11.7 kg de tomates ont été récoltés respectivement sur l'ensemble des planches decis, kaolin et témoin, soit un total de 38 kg de tomates récoltés tout au long de l'essai. Ce qui représente un total de 911 fruits récoltés (soit 301, 292 et 318 fruits pour respectivement les modalités decis, kaolin et témoin). Sur l'ensemble de ces fruits, 81.9 % ont été piqués par la mouche de la tomate, toutes planches (blocs) confondues (Annexe VIII, Tableau 1). La Figure 24 permet de voir le détail de la pesée des différentes récoltes des 3 modalités. On observe, une très faible part de fruits commercialisables, 4% pour la modalité kaolin contre près de 2% pour les modalités decis et témoin. La majeure partie des récoltes effectuées étaient non commercialisables et pour principale cause *Neoceratitis cyanescens*, responsable de 63% de pertes lors des pesées dans le cas des planches kaolin contre 86% pour les planches témoins et decis. D'autres causes sont aussi responsables de pertes non négligeable (PNC autres) dont les oiseaux, les ravageurs de la tomate *Helicoverpa armigera* et *Tuta absoluta* ainsi que des problèmes physiologiques (comme le cul noir). L'analyse statistique a permis de mettre en évidence un effet du traitement seulement pour les variables NC_piqué et NC_autres (Tableau 9). Dans le cas de la première variable la p-value du test est de 0.017, et pour l'autre variable la p-value est de 0.0051. Ainsi dans le cas de la variable « nombre de fruits non commercialisables piqués », la Figure 25 met en évidence une différence significative entre la modalité kaolin et témoin, et la modalité kaolin et decis, mais pas entre la modalité témoin et decis. Par ailleurs, du fait de l'importance non négligeable d'autres causes de non commercialité des fruits, une analyse a été effectuée à l'intérieur de ce groupe (Tableau 10). On observe alors, qu'il y a un effet du traitement sur les dégâts causés par les oiseaux ou du fait de problèmes physiologiques. Les planches kaolin présentent au total 16.9% de fruits non commercialisables dû à ces causes, contre respectivement 5.7 et 5.1% pour les modalités decis et témoin (Annexe VIII, Tableau 1). Ainsi, les oiseaux et les problèmes physiologiques sont responsables de la grande majorité des pertes « autres » (56.6, 53.9 et 48.5% pour respectivement les modalités decis, kaolin et témoin), la noctuelle étant responsable quant à elle de 36 % des pertes « autres » toutes planches confondues (Annexe VIII, Tableau 1). Le reste des pertes « autres » est alors imputable à *Tuta absoluta*.

En plus d'un effet traitement mis en évidence sur certaines variables, un effet bloc a été observé sur la variable PT (soit poids total de fruit récolté) par une Anova à 1 facteur. La comparaison multiple (procédure de Tuckey) permet de faire la distinction entre les blocs 1 et 2 (Tableau 11). En effet ce dernier a un poids total de fruits récoltés beaucoup plus faible que le premier, soit un poids total moyen de 244.3 g pour le bloc 2 contre 361.9 g pour le bloc 1 (Annexe VIII, Figure 1). Le même effet a aussi été observé sur la variable PNC (soit le poids total de fruits non commercialisables), dont les poids des blocs 1 et 2 se distinguent significativement (Tableau 11), soit en moyenne 361.8 g pour le premier et 241.4 g pour le dernier (Annexe VIII, Figure 2). Aucun effet planche n'a cependant été mis en évidence sur l'ensemble des variables. Le rendement des planches des différentes modalités pendant cet essai, est inférieur à la moyenne mahoraise (1.7 kg/m²). En effet, les rendements des modalités decis, kaolin et témoin sont respectivement de 0.011, 0.030 et 0.010 kg/m². Malgré la différence de rendement observée entre la modalité kaolin et les modalités decis et témoin, l'effet du traitement sur le rendement n'a pas été mis en évidence lors de l'analyse statistique (Annexe VIII, Figure 3).

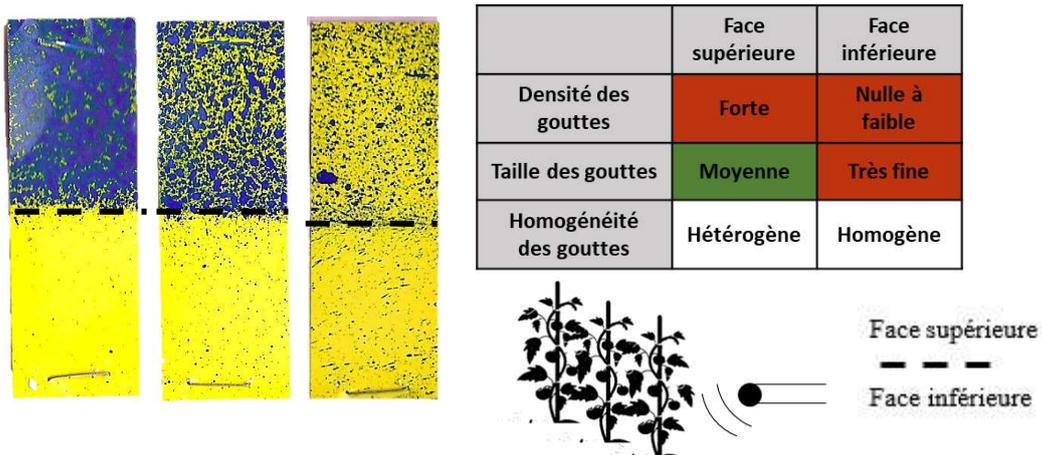


Figure 20: Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau à l'atomiseur ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite). Paramètres : débit de 0.76 l/min, grille à jet large ; accélération 1/3 de la course de la gâchette ; 1 côté pulvérisé.

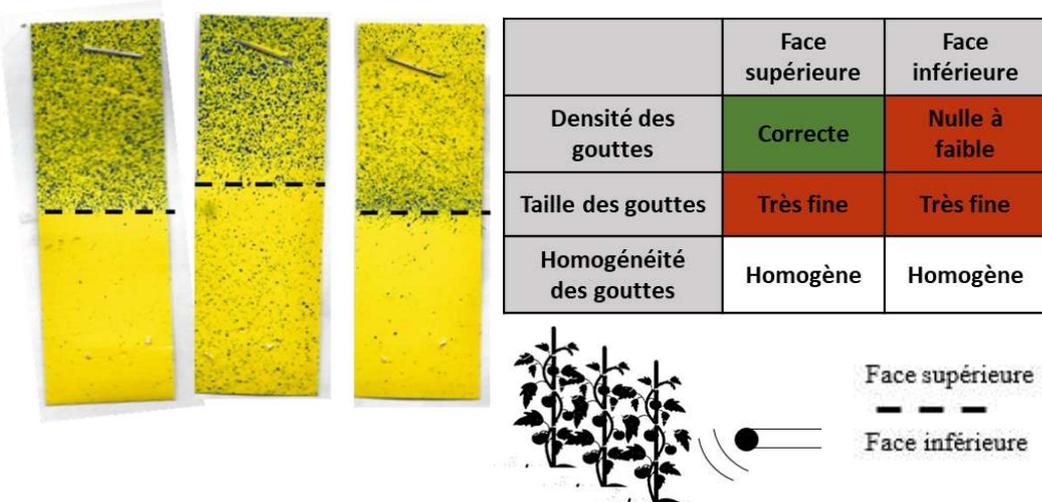


Figure 21: Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau à l'atomiseur ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite). Paramètres : débit de 0.17 l/min ; grille à jet large ; accélération 2/3 de la course de la gâchette ; 1 côté pulvérisé.

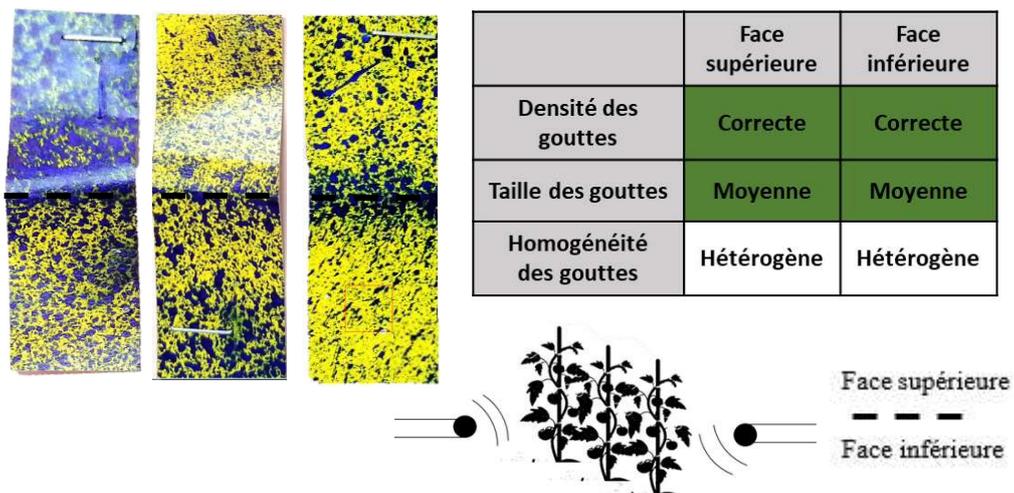


Figure 22: Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau à l'atomiseur ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite). Paramètres : débit de 0.17 l/min ; grille à jet large ; accélération de 1/3 de la course de la gâchette ; 2 côtés pulvérisés.

Discussion

A- Influence du kaolin sur les dégâts de *Neoceratitis cyanescens* sur tomate

Neoceratitis cyanescens est un ravageur que l'on retrouve exclusivement dans les îles du sud-ouest de l'Océan Indien. Peu d'études sur cette espèce ont ainsi été faites, notamment pour ce qui est de l'utilisation du kaolin comme moyen de gestion de la mouche de la tomate. Un essai expérimental a cependant été effectué à Mayotte durant la saison sèche de 2019 (Duval et al., 2020), et cet essai précède celui présenté dans cette étude. La méthode de pulvérisation du kaolin testé dans l'étude de Duval et al., était cependant différente puisque le matériel utilisé était un pulvérisateur à dos à pression manuelle (le matériel végétal et les traitements étaient cependant similaires). Ainsi, la Figure 27, présente le détail des récoltes effectuées. On observe alors, la même tendance que pour les résultats de l'étude menée ici (Figure 24) : une réduction des dégâts de *Neoceratitis cyanescens* sur les planches traitées au kaolin ; un nombre plus important de pertes dû à d'autres causes que la mouche de la tomate sur les planches kaolin par rapport aux autres modalités et un taux de fruits commercialisables plus important pour la modalité kaolin que pour les deux autres modalités (dans une moindre proportion). Il y a une différence assez importante entre l'étude de Duval et al., et celle présentée ici, pour ce qui concerne la proportion de fruits non commercialisables non piqués par *N. cyanescens* (NC_autres). En effet, cette proportion est moins importante dans l'étude de Duval et al. Ceci peut s'expliquer en partie par l'absence de deux importants ravageurs de la tomate, *Helicoverpa armigera* et *Tuta absoluta* lors de l'essai de 2019. En effet, la noctuelle a été responsable dans notre étude de 36 % des pertes de cette catégorie. Ce qui représente des pertes supplémentaires par rapport à l'étude de Duval et al. Par ailleurs, dans les deux études, la modalité kaolin se distingue des modalités témoin et decis, dans le poids de fruits commercialisables et le poids de fruits non commercialisables non piqués, pour l'étude de Duval et al., et dans le nombre de fruits non commercialisables piqués et le nombre des fruits non commercialisables non piqués, pour notre étude. Une comparaison de ces résultats avec l'étude de D'Aquino et al., de 2011, permet de mettre en évidence un effet similaire pour la formulation Surround WP® (kaolin) sur *Ceratitis capitata* en arboriculture (D'Aquino et al., 2011). En effet, dans cette étude le kaolin a permis une réduction de l'oviposition significativement plus importante que pour les modalités insecticide (contenant du Trichlorfon) et témoin. Cependant l'étude de D'Aquino et al., a montré un potentiel effet année ou période sur la différence entre les modalités kaolin et insecticide. D'une année sur l'autre la différence entre les deux est devenue significative. Pour les essais menés sur la mouche de la tomate en 2019 et 2020, la différence entre les modalités kaolin et insecticide a été, dans les deux cas, significative. Ainsi, ces résultats tendent à montrer que l'efficacité de l'insecticide peut être obtenue avec une substance moins nocive pour la santé et l'environnement. Par ailleurs, le kaolin agissant comme une barrière minérale, permettrait de réduire l'oviposition des femelles par camouflage du végétal hôte (Glenn et Puterka, 2005), évitant ainsi les problématiques de résistance liées à l'utilisation d'insecticide (Glenn et Puterka, 2004). De plus, le fait qu'il n'y ait pas de différence significative entre les modalités insecticide et témoin, met en évidence un réel manque d'efficacité des substances actives disponibles pour les agriculteurs. Ce qui peut expliquer que certains d'entre eux choisissent d'augmenter la dose ou la fréquence des traitements insecticides. Si l'on compare l'efficacité du kaolin obtenu sur la mouche de la tomate, à l'efficacité du filet anti-insecte, on observe une exclusion quasi-totale de l'insecte sous filet. Il permet de réduire les pertes jusqu'à près de 60% par rapport au témoin ou à l'insecticide (David-Mougel, 2017 ; Fleuet, 2018).

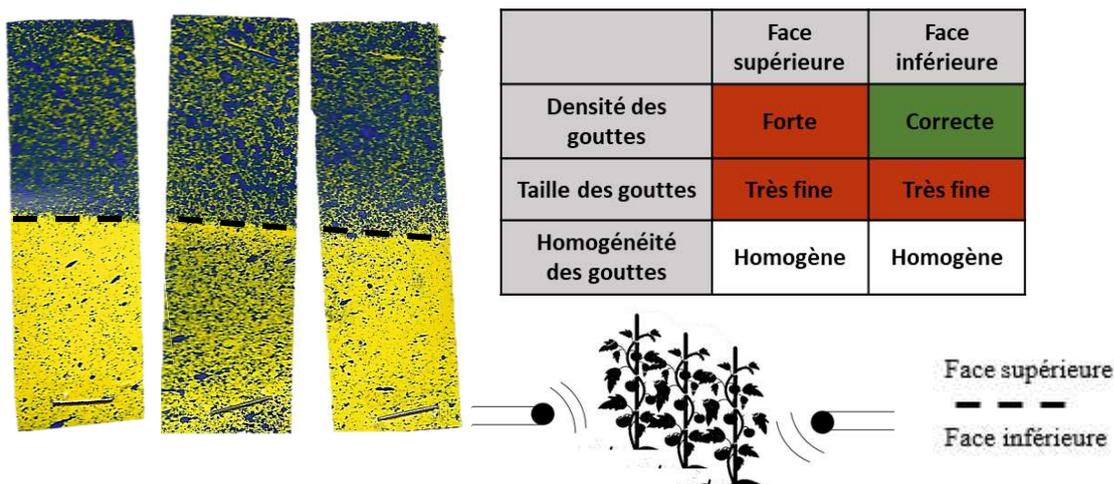


Figure 23: Papiers hydrosensibles pulvérisés avec de l'eau à l'atomiseur ; schéma de la pulvérisation (en bas à droite) ; tableau de notation de la pulvérisation (en haut à droite). Paramètres : débit de 0.17 l/min ; grille à jet large ; accélération de 2/3 de la course de la gâchette ; 2 côtés pulvérisés.

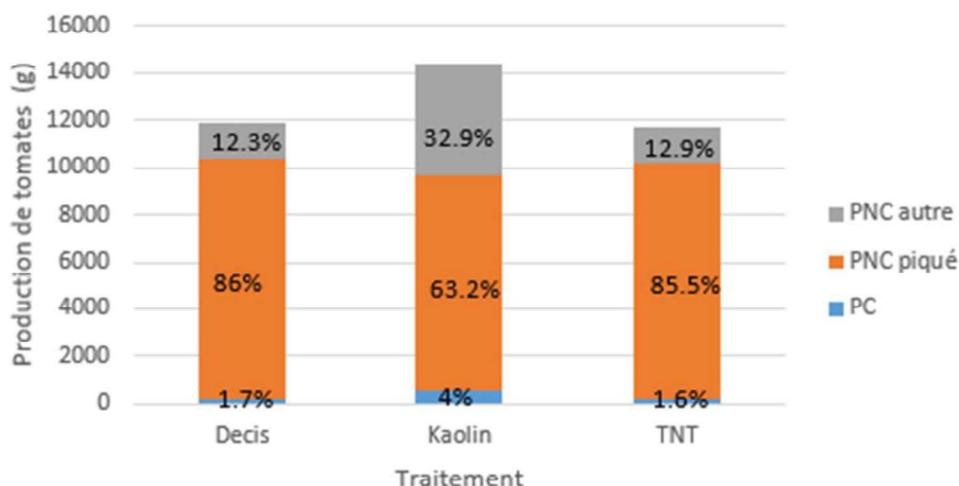


Figure 24: Histogramme de l'ensemble de la production de tomate récoltés par modalités tout au long de l'essai

Tableau 9: Comparaison statistique du nombre et du poids de tomates par modalité. La différence de lettre signifie qu'il y a une différence significative entre les modalités.

	Nb_C	PC	NC_piqué	PNC_piqué	NC autres	PNC_autres	NbT	PT
Test statistique	(GLM) Pas d'effet significatif	(GLM) Pas d'effet significatif	Anova avec test Chi2 p = 0.017	(GLM) Pas d'effet significatif	Anova avec test Chi2 p = 0.0051	(GLM) Pas d'effet significatif	(GLM) Pas d'effet significatif	(Anova) Pas d'effet significatif
DECIS	-	-	a	-	a	-	-	-
KAOLIN	-	-	b	-	b	-	-	-
TEMOIN	-	-	a	-	a	-	-	-

Nb_C : Nombre de fruits commercialisables ; PC : Poids des fruits commercialisables ; NC_piqué : Nombre de fruits non commercialisables piqués par *N. cyanescens* ; PNC_piqué : Poids des fruits non commercialisables piqués par *N. cyanescens* ; NC autres : Nombre de fruits non commercialisables non piqués par *N. cyanescens* ; PNC_autres : Poids de fruits non commercialisables non piqués par *N. cyanescens* ; NbT : Nombre total de fruits récoltés ; PT : Poids total de fruits récoltés.

B- Influence du kaolin sur les dégâts de *Helicoverpa armigera* et de *Tuta absoluta*

Lors de notre essai deux autres ravageurs importants de la tomate ont été observés et/ou comptabilisés, il s'agit de la noctuelle *Helicoverpa armigera* et de la mineuse sud-américaine, *Tuta absoluta*. Le premier ravageur était déjà présent lors des premières récoltes. Le piège installé afin de suivre sa population a cependant été inefficace car aucun adulte n'a été piégé. Et pourtant le comptage des fruits endommagés par la noctuelle lors des récoltes a mis en évidence une forte pression en ravageur. En effet, sur l'ensemble des planches récoltées, 44.7 % des fruits ont été endommagés par *Helicoverpa armigera*. L'inefficacité du piège peut être dû à un problème lié à l'attractivité compétitive de la plante-hôte vis-à-vis du piège à phéromone, comme cela a déjà été mis en évidence dans une étude (Katary et Djihinto, 2007). Mais le problème peut aussi être dû au fait qu'une partie du piège Funnel a été endommagé (Figure 26). L'analyse statistique a montré que les fruits des planches témoins ont autant été touchés par ce ravageur que ceux des planches traitées au kaolin et au Decis®. Ces résultats tendent à montrer que ce ravageur n'a pas été impacté par le traitement insecticide ni le traitement au kaolin. En effet, des études sur ce ravageur en Afrique de l'ouest au début des années 2000 ont déjà mis en évidence une résistance de ce dernier aux pyréthrinoïdes, dont la deltaméthrine (Djihinto, 1999 ; Martin et al., 2002). D'autres études concernant l'influence du kaolin sur ce ravageur ont quant à elles montré un effet du minéral sur la noctuelle (Yarou, 2009 ; Alavo et al., 2010). En effet, Yarou montre dans son étude une réduction du nombre d'œufs pondus par *H. armigera* sur les plantes de cotonnier traitées au kaolin (Yarou, 2009). Alors que l'étude sur cotonnier d'Alavo et al., a montré une diminution du nombre d'œufs pondus par la noctuelle durant les deux premières semaines de traitements (jusqu'à 4 fois moins par rapport au contrôle) puis une diminution de cet effet avec le temps. De plus, l'application de kaolin aurait permis de maintenir le nombre de larve de *H. armigera* en dessous du seuil économique pendant 4 semaines après la première application (Alavo et al., 2010).

Tuta absoluta a été observée en fin de cycle sur feuilles de tomates, puis une dizaine de jours plus tard sur fruits. Le piège à phéromone servant à surveiller sa population a été posé une fois le ravageur détecté (03/08/2020). Ainsi, 187 individus ont été piégés en trois semaines. Le comptage des fruits endommagés par la mineuse a donc été effectué en cours d'essai et n'a pas débuté en même temps que ceux effectués pour *Neoceratitis cyanescens* et *Helicoverpa armigera*. Ainsi, sur l'ensemble des planches 15.7 % des fruits ont été endommagés par la mineuse. Cette proportion est cependant sûrement une sous-estimation de la pression réellement exercée par le ravageur durant l'essai. En effet, il est probable que lors de la détection de la mineuse sur feuilles, celle-ci ait déjà attaqué les fruits. Les dégâts auraient alors été confondus avec ceux d'une jeune chenille de noctuelle. En effet, les chenilles de *Tuta absoluta*, font des trous et des mines sur les fruits verts ou à maturité [11] [12]. Les trous ainsi fait par la mineuse peuvent ressembler à ceux effectués par une jeune larve de noctuelle (Figure 28). Seuls les gros trous fait par *Helicoverpa armigera* se distinguent de ceux fait par *Tuta absoluta* (la chenille de cette dernière étant plus petite). Il est important de savoir que depuis son arrivée sur le territoire la mineuse n'a rarement voire jamais été observée sur fruits (comm. pers Bryce Bouvard). Aucun effet du traitement sur la réduction des dégâts de la mineuse sur tomate a été mis en évidence dans cet essai.

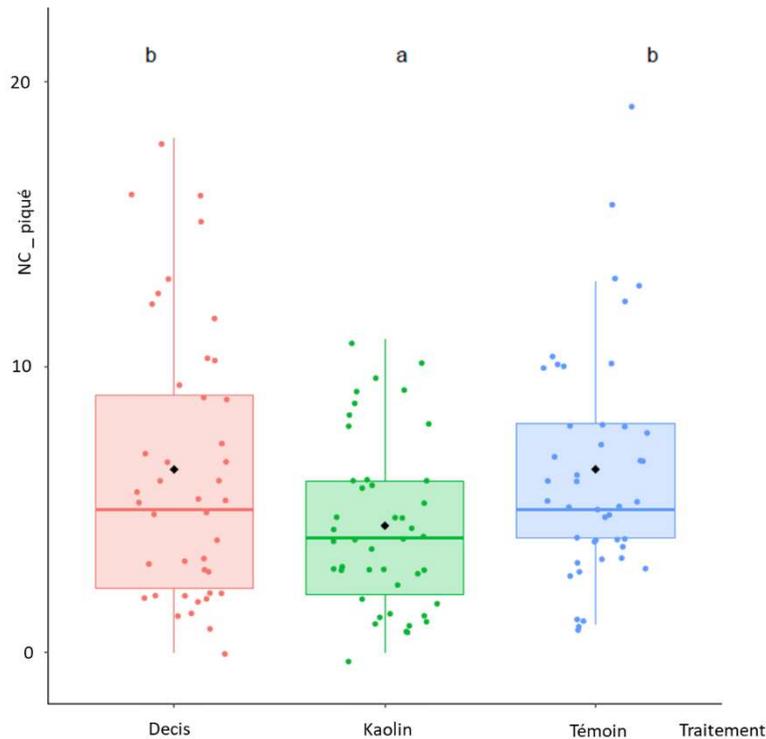


Figure 25: Représentation graphique de l'Anova avec un test de Chi2 suivi d'un test post-hoc de Tukey, sur la variable NC_piqué. Les lettres indiquent une différence significative lorsqu'elles sont différentes.

Tableau 10: Comparaison statistique du nombre de fruits non commercialisables non piqués par modalité. La différence de lettre signifie qu'il y a une différence significative entre les modalités.

	NC_autres_arm	NC_autres_abs	NC_autres_autre	NC_autres
Test statistique	(GLM) Pas d'effet significatif	(GLM) Pas d'effet significatif	Anova avec test de Chi2 p = 0.0068	Anova avec test Chi2 p = 0.0051
DECIS	-	-	a	a
KAOLIN	-	-	b	b
TEMOIN	-	-	a	a

NC_autres : Nombre de fruits non commercialisables non piqué par *N. cyanescens* ; NC_autres_arm : Nombre de fruits non commercialisables à cause de *Helicoverpa armigera* ; NC_autres_abs : Nombre de fruits non commercialisable à cause de *Tuta absoluta* ; NC_autres_autre : Nombre de fruits non commercialisables du fait d'attaques d'oiseaux ou de problèmes physiologiques (cul noir).

Tableau 11: Comparaison multiple des variables, Poids Total de fruits récoltés (PT) et poids total de fruits non commercialisable. La différence de lettre signifie qu'il y a une différence significative entre les modalités.

	PT	PNC
Test statistique	Anova F = 3,25 p= 0.024	Anova avec test Chi2 p= 0.038
Bloc 1	b	b
Bloc 2	a	a
Bloc 3	ab	ab
Bloc 4	ab	ab

Malgré des données peut-être sous-estimées concernant l'influence du kaolin sur ce ravageur, on trouve dans la littérature que le kaolin a une efficacité limitée sur la mineuse. En effet, certaines études ont mis en évidence un effet répulsif voire biocide du kaolin sur les stades larvaires (Braham et Hajji, 2012 ; Abdollahi et al., 2016), alors qu'une autre, a montré un très faible effet biocide et pas d'effet répulsif du kaolin sur la mineuse (De Smedt et al., 2016).

C- Paramétrage de l'atomiseur

Parmi les facteurs d'efficacité de la stratégie de lutte utilisant le kaolin, le plus important est la qualité de la pulvérisation, celle-ci doit être fine et homogène (Laget et al., 2015 ; Colombier et Laveau, 2019 ; Duval et al., 2020). En utilisant un atomiseur dans l'essai présenté ici, nous avons amélioré la qualité de la pulvérisation par rapport à l'essai de Duval et al. Comme le montre la Figure 30, le résultat de l'application à l'atomiseur (conséquence du calibrage du matériel) est plus fin et homogène que ce qui a été obtenu avec le pulvérisateur à dos. Cependant, pour pouvoir être utilisé efficacement dans cette stratégie de lutte, le kaolin doit posséder 7 caractéristiques (Glenn et Puterka, 2005) : (1) inertie chimique ; (2) le diamètre des particules doit être inférieur à 2 μm ; (3) formation d'une couche uniforme une fois répandue sur le végétal ; (4) porosité de la couche, afin qu'il n'y ait pas d'interférence dans les échanges gazeux des parties foliaires ; (5) transmission d'un rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) mais pas ou peu de transmission des longueurs d'ondes Ultra-Violet (UV) ni Infrarouge (IR) ; (6) altération du comportement des insectes sur la plante ; (7) facilement nettoyable pour la récolte. Or, deux de ces propriétés n'ont apparemment pas été vérifiées lors de l'essai, il s'agit des propriétés 3 et 7. En effet, la comparaison de l'application de kaolin sur feuille de mangouier et sur tomate (Figure 29), nous montre bien que sur tomate nous n'obtenons pas une couche homogène, mais plutôt de petites gouttes sur l'ensemble du fruit. Or, ces petites gouttes ne recouvrent pas totalement la totalité du fruit, ce qui permet donc à la mouche de pouvoir pondre sur des zones intactes de kaolin. Cet effet petites gouttes, peut être dû à un paramétrage non adapté de l'atomiseur ou en revanche aux propriétés lisses et hydrophobes de l'épiderme de tomate ne permettant pas l'obtention d'une couche homogène. Par ailleurs, il a été observé tout au long de l'essai que les traces de kaolin sur les fruits récoltés étaient assez persistantes. En effet, il était bien souvent nécessaire de frotter le fruit sous l'eau ou avec un chiffon pour pouvoir retirer ces traces. Le mouillant peut être en cause dans la persistance du kaolin sur le fruit. La tomate étant un produit frais, qui à Mayotte ne subit pas de lavage après la récolte, la présence des traces de kaolin est un inconvénient majeur, tout comme il l'est pour la culture de raisin de tables (Cahenzli et al., 2018). Les autres propriétés décrites par Glenn et Puterka n'ont pas pu être vérifiées, mais certaines seraient peut-être mises en cause dans la dégradation de l'état des plants durant l'essai. En effet, lors de cet essai les plants ont montré une faible productivité. Plusieurs critères peuvent expliquer cela, dont un travail du sol très superficiel car effectué manuellement, la présence de pathogènes et ravageurs du sol (quelques plants sont morts du fait du flétrissement bactérien et la présence de nématodes à galles sur certains plants aurait pu les affaiblir), ainsi qu'un potentiel effet négatif du kaolin sur le feuillage des plants. Certains plants semblaient être affectés par la couche de kaolin qui s'accumulait sur le feuillage (pas de lessivage car l'essai s'est déroulé en saison sèche), les feuilles étaient rigidifiées et parfois semblaient comme brûlées (phytotoxicité ?). Il n'est cependant pas possible de s'assurer de cet effet négatif du kaolin du fait de nombreuses attaques qu'on subit les plants par les différents ravageurs observés. De plus, aucun effet négatif sur le feuillage a été répertorié à ce jour. Le kaolin est d'ailleurs utilisé pour protéger les cultures du soleil (Berud et al., 2013).

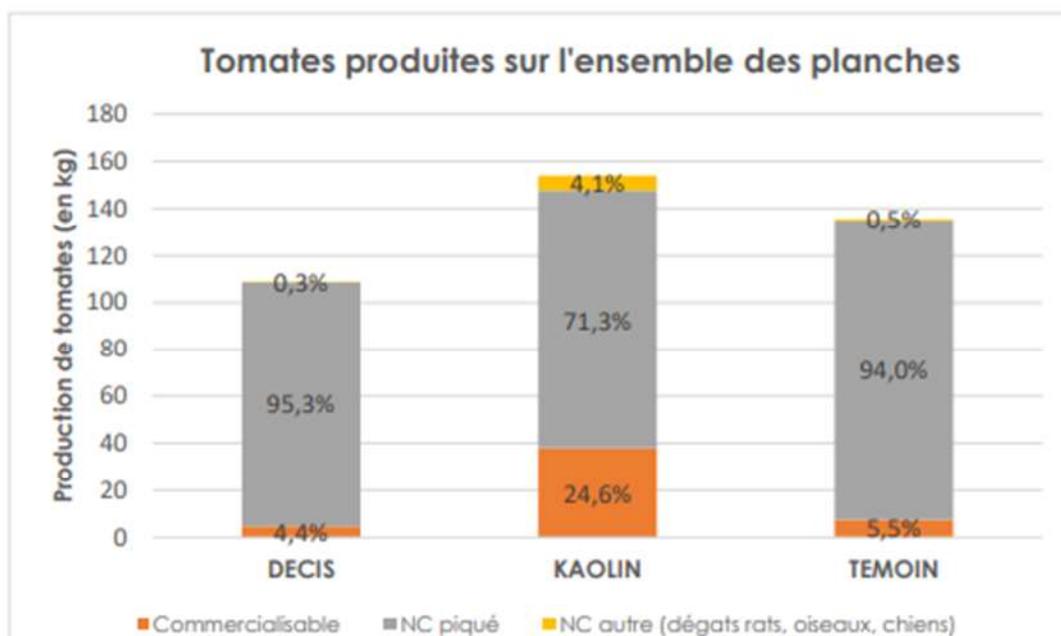


Figure 27: Totalité des pesées à la récolte sur l'ensemble des planches, soit sur une surface de 48 m² pour chaque modalité, pour l'essai plein champ en saison sèche de 2019. Source : Duval et al., 2020.



Figure 26: Photo du piège Funnel à phéromone pour la capture d'adulte d'*Helicoverpa armigera*.
Source : Youssef



Figure 28: (à droite) Photo d'*Helicoverpa armigera* sortant de sa galerie sur tomate ; (à gauche) Photo d'une mine et d'une galerie de *Tuta absoluta* sur tomate. Source : Youssef

Conclusion

Ainsi, cette étude a montré que le traitement kaolin permet de réduire le nombre de fruits piqués par *Neoceratitis cyanescens* par rapport au traitement insecticide et au témoin. Cependant, l'application du kaolin ne permet pas de sécuriser les rendements mahorais. En effet, les rendements obtenus dans cette étude étaient jusqu'à 100 fois inférieurs au rendement mahorais (sachant que d'autres causes sont imputables à ce faible rendement, tels que le travail du sol, la fertilisation etc,...). En reprenant aussi les résultats obtenus par l'étude de Duval et al., il en ressort la même chose, l'efficacité du kaolin pour la gestion des populations de *Neoceratitis cyanescens*, est insatisfaisante. Dans cette dernière étude les rendements étaient aussi inférieurs au rendement généralement obtenu à Mayotte. Par ailleurs, il a été montré ici, que l'argile blanche n'a pas d'influence sur les populations de *Tuta absoluta* et *Helicoverpa armigera*. Malgré son innocuité et son efficacité par rapport à l'insecticide, la pulvérisation de kaolin présente d'importants inconvénients. Parmi eux, on peut citer la technicité de la pulvérisation de kaolin, la difficulté de couvrir toute la surface du fruit, et la nécessité de laver les fruits avant la commercialisation. En effet, l'utilisation du kaolin nécessite un matériel adapté, un atomiseur. Dans nos conditions expérimentales, la distance entre l'opérateur et les plants avec l'atomiseur était d'1.5 m, sauf que dans les conditions réelles les rangs de tomates sont serrés (moins d'un mètre) et ne laissent pas la place à un matériel aussi volumineux avec cette distance d'opération. Le calibrage du matériel est une phase importante de la stratégie de lutte. Cette phase doit donc être effectuée au mieux par les producteurs. Or, ce matériel n'est actuellement pas utilisé par les producteurs mahorais, ce qui représenterait alors un lourd investissement pour eux. Il semble donc que ce soit peu adapté aux conditions de production paysanne. De plus nous l'avons vu, il est difficile d'obtenir une couche homogène et fine sur les fruits. Et enfin, la persistance du kaolin sur les fruits pose un problème de gestion post-récolte. En effet, avec cette technique ces derniers doivent être lavés avant leur commercialisation, or il n'existe pas de station ou d'étape de lavage dans la chaîne de commercialisation des tomates à Mayotte. Même si le kaolin n'est pas dangereux pour la santé, la présence du mouillant peut poser un problème de santé.

Le kaolin peut donc être un levier complémentaire à la gestion de la mouche de la tomate, à associer avec d'autres techniques. Parmi ces autres méthodes, il pourrait être intéressant de combiner le kaolin à des huiles essentielles d'agrumes comme cela a pu être étudié sur des ravageurs de la tomate. Le kaolin permettrait alors de stabiliser et d'augmenter l'efficacité des huiles essentielles (Reitz et al., 2008 ; Zarrad et al., 2017). Il est aussi important de citer parmi les autres méthodes, la prophylaxie, encore trop peu utilisée par les producteurs mahorais, alors que cette méthode permet d'éliminer les sources d'infestations et donc de faire baisser la pression en ravageurs.

Pour l'instant, la technique la plus efficace contre la mouche de la tomate s'avère être le filet anti-insecte. Ce dernier a aussi montré son efficacité sur *T. absoluta* et une efficacité partielle sur *H. armigera* (David-Mougel, 2017 ; Fleuet, 2018). Le filet anti-insecte représente donc pour l'instant le meilleur atout pour la gestion des trois principaux ravageurs de la tomate. Adapté et testé aux conditions mahoraises, il reste cependant peu utilisé du fait principalement de la contrainte économique. Il est donc important d'accompagner au mieux les agriculteurs mahorais dans leur changement de pratique afin de développer l'utilisation du filet anti-insecte.



Figure 30: A. Photo de tomates pulvérisées avec du kaolin au pulvérisateur. Source : Duval ; B. et C. Photos de tomates pulvérisées au kaolin avec l'atomiseur. Source : Youssef

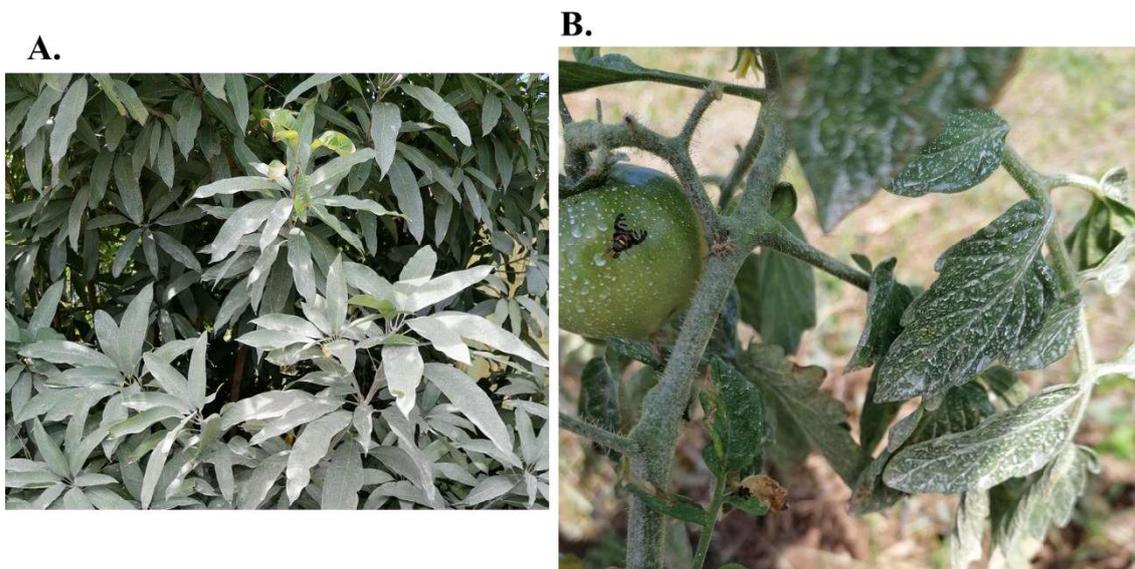


Figure 29: A. Photo de feuilles de manguier pulvérisées avec du kaolin à l'atomiseur ; B. Photos de *N. cyanescens* sur une tomate pulvérisée au kaolin avec l'atomiseur. Source : Youssef

Référence bibliographique

- ABDOLLAHI, M., MINAEI, K., ALICHI, M., ATASHI, H. et ESHGHI, S., 2016. Effect of Kaolin on second instar larvae of tomato leaf miner, *Tuta absoluta* (Lep.:Gelechiidae) in greenhouse conditions. In : *Plant Pest Research* [en ligne]. 14 janvier 2016. Vol. 6, n° 2, p. 29-38. [Consulté le 17 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.cabi.org/isc/FullTextPDF/2016/20163391437.pdf>.
- ALAVO, Thiery, BONI BARTHÉLÉMY, Yarou et ATACHI, P., 2010. Field effects of kaolin particle film formulation against major cotton lepidopteran pests in North Benin, West Africa. In : *International Journal of Pest Management* [en ligne]. 1 octobre 2010. Vol. 56, p. 287-290. [Consulté le 12 mai 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/233106534_Field_effects_of_kaolin_particle_film_formulation_against_major_cotton_lepidopteran_pests_in_North_Benin_West_Africa.
- ATIAMA-NURBEL, Toulassi, 2014. *Réponse des femelles de Bactrocera cucurbitae (Diptera, Tephritidae) aux composés volatiles de fruits-hôtes* [en ligne]. Thèse de Doctorat. La Réunion : Université de La Réunion. [Consulté le 12 mars 2020]. Disponible à l'adresse : https://agritrop.cirad.fr/573403/1/document_573403.pdf.
- AUBERT, Magali, DEBRUNE, Orane, HUAT, Joël et PARROT, Laurent, 2019. The institutional environment. Key support for formal market gardeners in Mayotte. In : *Systèmes alimentaires / Food Systems*. 2019. n° 4, p. 185-206. DOI 10.15122/isbn.978-2-406-09829-4.p.0185.
- BENGOCHEA, Paloma, HERNANDO, Sara, SAELICES, Rosa, ADÁN, Ángeles, BUDIA, Flor, GONZÁLEZ-NÚÑEZ, Manuel, VIÑUELA, Elisa et MEDINA, Pilar, 2010. Side effects of kaolin on natural enemies found on olive crops. In : *Pesticides and Beneficial Organisms*. 2010. Vol. 55, p. 61-67.
- BERUD, Myriam, WARLOP, François, LIBOUREL, Gilles et FILLERON, Emmanuelle, 2013. *Argiles en arboriculture : Pommier, Poirier, Cerisier, Olivier* [en ligne]. décembre 2013. S.l. : Chambre régionale d'agriculture de Provence Alpes Côte d'Azur. [Consulté le 22 décembre 2019]. Disponible à l'adresse : <https://ecophytopic.fr/sites/default/files/upload-documents-entity-import-csv/Argiles%25202014-01-20.pdf>.
- BOARI, Francesca, CUCCI, Giovanna, DONADIO, Antonio, SCHIATTONE, Maria Immacolata et CANTORE, Vito, 2014. Kaolin influences tomato response to salinity: physiological aspects. In : *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*. 3 octobre 2014. Vol. 64, n° 7, p. 559-571. DOI 10.1080/09064710.2014.930509.
- BOARI, Francesca, DONADIO, Antonio, PACE, Bernardo, SCHIATTONE, Maria Immacolata et CANTORE, Vito, 2016. Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. In : *Agricultural Water Management*. 31 mars 2016. Vol. 167, p. 29-37. DOI 10.1016/j.agwat.2015.12.021.
- BOARI, Francesca, DONADIO, Antonio, SCHIATTONE, Maria Immacolata et CANTORE, Vito, 2015. Particle film technology: A supplemental tool to save water. In : *Agricultural Water Management: Priorities and Challenges*. 1 janvier 2015. Vol. 147, p. 154-162. DOI 10.1016/j.agwat.2014.07.014.
- BRAHAM, Mohamed et HAJJI, Lobna, 2012. Management of *Tuta absoluta* (Lepidoptera, Gelechiidae) with Insecticides on Tomatoes. In : *Insecticides - Pest Engineering* [en ligne]. S.l. : s.n. [Consulté le 17 avril 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/publication/221924686_Management_of_Tuta_absoluta_Lepidoptera_Gelechiidae_with_Insecticides_on_Tomatoes.

BRAHAM, Mohamed, PASQUALINI, Edison et NCIRA, Neziha, 2007. Efficacy of kaolin, spinosad and malathion against *Ceratitidis capitata* in Citrus orchards. In : *Bulletin of Insectology* [en ligne]. 1 juin 2007. Vol. 60, n° 1, p. 39-47. [Consulté le 24 avril 2020]. Disponible à l'adresse : [https://www.researchgate.net/publication/228476373_Efficacy_of_kaolin_spinosad_and_malathion_a gainst_Ceratitidis_capitata_in_Citrus_orchards](https://www.researchgate.net/publication/228476373_Efficacy_of_kaolin_spinosad_and_malathion_against_Ceratitidis_capitata_in_Citrus_orchards).

BREVAULT, T., 1999. *Mecanismes de localisation de l'hôte chez la mouche de la tomate, Neoceratitis cyanescens (Bezzi) (Diptera : Tephritidae)* [en ligne]. These de doctorat en Biologie de l'évolution et écologie. Montpellier, France : s.n. [Consulté le 28 janvier 2020]. Disponible à l'adresse : <https://agritrop.cirad.fr/300694/1/ID300694.pdf>.

BREVAULT, T. et QUILICI, S., 1999. Factors affecting behavioural responses to visual stimuli in the tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*. In : *Physiological Entomology*. 1999. Vol. 24, p. 333-338.

BREVAULT, T. et QUILICI, S., 2007. Visual response of the tomato fruit fly, *Neoceratitis cyanescens*, to colored fruit models. In : *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 2007. Vol. 125, p. 45-54. DOI 10.1111/j.1570-7458.2007.00601.x.

BREVAULT, Thierry et QUILICI, Serge, 2010. Flower and fruit volatiles assist host-plant location in the Tomato fruit fly *Neoceratitis cyanescens*. In : *Physiological Entomology*. mars 2010. Vol. 35, n° 1, p. 9-18. DOI 10.1111/j.1365-3032.2009.00704.x.

BRUCHON, L., LE BELLEC, F., VANNIÈRE, H., EHRET, P., VINCENOT, D., DE BON, H., MARION, D. et DEGUINE, J.P., 2015. *Guide Tropical-Guide pratique de conception de systèmes de culture tropicaux économes en produits phytosanitaires*. Paris : Le Bellec F. ISBN 978-2-87614-702-7.

CABI et OEPP, [sans date]. *Fiche informative sur les organismes de quarantaine. Trirhithromyia cyanescens* [en ligne]. S.l. : s.n. [Consulté le 10 mars 2020]. Disponible à l'adresse : file:///C:/Users/ADMINPC/Downloads/ds_CERTCY_fr.pdf.

CAHENZLI, F., STRACK, T. et DANIEL, C., 2018. Screening of 25 different natural crop protection products against *Drosophila suzukii*. In : *Journal of Applied Entomology*. 2018. p. 1-15. DOI 10.1111/jen.12510.

CANTORE, Vito, PACE, Bernardo et ALBRIZIO, Rossella, 2009. Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. In : *Environmental and Experimental Botany*. 1 mai 2009. Vol. 66, n° 2, p. 279-288. DOI 10.1016/j.envexpbot.2009.03.008.

CAPAM, 2016. Le réseau mouches des fruits. In : *Bulletin de Santé du Végétal* [en ligne]. janvier 2016. n° 2. [Consulté le 17 mars 2020]. Disponible à l'adresse : http://daaf.mayotte.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/BSV_reseau_mouches_fruits_cle015684.pdf.

CHAMPION, J.B., COLLIN, C., GLÉNAT, P., LESDOS-CAUHAPÉ, C. et QUÉNECHDU, V., 2019. A Mayotte, près d'un habitant sur deux est de nationalité étrangère. In : *Insee Première* [en ligne]. février 2019. n° 1737, p. 1-4. [Consulté le 28 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3713016>.

COLOMBIER, Laurent et LAVEAU, Etienne, 2019. Vignoble Bio : Un biocontrôle contre la cicadelle des grillures sur vigne. In : *ProfilBio* [en ligne]. juin 2019. n° 7, p. 22-23. [Consulté le 21 février 2020]. Disponible à l'adresse : https://abiodoc.docressources.fr/doc_num.php?explnum_id=4146.

COTTRELL, Ted E., WOOD, Bruce W. et REILLY, Charles C., 2002. Particle film affects black pecan aphid (Homoptera: Aphididae) on pecan. In : *Journal of Economic Entomology*. août 2002. Vol. 95, n° 4, p. 782-788. DOI [10.1603/0022-0493-95.4.782](https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.4.782).

DANIEL, Claudia, CAHENZLI, Fabian et STÖCKLI, Sybille, 2018. *Le kaolin contre la drosophile du cerisier en viticulture*. 2018. S.l. : Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL.

D'AQUINO, S., COCCO, A., ORTU, S. et SCHIRRA, M., 2011. Effects of kaolin-based particle film to control *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) infestations and postharvest decay in citrus and stone fruit. In : *Crop Protection*. 1 août 2011. Vol. 30, n° 8, p. 1079-1086. DOI 10.1016/j.cropro.2011.03.019.

DAVID-MOUGEL, Clara, 2017. *Evaluation d'une méthode de lutte agro-écologique par filet : Quelle efficacité de différentes mailles de filets pour protéger les cultures de tomates de Mayotte contre *Neoceratitis cyaneescens* ?*. Mémoire de fin d'études. Mayotte : ISTOM.

DE SMEDT, Caroline, VAN DAMME, Veerle, DE CLERCQ, Patrick et SPANOGHE, Pieter, 2016. Insecticide Effect of Zeolites on the Tomato Leafminer *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). In : *Insects* [en ligne]. 2 décembre 2016. Vol. 7, n° 4. [Consulté le 17 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5198220/>.

DEFFONTAINES, Sylvain, 2013. *Agroécologie et Agroforesterie à Mayotte : Diagnostic et lignes directrices pour l'Action* [en ligne]. Rapport de Mission à Mayotte du 17 au 22 juin 2013. Mayotte. Agrisud. [Consulté le 27 mai 2020]. Disponible à l'adresse : http://www.odeadom.fr/wp-content/uploads/2013/12/3_Rapport_public_de_mission_a_Mayotte_Comp.pdf.

DJIHINTO, Angelo Cocou, 1999. *Résistance aux pyrèthrinoides observées chez *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lépidoptère, Noctuidae), ravageur du cotonnier au nord Bénin* [en ligne]. thesis. S.l. : ENSAM. [Consulté le 10 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://agritrop.cirad.fr/300493/>. Bénin

DJUROVIĆ, Nevenka, ČOSIĆ, Marija, STRIČEVIĆ, Ružica, SAVIĆ, Slađana et DOMAZET, Milka, 2016. Effect of irrigation regime and application of kaolin on yield, quality and water use efficiency of tomato. In : *Scientia Horticulturae*. 30 mars 2016. Vol. 201, p. 271-278. DOI 10.1016/j.scienta.2016.02.017.

DOORENWEERD, Camiel, LEBLANC, Luc, NORRBOM, Allen L., JOSE, Michael San et RUBINOFF, Daniel, 2018. A global checklist of the 932 fruit fly species in the tribe Dacini (Diptera, Tephritidae). In : *ZooKeys*. 17 janvier 2018. n° 730, p. 19-56. DOI 10.3897/zookeys.730.21786.

DUVAL, Pauline, RICHARD, Thomas et HUAT, Joël, 2020. *Evaluation agronomique de l'utilisation de l'argile blanche (kaolinite) comme moyen de biocontrôle contre la mouche de la tomate, *Neoceratitis cyaneescens**. Rapport d'essai. Mayotte. CIRAD.

FLEUET, Julie, 2018. *Evaluation de l'impact agro-économique de l'utilisation d'un filet anti-insectes contre les principaux ravageurs aériens de la tomate en milieu paysan à Mayotte*. Mémoire de fin d'études. Mayotte : ISTOM.

FRANCK, Antoine, DEGUINE, Jean-Philippe et VINCENOT, Didier, 2018. *Guide de reconnaissance des Mouches des fruits et des légumes à La Réunion. Application à la protection agroécologique des cultures*. 2ème éd. S.l. : CIRAD. ISBN 978-2-87614-732-4.

GLENN, D. M. et PUTERKA, G. J., 2004. Particle film technology : An overview of history, concepts and impact in horticulture. In : *Acta horticulturae*. avril 2004. p. 509-511. DOI 10.17660/ActaHortic.2004.636.63.

GLENN, D. M. et PUTERKA, G. J., 2005. Particle Films: A New Technology for Agriculture. In : *Horticultural Reviews*. Jules Janick. S.l. : John Wiley & Sons, Inc. p. 1-44. ISBN 0-471-66694-7.

GLENN, D. M., PUTERKA, G. J., VANDERZWET, T., BYERS, R. E. et FELDHAKÉ, C., 1999. Hydrophobic Particle Films: A New Paradigm for Suppression of Arthropod Pests and Plant Diseases.

In : *Journal of Economic Entomology*. 1 août 1999. Vol. 92, n° 4, p. 759-771. DOI 10.1093/jee/92.4.759.

HUAT, Joel, 2008. *Diagnosis on the variability of the management of a crop and their agronomic consequences in an agriculture strongly subjected to uncertainties : case of open-field tomato in Mayotte* [en ligne]. Theses. S.l. : AgroParisTech. [Consulté le 7 janvier 2020]. Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/pastel-00004410>.

HUAT, Joël, DORÉ, Thierry et AUBRY, Christine, 2013. Limiting factors for yields of field tomatoes grown by smallholders in tropical regions. In : *Crop Protection*. 1 février 2013. Vol. 44, p. 120-127. DOI 10.1016/j.cropro.2012.11.003.

KATARY, A et DJIHINTO, A.C., 2007. Evolution temporelle de la population de *Helicoverpa armigera* en culture cotonnière au Bénin. In : *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin* [en ligne]. décembre 2007. n° 58, p. 38-44. [Consulté le 11 août 2020]. Disponible à l'adresse : http://www.slire.net/download/755/article4_brab58_katary_et_djihinto_evolution_temporelle_de_la_population_de_helicoverpa_armigera.pdf.

LAGET, E., GUADAGNINI, M., SIMON, S., ASSIÉ, G., BILLOTE, B., BORIOLI, P., BOURGOUIN, B., FRATANTUONO, M., GUÉRIN, A., HUCBOURG, B., LEMARQUAND, A., LOQUET, B., MERCADAL, M., PARVEAUD, C-E., RAMADE, L., RAMES, M-H., RICAUD, V., ROUSSELOU, C., SAGNES, J-L. et ZAVAGLI, F., 2015. Fiche N°13 : Argiles (Kaolinite calcinée). In : *Guide Ecophyto Fruits*. GIS Fruits et Ministère de l'agriculture. Paris : s.n. p. 67-71. ISBN 2-7380-1373-2.

LAPOINTE, Stephen, 2000. Particle Film Deters Oviposition by *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae). In : *Journal of economic entomology*. 1 novembre 2000. Vol. 93, p. 1459-63. DOI [10.1603/0022-0493-93.5.1459](https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.5.1459).

LIANG, Gemei et LIU, T.-X, 2002. Repellency of a Kaolin Particle Film, Surround, and a Mineral Oil, Sunspray Oil, to Silverleaf Whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) on Melon in the Laboratory. In : *Journal of economic entomology*. 1 avril 2002. Vol. 95, p. 317-24. DOI [10.1603/0022-0493-95.2.317](https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.2.317).

MARQUIER, M. et FONTAINE, R., 2019. *La mouche orientale des fruits* [en ligne]. 2019. S.l. : Fdgdon Réunion. [Consulté le 24 avril 2020]. Disponible à l'adresse : http://www.fdgdon974.fr/IMG/pdf/FT_B_dorsalis_2019.pdf.

MARTIN, T, CHANDRE, F, OCHOU, O.G, VAISSAYRE, M et FOURNIER, D, 2002. Pyrethroid resistance mechanisms in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) from West Africa. In : *Pesticide Biochemistry and Physiology* [en ligne]. septembre 2002. Vol. 74, n° 1, p. 17-26. [Consulté le 10 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048357502001177>.

MCKENZIE, C., LAPOINTE, Stephen, HUNTER, Wayne et PUTERKA, Gary, 2002. Efficacy of Surround® for control of Asian citrus psyllid on citrus, 2000. In : *Arthropod Management Tests*. 1 janvier 2002. Vol. 27, p. D8-D8. DOI [10.1093/amt/27.1.D8](https://doi.org/10.1093/amt/27.1.D8).

MÉROT, Philippe et ABDOUL-KARIME, Anli-Liachouroutu, 2011. Le réseau de vigilance des mouches des fruits de Mayotte. In : *Bulletin d'Information sur la Santé du Végétal*. novembre 2011. n° 1, p. 1-4.

MEYER, M. De, QUILICI, S., FRANCK, A., CHADHOULIATI, A. C., ISSIMAILA, M. A., YOUSOUFA, M. A., ABDOUL-KARIME, A.-L., BARBET, A., ATTIE, M. et WHITE, I. M., 2012. Records of Frugivorous Fruit Flies (Diptera: Tephritidae: Dacini) from the Comoro Archipelago. In : *African Invertebrates* [en ligne]. juin 2012. Vol. 53, n° 1, p. 69-77. [Consulté le 17 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.bioone.org/doi/abs/10.5733/afin.053.0104>.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION ET DES AFFAIRES RURALES DE L'ONTARIO, 2019. *Guide de protection des cultures légumières 2020-2021 Publication 838F* [en ligne]. Ontario. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. [Consulté le 28 juillet 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/pub838/pub838.pdf>.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION, 2017. *Surveillance sanitaire des denrées animales et végétales en France : bilan 2017 des plans de surveillance et de contrôle*. Bilan 2017. Paris. Ministère de l'agriculture et de l'alimentation.

MOURON, R., 2002. BRGM/RP-51723-FR-2002 MAYOTTE 02 : *Schéma des carrières de Mayotte* [en ligne]. Mayotte. BRGM. [Consulté le 29 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-51723-FR.pdf>.

ORIAN, A.J.E. et MOUTIA, L.A., 1960. Fruit flies (Trypetidae) of economic importance in Mauritius. In : *Revue Agricole et Sucrière de l'Ile* [en ligne]. 1960. Vol. 39, n° 3, p. 142-150. [Consulté le 18 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.cabi.org/ISC/abstract/19610501774>.

PENG, Linian, TRUMBLE, John, MUNYANEZA, Joseph et LIU, T.-X, 2011. Repellency of a kaolin particle film to potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psyllidae), on tomato under laboratory and field conditions. In : *Pest management science*. 1 juillet 2011. Vol. 67, p. 815-24. DOI 10.1002/ps.2118.

PETIT, Jean-Luc, 2010. Contre le puceron vert du pêcher. In : *Biofil* [en ligne]. juin 2010. n° 70, p. 45-47. [Consulté le 1 février 2020]. Disponible à l'adresse : https://abiocdoc.docressources.fr/doc_num.php?explnum_id=992.

PICAULT, Sébastien, QUENNESSON, S., ROY, G., DAVY, M., TORRES, M., GINEZ, Anthony, SCHOENY, Alexandra, LAMBION, Jérôme, LAVIGNE, D. et BOUVARD, D., 2018. AGATH : Utilisation de plantes de service et de kaolin pour gérer les populations de pucerons et de thrips en cultures légumières. In : *Innovations Agronomiques*. 2018. Vol. 63, p. 385-397. DOI [10.15454/1.5191193584430571E12](https://doi.org/10.15454/1.5191193584430571E12).

POPRAWSKI, T. et PUTERKA, Gary, 2002a. Particle film applications to collards for white-fly control, 1998. In : *Arthropod Management Tests*. 1 janvier 2002. Vol. 27, p. E29-E29. DOI [10.1093/amt/27.1.E29](https://doi.org/10.1093/amt/27.1.E29).

POPRAWSKI, T. et PUTERKA, Gary, 2002. Particle film applications to bell pepper for whitefly control, 1997. In : *Arthropod Management Tests*. 1 janvier 2002. Vol. 27, p. E58-E58. DOI [10.1093/amt/27.1.E58](https://doi.org/10.1093/amt/27.1.E58).

PUTERKA, G. J., SEKUTOWSKI, D. G. et GLENN, D. M., 2000. Method for protecting surfaces from arthropod infestation. In : *United States Patent* [en ligne]. 22 février 2000. n° 6 027 740. [Consulté le 26 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://pubag.nal.usda.gov/download/6562/PDF>.

PUTERKA, Gary, REINKE, M., LUVISI, D., CIOMPERIK, M.A. et BARTELS, David, 2003. Particle Film, Surround WP, Effects on Glassy-winged Sharpshooter Behavior and Its Utility as a Barrier to Sharpshooter Infestations in Grape. In : *Plant Health Progress*. 1 janvier 2003. DOI 10.1094/PHP-2003-0321-01-RS.

QUILICI, Serge, 2004. *Interactions à différents niveaux trophiques chez les diptères Tephritidae* [en ligne]. 2004. S.l. : Université de la Réunion. [Consulté le 11 mars 2020]. Disponible à l'adresse : https://agritrop.cirad.fr/525292/1/document_525292.pdf.

REITZ, Stuart R., MAIORINO, Giuseppina, OLSON, Steve, SPRENKEL, Richard, CRESCENZI, Aniello et MOMOL, M. Timur, 2008. Integrating Plant Essential Oils and Kaolin for the Sustainable Management of Thrips and Tomato Spotted Wilt on Tomato. In : *Plant Disease* [en ligne]. 16 mai 2008. Vol. 92, n° 6, p. 878-886. [Consulté le 17 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-92-6-0878>.

RIOUX, Vincent, 2001. *Optimisation de systèmes de piégeage vis-a-vis des mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) économiquement importantes de l'île de La Réunion* [en ligne]. 2001. S.l. : s.n. [Consulté le 16 mars 2020]. Disponible à l'adresse : <https://agritrop.cirad.fr/483752/1/ID%20483752.pdf>.

ROUBAUD, François, 2014. L'économie informelle est-elle un frein au développement et à la croissance économiques ? In : *Regards croisés sur l'économie* [en ligne]. 20 février 2014. Vol. n° 14, n° 1, p. 109-121. [Consulté le 14 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.cairn.info/revue-regards-croises-sur-l-economie-2014-1-page-109.htm>.

RYCKEWAERT, Philippe, DEGUINE, Jean-Philippe, BRÉVAULT, Thierry et VAYSSIÈRES, Jean-François, 2010. Fruit flies (Diptera: Tephritidae) on vegetable crops in Reunion Island (Indian Ocean): state of knowledge, control methods and prospects for management. In : *Fruits*. mars 2010. Vol. 65, n° 2, p. 113-130. DOI 10.1051/fruits/20010006.

RYCKEWAERT, Philippe et FABRE, Frédéric, 2001. Lutte intégrée contre les ravageurs des cultures maraichères à La Réunion. In : *Proceedings of the Fifth Annual Meeting of Agricultural Scientists*. Mauritius : Lalouette J.A. and Bachraz D. Y. 3 mai 2001. p. 99-103.

RYCKEWAERT, Philippe et RHINO, Béatrice, 2017. Les mouches des fruits. In : *Insectes et acariens des cultures maraichères en milieu tropical humide : Reconnaissance, bioécologie et gestion agro-écologique*. S.l. : Editions Quae. p. 66-69. ISBN 978-2-7592-2570-5.

SAAVEDRA DEL R., G., ESCAFF G., M. et HERNANDÉZ V., J., 2006. Kaolin effects in processing tomato production in Chile. In : *Acta Horticulturae*. 2006. Vol. 724, p. 191-198. DOI 10.17660/ActaHortic.2006.724.23.

SICILIANO, A., [sans date]. *Appliquer une barrière minérale contre la mouche de l'olive*. S.l. : Centre technique de l'Olivier.

SISE/DAAF MAYOTTE, 2011. Synthèse illustrée du recensement agricole 2010. In : *Agreste Données*. juin 2011. p. 3-27.

SISE/DAAF MAYOTTE, 2016a. ECOPHYTO Mayotte- Analyse des pratiques en maraichage. In : *Agreste* [en ligne]. décembre 2016. n° 71, p. 1-2. [Consulté le 30 janvier 2020]. Disponible à l'adresse : http://daaf.mayotte.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Decembre_-_Ecophyto-maraichage_cle0dba5d.pdf.

SISE/DAAF MAYOTTE, 2016b. « Le jardin mahorais » : modèle d'agréologie, mais quel avenir ? In : *Agreste* [en ligne]. 2016. n° 68, p. 1-3. [Consulté le 27 mai 2020]. Disponible à l'adresse : http://daaf.mayotte.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Septembre_-_Le_jardin_mahorais_cle09c1a3.pdf.

SISE/DAAF MAYOTTE, 2016c. Une filière « tomate » à sécuriser et à structurer. In : *Agreste* [en ligne]. juillet 2016. n° 66, p. 1-4. Disponible à l'adresse : http://daaf.mayotte.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Juillet_-_La_filiere_tomate_66_cle0ac7f8.pdf.

SISE/DAAF MAYOTTE, 2017. *Etats Généraux de l'alimentation : contribution de Mayotte sur le chantier « Création et répartition de la valeur »*. Compte rendu des ateliers. Mamoudzou. DAAF Mayotte.

SISE/DAAF MAYOTTE, 2019. Quelle autosuffisance alimentaire pour Mayotte ? In : *Agreste* [en ligne]. décembre 2019. n° 105, p. 1-4. [Consulté le 28 mai 2020]. Disponible à l'adresse : http://daaf.mayotte.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Decembre_2019_autosuffisance_alimentaire2_105_cl_e0bb389.pdf.

SPENCER, C., MOURON, R. et RANÇON, J.-Ph., 2004. BRGM/RP-53144-FR : *Mise en évidence de ressources en matières premières pour la fabrication de produits en terre cuite et céramiques sur l'île de Mayotte* [en ligne]. Mayotte. [Consulté le 29 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-53144-FR.pdf>.

VANHUFFEL, Luc et HUAT, Joël, 2019. *Le guide des productions maraîchères à Mayotte*. 2. Mayotte : CIRAD.

WAJNBERG, Eric, 2011. *Introduction au Modèle Linéaire Généralisé (Generalized Linear Model ; GLM)* [en ligne]. octobre 2011. S.I. : Université de Nice-Sophia-Antipolis. [Consulté le 8 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://sites.unice.fr/coquillard/UE7/cours%20IV%20%28GLM%20I%29.pdf>.

WYSS, E. et DANIEL, Claudia, 2004. Effects of autumn kaolin and pyrethrin treatments on the spring population of *Dysaphis plantaginea* in apple orchards. In : *Journal of Applied Entomology*. 11 mars 2004. Vol. 128, p. 147-149. DOI [10.1111/j.1439-0418.2004.00825.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2004.00825.x).

YAROU, Boni Barthélémy, 2009. *Potentialité du kaolin et d'un nouveau régulateur de croissance (Méthoxyfénoside) pour la lutte intégrée contre les Aphides (Homoptera : Aphididae) et Helicoverpa armigera (Lepidoptera : Noctuidae)*. [en ligne]. Mémoire de fin de formation. Bénin : Université d'Abomey-Calavi. [Consulté le 11 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.memoireonline.com/11/13/7726/Potentialites-du-kaolin-et-d-un-nouveau-regulateur-de-croissance--Methoxyfenozone--pour-la-lut.html>.

ZARRAD, K., CHAIEB, I., BEN HAMOUDA, A., BOUSLAMA, T. et LARIF, A., 2017. Chemical composition and insecticidal effects of Citrus aurantium of essential oil and its powdery formulation against *Tuta absoluta*. In : *Tunisian Journal of Plant Protection* [en ligne]. 2017. Vol. 12, p. 83-94. [Consulté le 17 avril 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.cabi.org/ISC/FullTextPDF/2018/20183131133.pdf>.

Sitographie

[1] Météo France Mayotte. In : *Météo France Mayotte*, Description du climat [en ligne]. Disponible sur : <http://www.meteofrance.yt/climat/description-du-climat> (Consulté le 22/04/2020).

[2] Ministère des Outre-Mer, 2016. In : *Ministère des Outre-Mer*, Mayotte– Histoire [en ligne]. Disponible sur : <http://www.outre-mer.gouv.fr/mayotte-histoire> (Consulté le 22/04/2020).

[3] VANHUFFEL, L, BOUVARD, B. et CHESNEAU, T., 2017. In : *ephytia*, Les cultures légumières à Mayotte [en ligne]. Disponible sur : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/22978/Tropileg-Mayotte> [Consulté le 27/05/2020].

[4] CABI, 2015. In : *Invasive Species Compendium*, *Bactrocera dorsalis* (Oriental fruit fly) [en ligne]. Disponible sur : <https://www.cabi.org/isc/datasheet/17685#todistribution> (Consulté le 18/03/2020).

[5] CABI, 2019. In : *Invasive Species Compendium*, *Neoceratitis cyanescens* (tomato fruit fly) [en ligne]. Disponible sur : <https://www.cabi.org/isc/datasheet/12372> (Consulté le 7/01/2020).

- [6] BLANCARD, D. et CHESNEAU, T., 2017. In : *ephytia*, Mouche des fruits des solanacées *Neoceratitis cyanescens* (Bezzi) [en ligne]. Disponible sur : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/24279/Tropileg-Mouche-des-solanacees-N-cyanescens> (Consulté le 30/01/2020).
- [7] EPPO, 2017. In : *EPPO Global Database*, *Neoceratitis cyanescens* (CERTCY) [en ligne]. Disponible sur : <https://gd.eppo.int/taxon/CERTCY/distribution> (Consulté le 17/07/2020).
- [8] OUTREMERS 360°, 2019. In : *outremers 360°*, À Mayotte, la commercialisation des tomates mise sous « surveillance » par le Préfet - Toute l'actualité des Outre-mer à 360° [en ligne]. Disponible sur : <http://outremers360.com/societe/a-mayotte-la-commercialisation-des-tomates-mise-sous-surveillance-par-le-prefet/> (Consulté le 8/06/2020).
- [9] SALAZAR, Paola, HIRSCHY, Matthieu et SOULIGNAC, Vincent, 2019. In : *GECO*, Application d'argile (Kaolinite calcinée) en verger [en ligne]. Disponible sur : <https://cutt.ly/3yiVKBM> (Consulté le 6/01/2020).
- [10] Ecophyto pic, 2020. In : *Ecophytopic*, Liste des produits de biocontrôle [en ligne]. Disponible sur : <https://ecophytopic.fr/proteger/liste-des-produits-de-biocontrole> (Consulté le 25 /03/2020).
- [11] BLANCARD, D., 2019. In : *ephytia*, Tomate - *Tuta absoluta* [en ligne]. Disponible sur : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/5150/Tomate-Tuta-absoluta> (Consulté le 15/04/2020).
- [12] MARTINEZ, M., 2013. In : *ephytia*, Info-Insectes - Importance économique et agronomique [en ligne]. Disponible sur : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/7557/Info-Insectes-Importance-economique-et-agronomique> (Consulté le 28/04/2020).

Année universitaire : 2019-2020
Spécialité/Mention : Horticulture
Spécialisation/Parcours :
Protection des Plantes et de
l'Environnement en Horticulture (PPE-H)

Mémoire de fin d'études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Contrôle des principaux insectes ravageurs de la tomate à Mayotte par l'utilisation de kaolin

Par : Roukaya YOUSOUF

ANNEXES

Soutenu à ANGERS le 24 Septembre 2020

Devant le jury composé de :

Président : LE CLERC Valérie

Autres membres du jury : PRISCA Pierre

Maître de stage : RYCKEWAERT Philippe

Enseignant référent : JALOUX Bruno

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

ANNEXE I : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE MAYOTTE



Figure : Localisation géographique de l'île de Mayotte. Source : Googlemaps

ANNEXE II : LISTE DES PLANTES HÔTES DE *NEOCERATITIS* *CYANESCENS*

Tableau : Liste des plantes hôtes connues de Neoceratitis cyanescens

Plante-hôte cultivée	Nom commun Français (et en Shimaoré)	Statut (cultivé ou non)	Plante-hôte présente à Mayotte	Références
<i>Capsicum annum</i>	Poivron	Cultivé	Oui	Com. Pers. Tim Dupin ; Etienne, 1982 cité par Sookar and Deguine, 2016
<i>Capsicum frutescens</i>	Piment (Putu)	Cultivé	Oui	Com. Pers. Tim Dupin ; Etienne, 1982 et Quilici et al., 2001, cités par Sookar and Deguine, 2016
<i>Solanum aethiopicum</i>	Aubergine africaine	Cultivé	Oui	Com. Pers. Tim Dupin
<i>Solanum americanum</i>	Brède morelle ou morelle d'Amérique (Feliki niongo)	Non cultivé	Oui	Etienne, 1982 cité par Sookar and Deguine, 2016
<i>Solanum betaceum</i>	Tomate arbuste	Cultivé	Non	Franck et al., 2018
<i>Solanum lycopersicum</i>	Tomate (Tamati)	Cultivé	Oui	Com. Pers. Tim Dupin ; Sookar and Deguine, 2016
<i>Solanum macracarpon</i>	Aubergine africaine	Cultivé	NA	Etienne, 1982 et Quilici et al., 2001, cités par Sookar and Deguine, 2016
<i>Solanum macranthum</i>	Arbre patate	NA	NA	Quilici et al., 2001, cité par Sookar and Deguine, 2016
<i>Solanum mauritianum</i>	Bringellier marron (Saria tibaku)	Non cultivé	Oui	Quilici et al., 2001, cité par Sookar and Deguine, 2016 ; Franck et al., 2018
<i>Solanum melongena</i>	Aubergine (Bengani)	Cultivé	Oui	Com. Pers. Tim Dupin ; Etienne, 1982 et Quilici et al., 2001, cités par Sookar and Deguine, 2016
<i>Solanum nigrum</i>	Morelle noire	Non cultivé	Oui	Com. Pers. Tim Dupin ; Quilici et al., 2001, cité par Sookar and Deguine, 2016
<i>Solanum torvum</i>	Fausse aubergine (M'riguja)	Non cultivé	Oui	Com. Pers. Tim Dupin ; Etienne, 1982 et Quilici et al., 2001, cités par Sookar and Deguine, 2016
<i>Vigna sp.</i>		Non cultivé	Oui	Com. Pers. Tim Dupin ;

ANNEXE III : ENREGISTREMENT TINYTAG

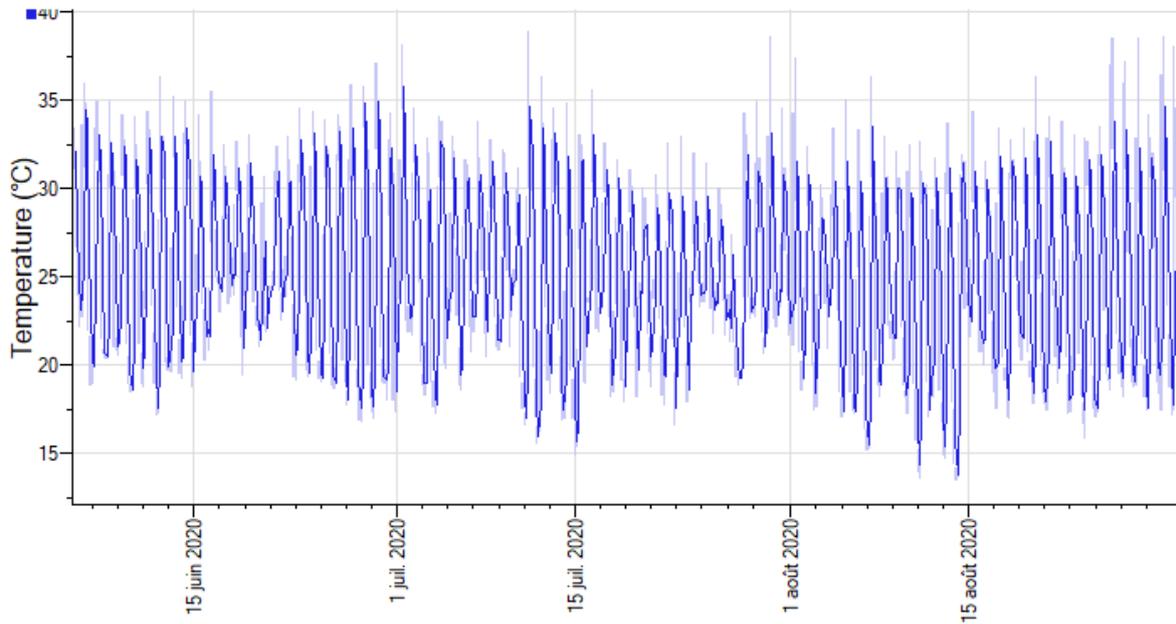


Figure 1 : Suivi de la température sur la parcelle de Dembéni pendant le déroulement de l'essai

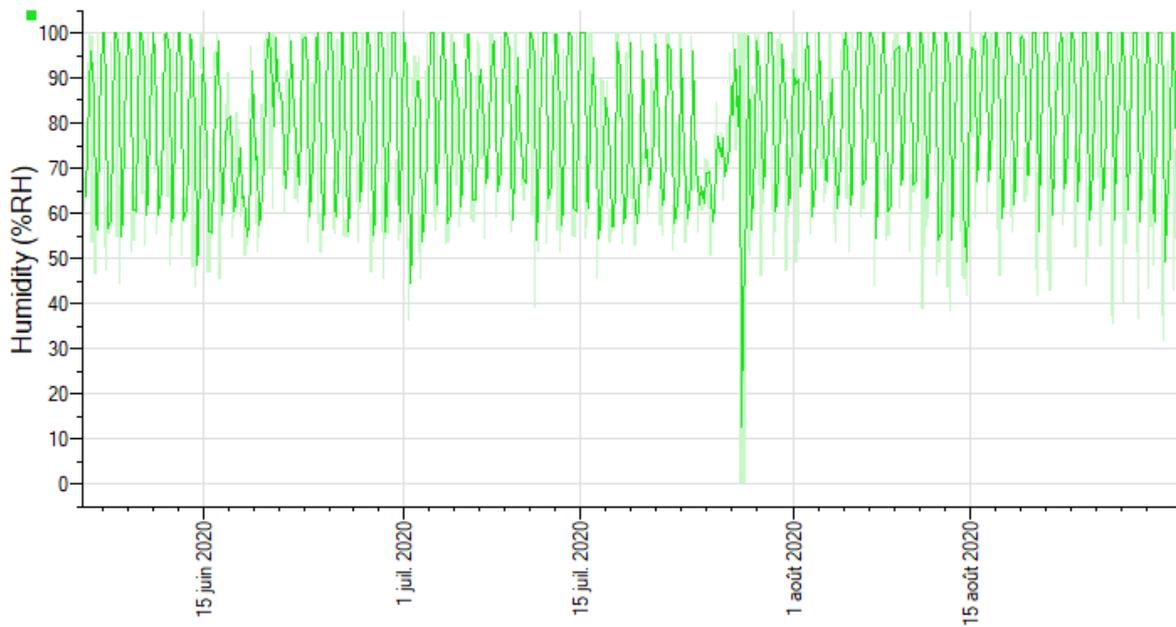


Figure 2 : Suivi de l'humidité sur la parcelle de Dembéni pendant le déroulement de l'essai

ANNEXE IV : SUIVI AGRONOMIQUE ET D'OBSERVATION DE L'ESSAI

Tableau 1 : Calendrier de culture de l'essai

	AVRIL			MAI				JUN				JUILLET				AOÛT				SEPTEMBRE	
Semaines	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	13-19	20-26	27-3/05	4-10	11-17	18-24	25-31	1-7	8-14	15-21	22-28	29-5/07	6-12	13-19	20-26	27-2/08	3-9	10-16	17-23	24-30	31-6/09
Pépinière																					
Semis																					
Repiquage																					
Parcelle							S/I	Fu/P			F	N									
Suivi de l'essai																					
Opérations diverses - observations																					
Traitement Kaolin																					
Traitement Décis																					
Récolte															R1					RF	

S= préparation du sol
 I = Installation du système d'irrigation
 Fu = Fumure de fond
 F= Floraison
 N = Nouaison

Tableau 2 : Fiche De suivi sanitaire et agronomique de l'essai

Fiche de suivi sanitaire et agronomique de l'essai Kaolin

Observateur	Date	Actions/observations
Philippe	25-avr	Semis 4 plaques de 54
Roukaya	08-mai	Semis de secours 4 plaques de 54
Philippe, Pauline,	14-mai	Repiquage semis 1 stade 3-4 feuilles, irrigation 4 créneaux de 2min/jour
Roukaya	18-mai	irrigation manuelle de 3min + modification du temps d'irrigation à 3min/jour
Roukaya et Pauline	19-mai	Repiquage semis 2 stade 2-3 feuilles + présence de la mineuse (<i>Liriomyza trifolii</i>)
Roukaya	20-mai	Repiquage semis 2 stade 3-4 feuilles
Roukaya, Pauline,	27-mai	Installation irrigation (non fonctionnel)
Roukaya, Pauline, Philippe, Ibrahim, Emeline, Tim, Juliette, Bryce	02-juin	préparation sol + amendement organique fumier de volaille du lycée de coconi (1sac le deuxième a été entamé) + irrigation fonctionnel (lancé pour toute la nuit) 2 créneaux d'1h/j (5h et 18h)
Roukaya, Pauline, Philippe, Ibrahim, Juliette, Bryce	03-juin	Irrigation a été stoppée après le départ d'Ibrahim vers 14h. Plantation (stade 5-6 feuilles vraies) des plants arrosage manuelle pour 1h + anti limace (Sluux HP) + observations de qq cochenilles (à surveiller)
Roukaya et Philippe	04-juin	Un plant avec cochenille + un plant cassé à remplacer + ajout d'un créneau irrigation à 13h d'une 1h
Roukaya et Pauline	05-juin	Remplacement de 5 plants cassés + qq feuilles brûlées par excès d'azote (feuilles basses) + arrosage manuel de 15min
Philippe	08-juin	Remplacement de 3 plants cassés + remplacement d'un plant présentant de fort symptômes d'attaques dû à la cochenille farineuse (<i>Paracoccus marginatus</i>) + irrigation à l'air ok + un des plants semble fané car le tuyau de GAG détendu et le goutteur était loin des plants, il a donc été remis en place
Roukaya	10-juin	Observation de mines de la mouche mineuse (certaines feuilles ont été enlevé pour éduire la pression) + observation de certains plants avec des feuilles vert foncé/rouge et nervures sombres (carence en phosphore ?) + observation de pucerons et autres insectes pas identifié (larves de thrips ?)

Fiche de suivi sanitaire et agronomique de l'essai Kaolin

Observateur	Date	Actions/observations
Roukaya Pauline Philippe	14/06	99 plants ont du mal à repartir présence de cochenills sur 4 plants observation larves cochenills & puces.
Philippe	15/06	~ 1/4 des plants mal repartis (= parcelles), 1 pied fané 5 pieds avec myriades cochenills 2 pieds avec jeune chenille <i>Helicoverpa</i> , 99 puces, 1 l. bl. (1 l. bl. Rivie) Quelques petites araignées vertes
Roukaya	22/06	Remplacement des plants mal repartis; modification du venreau au stade de 12h (annuler), 2 plants avec traces cochenills; pr soins d'engrais au près des gaillards des plants morts
Roukaya	25/06	Pied fléchi enlevé → test verre d'eau ⊕ Plsr plants en floraison (⊕ 50%)
Roukaya	28/06	Plsr plants en Novaïson (à 50% voir ⊕) Début du tuteurage préleverout/billes/minuses 2 cochenills sur un plants.
Roukaya	06/07	1 ^{er} planche Décis: présence de piquets 99 plants semblent virésés (g à confirmer) 99 plants égourmandés. Prvoir 2ème attaque par tuteurage
Roukaya	07/07	des piquets sur les plants (Décis/témoin/Kaolin) couverture kaolin plus en place sur est mais des fruits.
Roukaya	09/07	Traitement Kaolin observé 2 plants morts.
Roukaya	13/07	les plants manquent de vigueur ⊕ 1 marche observée
Roukaya	15/07	Plsr chenills obs (<i>H. armigera</i> ?), 2ème attaque sur tuteur par certains plants

Fiche de suivi sanitaire et agronomique de l'essai Kaolin

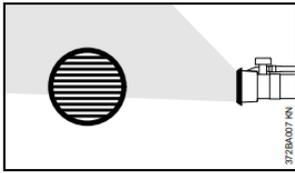
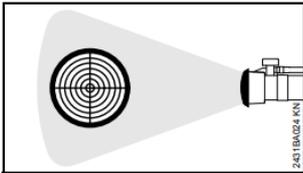
Observateur	Date	Actions/observations
Roukaya	17/07	Traitement Kaolin ⊕ Décis ⊕ engrais engrais calciné Présence <i>Helicoverpa</i> ⊕ 1 marche observée.
Roukaya	22/07	99 fruits sématurés (plus sur les planches témoin et Décis que sur Kaolin).
Roukaya	24/07	Traitement Kaolin ⊕ Récolte
Roukaya	27/07	Récolte ⊕ 2ème attaque tuteur par certains plants.
Roukaya	29/07	Récolte ⊕ égourmandage ⊕ tuteurage
Roukaya	30/07	Récolte ⊕ Traitement Kaolin / Décis
Roukaya	03/08	Récolte ⊕ obs ² mines <i>Tuta</i> ⊕ sur certains planches pas de nouvelles fleurs ou bourgeons ⊕ installation piège <i>Tuta</i> et <i>Helicoverpa</i>
Roukaya	05/08	Récolte ⊕ 1 plant qui semble viré (K2) ⊕ certains plants sans bourgeon ou fleurs (notamment planche kaolin)
Roukaya	07/08	Récolte ⊕ 2 ^{ème} individu piège <i>Tuta</i> . Rien piège <i>H. armigera</i> ⊕ Traitement Kaolin.

Fiche de suivi sanitaire et agronomique de l'essai Kaolin

Observateur	Date	Actions/observations
Roukaya	10/08	Récolte ⊕ Baine indiv. piège Tuta absoluta. Rien piège Helicoverpa armigera. ⊕ Présence Tuta sur fruits?
Roukaya	12/08	Récolte ⊕ Présence confirmée de Tuta sur fruits Rien dans Piège Helicoverpa armigera.
Roukaya	14/08	Traitement Kaolin ⊕ Decis ⊕ Récolte ⊕ autre noctuelle obs
Roukaya	17/08	Récolte 2 tomates planche kaolin.
Roukaya	19/08	Récolte
Roukaya	21/08	Récolte (dernière)

ANNEXE V : PARAMETRES TESTES LORS DU PARAMETRAGE DE L'ATOMISEUR

Tableau : Liste des paramètres testés lors de la phase de calibrage de l'atomiseur

Paramètres	Valeur à choisir																												
Grille de déviation	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Grille de déviation 45°</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Grille à jet large</p>  </div> </div>																												
Distance	<ul style="list-style-type: none"> - 1,50 m - 3,00 m 																												
Régime du moteur	<ul style="list-style-type: none"> - Totalité de la course de la gâchette d'accélérateur - 2/3 de la course de la gâchette d'accélérateur - 1/3 de la course de la gâchette d'accélérateur 																												
Nombre de passage	<p style="text-align: center;">La pulvérisation se fait d'un côté :</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">La pulvérisation se fait des deux côtés :</p> <div style="text-align: center;">  </div>																												
Débit	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left; background-color: #f2f2f2;">Robinet de dosage « standard »</th> <th colspan="2" style="text-align: left; background-color: #f2f2f2;">Robinet de dosage « fin »</th> </tr> <tr> <th style="text-align: left;">Position de dosage</th> <th style="text-align: left;">Débit (l/mn) (valeur moyenne)</th> <th style="text-align: left;">Position de dosage</th> <th style="text-align: left;">Débit (l/mn) (valeur moyenne)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,69</td> <td>1.0</td> <td>0,17</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1,42</td> <td>1.8</td> <td>0,43</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1,86</td> <td>2.3</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2,25</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2,64</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Robinet de dosage « standard »		Robinet de dosage « fin »		Position de dosage	Débit (l/mn) (valeur moyenne)	Position de dosage	Débit (l/mn) (valeur moyenne)	1	0,69	1.0	0,17	2	1,42	1.8	0,43	3	1,86	2.3	0,76	4	2,25			5	2,64		
Robinet de dosage « standard »		Robinet de dosage « fin »																											
Position de dosage	Débit (l/mn) (valeur moyenne)	Position de dosage	Débit (l/mn) (valeur moyenne)																										
1	0,69	1.0	0,17																										
2	1,42	1.8	0,43																										
3	1,86	2.3	0,76																										
4	2,25																												
5	2,64																												

ANNEXE VI : VARIABLES MESUREES PENDANT LES RECOLTES

Tableau : Liste des variables mesurés par planche à chaque récolte de fruits

Paramètres relevés	Intérêt	Paramètre relevés	Intérêt
Numéro de la planche	Traçabilité	Nombre total de fruits non commercialisables dû à une autre cause (oiseau, esthétique...)	Estimation de l'importance d'autres causes dans les pertes au champ
Date de la récolte	Traçabilité	Poids total des fruits non commercialisables piqués par <i>N. cyaneescens</i> et <i>H. armigera</i>	Estimation de l'importance de <i>Neoceratitis cyaneescens</i> et <i>Helicoverpa armigera</i> dans les pertes au champ
Poids total de la récolte	Suivi de la récolte	Nombre total de fruits non commercialisables piqués par <i>N. cyaneescens</i> et <i>H. armigera</i>	Estimation de l'importance de <i>Neoceratitis cyaneescens</i> et <i>Helicoverpa armigera</i> dans les pertes au champ
Nombre total des fruits récoltés	Suivi de la récolte	Poids total des fruits non commercialisables piqués par <i>N. cyaneescens</i> et présentant d'autre dégâts	
Poids total des fruits commercialisables	Estimation des pertes	Nombre total de fruits non commercialisables piqués par <i>N. cyaneescens</i> et présentant d'autre dégâts	
Nombre total de fruits commercialisables	Estimation des pertes	Poids total des fruits non commercialisables piqués par <i>N. cyaneescens</i> et <i>T. absoluta</i>	Estimation de l'importance de <i>Neoceratitis cyaneescens</i> et <i>Tuta absoluta</i> dans les pertes au champ
Poids total des fruits non commercialisables	Estimation des pertes	Nombre total de fruits non commercialisables piqués par <i>N. cyaneescens</i> et <i>T. absoluta</i>	Estimation de l'importance de <i>Neoceratitis cyaneescens</i> et <i>Tuta absoluta</i> dans les pertes au champ
Nombre total de fruits non commercialisables par planche	Estimation des pertes	Poids total des fruits non commercialisables piqués par <i>H. armigera</i> et présentant d'autre dégâts (oiseau, esthétique...)	
Poids total des fruits non commercialisables piqués seulement par <i>N. cyaneescens</i>	Estimation de l'importance de <i>Neoceratitis cyaneescens</i> dans les pertes au champ	Nombre total de fruits non commercialisables piqués par <i>H. armigera</i> et présentant d'autre dégâts (oiseau, esthétique...)	
Nombre total de fruits non commercialisables piqués seulement par <i>N. cyaneescens</i>	Estimation de l'importance de <i>Neoceratitis cyaneescens</i> dans les pertes au champ	Taux de pertes pour chaque modalité	Estimer l'efficacité des traitements
Poids total des fruits non commercialisables piqués seulement par <i>H. armigera</i>	Estimation de l'importance de <i>H. armigera</i> dans les pertes au champ		
Nombre total de fruits non commercialisables piqués seulement par <i>H. armigera</i>	Estimation de l'importance de <i>H. armigera</i> dans les pertes au champ		

ANNEXE VII : SCRIPT R DE L'ANALYSE STATISTIQUE

```
##### Chargement des packages #####
library(readxl)
library(car)
library(multcomp)
library(ggplot2)
library(ggpubr)
library(MASS)

### Importation du jeu de données ###
data <- read_excel(path="observation.xlsx" ,
+sheet="Notations des récoltes",col_names= TRUE)

## Distribution de la variable ##
par(mfrow=c(1,2))
hist(data$VARIABLE)
qqnorm(data$VARIABLE)
qqline(data$VARIABLE)

## Interaction Variable x Facteur et entre les facteurs:
table(data$Facteur1,data$Facteur2) #plan factoriel croisé
boxplot(data$VARIABLE~data$Facteur1*data$Facteur2)

#####MODELISATION STATISTIQUE #####

##### Modèle 1 Final : Variable NC_pique ###
modBN<-glm.nb(VARIABLE~Facteur, data= data)
drop1(modBN,test='Chi')
summary(modBN)

#Calcul de l'index de surdispersion
E1 <- resid(modBN, type = "pearson") # (Y - mu) / sqrt(mu)
N <- nrow(data)
p <- length(coef(modBN))
sum(E1^2) / (N - p)

### Etude des résidus pour la variable NC_pique ###
plot(modBN,
      pch=16,
      col="red")

### Comparaison des variances ###
anova(modBN, test="Chisq")
## Test Post-Hoc de TUKEY ##
mc_tukey <- glht(modBN, linfct=mcp(traitement="Tukey"))
summary(mc_tukey)
tuk.cld <- cld(mc_tukey) #déterminer les groupes
tuk.cld

# Chargement des packages
library(readxl) |
library(car)
library(multcomp)
library(ggplot2)

##### Importation du jeu de données #####
data <- read_excel(path="observation.xlsx" ,
+sheet="Notations des récoltes",col_names= TRUE, na = "NA")

##Distribution de la variable ##
par(mfrow=c(1,2))
hist(data$VARIABLE)
qqnorm(data$VARIABLE)
qqline(data$VARIABLE)

## Interaction entre Variable X Facteur et entre les Facteurs :
table(data$Facteur1,data$Facteur2) #plan factoriel croisé
boxplot( data$VARIABLE~ data$Facteur1*data$Facteur2)

##### MODELISATION STATISTIQUE#####

##### Modèle Final #####
mod<-lm(data$VARIABLE~data$Facteur)
drop1(mod, test='F')

##### Etude des résidus du modèle #####
plot(mod,
      pch=16,
      col="red")

##### Test Post-Hoc de Tukey #####
mc_tukey <- glht(mod, linfct=mcp(bloc="Tukey"))
summary(mc_tukey)
tuk.cld <- cld(mc_tukey)
tuk.cld
```

Figure : Script R utilisé pour les variables de l'ensemble des variables de l'essai (à gauche) sauf les variables PT et NbT (à droite)

ANNEXE VIII : RESULTATS COMPLEMENTAIRES DE L'ESSAI

Tableau 1 : Détails des pertes (en nombre de fruits) obtenus pendant l'essai

Modalité	<i>N. cyanescens</i>	<i>H. armigera</i>	<i>T. absoluta</i>	Autre (oiseux cul noir)	Nombre de fruit Total NC	Nombre de fruit Total récoltés
Decis	269	142	36	17	299	301
Kaolin	195	118	47	48	284	292
Temoin	282	147	60	16	315	318
TOTAL de toutes les planches	746	407	143	81	898	911

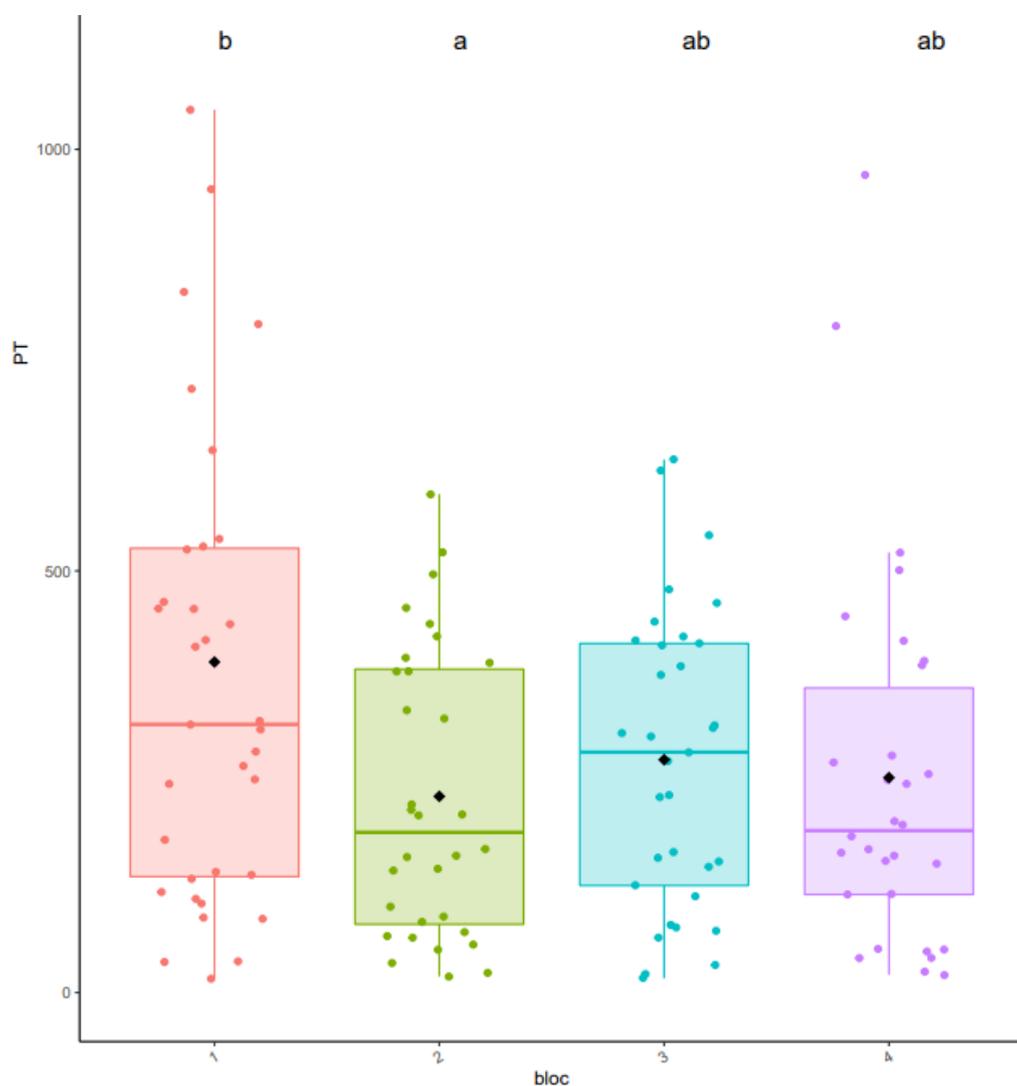


Figure 1 : Représentation graphique de la comparaison multiple de la variable PT. La différence de lettre indique une différence significative entre les modalités

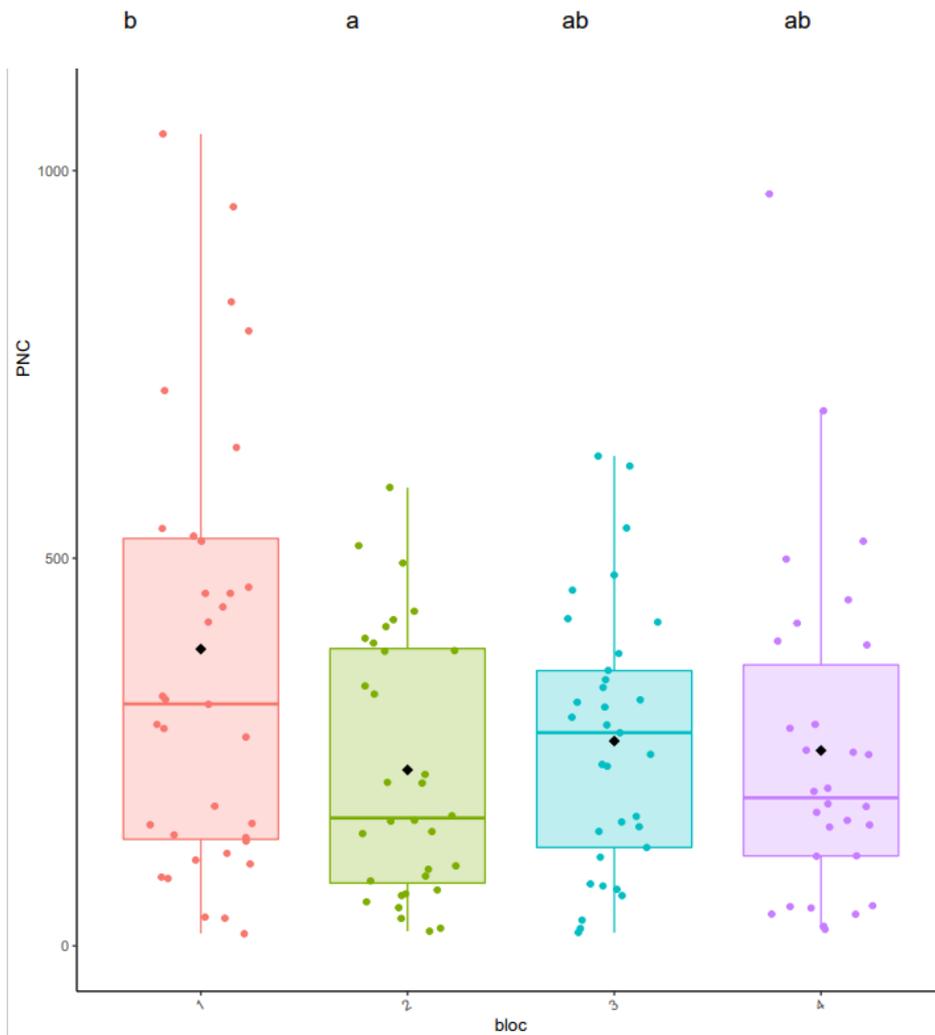


Figure 2 : Représentation graphique de la comparaison multiple de la variable PNC. La différence de lettre indique une différence significative entre les modalités

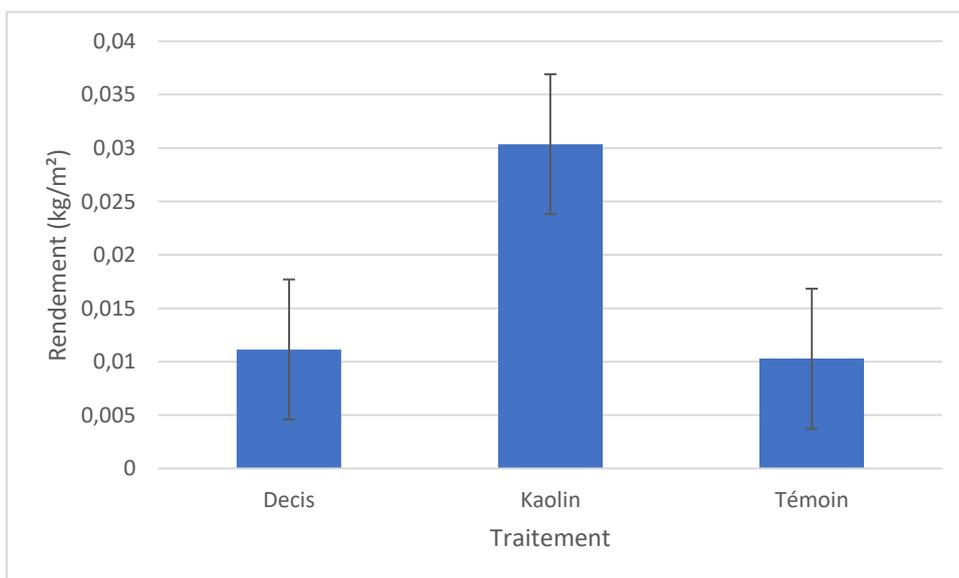


Figure 3 : Rendement des différentes planches. La barre d'erreur représente l'erreur standard