

---

**Contribution à l'étude de l'effet d'une culture associée entre l'armoise africaine (*Artemisia Afra* Jacq. Ex Willd.) et le chou pomme (*Brassica Oleracea* Var. *Capitata* L.) sur les ravageurs du chou pomme dans la région de Thies au Sénégal**

**Auteur :** Machiels, Laëtitia

**Promoteur(s) :** Mergeai, Guy; Verheggen, François

**Faculté :** Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

**Diplôme :** Master en bioingénieur : sciences agronomiques, à finalité spécialisée

**Année académique :** 2016-2017

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/3050>

---

*Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

**CONTRIBUTION A L'ETUDE SUR L'EFFET DE  
L'ASSOCIATION DE L'ARMOISE AFRICAINE (*ARTEMISIA  
AFRA J.*) AVEC UNE CULTURE DE CHOU POMME  
(*BRASSICA OLERACEA VAR. CAPITATA L.*)**

**LAËTITIA MACHIELS**

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER BIOINGENIEUR EN BIOINGENIEUR ET SCIENCES AGRONOMIQUES**

**ANNEE ACADEMIQUE 2016-2017**

**(CO)-PROMOTEUR(S) : PR. GUY MERGEAI ET PR. FRANCOIS VERHEGGEN**

*© Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique<sup>6</sup> de Gembloux Agro-Bio Tech.  
Le présent document n'engage que son auteur.*

**CONTRIBUTION A L'ETUDE SUR L'EFFET DE  
L'ASSOCIATION DE L'ARMOISE AFRICAINE (*ARTEMISIA  
AFRA J.*) AVEC UNE CULTURE DE CHOU POMME  
(*BRASSICA OLERACEA VAR. CAPITATA L.*)**

**LAËTTIA MACHIELS**

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER BIOINGENIEUR EN BIOINGENIEUR ET SCIENCES AGRONOMIQUES**

**ANNEE ACADEMIQUE 2016-2017**

**(CO)-PROMOTEUR(S) : PR. GUY MERGEAI ET PR. FRANCOIS VERHEGGEN**

## Remerciements

Je tiens d'abord à remercier le Professeur Guy Mergeai de m'avoir permis d'effectuer mon TFE sur un thème que j'apprécie tant, l'agroécologie, dans un continent auquel je suis particulièrement attachée, l'Afrique. Un grand merci pour son encadrement et sa patience pour la rédaction de ce TFE.

Je remercie également le Professeur François Verheggen de m'avoir aidé à établir le protocole et pour tout son aide concernant le volet entomologique de ce TFE.

J'aimerais remercier aussi le Professeur Yves Brostaux et l'assistante Anne-Catherine Dalcq pour leur précieuse aide au niveau de l'analyse statistique de mes données.

Je remercie maintenant le Relais Sénégal en commençant par Ahmad Reza Hosseini et Virginie Vyvermans pour l'accueil et l'appui financier pour mener à bien ce travail. Un tout grand merci à Pierre Van Damme, un formidable maître de stage. Merci pour tes conseils, ta patience et ta bonne humeur. Merci à Pierre Van Damme, Babacar Pouye, le responsable administratif du projet maraîcher, et sa femme pour leur accueil dans la maison à Tivaouane. Pour finir, je tiens à remercier particulièrement les ouvriers du projet : Sopey, Assane, Etienne, Paul, Sidy, Babacar Junior, Casimir, Martin, Edith, Dominique, David, Badou, Gaston, Frédéric et Raymond qui m'ont tous aidé à réaliser mon travail sur terrain dans la joie et la bonne humeur.

Un énorme merci aux doctorants du département d'entomologie : Junior Corneille Fingu, Yarou Boni et Son Diakalia pour leurs conseils et leur soutien moral dans la réalisation de ce TFE.

J'aimerais maintenant remercier mes parents qui m'ont toujours soutenu en esprit et en prières, sans jamais perdre espoir en l'achèvement de mes études.

Merci à mes amies, Nadège, Cécilia, Graciella et Iris que je considère comme des sœurs et qui m'ont soutenues moralement durant toutes ces années passées en Belgique.

Un grand merci aux LALOyens, Noëlla, Arno, Quentin, Carolina, Christian, Loïc, Corneille, Eveline, Florine, Zoé et aux squatteurs du kot pour tous les beaux moments passés ensemble.

Ce TFE a été réalisé avec l'aide financière de la Fondation Pierre-Lardinois que je remercie tout particulièrement.

## Résumé

De nombreuses études ont montré de meilleurs rendements dans les cultures associées avec des plantes aromatiques résultant de l'émission de composés organiques volatiles (COV) qui induisent un effet sur le comportement des insectes. Afin d'évaluer l'effet de l'association de l'armoise africaine (*Artemisia afra* Jacq. ex Willd.) avec le chou pommé (*Brassica oleracea* L. Convar. Capitata (L) Alef. var. Alba DC.) sur les ravageurs et le rendement du chou, un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec 3 répétitions a été installé dans la région de Thiès au Sénégal. Le but était de comparer trois traitements : (A) culture de chou associé avec *A. afra* sans traitement insecticide, (B) culture pure de chou sans traitement insecticide et (C) culture pure de chou avec traitement insecticide. Le suivi d'insectes a été réalisé pour les traitements (A) et (B) grâce à 3 pièges collants et aux observations visuelles d'insectes dans 3 quadrats mobiles par parcelle ; 2 fois par semaine pendant 2 mois. Les données de rendement et les dégâts occasionnés sur pommes ont été recensés à la récolte pour les 3 objets durant 5 semaines de récoltes échelonnées. Le prix de revient a été calculé pour chacun des trois traitements. Les principaux ravageurs observés sont *Hellula undalis* (Fabricius), *Plutella xylostella* (Linnaeus), *Trichoplusia ni* (Hübner) et des pucerons. Les résultats ne montrent pas de différence significative pour les populations d'insectes entre les traitements (A) et (B). Le rendement le plus élevé en moyenne est celui du traitement (B) suivi du traitement (C) puis du traitement (A). Finalement, le traitement (A) est le plus rentable grâce au revenu élevé apporté par l'armoise.

**Mots clés :** *Artemisia afra*, *Brassica oleracea*, associations culturales, plantes aromatiques, ravageurs, rendement, prix de revient

## Abstract

Several studies have shown better yields in associated crops with aromatic plants resulting from organic volatile compounds (OVC) release that induces an effect on insect behaviour. In order to evaluate the effect of associating African wormwood (*Artemisia afra* Jacq. ex Willd) with cabbage (*Brassica oleracea* L. Convar. *Capitata* (L) Alef. var. *Alba* DC.) on cabbage pests and yield, an experimental design of randomized blocks with three replicates was laid out in the Thiès region of Senegal. The aim of the study was to compare three treatments: (A) cabbage crop with *A. afra* without insecticide treatment, (B) pure cabbage crop without insecticide treatment, (C) pure cabbage crop with insecticide treatment. Insects were monitored for treatments (A) and (B) using three sticky traps and visual sightings of insects in three mobile quadrats per plot, twice a week for 2 months. Crop yield and damage on cabbage head data were collected at harvest during five weeks in treatments (A), (B) and (C). The cost price was calculated for these three treatments. The main pests observed were *Hellula undalis* (Fabricius), *Plutella xylostella* (Linnaeus), *Trichoplusia ni* (Hübner) and aphids. Results did not show significant differences in insect population between treatments (A) and (B). Yields were highest for treatment (B), followed by treatment (A) then (C). Finally, treatment (A) is the most profitable due to the high gross income of its *Artemisia* component.

**Key words:** *Artemisia afra*, *Brassica oleracea*, associated crops, aromatic plants, pests, yield, cost price

## Table des matières

Remerciements.....	i
Résumé.....	ii
Abstract.....	iii
Table des matières.....	iv
Liste de figures.....	vii
Liste de tableaux.....	ix
1. Introduction.....	1
2. Synthèse bibliographique.....	3
2.1 Présentation de la zone des Niayes.....	3
2.1.1 Contexte géographique.....	3
2.1.2 Contexte climatique et pédologique.....	3
2.1.3 Agriculture dans les Niayes.....	5
2.1.4 Les ressources en eau.....	6
2.2 Culture du chou pommé.....	6
2.2.1 Généralités.....	6
2.2.2 Écologie.....	7
2.3 Principaux bioagresseurs du chou pommé.....	7
2.3.1 Lépidoptères.....	7
2.3.2 Pucerons.....	9
2.3.3 Rongeurs.....	9
2.3.4 Autres.....	10
2.4 Méthodes de lutte contre les ravageurs.....	10
2.4.1 Méthode chimique.....	10
2.4.2 Méthode biologique.....	10
2.4.3 Méthode culturelle.....	11
2.5 Armoise africaine.....	12



2.5.1	Généralités .....	12
2.5.2	Itinéraire technique .....	12
2.6	Relais Sénégal.....	12
3.	Matériel et méthode.....	14
3.1	Introduction.....	14
3.2	Site d'étude.....	14
3.3	Dispositif expérimental.....	15
3.3.1	Matériel végétal .....	16
3.3.2	Itinéraire technique .....	17
3.3.3	Entretien de la culture.....	17
3.3.4	Récolte .....	18
3.4	Suivi et mesures .....	18
3.4.1	Inventaire de l'entomofaune .....	18
3.4.2	Composantes du rendement et évaluation des dégâts du chou pommé.....	19
3.4.3	Suivi et rendement de l'armoise africaine .....	20
3.5	Analyse économique.....	21
3.5.1	Objectif.....	21
3.5.2	Calcul du prix de revient et de la rentabilité.....	21
3.6	Données climatiques .....	22
3.7	Analyse pédologique .....	22
3.8	Analyses statistiques des données .....	22
3.8.1	Données entomologiques.....	23
3.8.2	Données de croissance, rendement et dégâts .....	23
4.	Résultats.....	25
4.1	Observations entomologiques.....	25
4.1.1	Inventaire de l'entomofaune au niveau des quadrats.....	25
4.1.2	Inventaire de l'entomofaune au niveau des Bug-Scans.....	35
4.2	Croissance, rendement et dégâts des cultures .....	38
4.2.1	Chou pommé .....	38

4.2.2 Armoise africaine .....	44
4.2.3 Performances économiques .....	48
5. Discussion.....	49
5.1 Entomofaune .....	49
5.1.1 Insectes ravageurs dans les quadrats .....	49
5.1.2 Abondance et diversité des insectes sur les Bug-Scans .....	51
5.2 Croissance, rendement et dégâts des cultures .....	51
5.2.1 Chou pommé .....	51
5.2.2 Armoise africaine .....	53
5.3 Performances économiques.....	54
6. Conclusion et perspectives.....	55
Bibliographie.....	57
Annexes.....	x
1. Tableaux d'analyses statistiques.....	x
2. Calcul du prix de revient.....	xvi
3. Calcul du rendement annuel de l'armoise africaine.....	xx
4. Illustration des parcelles.....	xxi

## Liste de figures

Figure 1: Situation géographique de la zone des Niayes.....	3
Figure 2: Diagramme d'évolution des températures et des précipitations dans la zone des Niayes établi sur base des données de 2005.....	4
Figure 3: Fluctuation de la nappe en fonction de la saison.....	5
Figure 4: Typologie des sols dans les Niayes.....	5
Figure 5: Mélange de soie et déchets blancs et larve de <i>H. undalis</i> .....	8
Figure 6: Larve et chrysalide de <i>Trichoplusia ni</i> .....	9
Figure 7: Paquet de gélules et de sachets d'infusion d' <i>Artemisia annua</i> .....	13
Figure 8: Carte indiquant l'emplacement des deux sites (Terokh et Yendane) du projet maraîcher du RELAIS Sénégal.....	15
Figure 9: Localisation des blocs et des parcelles d'essai dans les sites de Terokh et de Yendane	15
Figure 10: Disposition des plantes dans les parcelles d'essai .....	16
Figure 11: Table de séchage recouverte d'une moustiquaire.....	20
Figure 12: Courbe d'évolution des températures au cours de l'année 2016 .....	22
Figure 13: Nombre total de borers du chou par quadrat au stade immature selon les blocs et les traitements (avec/sans <i>A. afra</i> ) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey.....	26
Figure 14: Evolution du nombre moyen de borers du chou par quadrat au stade immature au cours du temps.....	27
Figure 15: Nombre total de teignes et de fausses arpeuteuses par quadrat au stade immature selon les blocs et les traitements (avec/sans <i>A. afra</i> ) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey.....	28
Figure 16: Evolution du nombre moyen de teignes et de fausses arpeuteuses par quadrat au stade immature au cours du temps.....	29
Figure 17: Nombre total de colonies de pucerons aptères par quadrat selon les blocs et les traitements (avec/sans <i>A. afra</i> ) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey.....	30
Figure 18: Evolution du nombre moyen de colonies de pucerons par quadrat au cours du temps. ....	31
Figure 19: Nombre total de pucerons ailés par quadrat selon les blocs et les traitements (avec/sans <i>A. afra</i> ) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey.....	32
Figure 20: Evolution du nombre moyen de pucerons ailés par quadrat au cours du temps.....	33
Figure 21: Nombre total de momies de pucerons par quadrat selon les blocs et les traitements (avec/sans <i>A. afra</i> ) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey.....	34
Figure 22: Evolution du nombre moyen de momies de pucerons par quadrat au cours du temps. ....	35

Figure 23: Nombre total d'insectes par Bug-Scan selon les blocs et les traitements (avec/sans A. afra) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey.....	36
Figure 24: Nombre total d'insectes par Bug-Scan classés par Ordre selon les blocs et les traitements (avec/sans A. afra) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey.....	37
Figure 25: Nombre moyen d'Ordres d'insectes présent par Bug-Scan selon les blocs et les traitements (avec/sans A. afra) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey.....	38
Figure 26: Evolution du nombre moyen de feuilles des choux suivis au sein des quadrats.....	39
Figure 27: Taux de mortalité du chou selon les blocs et les traitements (avec A. afra/ sans A. afra/ sans A. afra + insecticide).....	40
Figure 28: Proportions de choux sains, de choux borgnes, de choux ayant subi des dégâts causés par des souris et de choux mutants selon les blocs et les traitements (avec A. afra/ sans A. afra/ sans A. afra + insecticide) .....	41
Figure 29: Poids moyen d'une pomme provenant d'un chou sain selon les blocs et les traitements (avec A. afra/ sans A. afra/ sans A. afra + insecticide) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey.....	42
Figure 30: Addition du poids total des pommes des choux sains et des choux borgnes dont le poids est supérieur ou égal à 100g selon les blocs et les traitements (avec A. afra/ sans A. afra/ sans A. afra + insecticide), le tout ramené à une surface de 1m <sup>2</sup> .....	42
Figure 31: Diamètre de la pomme (choux sains) selon la classe de dégâts.....	43
Figure 32: Moyennes de la classe de dégâts selon les blocs et les traitements (avec A. afra/ sans A. afra/ sans A. afra + insecticide) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey..	44
Figure 33: Plantes d'armoise africaine juste avant la 2ème coupe .....	44
Figure 34: Hauteur moyenne des plantes d'armoise africaine dans les parcelles de culture associée .....	45
Figure 35: Diamètre moyen projeté au sol des plantes d'armoise africaine dans les parcelles de culture associée .....	46
Figure 36: Proportion du nombre de plantes en fleur (F) ou produisant des boutons floraux (BF) cumulé pour les 3 parcelles contenant de l'armoise .....	47
Figure 37: Biomasse sèche produite pour chaque coupe d'armoise selon chaque bloc (A1, A2, A3) du traitement "avec A. afra".....	47
Figure 38: Partie latérale d'une pomme rongée par une souris.....	52

## Liste de tableaux

Tableau 1: Échelle qualitative d'estimation des dégâts foliaires sur le chou pommé à la récolte.	20
Tableau 2: Éléments de calcul des performances économiques par are des systèmes de cultures comparées.....	21
Tableau 3: Résultats des analyses de sol.....	22
Tableau 4: analyse granulométrique du sol pour chaque parcelle de chou cultivé .....	22
Tableau 5: Composantes d'analyse du prix de revient selon les traitements (avec A. afra/ sans A. afra/ sans A. afra + insecticide).....	48

## 1. Introduction

L'horticulture occupe une position importante au niveau de l'agriculture au Sénégal. Elle couvre 5 % des surfaces agricoles et sert de source de revenus à 1 % de la population (PAPSEN, 2017). Dans la dernière décennie, ce secteur agricole a enregistré de bonnes performances suite à la hausse de la demande des marchés urbains nationaux et des marchés européens (Ngom, 2015). Initialement concentré dans la bande littorale des Niayes et dans la vallée du fleuve Sénégal, l'horticulture voit ses surfaces s'étendre vers le Bassin arachidier (Ngom, 2015).

Le chou est une des principales spéculations dans cette zone, occupant la troisième place après l'oignon et la tomate, et plus particulièrement dans la zone de Thiès (Anonyme, 2013). La culture du chou est sujette aux attaques de multiples ravageurs responsables d'importantes diminutions de rendement. C'est le cas notamment de la teigne des crucifères (*Plutella xylostella* L.), un de ses principaux ravageurs, dont les dégâts atteignent parfois jusqu'à 90 % de pertes chez les crucifères (Sarfraz et al. 2005).

L'intensification des activités maraichères, dans le but d'accroître la production, est un phénomène grandissant dans les régions urbaines et périurbaines de la zone des Niayes. Cela a pour incidence le recours aux produits phytopharmaceutiques comme moyen de protection des cultures (Wade, 2003). Cependant, les bonnes pratiques agricoles liées à leur emploi sont rarement respectées causant des inquiétudes quant à la santé des travailleurs, des consommateurs et de l'environnement (Wade, 2003).

Parmi les méthodes de gestion des bioagresseurs existant à l'heure actuelle, les associations végétales sont les plus simples à mettre en place et à vulgariser auprès des paysans. Elles ont par ailleurs prouvé leur efficacité dans de nombreuses études (Altieri, 1999 ; Parolin et al., 2012). Certaines plantes sont capables de repousser ou d'attirer les insectes grâce à leurs aspects ou leurs odeurs. Elles perturbent ainsi la vision et l'odorat de certains ravageurs, les empêchant de retrouver leurs plantes hôtes préférées. Dès lors, les plantes aromatiques, caractérisées par l'émission d'une grande variabilité de composés organiques volatiles (COV), constituent le groupe potentiellement le plus efficace en association culturale dans le but de contrôler les ravageurs.

L'armoise africaine (*Artemisia afra* Jacq. ex Willd) est une plante aromatique de la famille des Asteraceae. Il s'agit de la principale plante médicinale d'Afrique du Sud et de différents pays d'Afrique de l'Est où elle est largement utilisée dans la pharmacopée traditionnelle (Mjiqiza et al, 2013 ; Issa et al., 2015 ; Anonyme, 2009).

Des études mettent en évidence un potentiel répulsif d'huiles essentielles provenant d'espèces d'Asteraceae appartenant au genre *Artemisia* sur les insectes en condition de laboratoire et une en particulière montre un effet répulsif de l'armoise africaine en conditions de laboratoire (Richter, 2014). Cependant, en notre connaissance, aucune étude associant l'armoise africaine avec une culture primaire en conditions de terrain n'a encore été publiée.

Le but de ce travail est d'évaluer l'efficacité de l'armoise africaine à contrôler les ravageurs de chou pommé (*Brassica oleracea* L. Convar. *Capitata* (L) Alef. var. *Alba* DC.), cultivé en association avec celle-ci. Il se situe dans le cadre d'une collaboration établie entre l'organisation à finalité sociale « Le Relais-Sénégal » et le laboratoire d'Agroécologie tropicale et Horticulture de Liège-Université en vue de promouvoir la culture de l'armoise africaine au Sénégal.

## 2. Synthèse bibliographique

### 2.1 Présentation de la zone des Niayes

#### 2.1.1 Contexte géographique

La zone des Niayes s'étend sur 180 km de long et entre 5 et 30 km de large sur le littoral, au Nord-Ouest du Sénégal. Elle est localisée entre 14,3° et 16° Nord et 16° et 17,5° Ouest. Sa superficie totale est de 2300 km<sup>2</sup>, soit 1,2% du territoire sénégalais (Aguiar et al., 2010 ; Fall & Fall., 2001) (Figure 1). Cette zone appartient à l'une des six zones éco-géographiques du Sénégal, limitée par le bassin arachidier et la vallée du Fleuve Sénégal. Grâce à des conditions climatiques privilégiées, elle occupe une place avantagée dans le secteur agricole.



Figure 1: Situation géographique de la zone des Niayes (Fall & Fall., 2001).

#### 2.1.2 Contexte climatique et pédologique

Les Niayes se situent dans la zone climatique du type subcanarien caractérisée par des températures modérées causées par la circulation de l'alizé maritime, un vent chargé en humidité et fortement influencé par les courants froids des Açores (Diop, 2014 ; Faye, 2010). L'influence de cet air maritime induit des températures moyennes annuelles modérées, variant entre 23,5°C et 25°C, ainsi que de faibles amplitudes thermiques (Touré et al., 2005) (Figure 2). La proximité de l'océan suscite un gradient hygrométrique important avec des variations d'humidité relative allant de 15 %, pour les zones les plus éloignées de la côte, à 90 %, pour les zones les plus proches (Diop, 2014). Une courte saison des pluies allant de juillet à septembre alterne avec une longue saison sèche pour le reste de l'année.



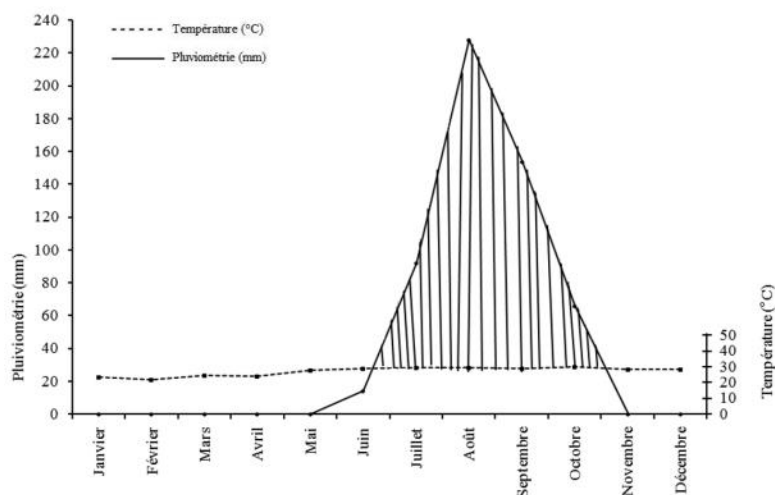


Figure 2: Diagramme d'évolution des températures et des précipitations dans la zone des Niayes établi sur base des données de 2005. D'après Faye, 2010

Les précipitations, caractérisées par des variations temporelles et des irrégularités interannuelles, varient du Nord vers le Sud ; avec environ 300 mm de pluies annuelles dans la région de Saint Louis et rarement plus de 500 mm dans la région de Dakar (Camara, 2010 ; Diop, 2014). Des précipitations appelées *heug* peuvent survenir hors saison, mais elles dépassent rarement 20 mm (Seck, 1962) ou 50 mm (Aguiar, 2009) sur l'ensemble de la saison dite « sèche ». Bien que peu importantes, ces précipitations sont favorables à la pratique de la culture de contre-saison.

Dans cette région, trois types de successions dunaires se distinguent de la côte vers l'intérieur du continent : les dunes littorales mobiles (dunes vives ou dunes blanches), les dunes semi-fixées par un couvert végétal herbacé et arbustif (dunes jaunes) et les dunes continentales (dunes rouges) (Diop, 2014 ; Aguiar, 2009). Les couloirs et dépressions inter-dunaires peuplés d'*Elaeis guineensis*, conférant à la zone des Niayes son nom, constituent des bassins fertiles grâce à l'affleurement de nappes d'eau douce permettant la décomposition de matière végétale hygrophile (Cyperaceae et Gramineae), enrichissant ainsi le sol en matière organique (Aguiar, 2009 ; Diop, 2014 ; Ndao, 2012 ; Touré et al., 2005) (Figure 3).

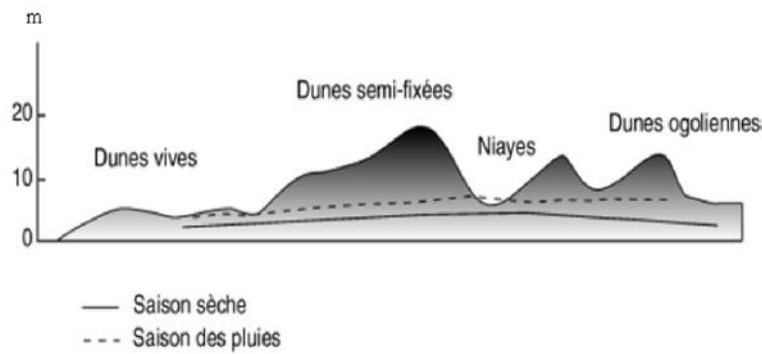


Figure 3: Fluctuation de la nappe en fonction de la saison. D'après Fall, 2001

Les sols rencontrés dans cette région sont principalement : les sols minéraux bruts d'apport (dunes vives), les sols ferrugineux tropicaux non lessivés (de type *dior*s), les sols brun-rouges, les vertisols, les sols halomorphes et les sols minéraux à pseudogley dans les dépressions inter-dunaires (Faye, 2010) (Figure 4).



Figure 4: Typologie des sols dans les Niayes. D'après Faye, 2010

### 2.1.3 Agriculture dans les Niayes

La zone des Niayes est une région favorable aux productions horticoles qui fournit à elle seule 80 % des cultures maraîchères du pays (Cissé et al., 2005). Dans cette région, Fall & Fall. (2001) distinguent quatre grands types de système de production en fonction des caractéristiques du milieu : (1) le Dior (sols ferrugineux) ; (2) les Niayes (dépressions inter-dunaires) ; (3) les N'dioui (cuvettes maraîchères situées sur le système de dunes vives et de dunes jaunes) et (4) les vallées et lacs asséchés (anciens réseaux hydrographiques asséchés) (Fall & Fall., 2001). Dans

les zones dépressionnaires (Niayes, vallées et lacs asséchés), les cultures sont très diversifiées (chou, oignon, piment, aubergine, jaxatu, salade, menthe, etc.) du fait de la rareté des contraintes hydriques et de l'occurrence de sols riches, tandis que dans le Dior, le maraîchage moins diversifié côtoie l'arboriculture (mangues, agrumes, cocos et bananes) et dans les N'dioui, les cultures sont quasiment exclusivement de la carotte et des navets (Fall & Fall., 2001).

#### 2.1.4 Les ressources en eau

Les réserves d'eau de cette zone proviennent essentiellement d'aquifères peu profondes. L'eau d'irrigation est exploitée au travers de « céanes », des excavations peu profondes puisant dans des petites nappes, de puits ou de forages, plus profonds et puisant dans les nappes phréatiques (Sokha, 2013).

## 2.2 Culture du chou pommé

### 2.2.1 Généralités

Le chou pommé est une culture très ancienne parmi les crucifères, développée au début du moyen âge en Europe occidentale (Dickson & Wallace, 1986). C'est une plante herbacée érigée pouvant atteindre 60 cm de haut en maturité végétative. Les feuilles sont lisses, sessiles et s'insèrent les unes aux autres constituant une pomme dense de forme globuleuse ellipsoïdale, plus ou moins aplatie.

Le chou pommé est l'une des spéculations principales de la zone des Niayes et occupe la cinquième place parmi les productions maraîchères au Sénégal (Sakho, 2013). Ce légume-feuille sert à la confection d'un bon nombre de plats sénégalais tels que des plats à base de riz (Tièp bou dieune, Tièp bou yap, ...), le Mafé, le Thiou et d'autres. Sa production est concentrée en contre-saison (novembre à mars) étant donné le fort taux de parasitisme affectant les rendements durant l'hivernage (Sakho, 2013). Les choux de petite taille sont particulièrement prisés dans la zone des Niayes tandis que le principal pays d'exportation du chou pommé, la Mauritanie, préfère les grosses pommes de chou (Sakho, 2013).

Le chou pommé utilisé dans le cadre de notre travail est le chou cabus de Copenhague (*Brassica oleracea* L. Convar. *Capitata* (L) Alef. var. *Alba* DC.). Il s'agit d'une variété hâtive (60 à 90 jours) d'excellente qualité gustative (Mazollier, 2012) de couleur verte, produisant des feuilles lisses et tendres. Les pommes sont rondes ou légèrement aplaties, entre 10 et 21 cm de diamètre, très compactes et peuvent éclater rapidement avant même d'atteindre le volume adéquat (Mazollier, 2012).

## 2.2.2 Écologie

Le chou pommé est une plante exigeante en eau (entre 2000 et 4000 m<sup>3</sup>/ha/jour) qui requiert des températures allant de 0 à 25°C pour se développer (Sakho, 2013 ; UNCTAD, 2003). Il préfère des sols bien drainés et riches en matière organique avec un pH variant idéalement entre 6,5 et 7 (UNCTAD, 2003).

## 2.3 Principaux bioagresseurs du chou pommé

### 2.3.1 Lépidoptères

#### a. *Hellula undalis* (Fabricius)

*Hellula undalis* (Fabricius) ou « le borer du chou » est un papillon de nuit de la famille des Crambidae qui cause des ravages chez un grand nombre d'espèces végétales de la famille des Brassicaceae.

La larve de ce lépidoptère mesure entre 12 et 15 mm de long et est de couleur blanchâtre ou jaunâtre parcourue de bandes brunâtres longitudinales avec une tête de couleur noir (Figure 5, droite) (Ndiaye, 2017).

Les dégâts les plus sévères sont causés entre la transplantation du chou et la formation de la pomme lorsque les larves se nourrissent du méristème apical et forment des tunnels dans le cœur de la plante. Une attaque précoce se traduit par un rabougrissement, une déformation de la plante et le développement des bourgeons axillaires. Ces derniers peuvent conduire à la formation des pommes de petite taille si la plante survit à l'attaque (Kessing et al., 2007). Le chou multi-tête est dénommé « chou borgne ». Dans les plantes plus développées, les larves se nourrissent des feuilles en formant des tunnels au niveau de la nervure principale.

La présence de ce ravageur passe souvent inaperçue car les larves se cachent dans les tunnels qu'elles forment. Les infestations se remarquent en général lorsque la plante manifeste des symptômes de rabougrissement et de déformation. La présence de soies recouvertes de particules blanchâtres est un signe manifeste de leur présence dans les plantules (Figure 6, gauche) (Kessing et al., 2007). Le cycle de vie complet de ce lépidoptère varie entre 17 et 52 jours (Kessing et al., 2007).

Un hyménoptère de la famille des Braconidae, *Chelonus blackburni* C., est un ennemi naturel de cette chenille (Kessing et al., 2007).



Figure 5: Mélange de soie et déchets blancs (gauche) et larve de *H. undalis* (droite) (photos prises par Machiels L.)

### **b. *Plutella xylostella* (Linnaeus)**

*Plutella xylostella* (Linnaeus), aussi connue sous le nom de « teigne des crucifères », est un ravageur exclusif des espèces végétales appartenant à la famille des Brassicaceae. Les chenilles sont petites, mais nombreuses et causent de sérieux dégâts. Elles rongent les feuilles jusqu'à causer une défoliation quasi complète de la plante dans certains cas (Capinera, 2000).

La chenille, généralement retrouvée à la face inférieure des feuilles, fait 15 mm de long. Elle est étroite et rétrécie à ses extrémités (Ndiaye, 2017 ; Collingwood et al., 1984). Elle peut se tortiller et se laisser tomber en se suspendant à un fil de soie quand elle est dérangée. La nymphe forme un cocon transparent et fusiforme à l'arrière des feuilles. L'imago, petit et brunâtre, de 6 à 7 mm de long, est parcouru par une bande claire et ondulée dans le dos en position de repos (Collingwood et al., 1984). La durée de développement entre le stade œuf et pupa est de 25 à 30 jours selon le climat et la pupation dure en moyenne 8,5 jours (Capinera, 2000).

Une espèce de Braconidae, *Microplitis plutellae* (Muesbeck), et deux espèces d'Ichneumonidae, *Diadegma insulare* (Cresson) et *Diadromus subtilicornis* (Gravenhorst), sont des ennemis naturels de la teigne des crucifères (Capinera, 2000).

### **c. *Trichoplusia ni* (Hübner)**

*Trichoplusia ni* (Hübner) est un ravageur du chou comme son appelé en anglais « cabbage looper » qui se retrouve sur une large gamme d'espèces végétales en dehors des Brassicaceae (Collingwood et al., 1984 ; Capinera, 2017).

Les jeunes larves sont blanchâtres mais leur couleur tend progressivement vers le vert en se nourrissant des feuilles (Capinera, 2017) (Figure 6, gauche). La chenille avance en arquant son dos pour se projeter en avant. La partie antérieure de son corps est étroite, mais s'élargit vers l'arrière et elle peut atteindre 30 à 35 mm de long (Collingwood et al., 1984). La chrysalide forme son cocon dans les feuilles plus âgées et proches du sol (Figure 6, droite). L'imago vit

généralement de nuit. Il est tacheté d'un brun grisâtre avec des taches blanches en forme de « 8 » sur les ailes antérieures qui permettent de le différencier des autres Noctuidae (Capinera, 2017). Le cycle de vie dure entre 18 et 25 jours sous des températures allant de 12 à 40°C (Capinera, 2017).

Les chenilles se nourrissent des feuilles externes mais aussi des feuilles de la pomme. Cependant, leurs dégâts n'entraînent pas nécessairement des pertes économiquement importantes (Capinera, 2017).

*Voria ruralis* (Fallen), un diptère appartenant à la famille des Tachinidae, est le parasitoïde dominant chez cette espèce de lépidoptère (Capinera, 2017).



Figure 6: Larve (gauche) et chrysalide (droite) de *Trichoplusia ni* (Hübner) (photos prises par Machiels L.)

### 2.3.2 Pucerons

Les pucerons rencontrés sur le chou dans la zone des Niayes sont le puceron cendré du chou (*Brevicoryne brassicae* L.), le puceron du navet (*Liphalis erysimi* Kaltenbach) et le puceron vert du pêcher (*Myzus persicae* Sulzer) (Ndiaye, 2017). En cas de forte pullulation, les symptômes observés sont l'enroulement des jeunes feuilles, des signes de chlorose, une déformation générale de la feuille et un épaissement de feuilles. Les dégâts les plus importants sont la transmission de virus et le développement de saprophytes suite à la production de miellat (Ndiaye, 2017).

### 2.3.3 Rongeurs

Les petits mammifères causent aussi des dégâts en attaquant les plantes cultivées. De fortes infestations peuvent être attendues dans les cultures de contre-saison en périmètre irrigué, surtout dans les parcelles installées à fortes densités (ORSTOM, 1976).

*Arvicanthis niloticus* Desmarests est un petit mammifère diurne de la famille des Muridae, aussi appelé « rat roussard du Nil ». Il est très commun dans le Sahel et fréquente les biotopes

humides proches des cultures (Kassomou, 2008). Ils sont souvent rencontrés dans des haies en lisière de champs (Ndiayes, 2017). De fortes pullulations de ce mammifère ont infligé d'importants dégâts aux récoltes et plus particulièrement dans les aménagements hydroagricoles (Poulet & Poupon, 1978). Le piégeage est souvent la méthode employée pour lutter contre ce prédateur.

#### 2.3.4 Autres

La culture du chou est également susceptible à des maladies telles que le mildiou (*Peronospora parasitica*), l'alternariose (*Alternaria brassicicola*) et la pourriture du collet (*Rhizoctonia solani*) (Collingwood et al., 1984).

### 2.4 Méthodes de lutte contre les ravageurs

#### 2.4.1 Méthode chimique

Cette méthode de lutte consiste à recourir à des composés chimiques naturels ou de synthèse ayant des effets toxiques sur certaines classes d'organismes vivants. Cette méthode est souvent pratiquée à grande échelle du fait de son efficacité et de sa facilité d'utilisation. Cette méthode de lutte a participé à l'intensification de l'agriculture mais aussi à sa simplification, réduisant ainsi la diversité des communautés microbiennes et d'insectes (Matson, 1997). À l'heure actuelle, elle fait l'objet de polémique à cause des nombreux cas de résistance à ces produits et de leur impact négatif sur la santé humaine et l'environnement.

Bien que l'Afrique ne compte que pour une faible part dans le commerce des pesticides à l'échelle mondiale (4%), elle est la plus touchée par des cas d'intoxication liés à leur usage (Diop, 2014). Au Sénégal, près d'un tiers des pesticides commercialisés ne sont pas homologués et de nombreux cas d'usage de pesticides persistants sont documentés (Diop, 2014). De plus, une part non négligeable des produits chimiques sont vendus au niveau du secteur informel (Diop, 2014).

#### 2.4.2 Méthode biologique

La lutte biologique est, selon la définition de l'Organisation internationale de lutte biologique et intégrée contre les animaux et les plantes nuisibles (OILB), « l'utilisation d'organismes vivants pour prévenir ou réduire les dégâts causés par des ravageurs ». Elle invite la présence de parasites, de parasitoïdes et de prédateurs naturels dans les cultures en favorisant l'aménagement ou la proximité d'un environnement qui leur est propice (forêts, prairies, haies fleuries...) (Etilé E., 2012). Cette méthode de lutte peut être très efficace, mais elle se révéler difficile à maîtriser par les petits agriculteurs (Guèye, 2011).

### 2.4.3 Méthode culturale

Cette méthode de lutte contre les ravageurs comprend une grande diversité de techniques telles que le travail du sol, les rotations culturales, l'usage de variétés résistantes, le choix de calendriers culturaux adéquats, etc. Elle mise sur la prévention et la suppression des organismes nuisibles. L'association de deux ou plusieurs espèces végétales dans le but de contrôler les ravageurs de la culture la plus sensible fait partie de ce type de méthode de lutte.

« Dans les systèmes culturaux, différents types de plantes ou de cultures secondaires peuvent être associées à la culture primaire dans le but de gestion des ravageurs. Ces plantes additionnelles - désormais appelées plantes secondaires - peuvent augmenter l'efficacité et la durabilité du contrôle biologique de ravageurs par des ennemis naturels. De telles plantes tombent dans plusieurs catégories : compagnes, répulsives, barrières, indicatrices, pièges, insectariums et réservoirs » (Parolin et al., 2012).

Les huiles essentielles des espèces d'Asteraceae appartenant au genre *Artemisia* ont un effet répulsif sur certains insectes. En effet, de nombreuses études ont mis en évidence un effet répulsif des extraits d'huile essentielle de ces plantes sur les ravageurs de produits agricoles stockés (Badreddine et Baouindi, 2016 ; Abd-Elhadly, 2012 ; Liang et al., 2017).



## **2.5 Armoise africaine**

### **2.5.1 Généralités**

*Artemisia afra* (Jacq.) est une plante aromatique pérenne appartenant à la famille des Asteraceae. Elle est originaire d'Afrique du Sud et pousse naturellement dans les régions montagneuses d'Afrique de l'est jusqu'à 2500 m d'altitude (Anonyme, 2009).

La plante présente un port vertical avec plusieurs tiges et peut atteindre jusqu'à 2 m de hauteur (Viljoen, 2007). Les feuilles d'aspect plumeuses sont pennées et de couleur vert-gris. Les fleurs jaune-crèmes, petites de taille, atteignent environ 3 mm en diamètre (Anonyme, 2009). Dans la nature, la plante se propage en produisant des graines ou par marcottage naturel.

L'armoise africaine est employée en Afrique du Sud comme remède naturel pour soigner une multitude de maladies, certaines aussi communes que la toux et la grippe, tout comme des maladies plus graves tel que la malaria et le diabète (Liu et Van der Kooy, 2009 ; Van der Kooy et al., 2007). La majorité des composés de cette plantes sont des monoterpènes et des sesquiterpènes, des éléments principaux d'huile essentielle de plantes aromatiques (Liu et Van der Kooy, 2009). L'huile essentielle d'*A. afra* est riche en 1,8-cineole,  $\alpha$ -thujone,  $\beta$ -thujone et en camphre (Graven, 2011). Ces composés ont des propriétés insectifuges reconnues (Nerio et al., 2010 ; Sadasivam et Thayumanayan, 2003 ; Liu et al., 2010). De même, des extraits aqueux de l'armoise africaine ont eu des effets répulsifs sur le puceron du blé russe (Richter, 2014).

### **2.5.2 Itinéraire technique**

En Afrique du Sud, l'armoise africaine est semée directement en terre ou transplantée sous forme de boutures. Cette dernière méthode est plus efficace car la plante se développe plus vite. La densité optimale est obtenue avec un espacement de 30 cm dans les rangs et de 60 cm entre les rangs (Anonyme, 2009). En matière de fertilisation, une dose de 180 kg/ha de sulfate d'ammonium est recommandée (Prinsloo et al., 2011). L'irrigation est cruciale dans les trois premiers mois suivant l'implantation de la culture, mais l'arrosage doit être arrêté un peu avant la récolte, étant donné qu'un stress hydrique est indispensable afin d'augmenter la teneur en huile essentielle des feuilles (Anonyme, 2009). À la récolte, le feuillage vert peut être coupé, mais en laissant la partie inférieure, plus ligneuse, intacte (Anonyme, 2009).

## **2.6 Relais Sénégal**

Créé en 1984 par le Père Léon et Pierre Duponchel, le Relais est un réseau d'entreprises françaises favorisant la création d'emplois durables pour lutter contre l'exclusion sociale (Van

Damme, 2016). Les activités des entreprises du Relais sont multiples et diverses, la principale étant la collecte et la valorisation de textiles. Le Relais a commercialisé pendant près de 20 ans en Afrique de la fripe provenant de France. Depuis 10 ans, il est implanté dans deux pays d'Afrique (Burkina Faso, et Sénégal) et à Madagascar dans le but de créer de l'emploi pour lutter contre la pauvreté (lerelais.org). Au Sénégal, cette entreprise a lancé un centre de tri de textile ainsi qu'un projet maraîcher qui a débuté en 2011 (lerelais.org). Le projet maraîcher se trouve à trois kilomètres de Tivaouane et occupe une surface totale de 11 ha dont une partie se trouve à Terokh, un village musulman, et l'autre, à Yendane, un village chrétien. Depuis trois ans, ce projet s'est focalisé sur la culture de l'armoise annuelle et sa transformation pour la production de gélules ou de sachets de tisane à bas prix efficaces pour guérir le paludisme (Figure 7).



Figure 7: Paquet de gélules (gauche) et de sachets d'infusion (droite) d'*Artemisia annua* L. (photos prises sur la page facebook du Lion Vert)

Afin de diversifier la gamme de ses produits, et compte tenu des nombreuses vertus thérapeutiques de l'armoise africaine, le Relais-Sénégal a entamé depuis fin 2016 une collaboration avec le laboratoire d'Agroécologie tropicale et horticulture de la faculté de Gembloux Agro-Bio Tech afin de développer la culture de cette plante au niveau de son domaine de Yendane-Terokh et de favoriser sa diffusion chez les petits agriculteurs sénégalais. Le présent mémoire est réalisé dans le cadre de cette collaboration.

### **3. Matériel et méthode**

#### **3.1 Introduction**

Un des principaux pôles de recherche de la Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech consiste à développer des méthodes innovantes pour la protection des cultures contre les bioagresseurs. Les composés organiques volatiles dégagés par les plantes ont la capacité d'influencer le comportement des insectes et peuvent être employés dans le contrôle des bioagresseurs comme alternative à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques.

L'objectif global de cette étude est d'évaluer l'efficacité de l'armoise africaine à contrôler les ravageurs du chou pommé (*Brassica oleracea* L. Convar. Capitata (L) Alef. var. Alba DC.), cultivés en association avec cette dernière.

En 2013, une étude similaire a été réalisée par une étudiante de Gembloux Agro-Bio Tech, avec l'armoise annuelle (*Artemisia annua* L.) en association avec *B. oleracea* var. *capitata* dans la région de Thiès (Bizzotto, 2013). Cette étude a mis en évidence l'effet bénéfique de la présence d'*A. annua* sur le rendement du chou pommé. Cependant, aucune influence sur la faune entomologique n'avait été démontrée.

Notre travail s'inscrit dans la même perspective. Il s'agit de promouvoir le développement de stratégies de contrôle des ravageurs basées sur le développement d'associations culturales.

L'évaluation de l'efficacité de l'association culturale par rapport à la culture pure tiendra compte des performances économiques des systèmes de culture comparés afin de rencontrer les exigences de rentabilité du Relais-Sénégal.

#### **3.2 Site d'étude**

L'expérimentation s'est déroulée du 13 Février au 19 Mai 2017 sur les deux sites du projet maraîcher du Relais Sénégal, Terokh et Yendane (Figure 8), situés tous les deux à moins de 3 kilomètres de la ville de Tivaouane dans la région de Thiès au Sénégal.



Figure 8: Carte indiquant l'emplacement des deux sites (Terokh et Yendane) du projet maraîcher du RELAIS Sénégal

### 3.3 Dispositif expérimental

L'essai a été installé selon un dispositif en blocs aléatoires complets avec trois répétitions. Trois objets étaient comparés : (A) choux pommés cultivés en association avec l'armoise africaine et sans application d'insecticides, (B) culture pure de choux pommés sans application d'insecticides et (C) culture pure de choux pommés traités avec un insecticide. La figure 9 présente la localisation des unités expérimentales.

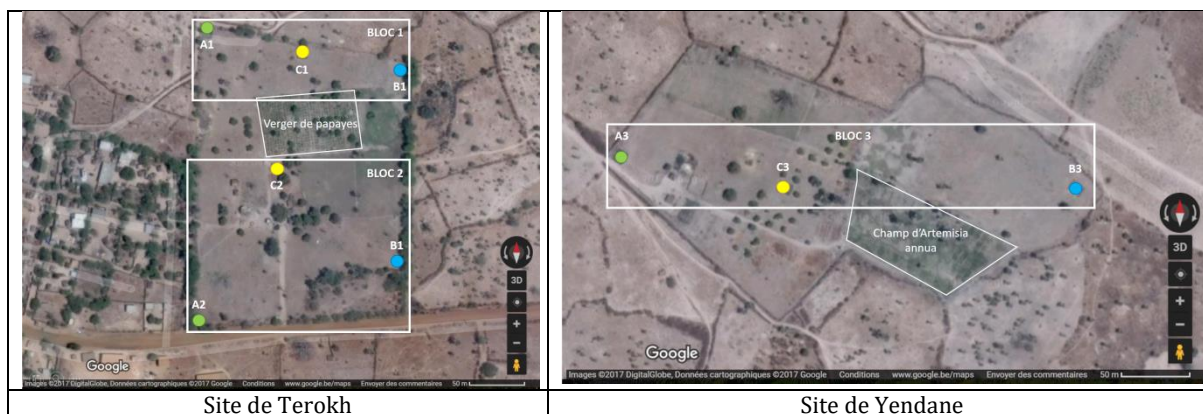


Figure 9: Localisation des blocs et des parcelles d'essai dans les sites de Terokh et de Yendane

Avec A1, A2, A3 = parcelles de culture associée ; B1, B2, B3 = parcelles de culture pure de chou non traitées à l'insecticide ; C1, C2, C3 = parcelles de culture pure de chou traitées à l'insecticide.

Chaque parcelle élémentaire mesurait neuf mètres de longueur sur sept mètres de largeur. Les parcelles de culture associée contenaient quatre rangées d'armoise et neuf rangées de choux (Figure 10A). Les plants de chou cultivés en association étaient plantés par bande de trois rangées placées entre deux rangées d'armoise. Les plants d'armoise étaient distants de 30

cm dans les rangées et de 2 m entre les rangées avec un total de 120 plants par parcelle. Les plants de chou cultivés en association étaient plantés en quinconce avec une distance de 40 cm entre les plants dans les rangées et un espacement de 50 cm entre les rangées. Les rangées de choux et d'armoise étaient espacées de 50 centimètres. Les parcelles de culture associée comptaient au total 189 choux pommés.

Les parcelles de chou sans armoise comptaient 273 choux pommés au total disposés en 13 rangées de 21 choux plantés en quinconce, distants de 40 cm dans les rangées et de 50 cm entre les rangées (Figure 10 B et C).

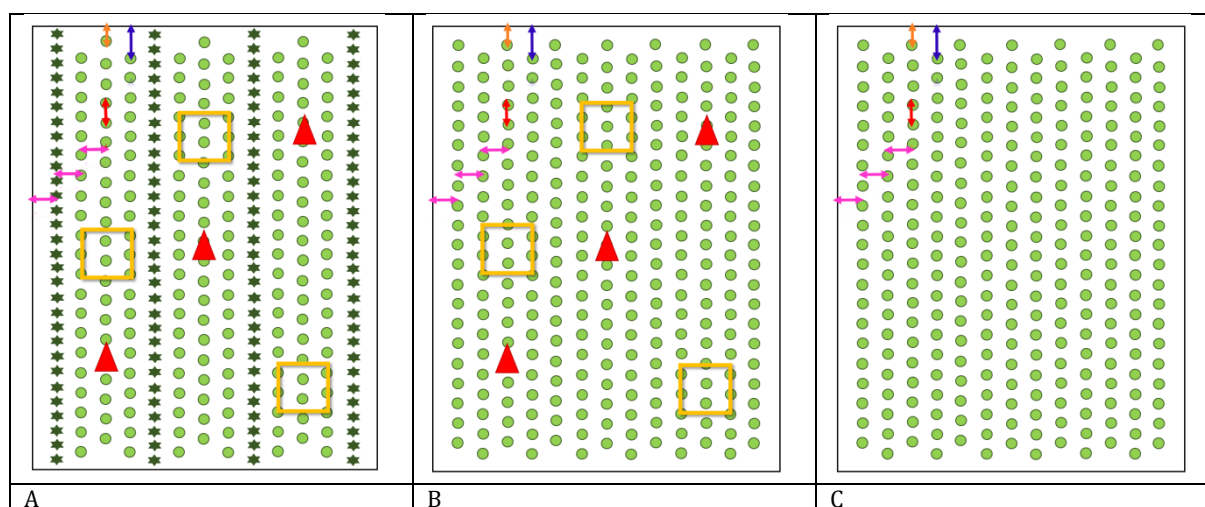


Figure 10: Disposition des plantes dans les parcelles d'essai - Parcelle de chou pommé en association avec l'armoise (A) ; Parcelle de chou pommé en culture pure et sans traitement insecticide (B) ; parcelle de chou pommé en culture pure avec traitement insecticide (C)

#### Légende



### 3.3.1 Matériel végétal

Les plants d'*A. afra* ont été obtenus par marcottage et bouturage à partir de plantes mères d'un écotype sud-africain du jardin botanique de Kirstenbosch, cultivées à l'École Nationale Supérieure Agronomique (ENSA) de Thiès. Les plants de chou pommés (*B. oleracea* var. *capitata*) sont-elles produites par GSN-semences.

### 3.3.2 Itinéraire technique

#### **a. Préparation des parcelles**

La délimitation des parcelles a été effectuée le 8 et 9 novembre 2016 et elles ont été binées par la même occasion.

Toutes les parcelles, mises à part celles destinées à l'association chou-armoise, ont été traitées au Round-up pour limiter le développement du *Cyperus rotundus* L., principale plante adventice dans les exploitations maraîchère de la région. Dans les parcelles de culture pure de chou traitées à l'insecticide, 32 g de SAVANEM, un nématicide, a été ajouté dans chaque ligne de chou.

#### **b. Installation des plantes dans les parcelles d'essai**

Les plants d'*A. afra* ont été mis en place le 9 novembre 2016 à Yendane et du 10 au 11 novembre 2016 à Terokh. Des remplacements de plants fanés ont été effectués le 19 décembre, soit plus ou moins une semaine après transplantation. Les parcelles contenant l'armoise africaine ont ensuite été clôturées avec une bâche en plastique noire afin d'éviter les dégâts causés par les poules venant des villages voisins.

Les choux pommés ont été semés du 21 au 22 décembre 2016 dans des gobelets en plastique contenant du terreau (Jiffy substrates) à raison de deux graines par pot. Ils ont ensuite été placés en pépinière jusqu'au repiquage effectué du 8 au 9 février 2017, pour les parcelles de culture associée et de culture pure du chou sans traitement insecticide (A1, A2, B1 et B2) du site de Terokh et le 13 février 2017 pour les autres (A3, B3, C1, C2, et C3). Les gobelets ont été arrosés deux fois par jour, le matin et le soir.

### 3.3.3 Entretien de la culture

#### **a. Arrosage**

L'irrigation des parcelles s'effectuait à l'aide d'un tuyau d'arrosage connecté à un robinet de l'eau de ville. Les plants ont été arrosés tous les jours à 8h00 et à 17h30, jusqu'à la fin de la récolte des choux pommés.

#### **b. Désherbage**

Les parcelles ont été binées et désherbées une fois toutes les deux à trois semaines en fonction du développement des mauvaises herbes.

### ***c. Applications d'engrais***

Une première application d'engrais minéraux sur les choux pommés a été effectuée le 1<sup>er</sup> mars 2017, plus ou moins 21 jours après transplantation, à raison de 5 g de NPK (15-15-15) par plant. La deuxième application a été réalisée 50 jours après la première, à raison de 3 g d'urée par chou, afin d'accélérer la maturation des plants.

Les plants d'armoise africaine ont reçu deux poignées de compost de fiente de poule correspondant à environ 350 grammes par plant après chaque coupe, effectuée le 14 mars et le 28 avril 2017.

### ***d. Traitement phytopharmaceutique***

Les parcelles de chou subissant le traitement insecticide ont été traitées avec du K-OPTIMAL, un insecticide systémique à large spectre pour les cultures maraîchères dont les deux substances actives, lambda-cyhalothrine et acétamipride, sont efficaces contre les chenilles et les insectes piqueurs-suceurs respectivement.

#### **3.3.4 Récolte**

Chaque parcelle a été récoltée une fois par semaine sur une période de cinq semaines allant du 19 avril au 19 mai 2017. Durant les quatre premières semaines, seules les choux pommés en maturité ont été récoltés. En effet, deux critères d'appréciation de la maturité des choux ont été considérés : le diamètre des pommes (environ 13 à 14 cm) ou les premiers signes annonçant l'émergence de l'inflorescence. Ces derniers se manifestent par des déchirures apicales et/ou latérales des deux à trois premières feuilles de la pomme. La dernière semaine de récolte, les choux restants ont tous été récoltés.

Les plants d'armoise ont été taillés à hauteur de 40 cm du sol et 50 cm de largeur afin de récolter les feuilles. Cette opération a été effectuée à deux reprises, le 9 mars et le 24 avril 2017.

## **3.4 Suivi et mesures**

### **3.4.1 Inventaire de l'entomofaune**

Les observations sur les populations d'insectes ont été effectuées deux fois par semaine, sur une même journée, durant une période allant du 18 février au 18 avril 2017. Elles ne concernaient que les parcelles de chou pommé en association avec l'armoise (A1, A2 et A3) et celles de chou pommé en culture pure, sans traitement insecticide (B1, B2 et B3).

### **a. Insectes sur les pièges collants**

Des pièges collants de type Bug-Scan de la marque BIOBEST ont été utilisés pour piéger les insectes. Ces Bug-Scans ont été répartis en diagonale dans chaque parcelle à raison de trois par parcelle (Figure 10 A et B). À chaque inspection, les Bug-Scans ont systématiquement été datés et remplacés. Sur chaque Bug-Scan, le nombre de pucerons et de teignes a été déterminé à l'œil nu et les autres insectes ont été dénombrés et classés dans leur ordre par observation à la loupe.

### **b. Insectes dans les quadrats et croissance des choux**

Les quadrats consistaient en un cadre en bois mobile de 1m<sup>2</sup>. Un quadrat englobait exactement cinq choux pommés et 3 relevés de quadrats étaient effectués par parcelle et par observation. L'emplacement des quadrats variait d'une inspection à l'autre car à chaque relevé, le cadre en bois était déposé aléatoirement dans une bande de choux (Figure 10 A et B).

Dans chaque quadrat, les données suivantes ont été relevées : le nombre de fausses arpeuteuses (larves, chrysalide, adulte), le nombre de borers du chou (larves, chrysalide, adulte), le nombre de teignes (larves, chrysalide, adulte), le nombre de colonies de pucerons aptères, le nombre de pucerons ailés et le nombre de pucerons morts (momies). Des prélèvements de ces insectes ont été effectués et conservés dans de l'alcool (éthanol) à 70% en vue de les déterminer à posteriori. Tous les autres types d'insectes rencontrés dans les parcelles ont également été prélevés et conservés dans de l'alcool pour une identification plus approfondie dans le but de contribuer à la connaissance des insectes de la région et de vérifier si certains sont des insectes auxiliaires.

Un suivi de la croissance des plants de choux pommés a aussi été réalisé en comptant le nombre de feuilles et en mesurant le diamètre de la pomme de chaque chou présent dans un quadrat.

#### **3.4.2 Composantes du rendement et évaluation des dégâts du chou pommé**

À chaque récolte, sept paramètres ont systématiquement été mesurés sur chaque chou : (1) le nombre de feuilles par plant, (2) le nombre de pommes par plant, (3) le poids du plant de chou en entier, (4) le diamètre de chaque pomme, (5) le poids de chaque pomme, (6) le nombre de choux borgnes et (7) les dégâts constatés sur chaque pomme grâce à une échelle qualitative (Tableau 1).



Tableau 1: Échelle qualitative d'estimation des dégâts foliaires sur le chou pommé à la récolte (d'après Delobel, 1978).

Classe	Échelle des dégâts
6	Pomme indemne de toute attaque
5	Quelques perforations superficielles
4	Deux ou trois feuilles atteintes
3	Feuilles extérieures assez fortement atteintes, mais cœur sain
2	Cœur attaqué assez profondément
1	Aucune feuille indemne

### 3.4.3 Suivi et rendement de l'armoise africaine

Les mesures sur *A. afro* ont été prises toutes les deux semaines, du 22 février au 24 mai 2017. Elles consistaient à prélever huit paramètres, notamment (1) le diamètre au niveau du collet, (2) la distance entre le collet et la première ramification, (3) la distance entre le collet et le sommet de la tige primaire la plus longue, (4) la hauteur de la plante, (5) le nombre de ramifications primaires, (6) le diamètre projeté au sol et (7) le nombre de plantes en fleur ou présentant des boutons floraux.

Après chaque coupe, toutes les feuilles et tiges récoltées étaient pesées par parcelle et puis mise à sécher au soleil sur des tables de séchage surélevées (Figure 11), durant des périodes variant en fonction des conditions météorologiques. La pesée des récoltes après séchage n'avait lieu que lorsque les feuilles se transformaient en une poussière fine à la friction. Le taux de perte en eau lors du séchage était calculé en rapportant à la matière fraîche récoltée la différence entre la matière fraîche et la matière sèche (Equation1).

$$\text{Taux de perte en eau (\%)} = \frac{MF-MS}{MF} \text{ (Équation 1)}$$



Figure 11: Table de séchage recouverte d'une moustiquaire (photo prise par Machiels L.)

### 3.5 Analyse économique

#### 3.5.1 Objectif

Le but de cette analyse est d'évaluer les performances économiques des trois systèmes de culture comparés.

#### 3.5.2 Calcul du prix de revient et de la rentabilité

Le coût de production en saison sèche du chou pommé (€/are) a été calculé pour chaque type de traitement :

- Traitement 1 = chou pommé en association avec l'armoïse (A) ;
- Traitement 2 = chou pommé en culture pure, sans traitement insecticide (B) ;
- Traitement 3 = chou pommé en culture pure, avec traitement insecticide (C).

Les composantes intervenant dans ce calcul et celui de la rentabilité de chaque modalité de culture comparée sont repris dans le Tableau 2.

Tableau 2: Éléments de calcul des performances économiques par are des systèmes de cultures comparées

Variable de calcul	Traitement 1	Traitement 2	Traitement 3
<b>1. Le fermage (coût de location de la terre)</b>			
<b>2. La traction (rémunération du travail d'un tiers)</b>			
<b>3. Les intrants pour la culture du chou pommé</b>			
Les semences (quantité de semences utilisées fois le prix unitaire)			
Les engrais (quantité épandue fois le prix unitaire)			
Les produits phytopharmaceutiques (quantité pulvérisée fois le prix unitaire)			
Irrigation (Volume d'eau irrigué fois le prix unitaire en mètre cube)			
<b>4. Les intrants pour la culture de l'armoïse africaine</b>			
Les plants (quantité de plants nécessaire fois le coût de production par plant divisé par la durée de vie de l'armoïse africaine en plantation, soit environs dix ans)			
Les engrais (quantité répandue fois prix unitaire en kg)			
<b>5. La main d'œuvre pour la culture du chou pommé (Nombre d'heures presté fois le salaire horaire d'un travailleur)</b>			
<b>6. La main d'œuvre pour la culture de l'armoïse (Nombre d'heures presté fois le salaire horaire d'un travailleur)</b>			
<b>7. Frais divers (Frais de téléphone, frais de transport, ...)</b>			
Dépenses totales (somme des composants cités précédemment) pour chaque traitement			
Produit brut de chaque traitement (quantités récoltées fois prix de vente)			
Marge : produit brut moins coûts de production			

### 3.6 Données climatiques

Les données de températures mensuelles sont reprises dans la figure 12.

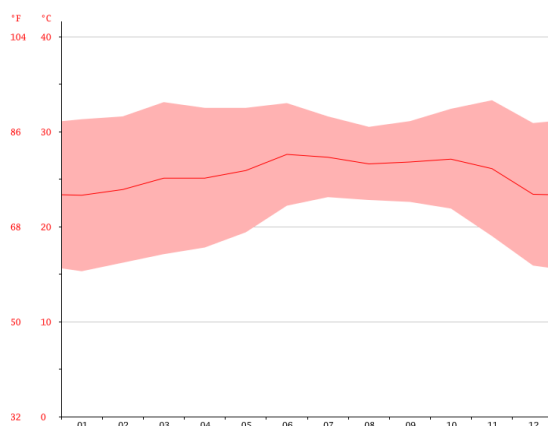


Figure 12: Courbe d'évolution des températures au cours de l'année 2016 (climate.org)

### 3.7 Analyse pédologique

Des prélèvements de sol ont été effectués le 27 mai 2017, après la récolte des choux, puis envoyés au laboratoire provincial de La Hulpe. Les échantillons de sol analysés pour chaque parcelle serviront à objectiver les données analysées dans la partie résultat (Tableaux 3 et 4).

Tableau 3: Résultats des analyses de sol

Parcelle	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
P (mg/100g)	9,263	14,405	5,508	6,515	5,459	2,699	8,119	18,537	5,493
K (mg/100g)	6,939	10,357	9,909	6,122	4,681	5,720	7,829	7,277	8,126
Mg (mg/100g)	9,737	12,536	8,840	12,445	10,550	10,357	16,365	12,415	18,749
Na (mg/100g)	2,312	3,792	3,970	3,119	1,451	2,991	5,098	2,295	5,103
Ca (mg/100g)	58,895	92,838	30,774	51,681	42,765	25,864	64,577	66,362	71,692
Fe (mg/kg)	44,037	45,935	44,272	46,611	34,698	64,431	65,448	70,758	72,899
Mn (mg/kg)	11,154	23,507	4,328	4,993	8,192	1,279	5,575	7,576	8,386
Carbone org (mg/kg)	2,810	5,120	3,130	2,660	1,830	2,470	3,510	2,530	3,360
Humus (mg/kg)	0,562	1,023	0,625	0,533	0,366	0,494	0,701	0,506	0,672
pH_KCl	7,170	7,320	6,020	6,310	6,810	4,280	5,950	6,590	5,230
pH_eau	7,560	7,760	6,420	7,050	7,620	5,300	6,620	7,350	6,120

Culture de chou avec *A. afra* sans traitement insecticide (A1, A2, A3) ; Culture pure de chou sans traitement insecticide (B1, B2, B3) ; Culture pure de chou avec traitement insecticide (C1, C2, C3)

Tableau 4: analyse granulométrique du sol pour chaque parcelle de chou cultivé

Parcelle	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3
Argile	5,419	6,543	7,610	7,604	5,765	12,632	13,032	7,225	16,788
Limon fin	1,445	1,454	2,174	1,448	0,721	1,805	1,810	1,084	3,285
Limon grossier	3,974	6,906	6,523	5,794	4,684	6,496	4,344	5,419	8,029
Limon total	5,419	8,360	8,697	7,242	5,405	8,301	6,154	6,503	11,314
Sable fin	36,561	45,420	42,108	42,541	43,384	39,815	38,097	46,416	36,219
Sable grossier	52,601	39,677	41,586	42,613	45,445	39,252	42,716	39,855	35,679
Sable total	89,162	85,097	83,693	85,154	88,830	79,067	80,814	86,272	71,898
Indice de battance	0,355	0,287	0,588	0,494	0,363	0,431	0,298	0,393	0,466

Culture de chou avec *A. afra* sans traitement insecticide (A1, A2, A3) ; Culture pure de chou sans traitement insecticide (B1, B2, B3) ; Culture pure de chou avec traitement insecticide (C1, C2, C3)

### 3.8 Analyses statistiques des données

Les données étaient encodées sur Microsoft Office Excel 2016 (Microsoft Inc., USA), puis importées et traitées à l'aide du logiciel Minitab V17 (Minitab coventry, UK). Tous les tests statistiques ont été réalisés au seuil de significativité de 5%.

#### 3.8.1 Données entomologiques

Pour chaque ravageur inventorié, l'effectif a été cumulé par traitement, bloc et répétition (quadrat/Bug-Scan) sur l'ensemble de la période de suivi entomologique. Les conditions d'application de l'analyse de la variance (normalité et égalité de la variance) ont été vérifiées. La transformation par racine carrée a été appliquée sur les données en cas de nécessité afin de remplir les conditions de normalité et d'égalité de variance. Une analyse de la variance à deux critères de classification (AV2) est réalisée selon les facteurs « traitement » et « bloc ». En cas d'absence d'interaction entre ces deux facteurs, une analyse de la variance à un critère de classification (AV1) est réalisée selon le facteur « traitement » seul. Dans tous les cas, une structuration de la moyenne de Tukey (différence de la plus haute significativité) est réalisée selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation.

Afin d'analyser l'évolution des populations de ravageurs au cours du temps, une analyse de la covariance (ANCOVA) est réalisée selon le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours » (transformation nécessaire de la date en format numérique pour cette analyse) afin de vérifier si le facteur « bloc » n'interagit pas au cours du temps. En absence d'interaction, les données moyennes sont représentées au cours du temps pour chaque traitement, tous les blocs confondus. En présence d'interaction, les blocs sont pris en compte dans la représentation graphique.

#### 3.8.2 Données de croissance, rendement et dégâts

##### **a. Chou pommé**

Pour les données relatives à la croissance des plants de chou, une ANCOVA a été réalisée sur le nombre de feuilles selon le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours » pour tester leur interaction. En l'absence d'interaction, les courbes d'évolution au cours du temps seront représentées pour le nombre de feuilles selon chaque traitement, tous les blocs confondus.

L'évaluation du rendement s'est effectuée en trois parties. Tout d'abord, le nombre de choux borgnes cumulés par parcelle a subi une analyse de la variance selon le facteur « traitement » seul. Puis, un Modèle Linéaire Général (GLM) a été effectué sur la population déséquilibrée de choux sains afin de vérifier l'interaction entre les facteurs « traitement » et

« bloc », suivi d'une AV1 selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation, pour comparer le poids moyen d'une pomme entre les différentes parcelles. Pour finir, le rendement total en pommes est évalué en effectuant une AV1 par rapport au facteur « traitement » sur le poids total de pommes récoltées dans chaque parcelle pour chaque bloc. Ce dernier est obtenu par la somme de poids des pommes supérieur ou égal à 100 g, issu des choux sains ou de choux borgnes.

Les données relatives aux dégâts sur pommes sont analysées selon une AV1 du diamètre de la pomme (choux borgnes et choux sains confondus) en fonction de la classe de dégât et selon un GLM sur la classe de dégât en fonction des facteurs « traitement » et « bloc ».

### ***b. L'armoise africaine***

Une AV1 en fonction du facteur « bloc » a été réalisée sur deux paramètres, la hauteur et le diamètre projeté au sol, prélevés en début de suivi, avant la première coupe, avant la deuxième coupe et en fin de période de suivi de l'armoise.

Une ANCOVA a été effectuée pour la date d'apparition des fleurs et des boutons floraux en fonction du facteur « bloc » et de la covariable « nombre de jours » pour voir si chaque parcelle se comporte de la même manière.

Une AV1 selon le facteur « bloc » sur la biomasse séchée produite par les deux coupes a permis de comparer le rendement relatif à chaque parcelle.

## 4. Résultats

### 4.1 Observations entomologiques

Cette étude a mis en évidence au total 16 809 insectes avec les observations visuelles d'insectes au sein des quadrats et les insectes piégés sur les Bug-Scans. Cela revient à 27 % d'insectes recensés directement sur les plantes de choux et 73 % recensés sur les pièges collants. Une AV1 du nombre total d'insectes, dans les quadrats et sur les Bug-Scans réunis, par traitement ne montre aucune différence significative ( $F_1=0,49$  ;  $P=0,522$  ;  $n=6$ ).

#### 4.1.1 Inventaire de l'entomofaune au niveau des quadrats

Parmi les insectes relevés dans les quadrats (4 565), 66 % correspondent aux ravageurs analysés ci-dessous et 32 % correspondent à des fourmis, principalement retrouvées au niveau du sol et plus rarement sur les feuilles de chou. Les 2 % d'insectes restant comptent parmi eux des hémiptères, des diptères, des coléoptères et quelques rares hyménoptères et orthoptères. Le traitement « Avec *A. afra* » compte en moyenne  $465 \pm 232$  ravageurs sur les 2 mois de suivi entomologique et le traitement « sans *A. afra* »,  $321 \pm 95,8$ . Une AV1 sur le nombre total d'insectes ravageurs par bloc et par traitement ne montre aucune différence significative entre les traitements « Avec *A. afra* » et « sans *A. afra* » ( $F_1=0,99$  ;  $P=0,377$  ;  $n=6$ ).

##### 4.1.1.1 Borer du chou

Le borer du chou correspond à l'insecte causant le plus de dégâts au niveau de la culture du chou car elle est responsable de la formation des choux borgnes. Ce lépidoptère a été recensé sur les plants de choux au sein des quadrats mobiles et seul le stade immature (larve et chrysalide) a pu être observé pour cette espèce.

Sur l'ensemble de la période de culture du chou, 22 % des 652 lépidoptères observés au stade immature correspondait à des borers du chou. Une analyse de la variance sur le nombre d'individus total au stade immature entre les facteurs « bloc » et « traitement » met en évidence l'absence d'interaction entre ces derniers ( $F_2=0,10$  ;  $P=0,901$  ;  $n=18$ ). Une analyse de la variance sur le nombre d'individus total selon le facteur « traitement » seul ne montre pas de différence significative entre ces deux traitements ( $F_1=3,40$  ;  $P=0,084$  ;  $n=18$ ). Le nombre moyen de borers du chou par quadrat sur les deux mois de suivi pour le traitement « Avec *A. afra* » est de  $6,3 \pm 4,2$  et pour celui du traitement « sans *A. afra* », de  $9,8 \pm 3,8$ . Le calcul du nombre moyen de borers du chou pour chaque bloc montre des valeurs maximales pour les parcelles du bloc n°3 avec  $14,0 \pm 2,0$  pour le traitement « sans *A. afra* » et  $9,7 \pm 5,5$  pour le traitement « avec *A. afra* » (Figure 13). Les valeurs minimales sont rencontrées dans les blocs n°1 et 2 pour le traitement « avec *A. afra* » et

valent  $4,3 \pm 1,2$  et  $5,0 \pm 3,5$  respectivement et les valeurs intermédiaires, dans les blocs n°1 et 2 pour le traitement « sans *A. afra* » et valent  $7,7 \pm 0,6$  et  $7,7 \pm 3,5$  respectivement (Figure 13).

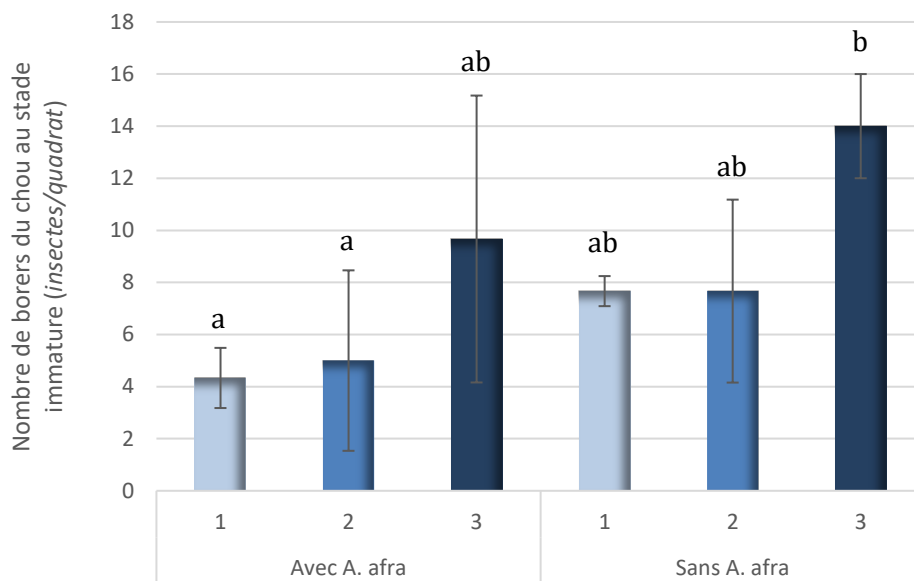


Figure 13: Nombre total de borsers du chou par quadrat au stade immature selon les blocs et les traitements (avec/sans *A. afra*) analysé par une ANOVA et structuré par un test HSD de Tukey. Les moyennes ne partageant pas une même lettre sont significativement différentes.

Une ANCOVA sur l'effectif de borsers du chou observé par quadrat à chaque date de relevé montre une interaction entre le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours » ( $F_{2,27} = 5,27$  ;  $P = 0,006$  ;  $n = 306$ ). Cela implique que les données relatives au bloc ne pourront pas être rassemblées. Ainsi, l'évolution du nombre de borsers du chou au cours du temps sera tracée pour chaque bloc de chaque traitement. Le borer du chou est observé pour la première fois dans le bloc n°1 du traitement « sans *A. afra* » le 6 mars, dans les autres parcelles, le 13 mars, et pour le bloc n° 1 du traitement « avec *A. afra* », le 17 mars. Entre les dates du 6 mars au 13 mars, le nombre de borsers de chou observé est globalement plus important pour le traitement « sans *A. afra* », de même qu'entre les dates du 27 mars au 18 avril (Figure 14). Du 13 mars au 14 avril, le nombre de borsers du chou reste relativement stable avant de grimper de manière importante le 18 avril pour le traitement « sans *A. afra* » des blocs n°1 et 2 (Figure 14).

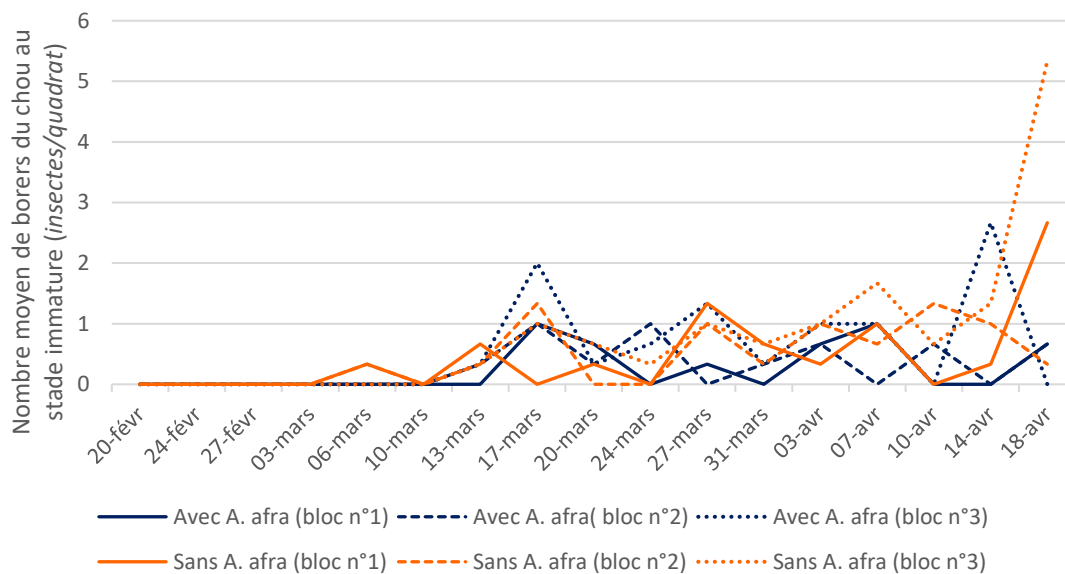


Figure 14: Evolution du nombre moyen de borers du chou par quadrat au stade immature au cours du temps.

#### 4.1.1.2 Fausse arpenreuse et teigne du chou

Ces deux espèces de lépidoptères ont été retrouvées sur les plants de choux au sein des quadrats mobiles au stade immature et au stade imago. Elles correspondent aux quatre cinquièmes des observations de lépidoptères durant les deux mois de suivi entomologique.

##### a. Stades immatures

Sur l'ensemble de la période d'observation, 78 % des lépidoptères au stade immature sur les 652 observés correspondent à la teigne des crucifères et à la fausse arpenreuse. Une analyse de la variance à deux critères de classification sur le nombre total de teignes et de fausses arpenreuses selon les facteurs « traitement » et « bloc » montre l'absence d'interaction entre ces derniers ( $F_2=1,84$  ;  $P=0,201$  ;  $n=18$ ). L'analyse de la variance du nombre total de teignes et de fausses arpenreuses selon le facteur « traitement » montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux traitements ( $F_1=1,89$  ;  $P=0,188$  ;  $n=18$ ) et indique un nombre moyen de teignes et de fausses arpenreuses par quadrat de  $31,0 \pm 7,7$  pour le traitement « avec *A. afra* » et de  $25,4 \pm 8,8$  pour celui « sans *A. afra* » (Figure 15).



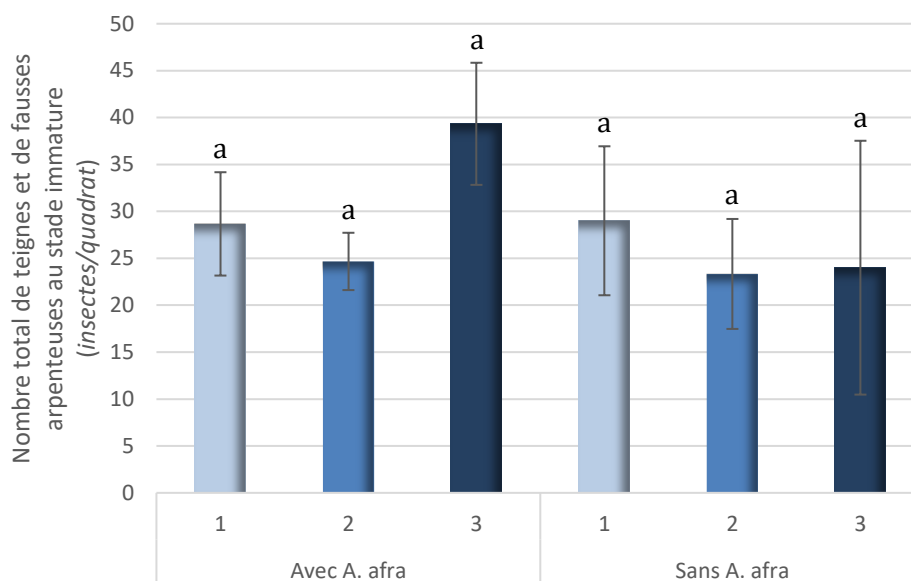


Figure 15: Nombre total de teignes et de fausses arpeuteuses par quadrat au stade immature selon les blocs et les traitements (avec/sans A. afra) analysé par une ANOVA et structuré par un test HSD de Tukey. Les moyennes ne partageant pas une même lettre sont significativement différentes.

L'ANCOVA sur le nombre moyen de teignes et de fausses arpeuteuses au stade immature à chaque relevé montre l'absence d'interaction entre le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours » ( $F_2=1,52$  ;  $P=0,219$  ;  $n=306$ ) permettant ainsi de rassembler les données relatives aux trois blocs pour ne tracer les courbes d'évolution de ces deux espèces de lépidoptères que selon le traitement.

Les premières observations de chenilles débutent le 24 février, leur effectif augmente et atteint un pic le 17 mars, puis décroît jusqu'à la fin du suivi. Les premières observations de chrysalides commencent à partir du 10 mars, leur effectif augmente jusqu'au 24 mars et se stabilise jusqu'à la fin du suivi (Figure 16).

Les premiers individus adultes sont observés le 24 mars pour le traitement « sans A. afra » et le 18 avril pour celui « avec A. afra ». Ces individus sont retrouvés en très faible quantité par rapport aux individus immatures (Figure 16).

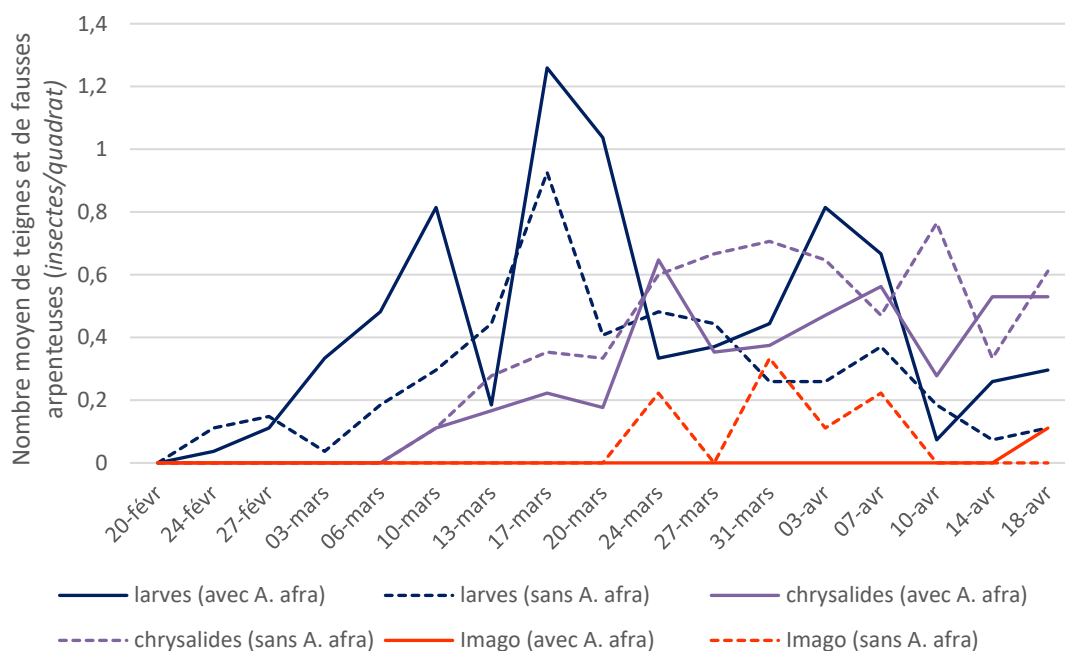


Figure 16: Evolution du nombre moyen de teignes et de fausses arpeuteuses par quadrat au stade immature au cours du temps.

## b. Stade imago

Les seuls adultes lépidoptères rencontrés dans les quadrats sont des teignes et des fausses arpeuteuses au stade imago. Un très faible nombre de ces insectes adultes, neuf précisément, a été observé durant les deux mois de suivi entomologique. Aucune analyse statistique ne sera donc effectuée car elle n'aurait pas de sens sur un effectif aussi faible.

### 4.1.1.3 Pucerons

#### a. Colonies de pucerons aptères

Les pucerons sont les insectes les plus abondants et les plus fréquemment retrouvés dans les quadrats. Les pucerons aptères comptent exactement 1586 colonies. Une analyse de la variance à deux critères de classification sur le nombre total de colonies de pucerons montre une interaction entre les facteurs « traitement » et « bloc » ( $F_2=6,34$  ;  $P=0,013$  ;  $n=18$ ). Une analyse de la variance à un critère de classification sur le nombre de colonies selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation souligne que les moyennes sont différentes de manière hautement significative ( $F_5=8,27$  ;  $P=0,001$  ;  $n=18$ ). Globalement, le nombre moyen de colonies de pucerons aptères est plus important pour le traitement « avec *A. afra* » ( $113,4 \pm 70,6$ ) que pour celui « sans *A. afra* » ( $62,8 \pm 33,4$ ) car dans le bloc n°1, il ne varie pas de manière significative entre les deux traitements avec  $37,0 \pm 16,5$  « avec *A. afra* » et  $43,0 \pm 25,4$  « sans *A. afra* », de même que dans le bloc n°3 avec  $125,3 \pm 15,6$  et  $95,0 \pm 24,3$  respectivement tandis que dans le bloc n°2, il est

significativement plus élevé pour le traitement « avec *A. afra* » ( $178,0 \pm 64,6$ ) que pour celui « sans *A. afra* » ( $50,3 \pm 29,3$ ) (Figure 17).

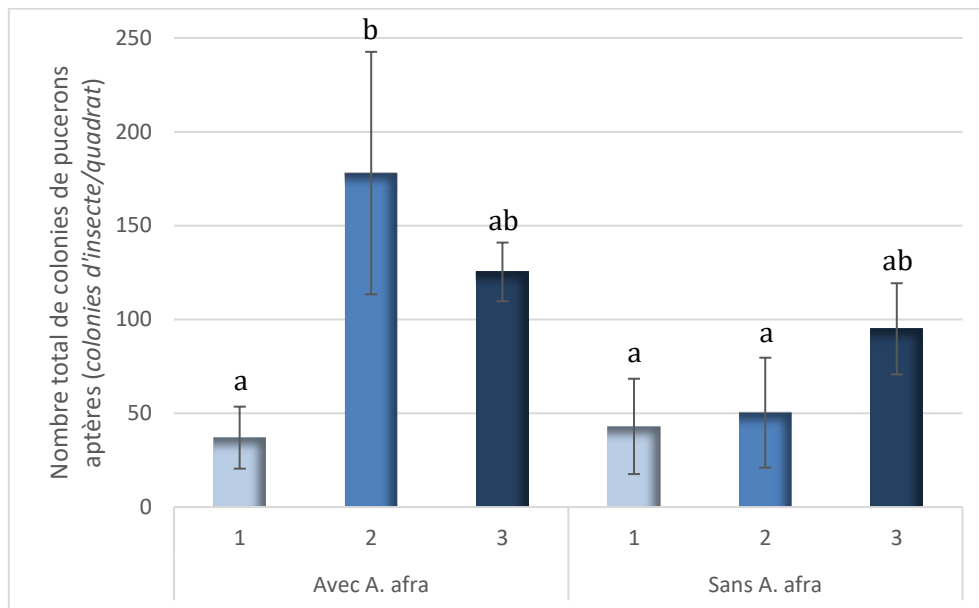


Figure 17: Nombre total de colonies de pucerons aptères par quadrat selon les blocs et les traitements (avec/sans *A. afra*) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey. Les moyennes ne partageant pas une même lettre sont significativement différentes

Selon l'ANCOVA, il existe une interaction entre le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours » sur l'effectif des colonies de pucerons à chaque relevé ( $F_2=7,73$  ;  $P=0,001$  ;  $n=306$ ). Les données relatives aux blocs ne pourront pas être rassemblées pour chaque traitement. Donc, l'évolution du nombre moyen de colonies au cours du temps sera tracée pour chaque bloc de chaque traitement. Une évolution en cloche se dessine durant la période de mi-mars à début avril pour l'ensemble des courbes, blocs et traitements confondus, et atteint un pic d'importance relative, selon la courbe, le 3 avril (Figure 18). Lors de la dernière inspection par quadrat, le nombre de colonies de pucerons aptères la plus élevée est atteint dans le bloc n°2 « avec *A. afra* » et de même que dans le bloc n°3 « sans *A. afra* » (Figure 18).

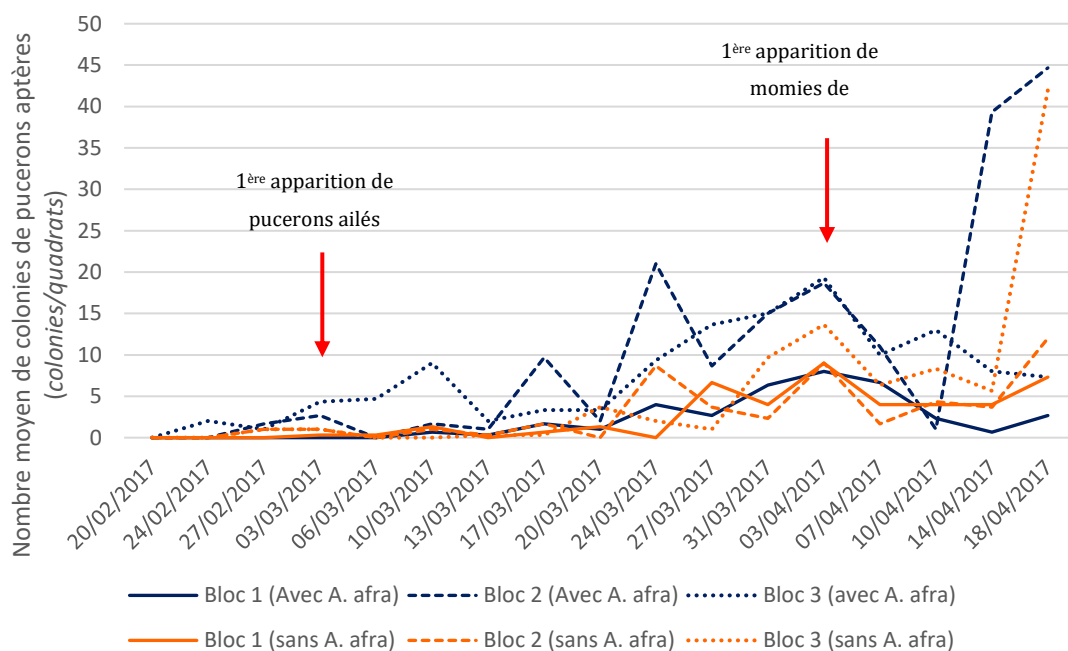


Figure 18: Evolution du nombre moyen de colonies de pucerons par quadrat au cours du temps.

### b. Pucerons ailés

Le nombre de pucerons ailés s'élève à 282 individus observés sur l'ensemble de la période d'observation. Une analyse de la variance à deux critères de classification sur le nombre total de pucerons ailés par quadrat selon les facteurs « traitement » et « bloc » montre l'absence d'interaction entre ces derniers ( $F_2=1,30$  ;  $P=0,309$  ;  $n=18$ ). L'analyse de la variance selon le facteur « traitement » seul ne montre aucune différence significative pour le nombre total de pucerons ailés ( $F_1=0,09$  ;  $P=0,772$  ;  $n=18$ ) qui vaut en moyenne  $16,4 \pm 10,2$  « avec *A. afra* » et  $14,9 \pm 12,2$  « sans *A. afra* ». Le nombre total de pucerons ailés dénombrés sur les feuilles de chou dans les quadrats pendant la période de suivi atteint des valeurs maximales dans le bloc n°2 avec  $24,0 \pm 12,5$  « avec *A. afra* » et  $29,3 \pm 9,7$  « sans *A. afra* », des valeurs minimales dans le bloc n°1 avec  $7,7 \pm 4,6$  « avec *A. afra* » et  $6,0 \pm 1,7$  « sans *A. afra* » et des valeurs intermédiaires dans le bloc n°3 avec  $17,7 \pm 5,7$  « avec *A. afra* » et  $9,3 \pm 4,2$  « sans *A. afra* » (Figure 19).

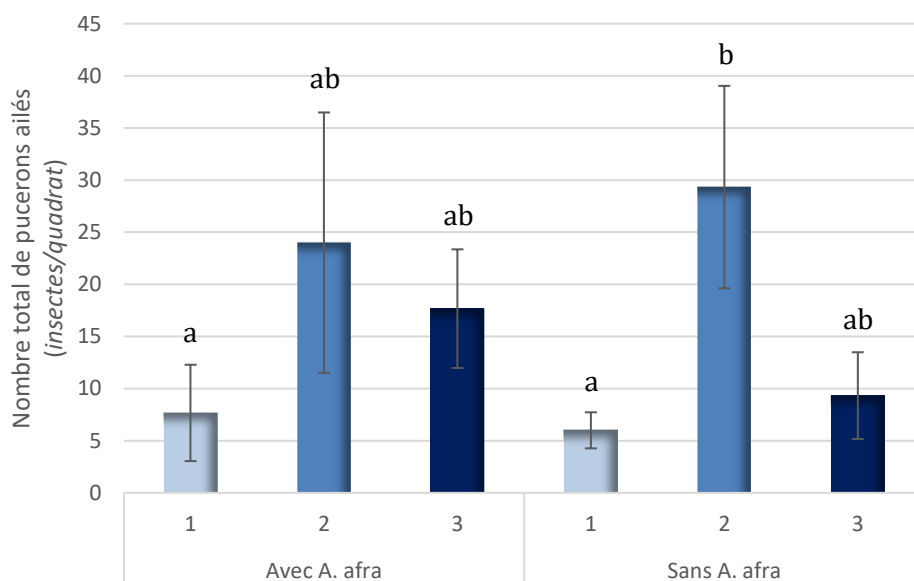


Figure 19: Nombre total de pucerons ailés par quadrat selon les blocs et les traitements (avec/sans A. afra) analysé par une ANOVA et structuré par un test HSD de Tukey. Les moyennes ne partageant pas une même lettre sont significativement différentes

L'ANCOVA sur l'effectif de pucerons ailés à chaque relevé montre une interaction entre le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours » ( $F_2=6,54$  ;  $P=0,002$  ;  $n=306$ ). Les données relatives aux blocs ne pourront pas être rassemblées pour chaque traitement. Ainsi, l'évolution du nombre moyen de pucerons ailés sera représentée pour chaque bloc de chaque traitement. Les pucerons ailés sont observés pour la première fois le 3 mars dans les quadrats des parcelles contenant de l'armoise, puis le 6 mars dans les quadrats de celles n'en contenant pas (Figure 20). Le nombre moyen de pucerons ailés atteint un pic le 3 avril dont l'importance varie en fonction de la parcelle (Figure 20).

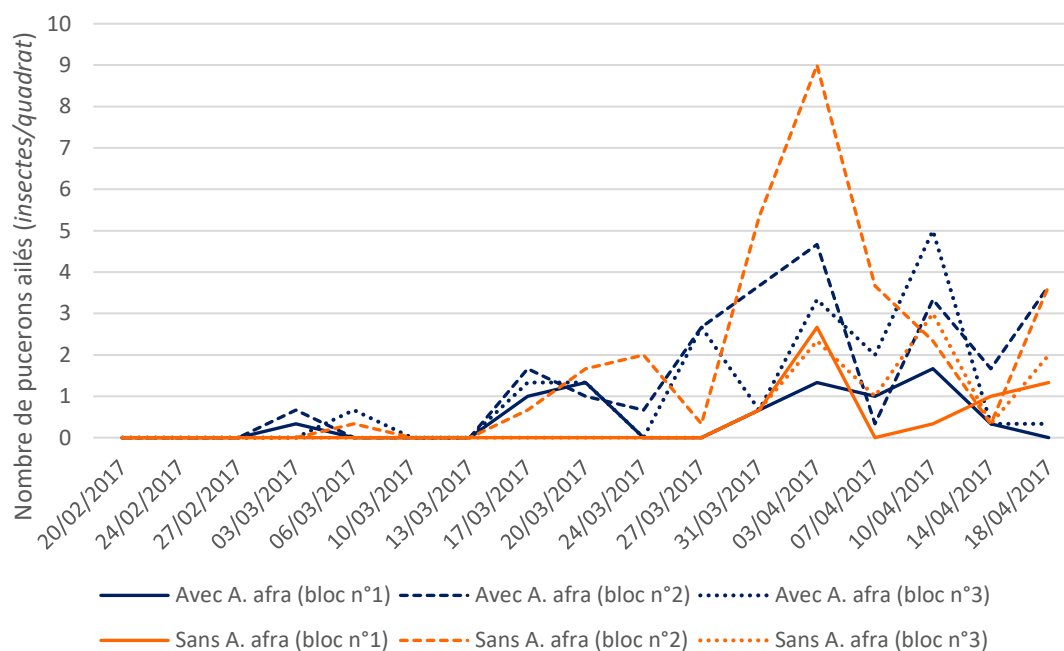


Figure 20: Evolution du nombre moyen de pucerons ailés par quadrat au cours du temps.

### c. Momies de pucerons

En tout, 247 momies de pucerons ont été recensées dans les quadrats sur les 2 mois de suivis. Une transformation par racine carrée des données relatives aux momies de pucerons a été nécessaire pour remplir la condition de normalité. Une analyse de la variance sur le nombre total de momies de pucerons selon les facteurs « traitement » et « bloc » met en évidence l'absence d'interaction entre ces derniers ( $F_2=0,70$  ;  $P=0,514$  ;  $n=18$ ). L'analyse à une variance selon le facteur « traitement » montre que le nombre moyen de momies du traitement « avec *A. afra* » de  $4,1 \pm 1,8$  est significativement supérieur à celui « sans *A. afra* », de  $2,2 \pm 1,8$  ( $F_1=5,30$  ;  $P=0,035$  ;  $n=18$ ). Le nombre de momies va croissant avec le numéro du bloc au sein d'un même traitement (Figure 21). Le bloc n°1 compte le moins de momies de pucerons sur l'ensemble de la période de suivi avec  $2,1 \pm 0,8$  « avec *A. afra* » et  $1,4 \pm 1,3$  « sans *A. afra* » (Figure 21). Dans le bloc n°2, le nombre moyen de momies dénombrées par traitement est supérieur à celui du bloc n°1, mais inférieur à celui du bloc n°3 avec  $4,6 \pm 1,2$  « avec *A. afra* » et  $2,1 \pm 2,3$  « sans *A. afra* » (Figure 21). Finalement, le bloc n°3 est celui dans lequel le plus grand nombre de momies a été retrouvé avec  $5,6 \pm 1,1$  dans la parcelle « avec *A. afra* » et  $3,1 \pm 1,9$  dans celle « sans *A. afra* » (Figure 21).

Le taux de parasitisme est calculé ici en divisant le nombre de momies observées par le nombre de colonies de pucerons aptères par traitement et par bloc. Le postulat justifiant ce calcul est que le nombre d'individus par colonie croît de la même manière dans chaque parcelle. L'AV2 montre l'absence d'interaction pour le taux de parasitisme entre les facteurs « traitement » et « bloc » ( $F_2=0,47$  ;  $P=0,637$  ;  $n=18$ ). L'AV1 selon le traitement montre que le taux de parasitisme

ne varie pas de manière significative entre les deux traitements et vaut en moyenne  $0,14 \pm 0,13$  « avec *A. afra* » et  $0,21 \pm 0,06$  « sans *A. afra* » ( $F_1=3,79$  ;  $P=0,069$  ;  $n=18$ ).

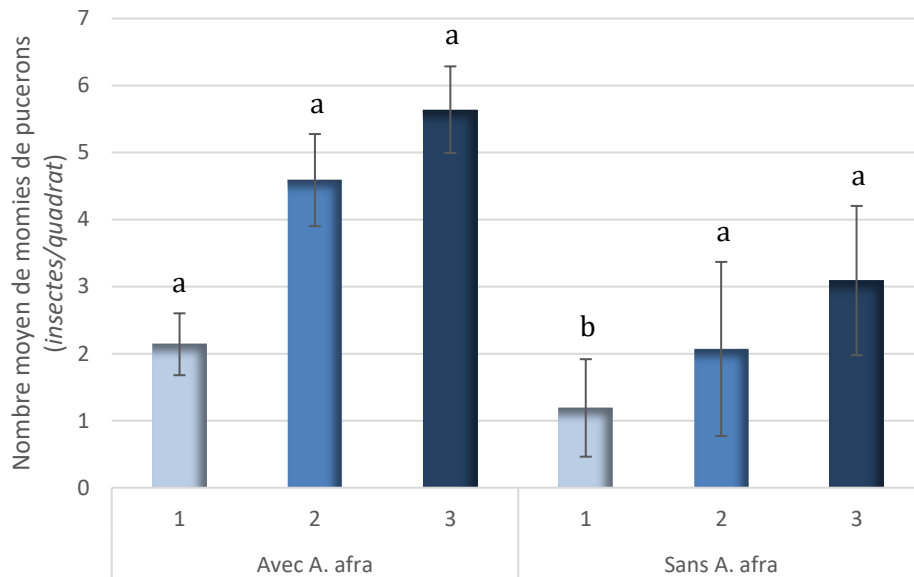


Figure 21: Nombre total de momies de pucerons par quadrat selon les blocs et les traitements (avec/sans *A. afra*) analysé par une ANOVA et structuré par un test HSD de Tukey. Les barres d'erreurs correspondent aux valeurs de l'erreur type. Les moyennes ne partageant pas une même lettre sont significativement différentes.

L'ANCOVA sur l'effectif de momies de pucerons à chaque relevé montre la présence d'interaction entre le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours » ( $F_2=7,44$  ;  $P=0,001$  ;  $n=306$ ). Les données relatives aux blocs ne pourront pas être rassemblées donc le nombre moyen de momies de pucerons sera représenté pour chaque bloc de chaque traitement au cours du temps. Les momies de pucerons ont commencé à être observées dans les quadrats à partir du 3 avril pour les parcelles de choux en association « avec *A. afra* » et le 7 avril pour celles du traitement « sans *A. afra* » (Figure 22). À partir de ces dates, le nombre de momies de pucerons augmente fortement. Les parcelles comptant le plus de momies sont les parcelles A2, A3 et B3 (Figure 22).

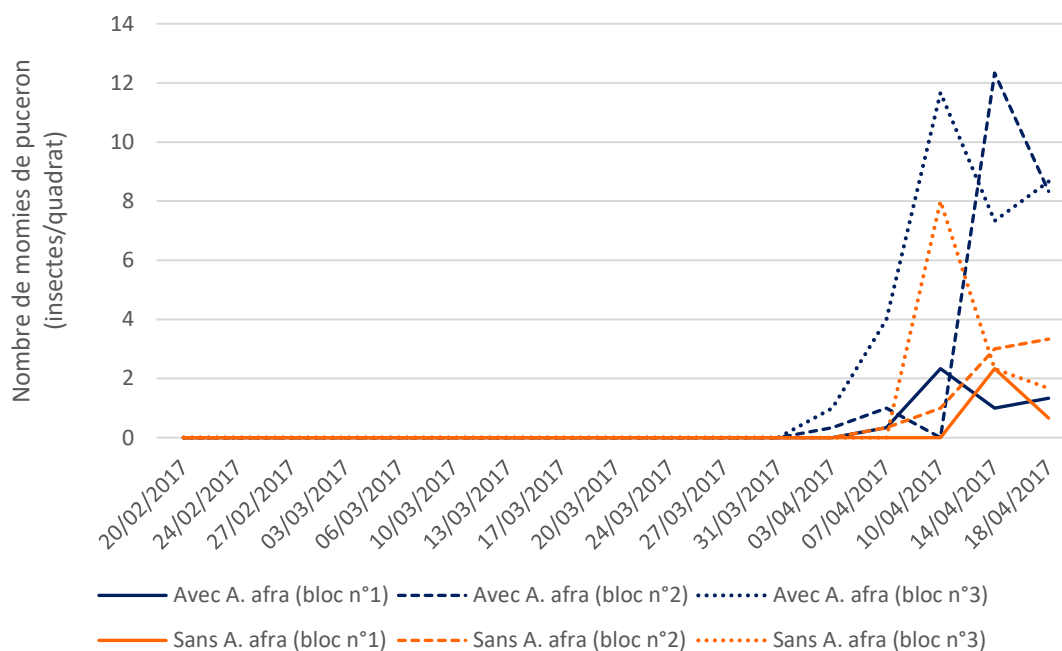


Figure 22: Evolution du nombre moyen de momies de pucerons par quadrat au cours du temps.

#### 4.1.2 Inventaire de l'entomofaune au niveau des Bug-Scans

Les insectes piégés sur les Bug-Scans renseignent sur l'abondance des insectes volants dans les parcelles et sur la diversité présente parmi ceux-ci. Au total, 12 244 insectes, répartis en cinq Ordres, ont été dénombrés sur les Bug-Scans.

##### 4.1.2.1 Abondance des insectes

L'analyse de la variance à deux critères de classification selon les facteurs « traitement » et « bloc » met en évidence une interaction entre ces derniers ( $F_2=12,79$  ;  $P=0,001$  ;  $n=18$ ). De manière générale, le nombre d'insectes est plus important pour le traitement « avec *A. afra* » avec  $729,2 \pm 247,8$  contre  $634,4 \pm 120,2$  pour le traitement « sans *A. afra* », mais l'analyse de la variance selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation montre une différence très hautement significative entre les moyennes ( $F_5=10,58$  ;  $P<0,001$  ;  $n=18$ ). Le nombre d'insectes pour le traitement « avec *A. afra* » montre une variabilité importante en fonction du bloc en comptant  $457,3 \pm 62,6$  dans le bloc n°1, significativement inférieur à  $752,3 \pm 134,6$  et  $978,0 \pm 138,1$  dans les blocs n°2 et 3 respectivement (Figure 23). Pour le traitement « sans *A. afra* », le nombre d'insecte total ne varie pas significativement entre les blocs et s'élève à  $699,0 \pm 45,7$  dans le bloc n°1,  $502,7 \pm 72,7$  dans le bloc n°2 et  $701,7 \pm 106,6$  dans le bloc n°3 (Figure 23).



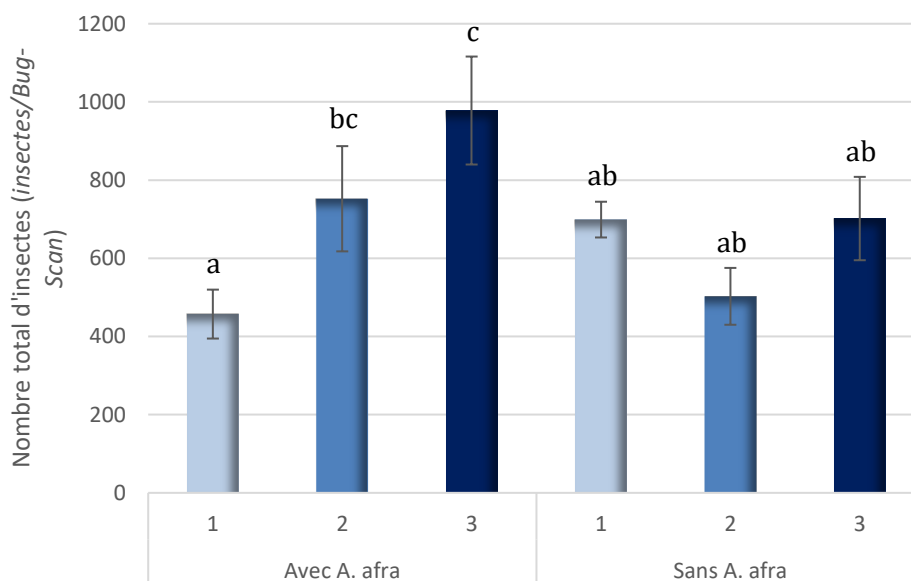


Figure 23: Nombre total d'insectes par Bug-Scan selon les blocs et les traitements (avec/sans *A. afra*) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey. Les moyennes ne partageant pas une même lettre sont significativement différentes.

Les diptères sont les insectes les plus abondants (7621) et correspondent à environ 62 % des insectes présents sur les Bug-Scans (Figure 24). Leur proportion varie de manière très hautement significative entre les blocs et les traitements ( $F_5=5,13$  ;  $P=0,010$  ;  $n=18$ ). On compte en moyenne 515 diptères cumulés par Bug-Scan, tous blocs confondus, pour le traitement « avec *A. afra* » contre 335 pour le traitement « sans *A. afra* ».

Le deuxième Ordre d'insecte le plus important est celui des Hémiptères (3127) dont 85 % sont des pucerons (Figure 24). Le nombre de pucerons par Bug-Scan cumulé dans le temps ne varie pas significativement entre les différentes parcelles sauf pour celle du bloc n°1 du traitement « avec *A. afra* » ( $F_5=19,34$  ;  $P<0,001$  ;  $n=18$ ). Le nombre moyen global de pucerons, tous blocs confondus, est d'environ 93 « avec *A. afra* » contre 203 « sans *A. afra* ».

Le nombre d'hyménoptères s'élève à 996 individus et ne varie pas de manière significative entre les différentes parcelles à l'exception de la parcelle du bloc n°2 « avec *A. afra* » (102 individus) et celle du bloc n°1 « sans *A. afra* » (64 individus) ( $F_5=12,34$  ;  $P<0,001$  ;  $n=18$ ) (Figure 24).

Les lépidoptères comptent 322 individus dont 72 % de teignes adultes. Le nombre de teignes adultes ne varie pas de manière significative entre les parcelles ( $F_5=0,61$  ;  $P=0,698$  ;  $n=18$ ) (Figure 24).

Pour finir, les coléoptères sont les insectes les moins retrouvés sur les Bug-Scans et leur nombre ne varie pas de manière significative entre les parcelles ( $F_5=1,84$  ;  $P=0,180$  ;  $n=18$ ) (Figure 24).

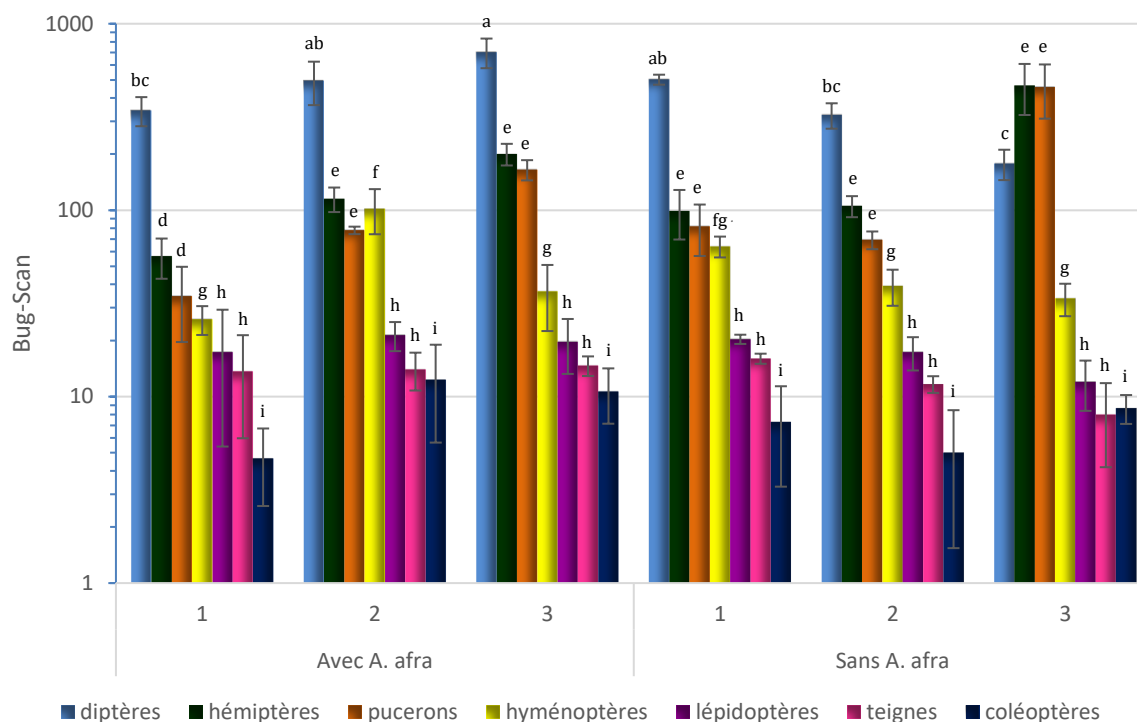


Figure 24: Nombre total d'insectes par Bug-Scan classés par Ordre selon les blocs et les traitements (avec/sans *A. afra*) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey. Les moyennes ne partageant pas une même lettre sont significativement différentes.

#### 4.1.2.2 Diversité des insectes

Une AV2 réalisée sur les facteurs « traitement » et « bloc » montre la présence d'une interaction entre ces derniers ( $F_2=19,00$  ;  $P<0,001$ ,  $n=18$ ). Le nombre d'Ordres retrouvés par Bug-Scan vaut en moyenne  $3,48\pm 0,40$  pour le traitement « avec *A. afra* » et  $3,25\pm 0,23$  pour celui « sans *A. afra* ». L'analyse de la variance selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation de ces derniers montre que les moyennes sont très hautement significativement différentes ( $F_5=12,58$  ;  $P<0,001$  ;  $n=18$ ). Le nombre moyen d'Ordre par Bug-Scan est minimal pour le bloc n°3 du traitement « sans *A. afra* » ( $3,00\pm 0,17$ ) et maximal pour le bloc n°2 du traitement « avec *A. afra* » ( $3,87\pm 0,23$ ) (Figure 25). Les autres valeurs moyennes sont de  $3,04\pm 0,08$  et  $3,54\pm 0,13$  pour les blocs n°1 et 3 du traitement « avec *A. afra* » respectivement et de  $3,46\pm 0,14$  et  $3,28\pm 0,06$  pour les blocs n°1 et 2 du traitement « sans *A. afra* » (Figure 25).

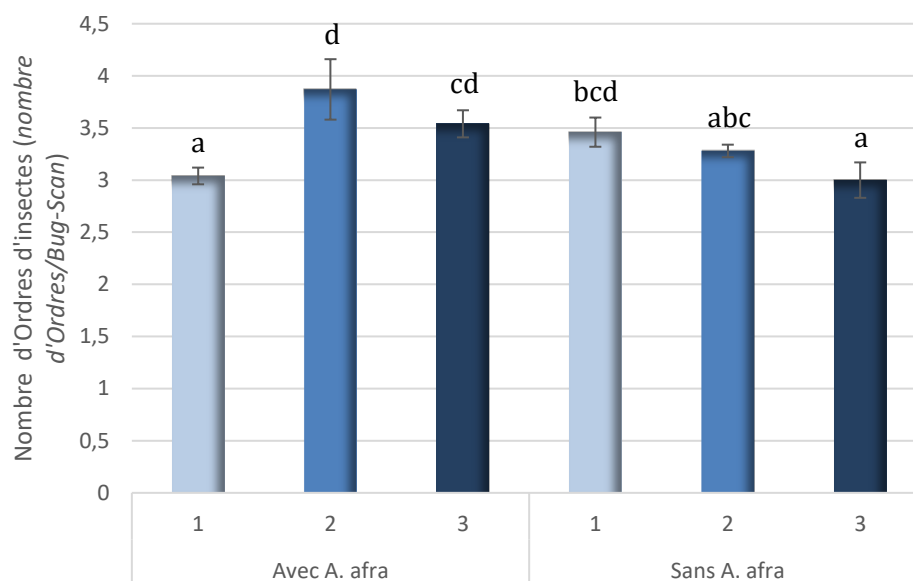


Figure 25: Nombre moyen d'Ordres d'insectes présent par Bug-Scan selon les blocs et les traitements (avec/sans A. afra) analysé par une ANOVA et structuré par un test HSD de Tukey. Les moyennes ne partageant pas une même lettre sont significativement différentes.

## 4.2 Croissance, rendement et dégâts des cultures

### 4.2.1 Chou pommé

#### 4.2.1.1 Croissance du chou pommé

Une analyse de la covariance selon le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours » montre l'absence d'interaction entre ces derniers ( $F_2=0,28$  ;  $P=0,756$  ;  $n=306$ ). Les courbes d'évolution du nombre de feuilles moyen par chou au cours du temps sera donc illustré pour chaque traitement, tous blocs confondus (Figure 26). Les choux ont été plantés au stade 3-4 feuilles et ont commencé à être récoltés à 20 feuilles ou plus.

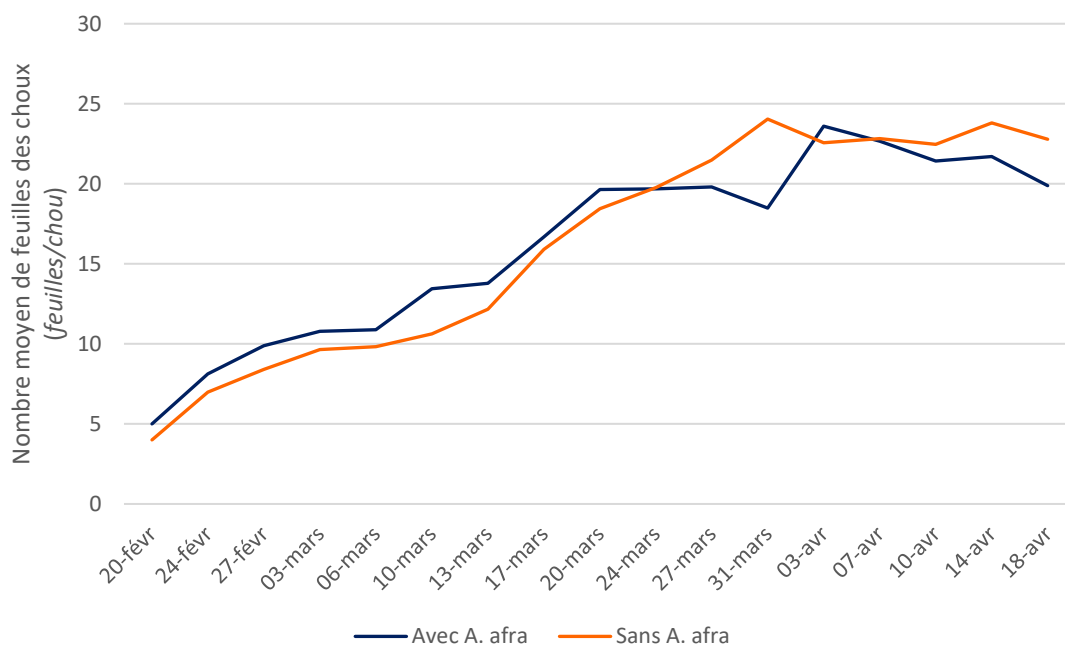


Figure 26: Evolution du nombre moyen de feuilles des choux suivis au sein des quadrats.

### a. Rendement du chou pommé

Sur les 5 040 choux transplantés, 5 % n'ont pas survécu. Le taux de mortalité le plus élevé est retrouvé dans le bloc n°3 du traitement « sans *A. afra* » avec 13,6 % (Figure 27). Les blocs n°1 et 2 pour ces deux mêmes traitements ont les taux de mortalité les plus faibles avec 2,6 % et 1,1 % pour le traitement « avec *A. afra* » et 0,7 % et 1,1 % pour le traitement « sans *A. afra* » (Figure 27). Enfin, les parcelles du traitement « sans *A. afra* + insecticide » ont un taux de mortalité proche de la moyenne (4,2 %) et de faible variabilité entre les blocs par rapport aux deux autres traitements (Figure 27).

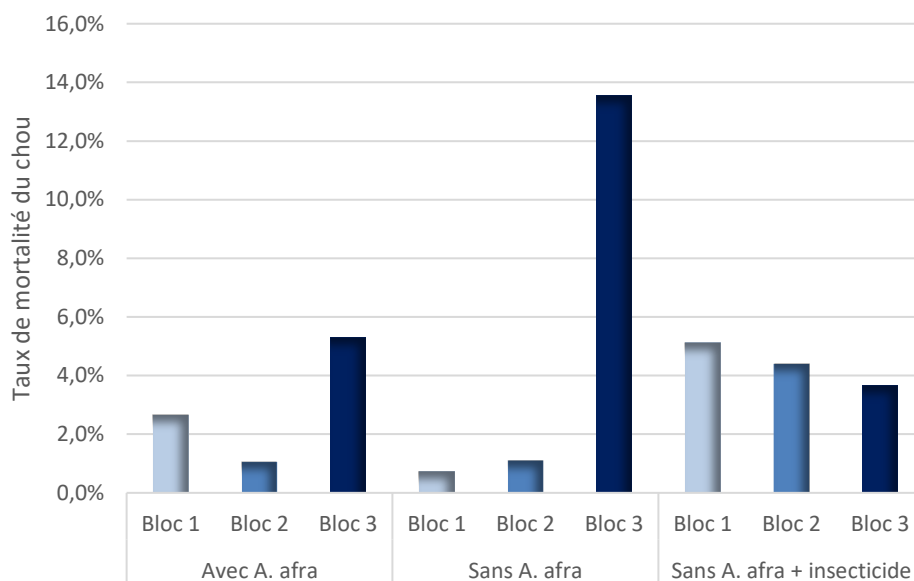


Figure 27: Taux de mortalité du chou selon les blocs et les traitements (avec *A. afra*/ sans *A. afra*/ sans *A. afra* + insecticide)

Sur les 2 110 choux récoltés, 70 % ont formé une pomme. Les choux n'ayant formé aucune pomme ou bien ayant formé plusieurs pommes de petite taille sont dénommés « choux borgnes » et représentent 29 % des choux récoltés. Les choux ayant subi des dégâts occasionnés par des souris (ablation du bourgeon apical/pomme rongée) correspondent à 1 % des choux récoltés et sont principalement retrouvés dans les parcelles du traitement « avec *A. afra* ». En tout, deux cas de choux mutants ont été constatés sur l'ensemble des parcelles. L'analyse de la variance selon le facteur « traitement » ne montre pas de différence significative entre les quantités de choux borgnes par parcelle ( $F_2=3,95$  ;  $P=0,081$  ;  $n=9$ ). La proportion moyenne de choux borgnes par traitement est, par ordre croissant, de  $13,68 \pm 3,85\%$  « sans *A. afra* + insecticide », de  $32,45 \pm 11,12\%$  « avec *A. afra* » et de  $37,85 \pm 15,13\%$  « sans *A. afra* » (Figure 28).

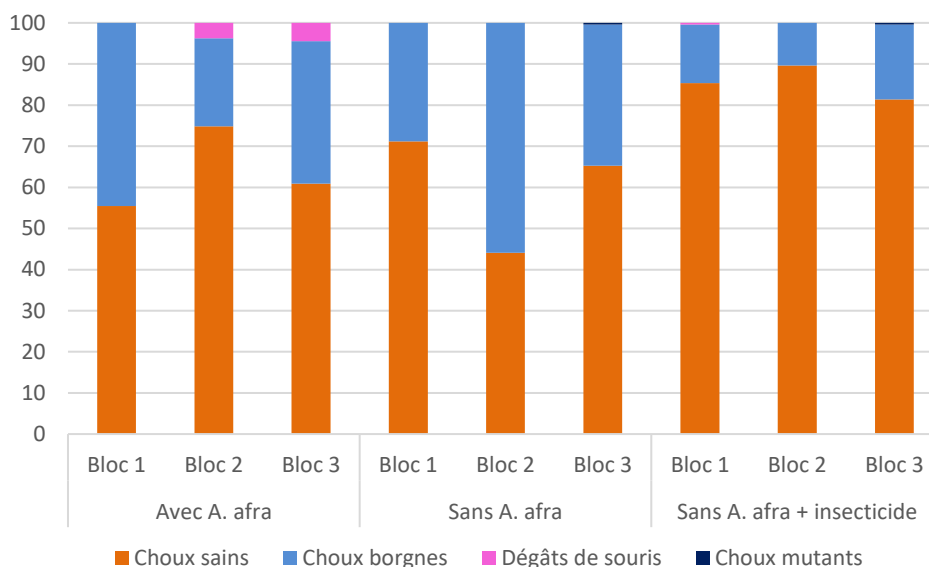


Figure 28: Proportions de choux sains, de choux borgnes, de choux ayant subi des dégâts causés par des souris et de choux mutants selon les blocs et les traitements (avec A. afra/ sans A. afra/ sans A. afra + insecticide)

Les données utilisées pour le traitement de données relatif au rendement du chou pommé par parcelle sont celles concernant les choux sains. Le modèle linéaire général (GLM) a été utilisé pour cette partie de traitement de données pour remplacer l'ANOVA étant donné que le nombre de choux sains varie entre chaque bloc et pour chaque traitement, engendrant ainsi un modèle déséquilibré.

Le GLM effectué sur le poids des pommes de chou selon les facteurs « traitement » et « bloc » montre l'existence d'une interaction entre ces derniers ( $F_2=66,75$  ;  $P<0,001$  ;  $n=1429$ ). Une analyse de la variance selon un facteur obtenu par concaténation, pour le facteur « traitement-bloc », met en évidence une différence très hautement significative entre les moyennes relatives au poids de la pomme de chaque parcelle ( $F_8=47,83$  ;  $P<0,001$  ;  $n=18$ ). La parcelle du traitement « sans A. afra » du bloc n°1 présente le poids moyen de la pomme le plus élevé ( $1228,6\pm359,5$ ) suivi par celui du traitement « avec A. afra » du bloc n°2 ( $1021,3\pm351,2$ ) et celui du traitement « sans A. afra » du bloc n°2 ( $8255,5\pm376,3$ ), tous significativement différent entre eux (Figure 29). Le poids moyen de la pomme est similaire pour les parcelles du bloc n°1 ( $796,6\pm370,4$ ) et n°3 ( $711,6\pm364,1$ ) pour le traitement « avec A. afra », les parcelles du bloc n°2 ( $698,1\pm401,3$ ) et n°3 ( $749,7\pm376,5$ ) pour le traitement « sans A. afra + insecticide » et la parcelle du bloc n°3 ( $708,8\pm329,8$ ) pour le traitement « sans A. afra » (Figure 29). La parcelle présentant le poids moyen de la pomme le moins élevé est celle appartenant au bloc n°1 du traitement « sans A. afra + insecticide » ( $671,6\pm308,4$ ) (Figure 29).

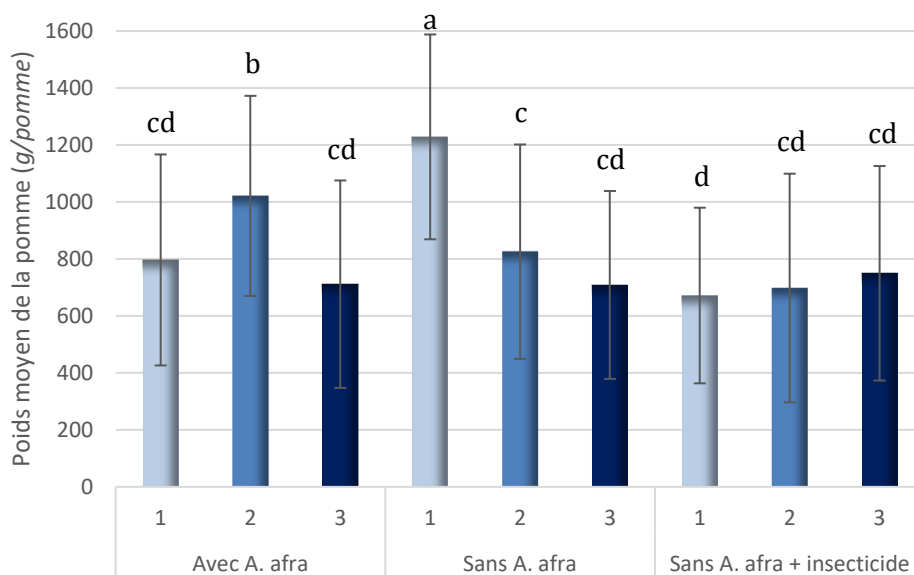


Figure 29: Poids moyen d'une pomme provenant d'un chou sain selon les blocs et les traitements (avec *A. afra*/ sans *A. afra*/ sans *A. afra* + insecticide) analysé par une AV1 et structuré par un test HSD de Tukey. Les moyennes ne partageant pas une même lettre sont significativement différentes.

Une analyse de la variance selon le facteur « traitement » seul montre que le rendement moyen total entre les traitements (choux borgnes et choux sains confondus) n'est pas significativement différent ( $F_2=0,21$  ;  $P=0,819$  ;  $n=9$ ). Le rendement moyen par  $m^2$  par traitement cité par ordre croissant est de  $2,25 \pm 1,01$   $kg/m^2$  « avec *A. afra* », de  $2,60 \pm 0,07$   $kg/m^2$  « sans *A. afra* + insecticide » et de  $3,08 \pm 1,01$   $kg/m^2$  « sans *A. afra* » (Figure 30).

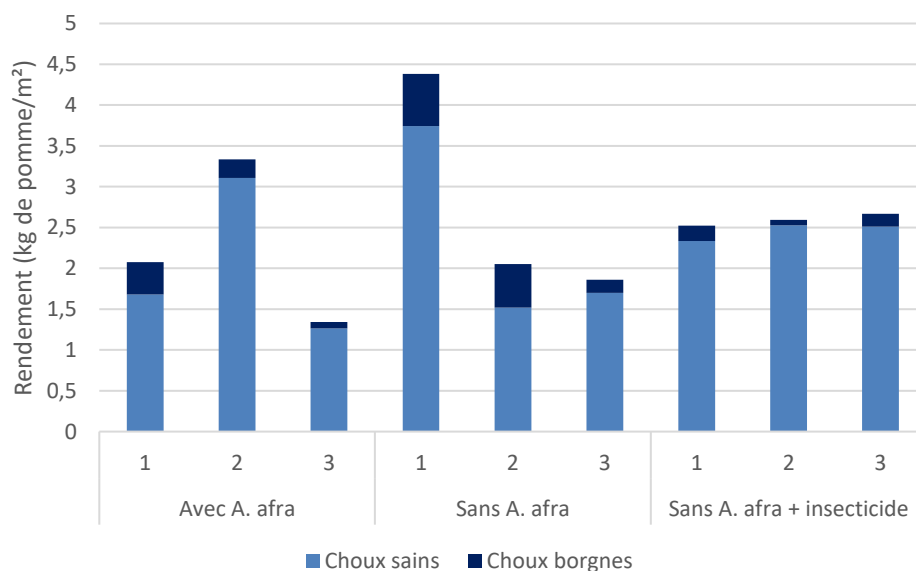


Figure 30: Addition du poids total des pommes des choux sains et des choux borgnes dont le poids est supérieur ou égal à 100g selon les blocs et les traitements (avec *A. afra*/ sans *A. afra*/ sans *A. afra* + insecticide), le tout ramené à une surface de  $1m^2$ .

### **b. Dégâts au niveau de la pomme**

Près de 72 % des pommes récoltées ont subi des dégâts superficiels (classe 5 et 6 de dégâts) et 28 % ont eu les feuilles superficielles de la pomme plus ou moins sévèrement attaquées (classe 3 et 4 de dégâts). Seulement deux cas de pommes attaquées au niveau du cœur ont été recensés. L'analyse du diamètre de la pomme selon la classe de dégât montre que ce paramètre varie de manière très hautement significative en fonction de la classe de dégât ( $F_4=9,88$  ;  $P<0,001$  ;  $n=1814$ ) mais aucune tendance claire se traduit entre ces deux paramètres (Figure 31). Il en est de même avec le poids de la pomme qui est étroitement corrélé au diamètre de la pomme (Pearson=0,897 ;  $P<0,001$ ).

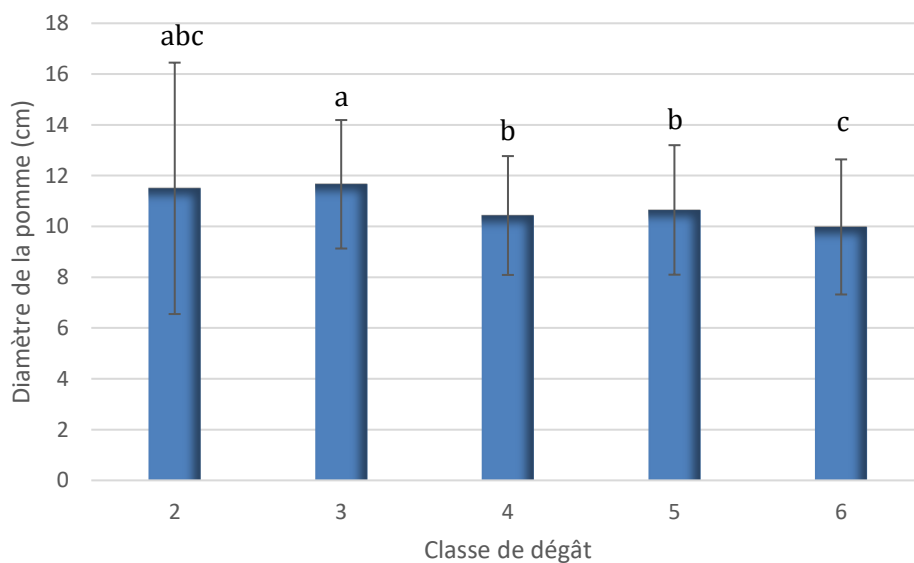


Figure 31: Diamètre de la pomme (choux sains) selon la classe de dégâts.

L'analyse de la variance (GLM) sur la classe de dégât selon les facteurs « traitement » et « bloc » montre une interaction entre ces derniers ( $F_2=6,16$  ;  $P=0,002$  ;  $n=1814$ ). L'analyse de la classe selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation montre que la classe de dégât varie de manière très hautement significative ( $F_8=42,62$  ;  $P<0,001$  ;  $n=1814$ ) avec une classe moyenne de dégât de  $5,30\pm 0,82$  pour le traitement « avec *A. afro* », de  $5,19\pm 0,85$  pour le traitement « sans *A. afro* » et de  $4,65\pm 0,78$  pour le traitement « sans *A. afro* + insecticide » (Figure 32).



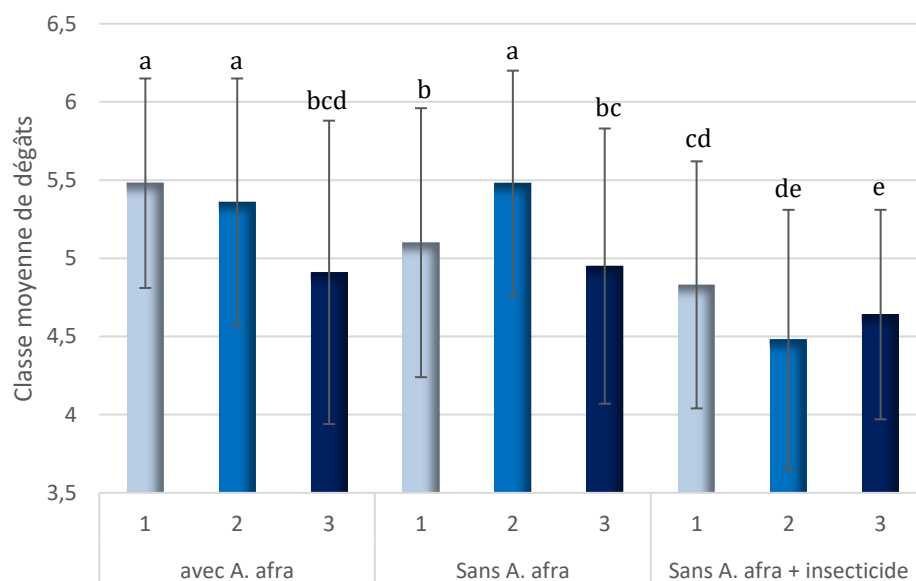


Figure 32: Moyennes de la classe de dégâts selon les blocs et les traitements (avec *A. afra*/ sans *A. afra*/ sans *A. afra* + insecticide) analysé par une ANOVA et structuré par un test HSD de Tukey. Les moyennes ne partageant pas une même lettre sont significativement différentes.

#### 4.2.2 Armoise africaine

La hauteur et le diamètre projeté au sol ont été mesurés toutes les deux semaines sur 40 plantes par parcelle, soit un total de 120 plantes. Sur base de l'évolution de ces deux paramètres et de la compétition de l'armoise africaine sur la culture de chou intercalée, deux tailles des tiges de cette plante ont été effectuées à 6 semaines d'intervalle. La Figure 33 montre l'état de développement de la plante juste avant la deuxième coupe.



Figure 33: Plantes d'armoise africaine juste avant la 2ème coupe le 24 avril 2017 (photo prise par Machiels L.)

#### 4.2.2.1 Croissance

En début de suivi, la hauteur moyenne relative à chaque bloc varie de manière très hautement significative ( $F_2=16,21$  ;  $P<0,001$  ;  $n=120$ ) avec une hauteur moyenne de  $59,71\pm 26,27$  cm pour le bloc n°1, significativement supérieur à  $36,20\pm 14,29$  cm et  $44,70\pm 12,27$  cm pour les blocs n°2 et 3 respectivement (Figure 34). Juste avant la première coupe, la hauteur moyenne des plantes varie toujours de manière très hautement significative ( $F_2=22,82$  ;  $P<0,001$  ;  $n=120$ ) avec une hauteur moyenne de  $71,86\pm 30,28$  cm pour le bloc n°1, significativement supérieur à  $42,96\pm 16,65$  cm pour le bloc n°2 et  $54,33\pm 10,46$  cm pour le bloc n°3 (Figure 34). L'analyse de la variance juste avant la deuxième coupe montre que les hauteurs moyennes ne sont plus significativement différentes ( $F_2=0,94$  ;  $P=0,394$  ;  $n=119$ ) avec  $75,31\pm 16,47$  cm pour le bloc n°1,  $71,83\pm 13,20$  cm pour le bloc n°2 et  $70,25\pm 19,95$  cm pour le bloc n°3 (Figure 34). À la dernière mesure prise cinq semaines plus tard, la hauteur moyenne varie à nouveau de manière très hautement significative ( $F_2=11,32$  ;  $P<0,001$  ;  $n=119$ ) avec  $68,00\pm 13,40$  cm pour le bloc n°1,  $68,15\pm 8,73$  cm pour le bloc n°2 et  $57,37\pm 10,59$  cm pour le bloc n°3 (Figure 34).

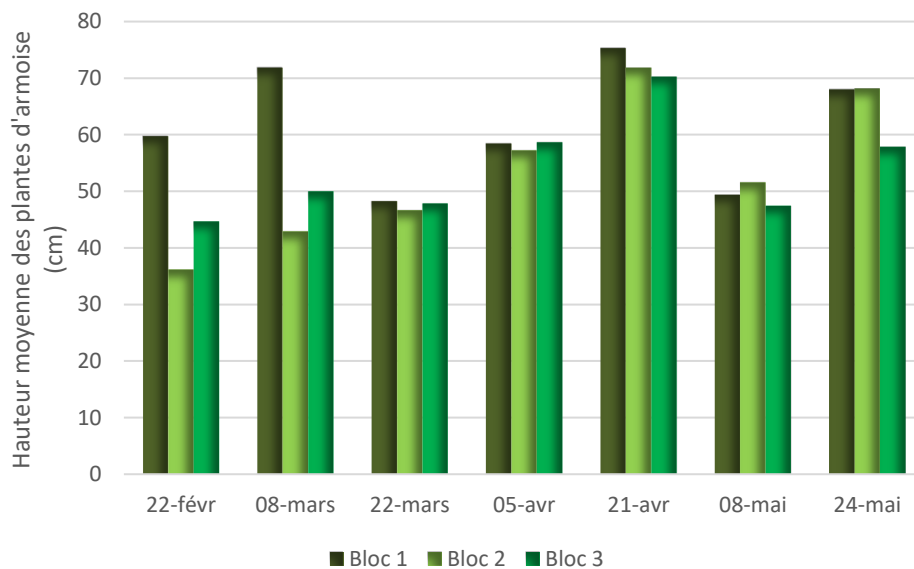


Figure 34: Hauteur moyenne des plantes d'armoise africaine dans les parcelles de culture associée

En début de suivi et avant la première coupe, le diamètre moyen projeté au sol de l'armoise varie de manière très hautement significative (Début :  $F_2=12,73$  ;  $P<0,001$  ; Avant 1<sup>ère</sup> coupe :  $F_2=18,54$  ;  $P<0,001$  ;  $n=120$ ) de même qu'avant la deuxième coupe ( $F_2=10,18$  ;  $P<0,001$  ;  $n=120$ ) et en fin de suivi ( $F_2=11,37$  ;  $P<0,001$  ;  $n=120$ ). Juste avant la deuxième coupe, le diamètre moyen projeté au sol était de  $71,51\pm 31,69$  cm pour le bloc n°1, de  $44,06\pm 20,74$  cm pour le bloc n°2 et de  $59,40\pm 9,99$  cm pour le bloc n°3, tout 3 significativement différents entre eux (Figure 35). Juste avant la deuxième coupe, le diamètre projeté moyen était de  $76,05\pm 13,85$  cm pour le bloc n°1, de  $61,27\pm 16,01$  cm pour le bloc n°2 et de  $68,75\pm 13,98$  cm pour le bloc n°3 (Figure 35). A la

dernière mesure prise, les diamètres moyens sont respectivement de  $78,38 \pm 12,28$  cm,  $71,38 \pm 9,31$  cm et  $66,03 \pm 12,62$  cm pour les blocs n°1, 2 et 3 respectivement (Figure 35).

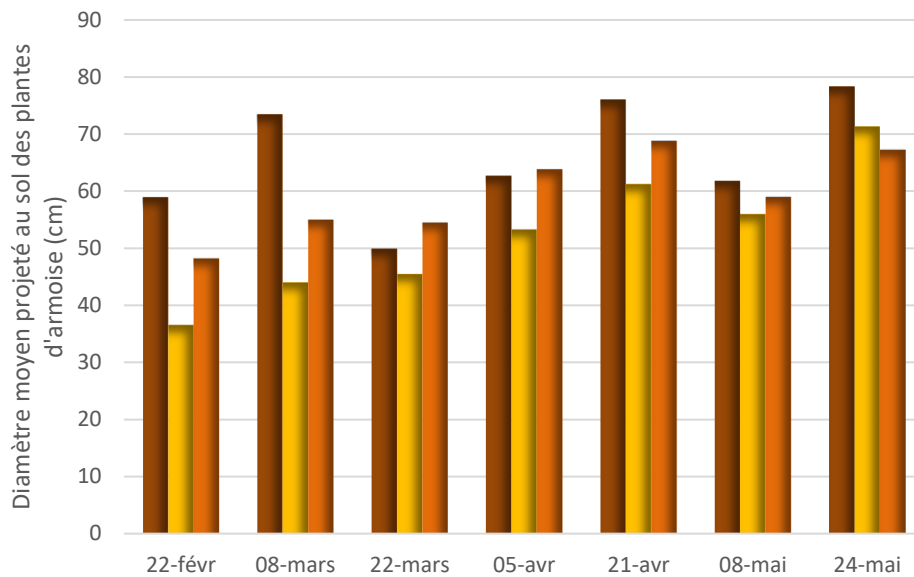


Figure 35: Diamètre moyen projeté au sol des plantes d'armoïse africaine dans les parcelles de culture associée

L'ANCOVA selon le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours » ne montre aucune interaction pour le nombre de plantes présentant des boutons floraux ( $F_2=0,08$  ;  $P=0,923$  ;  $n=21$ ) et le nombre de plantes en fleurs ( $F_2=0,37$  ;  $P=0,698$  ;  $n=21$ ) au cours du temps. Les apparitions de boutons floraux et de fleurs sont évaluées en fonction du temps en cumulant leurs effectifs dans chacune des trois parcelles contenant de l'armoïse. Sur l'ensemble de la période de suivi des plantes d'armoïse, la parcelle du bloc n°1 compte 31 plants ayant produit des boutons floraux contre quatre plants pour celle du bloc n°2 et 11 pour celle du bloc n°3 (Figure 36). Durant cette même période, la parcelle du bloc n°1 compte 12 plants ayant fleuri contre zero plants pour celle du bloc n°2 et huit pour celle du bloc n°3 (Figure 36).

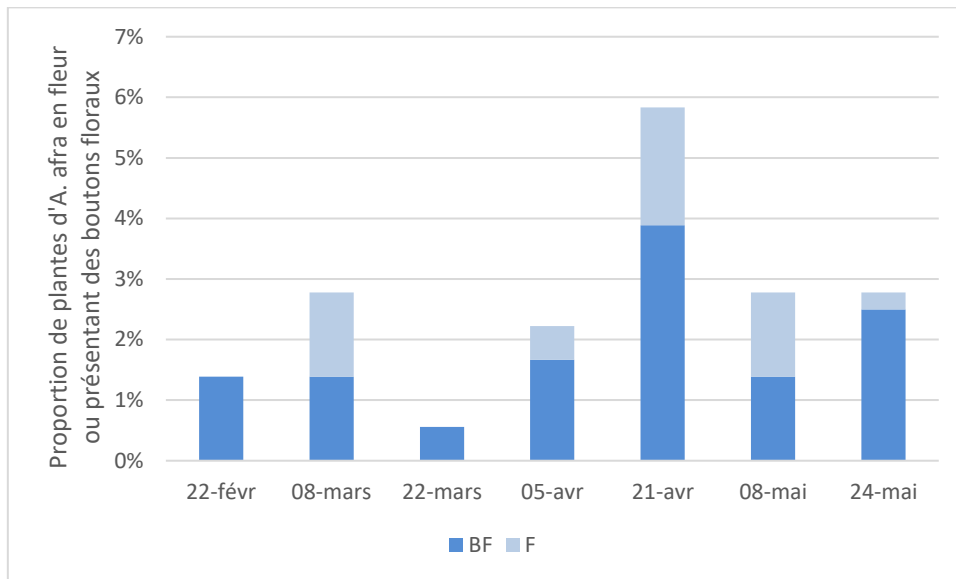


Figure 36: Proportion du nombre de plantes en fleur (F) ou produisant des boutons floraux (BF) cumulé pour les 3 parcelles contenant de l'armoise.

#### 4.2.2.2 Rendement

La quantité totale de biomasse séchée obtenue avec les deux coupes ne varie pas de manière significative entre les parcelles ( $F_2=2,61$  ;  $P=0,221$  ;  $n=6$ ) avec en moyenne  $10,87 \pm 3,70$  kg/are,  $4,44 \pm 1,57$  kg/are et  $8,99 \pm 2,99$  kg/are respectivement pour les parcelles A1, A2 et A3. Le rendement moyen de la culture de l'armoise africaine sur base de ces deux coupes vaut  $8,1 \pm 3,71$  kg/are. La Figure 37 montre une augmentation de production de l'ordre de 1,6 entre la première et la deuxième coupe. La teneur en humidité est relativement constante entre les parcelles et vaut en moyenne 70 %.

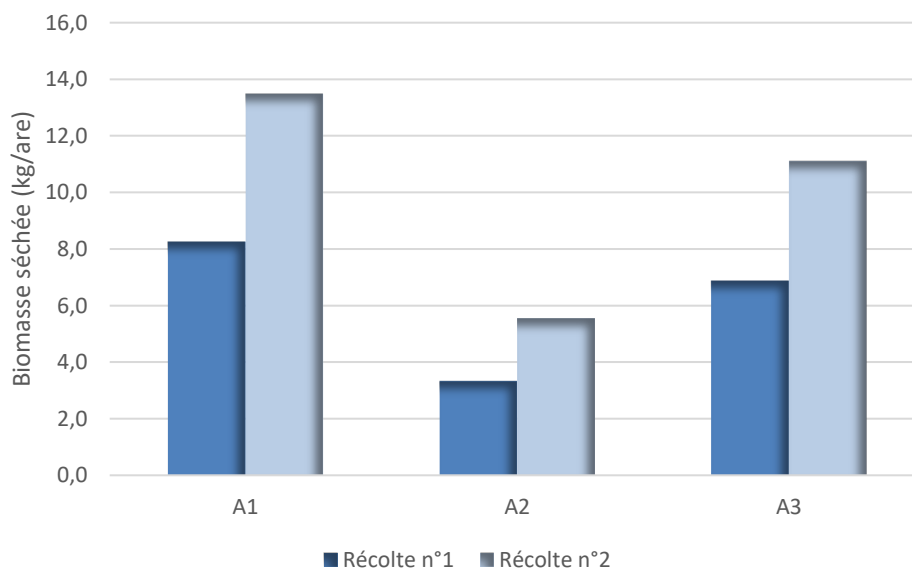


Figure 37: Biomasse sèche produite pour chaque coupe d'armoise selon chaque bloc (A1, A2, A3) du traitement "avec A. afra".

### 4.2.3 Performances économiques

Le tableau 5 reprend les composantes des performances économiques des trois systèmes de culture comparés dont le détail est repris à l'annexe 2. Le prix de revient du chou est presque deux fois plus important en culture associée en comparaison avec les cultures pures. L'installation de la culture de l'armoise africaine revient à une dépense supplémentaire de 18 193 FCFA (27,78€) dans les coûts d'installation de la culture associée, ce qui revient à presque 10 % des dépenses totales pour ce système de culture. La marge bénéficiaire brute est négative dans les trois types de systèmes de culture. La perte brute pour la culture associée est environ 17 fois moins importante que celles des cultures pures. Le produit brut du chou et de l'armoise africaine additionnés vaut 178 090 FCFA, soit environ sept fois plus que le produit brut des cultures pures.

Tableau 5: Composantes d'analyse du prix de revient selon les traitements (avec A. afra/ sans A. afra/ sans A. afra + insecticide)

	Culture associée sans traitement insecticide	Culture pure sans traitement insecticide	Culture pure avec traitement insecticide
Dépenses totales pour la production de chou FCFA/are	186527	173512	174182
Rendement du chou kg/are	162	270	260
Prix de revient du chou (FCFA/kg)	1223	707	739
Prix de revient du chou (€/kg) *	1,76	0,98	1,02
Produit brut du chou (FCFA/are) **	16185	27046	25990
Rendement de l'armoise africaine (kg/are)	8,10		
Produit brut de l'armoise africaine (FCFA/are) ***	161905		
Marge (FCFA/are) = Produits bruts - Coûts de production	-8437	-146467	-148192
Marge (€/are)	-12,88	-223,61	-226,25

\*Taux de change → 1 € = 655 FCFA

\*\*Prix de vente d'un kg de chou = 100 FCFA (saison sèche)

\*\*\*Prix de vente de 50 g de feuilles et tiges séchées = 1000 FCFA (prix grossiste du Relais Sénégal)

## 5. Discussion

### 5.1 Entomofaune

#### 5.1.1 Insectes ravageurs dans les quadrats

De manière générale, le nombre d'insectes ravageurs a augmenté entre le début et la fin de la période de suivi entomologique avec un nombre de ravageurs total en moyenne plus grand dans les parcelles contenant de l'armoise sans pour autant être statistiquement supérieur à celui des parcelles n'en contenant pas. Pour pousser l'analyse plus loin, chaque type de ravageur observé visuellement sera comparé entre les deux traitements.

##### 5.1.1.1 Borer du chou

Le nombre de borers du chou au stade immature ne varie pas de manière significative entre les deux traitements. Cependant, une tendance se dégage pour les parcelles du bloc n°1 « avec *A. afra* » (A1) et du bloc n°2 « avec *A. afra* » (A2) qui présentent toutes les deux un nombre significativement inférieur de borer du chou par rapport à la parcelle du bloc n°1 « sans *A. afra* » (B1). De plus, le nombre de borers du chou a tendance à être plus important pour les parcelles du bloc n°3 « avec *A. afra* » (A3) et « sans *A. afra* » (B3). Ceci peut s'expliquer par le fait que ces parcelles ont reçu des choux plus chétifs de la pépinière dans laquelle des infestations de *H. undalis* avaient été constatés. Ces derniers étant de nature à se cacher dans la plante, ils auraient pu être introduits de manière inaperçue dans les parcelles au travers des choux provenant de la pépinière.

Au cours du temps, ce ravageur a été décelé dans la parcelle B1 une semaine avant toutes les autres. L'observation tardive de ce ravageur peut s'expliquer par le fait que les choux infestés par *H. undalis* étaient systématiquement remplacés dans les parcelles pendant les trois semaines suivant la transplantation des choux.

##### 5.1.1.2 Teigne et fausse arpenreuse

Le nombre de teignes et de fausses arpenreuses au stade immature ne varie ni entre les traitements, ni entre les blocs.

Les observations de ces deux lépidoptères au stade immature débutent très tôt, le 24 février, pour les deux traitements (avec/sans *A. afra*). Les premières chrysalides apparaissent dix jours après les observations de chenilles. L'origine des adultes de teigne et de fausse arpenreuse n'est pas connue et leur très faible effectif ne permet pas de comparer statistiquement leur nombre entre les deux traitements.

### 5.1.1.3 Pucerons

Le nombre de colonies de pucerons aptères est en moyenne plus élevé pour le traitement « avec *A. afra* » mais n'est pas significativement différent de celui pour le traitement « sans *A. afra* ». Le nombre de colonies d'aptères ne varie pas de manière significative entre les parcelles du même bloc à l'exception du bloc n°2 où le nombre de colonies est significativement plus élevé pour le traitement « avec *A. afra* » que pour celui « sans *A. afra* ».

Le nombre de pucerons ailés observés visuellement dans les quadrats ne varie pas de manière significative entre les deux traitements.

Une différence significative est mise en évidence pour les momies de pucerons qui sont significativement supérieur en nombre dans les parcelles « avec *A. afra* » que dans celles « sans *A. afra* ». Cependant, le taux de parasitisme calculé ne montre aucune différence significative entre les deux traitements mais aucune conclusion ne peut être tirée à ce stade-ci, vu que le calcul est basé sur une hypothèse tout à fait subjective.

Les pucerons aptères sont observés pour la première fois le 24 février, et les pucerons ailés, le 3 mars, d'abord dans les parcelles du traitement « avec *A. afra* » puis dans les autres. Un pic du nombre de colonies d'aptères et d'ailés est constaté le 3 avril, mais vu l'absence de données météorologiques précises, ce phénomène ne peut s'expliquer.

Les momies de pucerons sont observées à partir du 3 avril dans les parcelles contenant de l'armoise et 7 avril dans celles n'en contenant pas.

Jusqu'ici, aucune différence significative au niveau de l'abondance de ravageurs n'a pu être mise en évidence entre les deux traitements (avec/sans *A. afra*).

Cependant, une étude similaire sur l'association culturale entre le chou (*Brassica oleracea* L.) et le basilic tropical (*Ocimum gratissimum* L.) montre une différence significative au niveau du nombre de ravageurs du chou en faveur des cultures en association (Yarou, 2017). L'effet du basilic tropical s'est surtout fait remarqué pour le borer du chou, *H. undalis*, tandis que pour les lépidoptères ravageurs, *P. xylostella* et *Spodoptera littoralis* B., cet effet n'a pas été observé (Yarou, 2017). De même, une autre étude réalisée au Zimbabwe montre que la prévalence des ravageurs du chou (*Bemisia tabaci* G., *H. undalis* et *B. brassicae*) était significativement plus faible en association culturale avec de l'ail ou de l'oignon (Debra & Misheck, 2014).

Ces deux études se concordent pour dire que le borer du chou est sensible aux Composés organiques volatils (COV) émis par ces plantes secondaires (basilic tropical, ail et oignon) ce qui peut confirmer la tendance observée pour ce ravageur dans l'association chou-ardoise.

### 5.1.2 Abondance et diversité des insectes sur les Bug-Scans

Le nombre d'insectes sur Bug-Scan, toutes espèces confondues, n'indique pas de différence significative entre les deux traitements, sauf pour le bloc n°3 dans lequel le traitement « avec *A. afro* » compte significativement plus d'insectes que le traitement « sans *A. afro* ».

De manière générale, le nombre d'insectes relatif à chaque Ordre répertorié sur les Bug-Scans n'est pas significativement différent entre les blocs et les traitements à l'exception du nombre d'hyménoptères qui est significativement supérieur dans le bloc n°2 du traitement « avec *A. afro* », du nombre d'hémiptères dans le bloc n°1 qui est significativement inférieur pour le traitement « avec *A. afro* » et du nombre de diptères dans le bloc n°3 qui est significativement supérieur pour le traitement « avec *A. afro* ».

En termes de diversité présente, le nombre d'Ordres d'insectes présents sur les Bug-Scans est significativement plus élevé en présence d'ardoise pour les blocs n°2 et 3.

Le faible nombre d'Ordres d'insectes observés et la catégorisation des insectes selon l'Ordre ne permet pas de bien établir un lien précis entre la présence d'ardoise et une plus grande diversité d'insectes. Cependant, les associations culturales comprenant des plantes produisant des fleurs sont souvent reconnues comme favorisant la présence d'auxiliaires et une plus grande diversité d'insectes de manière générale (Jankowska et al., 2009 ; Jeanneau, 2014 ; Vandermeer, 1992)

## 5.2 Croissance, rendement et dégâts des cultures

### 5.2.1 Chou pommé

#### 5.2.1.1 Taux de mortalité des choux

Le développement des plantules de chou en pépinière est une phase critique qui conditionne la production finale (White, 1980). Les plantules de chou transplantés en derniers (13 février) étaient plus chétives ce qui pourrait expliquer le taux de mortalité plus important dans les parcelles plantées cette semaine-là. Le taux de mortalité particulièrement élevé de la parcelle B3 s'explique par les dégâts occasionnés par les fourmis présents en grand nombre dans des fourmilières sous terre.



### 5.2.1.2 Choux borgnes

Les choux borgnes sont des choux dont le méristème apical a été détruit, ce qui provoque la formation de têtes de chou latérales entraînant la formation de pommes de taille réduite non commercialisables. Cependant, la perte économique associée aux choux borgnes n'est pas toujours vérifiée car les choux de petite taille sont appréciés au Sénégal. D'ailleurs, dans l'exploitation maraîchère du Relais, les pommes de chou dépassant 100 g étaient toutes vendues au prix de 100 FCFA/kg. Dans cette étude, les choux borgnes ont principalement été causés par *H. undalis* qui a été observé en pépinière avant même la transplantation des choux et à plusieurs reprises sur les choux, formant des tunnels dans le méristème apical des jeunes choux et dans les nervures principales des feuilles de chou plus âgés. Des petits rongeurs habitant dans des branchages en lisière de l'exploitation ont également provoqué la formation de choux borgnes dans les parcelles contenant de l'armoise en rongant l'extrémité apicale des choux en pleine croissance (Figure 38). Bien que faible ne proportion, l'impact de ce ravageur n'est pas négligeable car les dégâts provoqués résultent en des pommes non commercialisables (Figure 38). De plus, il semblerait que les rongeurs aient une préférence pour les parcelles contenant de l'armoise car les haies d'armoise créent un environnement frais et à l'abri des regards de prédateurs.



Figure 38: Partie latérale d'une pomme rongée par une souris (photo prise par Machiels L.)

Les choux borgnes sont retrouvés en proportions relativement différentes selon le traitement. Les parcelles du traitement « sans *A. afro* + insecticide » sont celles ayant le moins de choux borgnes car une des substances actives de l'insecticide utilisé, la lambda-cyhalothrine, est particulièrement efficace contre les chenilles. Le nombre de choux borgnes dans les traitements

« avec *A. afra* » et « sans *A. afra* » est au moins deux fois plus élevé par rapport au traitement ayant recours aux pesticides.

### 5.2.1.3 Poids moyen des pommes de chou

Le poids moyen des pommes de chou ne varie pas de manière significative entre les traitements, mais plutôt entre les parcelles. Seules les parcelles A2 et B1 présentent un poids moyen de la pomme qui est significativement supérieur à celui des autres parcelles. Ces deux parcelles figurent parmi celles ayant reçu les choux les plus vigoureux. Toutes deux profitaient de l'ombre produite pendant une partie de la journée par les arbres bordant l'exploitation et comptaient en proportion relative, le moins de choux borgnes pour leur catégorie de traitement. De plus, leur richesse en éléments nutritifs (P, K, Mg, Na, Ca, Fe et Mg) est supérieure à la moyenne relative aux parcelles de leur traitement respectif (Tableau 3).

Les parcelles traitées au K-Optimal présentent une très faible variabilité du poids moyen des pommes en comparaison avec les deux autres traitements. Ce qui peut s'expliquer par la protection apportée par le traitement insecticide.

### 5.2.1.4 Rendement

Comme le poids moyen de la pomme, le rendement au m<sup>2</sup> est plus stable pour les parcelles du traitement employant de l'insecticide que pour les deux autres objets et les parcelles A2 et B1 présentent les meilleurs rendements.

### 5.2.1.5 Dégâts sur la pomme

De manière générale, les dégâts sur la pomme ne sont pas très importants. Le diamètre de la pomme ne varie pas de manière décroissante avec la classe de dégâts, sans doute à cause du faible effectif de pommes pris en compte.

## 5.2.2 Armoise africaine

La hauteur et le diamètre projeté au sol des plants d'armoise africaine varient de manière significative entre les parcelles. Si la hauteur des plants tend à s'harmoniser entre les parcelles après deux coupes successives, ce n'est pas le cas du diamètre projeté au sol. La courbe d'évolution de la hauteur et du diamètre projeté au sol sont très distinctes en début de suivi des plants d'armoise, mais ont tendance à se synchroniser après chaque coupe. Les mesures de hauteur et de diamètre projeté au sol sont les plus élevées pour la parcelle A1 et les plus faibles pour la parcelle A2.

De même, le nombre de plantes d'armoise africaine en fleur ou portant des boutons floraux est le plus élevée dans la parcelle A1, mais le plus faible est enregistré dans la parcelle A3.

Concernant la biomasse produite et analysée pour la plante séchée, la parcelle A1 est la plus productive, suivie de près par la parcelle A3 et enfin, par la parcelle A2. La raison pour les moins bonnes performances de la parcelle A2 est qu'elle a subi des dégâts causés par des poules lors de son implantation. Suite à ces dégâts, des clôtures en bâche plastique noir ont été construites autour de chaque parcelle.

En termes de production de matière sèche, les parcelles A1 et A3 sont les deux plus importantes probablement parce qu'elles bénéficiaient d'une meilleure exposition au soleil, contrairement à la parcelle A2 qui était bordée d'arbres. En effet, les plants du genre *Artemisia* préfèrent l'exposition au soleil (Amidon et al., 2014).

Cet essai constituait la première tentative de production d'armoise africaine au Sénégal. Il ressort des résultats obtenus que cette plante se comporte globalement bien dans les conditions de la région de Thiès.

L'essai réalisé a permis d'avoir une idée du potentiel de rendement de l'armoise africaine durant sa première année de culture dans la région de Thiès. En additionnant le rendement des 4 premières coupes et en extrapolant pour les quatre dernières sur base de la quatrième coupe (annexe 3), un rendement estimé de 86 tonnes/ha et par an est atteint, en considérant huit coupes par an et la situation où l'armoise serait cultivée seule.

### **5.3 Performances économiques**

Le prix de revient du chou en culture associée est presque deux fois plus élevé par rapport à la culture pure. Le coût additionnel provenant de l'installation de la culture de l'armoise africaine dans les parcelles en culture associée est faible. Le prix de revient du chou particulièrement élevé de la culture associée provient surtout du fait que les choux sont un tiers moins nombreux dans ce système de culture. Cependant, sur la période de culture du chou, le système en culture associé parvient à une marge bénéficiaire brute beaucoup moins négative que celle du système en culture pure pour des plantes d'armoises âgées de six mois. L'armoise africaine est une espèce pérenne qui se développe vite et qui permet de faire des marges bénéficiaires intéressantes rapidement.

## 6. Conclusion et perspectives

L'objectif de cette étude était de vérifier si l'armoise africaine, cultivée en association avec le chou pommé, avait un effet sur les ravageurs du chou. Un dispositif expérimental impliquant des parcelles de culture associée sans traitement insecticide et de culture pure de chou, avec et sans protection phytosanitaire, a été mis en place pour tester cet effet.

Les résultats obtenus ne permettent pas d'établir clairement que l'association culturale joue un rôle positif dans le contrôle de l'ensemble des ravageurs du chou. Une tendance à la baisse du nombre de borers du chou (*Hellula undalis*) s'est toutefois dégagée pour le traitement contenant l'armoise ainsi que la présence d'une diversité plus grande d'Ordres d'insectes dans les parcelles de la culture associée.

La variabilité importante des composantes du rendement entre les blocs ne permet pas de montrer un avantage de l'association chou-armoise africaine sur la production de chou.

L'essai réalisé a permis d'avoir une première idée du potentiel de rendement de l'armoise africaine dans la région de Thiès. En extrapolant le rendement moyen obtenu dans les parcelles de culture associée à une situation où l'armoise serait cultivée seule et en considérant 8 coupes par an, un rendement estimé de 16 000 kg/ha et par an est atteint.

Pour finir, le prix de revient calculé est plus important pour le système de culture associée que pour le système de culture pure mais la marge bénéficiaire brute de la culture associée est nettement supérieure à celle de la culture pure.

En conclusion, la culture de l'armoise africaine présente un avantage économique et en termes d'amélioration de la santé humaine et des animaux d'élevage, vu ses nombreuses propriétés thérapeutiques, mais son utilité comme plante régulatrice des ravageurs des cultures reste encore à vérifier.

La poursuite des recherches sur la thématique étudiée implique l'élimination des facteurs ayant causé des biais dans les essais. En premier lieu, il faudrait choisir des emplacements les plus similaires possibles en termes d'exposition au soleil, de richesse du sol en éléments nutritifs et en matière organique et d'exposition au vent des parcelles. En deuxième lieu, il faudra veiller à réaliser toutes les transplantations le même jour avec des plants présentant le même niveau de vigueur et, éventuellement, envisager d'effectuer un traitement phytosanitaire des plantes de chou en pépinière pour éviter leur infestation avant transplantation. En troisième lieu, un système de piégeage des insectes avec des bacs jaunes est tout à fait faisable dans les conditions rencontrées au Sénégal et permettrait une identification plus poussée des insectes pour évaluer

l'éventuel effet que l'armoise africaine aurait sur les auxiliaires. En dernier lieu, une reprise de cette étude en saison des pluies, lorsque la pression parasitaire est maximale, pourrait apporter des informations supplémentaires.

La présente étude n'ayant pas pu mettre en évidence un potentiel effet de l'armoise africaine dans le contrôle des bioagresseurs, il serait utile d'identifier et de quantifier les COV qu'elle émet ainsi que son cycle de relargage de COV en fonction de la période de la journée et/ou de son stade de croissance.

Enfin, étant donné la forte rentabilité de l'armoise africaine, il sera intéressant de quantifier dans de futurs essais l'effet de l'association culturale sur le rendement de celle-ci par rapport à sa culture en pur. Ceci impliquera la mise en place de parcelles d'armoise cultivée en pur afin de pouvoir calculer les taux de surface équivalente (Land Equivalency Ratio) de chaque composante des associations étudiées.

Il serait également intéressant de tester l'association de l'armoise africaine avec d'autres cultures attaquées pas des insectes d'un groupe différent de ceux du chou pommé.

## Bibliographie

- Abd-Elhady, H., 2012. Insecticidal activity and chemical composition of essential oil from *Artemisia judaica* L. against *Callosobruchus maculatus* (F.)(Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Plant Protection Research*, 52(3), 347-352.
- Aguiar L.A.A., 2009. *Impact de la variabilité climatique récente sur les écosystèmes des Niayes du Sénégal entre 1950 et 2004*. Université du Québec. Disponible sur [http://www.geotop.ca/pdf/Gestion\\_Documents/Theses/These\\_Lazar\\_Aguiar.pdf](http://www.geotop.ca/pdf/Gestion_Documents/Theses/These_Lazar_Aguiar.pdf)
- Aguiar L.A.A., Garneau M., Lézine A-M., Maugis P., 2010. Évolution de la nappe des sables quaternaires dans la région des Niayes du Sénégal (1958-1994) : relation avec le climat et les impacts anthropiques. *Science et changements planétaires/Sécheresse*. 21(2) : 97-104.
- Altieri M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 74(1-3) : 19-31.
- Amidon C., Thomas M. A., Kennel E., 2014. *Artemisia: An essential guide from The Herb Society of America*. The Herb Society of America. Kirtland, Ohio.
- Anonyme 2009. *African wormwood production: Essential oil crops Production guidelines for African wormwood*. Plant Production, Agriculture, forestry & fisheries department, RSA. <http://www.daff.gov.za/Daffweb3/Portals/0/Brochures%20and%20Production%20guidelines/Production%20guidelines%20African%20wormwood.pdf>
- Anonyme 2013. *Études de filières horticoles. Programme d'aménagement et de développement économique des Niayes (PADEN)*. Disponible sur
- Badreddine B. S., Baouindi M., 2016. Effects of *Artemisia herba-alba* essential oils on survival stored cereal pests: *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera, Tenebrionidae) and *Trogoderma granarium* (Everst) (Coleoptera, Dermestidae). *Journal of Coastal Life Medicine*; 4(5): 390-394.
- Bizzotto L., 2013. *Contribution à l'étude de l'effet d'une culture associée entre l'armoise annuelle (*Artemisia annua* L.) et le chou pommé (*Brassica oleracea* var. *Capitata* (L.) Lambinon) sur les ravageurs du chou pommé*. Gembloux Agro-Biotech, Liège-Université.
- Camara M., 2010. *Approche participative dans la gestion intégrée des ressources en eau de la zone des Niayes (de Dakar à Saint- Louis)*. Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal. <http://www.memoireonline.com/02/13/6920/Approche-participative-dans-la-gestion-integree-des-ressources-en-eau-de-la-zone-des-Niayes-de-Da.html>
- Capinera J.L., 2000. *Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Insecta: Lepidoptera: Plutellidae)*. EENY-119, Entomology and Nematology Department, UF/IFAS Extension. Gainesville, Florida, USA. Disponible sur <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/IN/IN27600.pdf>

- Capinera J.L., 2017. *Featured creatures: Trichoplusia ni (Hübner)*. EENY-116, Entomology and Nematology Department, UF/IFAS Extension. Gainesville, Florida, USA. Disponible sur : [http://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/leaf/cabbage\\_looper.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/veg/leaf/cabbage_looper.htm) (Consulté le 11/08/2017)
- Collingwood E.F., Bourdouxhe L., Defrancq M., 1984. Les principaux ennemis des cultures maraîchères au Sénégal. Centre pour le Développement de l'Horticulture, Camberene, Dakar, Sénégal. Disponible sur <http://www.sist.sn/gsd/collect/publi/index/assoc/HASHc555/d6a71d25.dir/doc.pdf>
- Debra, K. R., & Misheck, D. (2014). Onion (*Allium cepa*) and garlic (*Allium sativum*) as pest control intercrops in cabbage based intercrop systems in Zimbabwe. *IOSR J Agric Vet Sci*, 7, 13-17.
- Dickson, M.H. & Wallace, D.H., 1986. Cabbage breeding. In: Bassett, M.J. (Editor). *Breeding vegetable crops*. Avi Publishing Company, Westport, Connecticut, United States. pp. 395-432.
- Diop A., 2014. *Diagnostic des pratiques d'utilisation et quantification des pesticides dans la zone des Niayes de Dakar (Sénégal)*. Université du Littoral Côte d'Opale. Disponible sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00959895>.
- Etilé E., 2012. Agricultural Practices that Promote Crop Pest Suppression by Natural Predators. Review of the Literature Submitted to Agriculture and Agri-Food Canada on August 6, 2012 Montreal, QC. URL: [https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/Etile%20\(E\)%20FINAL.pdf](https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/Etile%20(E)%20FINAL.pdf) (Consulté le 15/08/2017)
- Fall S.T. & Fall A.S., 2001. Cités horticoles en sursis ? L'agriculture urbaine dans les grandes Niayes au Sénégal. 120p. URL : <https://prd-idrc.azureedge.net/sites/default/files/openebooks/265-1/index.html>
- Faye E., 2010. Diagnostic partiel de la flore et de la végétation des Niayes et du Bassin arachidier au Sénégal : application de méthodes floristiques, phytosociologiques, ethnobotaniques et cartographiques. École interfacultaire de bioingénieurs, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique.
- Guèye, M. T., Seck, D., Wathelet, J. P., & Lognay, G., 2011. Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale: synthèse bibliographique/Controlling pests of cereals and legumes in Senegal and West Africa: a review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 15(1), 183.
- [http://www.paden-senegal.org/IMG/pdf/rapport\\_definitif\\_etudes\\_filières\\_horticoles.pdf](http://www.paden-senegal.org/IMG/pdf/rapport_definitif_etudes_filières_horticoles.pdf)
- Issa, I. A., & Hussen Bule, M. (2015). Hypoglycemic effect of aqueous and methanolic extract of *Artemisia afra* on alloxan induced diabetic Swiss albino mice. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, eCAM, 2015.

- Jankowska, B., Poniedziałek, M., & Jędrszczyk, E., 2009. Effect of intercropping white cabbage with French marigold (*Tagetes patula nana* L.) and pot marigold (*Calendula officinalis* L.) on the colonization of plants by pest insects. *Folia Horticulturae*, 21(1), 95-103.
- Jeanneau S., Agrobiologique C., 2014. *Lutte contre le puceron Aphis gossypii par association cultural*. Rapport de stage, LP Agriculture Biologique, Université Angers, France.
- Kassomou A.M, 2008. *Arvicanthis niloticus*. Convention sur la biodiversité, Centre d'Echange d'Informations sur la Biodiversité du Niger. URL : <http://ne.chm-cbd.net/biodiversity/la-diversite-biologique-animale/la-faune-sauvage/les-mammiferes/ordre-des-insectivores/arvicanthis-niloticus> (Consulté le 14/08/2017)
- Kessing J. L. M., Mau R. F. L., Diez J.M., 2007. *Hellula undalis* (Fabricius). Department of entomology, Honolulu, Hawaii, USA. URL : <http://www.extento.hawaii.edu/kbase/crop/type/hellula.htm> (Consulté le 11/08/2017)
- Liang, J. Y., Wang, W. T., Zheng, Y. F., Zhang, D., Wang, J. L., Guo, S.S., Zhang W.J., Du S.S. & Zhang, J. (2017). Bioactivities and chemical constituents of essential oil extracted from *Artemisia anethoides* against two stored product insects. *Journal of oleo science*, 66(1), 71-76.
- Liu, N. Q., Van der Kooy, F., & Verpoorte, R. (2009). *Artemisia afra*: a potential flagship for African medicinal plants?. *South African Journal of Botany*, 75(2), 185-195.
- Liu, Z. L., Yu, M., Li, X. M., Wan, T., & Chu, S. S. (2011). Repellent activity of eight essential oils of Chinese medicinal herbs to *Blattella germanica* L. *Records of Natural Products*, 5(3), 176.
- Matson P. A., Parton W. J., Power A. G., Swift M. J., 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, New series, Vol.277, No.5325 (Jul.25, 1997), 504-509.
- Mazollier C., 2012. Variétés de chou de Milan et chou cabus vert - Essai variétal 2011 en culture biologique de plein champ. URL : <http://www.grab.fr/wp-content/uploads/2010/09/dossier-vari%C3%A9t%C3%A9s-chou-vert-lisse-et-fris%C3%A9-MBI-72-2%C3%A8me-trim%E2%80%A61.pdf> (Consulté le 07/08/2017)
- Mjiqiza, S. J., Syce, J. A., & Obikeze, K. C. (2013). Pulmonary effects and disposition of luteolin and *Artemisia afra* extracts in isolated perfused lungs. *Journal Of Ethnopharmacology*, 149(3), 648-655. doi:10.1016/j.jep.2013.07.019
- Ndiaye M., 2017. Manuel sur les principaux ravageurs et maladies des cultures maraîchères dans la zone des Niayes. DPV, Ministère de l'agriculture, Dakar, Sénégal. URL : [http://www.paden-senegal.org/IMG/pdf/manuel\\_principaux\\_ravageurs\\_decultures\\_niayes.pdf](http://www.paden-senegal.org/IMG/pdf/manuel_principaux_ravageurs_decultures_niayes.pdf) (Consulté le 11/08/2017)
- Nerio, L.S., Olivero-Verbel, J., & Stashenko, E. (2010). Repellent activity of essential oils: a review. *Bioresource technology*, 101(1), 372-378.



- Ngom Y., Touré K., Fall O., Faye A., 2015. Étude de la commercialisation des produits horticoles dans la région de Thiès, Diourber et Ftick : offre, demande, configuration des marchés et analyse économique et financière de la production et de la commercialisation. Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural, Dakar, Sénégal. Disponible sur : [http://www.papsen.org/data/files/Rapport\\_PAPSEN\\_Centre\\_B\\_2\\_8\\_BAME\\_Partie1.pdf](http://www.papsen.org/data/files/Rapport_PAPSEN_Centre_B_2_8_BAME_Partie1.pdf)
- Office de la Recherche Scientifique et technique Outre-mer (ORSTOM), 1976. *Les rongeurs des cultures au Sénégal*. URL : [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers12-12/09007.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers12-12/09007.pdf) (Consulté le 11/08/2017)
- PAPSEN, 2017. État de lieux de l'horticulture au Sénégal. URL : [http://www.papsen.org/data/files/Etat\\_de\\_lieux\\_de\\_horticulture\\_au\\_Senegal.pdf](http://www.papsen.org/data/files/Etat_de_lieux_de_horticulture_au_Senegal.pdf) (Consulté le 13/08/2017)
- Parker J.E., Snyder W.E., Hamilton G.C. & Saona-Rodriguez C., 2013. Companion Planting and Insect Pest Control. In : Soloneski, S., Larramendy, M. eds. *Weed and Pest Control Conventional and New Challenges*. Intech, pp. 1–30. URL :
- Parolin, P., Bresch, C., Desneux, N., Brun, R., Bout, A., Boll, R., & Poncet, C. (2012). Secondary plants used in biological control: a review. *International Journal of Pest Management*, 58(2), 91-100.
- Patil GV, Dass SK, Chandra R (2011) *Artemisia afra* and Modern Diseases. *J Pharmacogenomics Pharmacoproteomics* 2(3): 105.
- Poulet A. R. & Poupon H., 1978. *L'invasion d'Arvicanthis niloticus dans le Sahel sénégalais en 1975-1976 et ses conséquences pour la strate ligneuse*. Centre ORSTOM, Dakar, Sénégal.
- Prinsloo, G., Viljoen, J. C., & Du Plooy, C. P. (2011, June). Effect of nitrogen fertilisation on the growth of *Artemisia AFRA* and its antimicrobial activity. In II International Symposium on Underutilized Plant Species: *Crops for the Future-Beyond Food Security* 979 (pp. 357-364).
- Richter, J. M., Prinsloo, G. J., & Linde, T. D. K. V. D. (2014). The response of alate *Diuraphis noxia* (Kurdjumov)(Hemiptera: Aphididae) to volatile substances from four non-host plant extracts under laboratory conditions. *African Entomology*, 22(4), 783-789.
- Sadasivam, S., & Thayumanayan, B. (Eds.). (2003). *Molecular host plant resistance to pests* (Vol. 96). CRC Press. Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore, India. p. 312.
- Sakho S.M., 2013. Analyse de la chaîne de valeur du chou pommé (*Brassica oleracea*) dans la zone des Niayes au Sénégal. École Nationale Supérieure d'Agriculture-ENSA, Université de Thiès, Thiès, Sénégal. Disponible sur [http://www.bameinfopol.info/IMG/pdf/Memoire\\_corrige\\_Soda\\_definitif.pdf](http://www.bameinfopol.info/IMG/pdf/Memoire_corrige_Soda_definitif.pdf)
- Sarfraz, M., Keddie, A. B., & Dossall, L. M. (2005). Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: a review. *Biocontrol Science and Technology*, 15(8), 763-789.

- Seck, A. (1962, May). Le «Heug» ou pluie de saison sèche au Sénégal. In *Annales de Géographie* 71(385), pp. 225-246. Armand Colin.
- Stiling, P., Rossi, A. M., & Cattell, M. V. (2003). Associational resistance mediated by natural enemies. *Ecological Entomology*, 28(5), 587-592.
- UNCTAD, 2003. Fruits et légumes biologiques des régions tropicales. URL : [http://unctad.org/fr/docs/ditccom20032\\_fr.pdf](http://unctad.org/fr/docs/ditccom20032_fr.pdf) (Consulté le 08/08/2017)
- Van Damme P., 2016. Optimisation de la production de l'armoise annuelle (*Artemisia annua* L.) sur le domaine de l'organisation « Le Relais-sénégal » à Yendane (région de Thiès, Sénégal). Gembloux Agro-Biotech, Liège-Université, Belgique.
- Van der Kooy, F., Verpoorte, R., & Meyer, J. M. (2008). Metabolomic quality control of claimed anti-malarial *Artemisia afra* herbal remedy and *A. afra* and *A. annua* plant extracts. *South African Journal of Botany*, 74(2), 186-189.
- Vandermeer, J. H. (1992). *The ecology of intercropping*. Cambridge University Press, New York, USA.
- Viljoen, A. (2007). Indigenous South African Medicinal Plants-Part 2: *Artemisia afra* (wild wormwood). *SA Pharmaceutical Journal*, 74(6), 58.
- Wade C. S., 2003. L'utilisation des pesticides dans l'agriculture périurbaine et son impact sur l'environnement. URL : [http://indexmedicus.afro.who.int/iah/fulltext/wade\\_cheikh.pdf](http://indexmedicus.afro.who.int/iah/fulltext/wade_cheikh.pdf) (Consulté le 10/08/2017)
- Wang, W., Liu, Y., Chen, J., Ji, X., Zhou, H., & Wang, G. (2009). Impact of intercropping aphid-resistant wheat cultivars with oilseed rape on wheat aphid (*Sitobion avenae*) and its natural enemies. *Acta Ecologica Sinica*, 29(3), 186-191.
- White, J. M. (1980). Cabbage yield, head weight, and size as affected by plant growing containers. In *Proceedings of Florida State Horticultural Society*, 93, pp. 266-267.
- Yarou B.B., Assogba Komlan F., Tossou E., Mensah C. A., Simon S., Verheggen F.J. & Francis F., 2017. Efficacy of Basil-Cabbage intercropping to control insect pests in Benin, West Africa. In press.

## Annexes

### 1. Tableaux d'analyses statistiques

AV1 du nombre total d'insectes (quadrats et Bug-Scans) selon le facteur « traitement ».

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Traitement	1	302851	302851	0,49	0,522
Error	4	2469651	617413		
Total	5	2772501			

AV1 sur le nombre total de ravageurs selon le facteur « traitement ».

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Traitement	1	31104	31104	0,99	0,377
Error	4	126088	31522		
Total	5	157192			

AV2 du nombre total de borers du chou au stade immature par quadrat selon les facteurs « bloc » et « traitement ».

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitement	1	53,389	53,389	50,58	0,019
Bloc	2	128,778	64,389	6,40	0,013
Traitement*Bloc	2	2,111	1,056	0,10	0,901
Error	12	120,667	10,056		
Total	17	304,944			

AV1 du nombre total de borers du chou au stade immature par quadrat selon le facteur « traitement ».

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitement	1	53,39	53,39	3,40	0,084
Error	16	251,56	15,72		
Total	17	304,94			

ANCOVA du nombre moyen de borers du chou au stade immature par quadrat selon le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours ».

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
nb jour	1	41,426	41,4260	49,23	0,000
Bloc	2	2,093	1,0465	1,24	0,290
nb jour*Bloc	2	8,869	4,4344	5,27	0,006
Error	300	252,425	0,8414		
Lack-of-Fit	198	180,425	0,9112	1,29	0,075
Pure Error	102	72,000	0,7059		
Total	305	310,291			

AV2 du nombre total de teignes et de fausses arpeuteuses au stade immature observés par quadrat selon les facteurs « bloc » et « traitement ».

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitement	1	133,39	133,39	1,20	0,387
Bloc	2	180,33	90,17	1,49	0,264
Traitement*Bloc	2	222,11	111,06	1,84	0,201
Error	12	724,67	60,39		
Total	17	1260,50			

AV1 du nombre total de teignes et de fausses arpeuteuses au stade immature observés par quadrat durant la période de suivi entomologique selon le facteur « traitement ».

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitement	1	133,4	133,39	1,89	0,188
Error	16	1127,1	70,44		

Total 17 1260,5

**ANCOVA du nombre moyen de teignes et de fausses arpeuteuses au stade immature selon le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours ».**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
nb jours	1	87,69	87,692	20,21	0,000
Bloc	2	5,19	2,593	0,60	0,551
nb jours*Bloc	2	13,23	6,613	1,52	0,219
Error	300	1301,44	4,338		
Lack-of-Fit	45	375,28	8,340	2,30	0,000
Pure Error	255	926,17	3,632		
Total	305	1412,97			

**AV2 du nombre de colonies de pucerons aptères selon les facteurs « bloc » et « traitement ».**

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitement	1	11552	11552	1,61	0,332
Bloc	2	20880	10440	9,23	0,004
Traitement*Bloc	2	14330	7165	6,34	0,013
Error	12	13569	1131		
Total	17	60332			

**AV1 du nombre de colonies de pucerons aptères selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concat	5	46762	9352	8,27	0,001
Error	12	13569	1131		
Total	17	60332			

**ANCOVA du nombre de colonies de pucerons aptères selon le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours ».**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
nb jour	1	5795,3	5795,30	90,23	0,000
Bloc	2	991,8	495,88	7,72	0,001
Nb jour*Bloc	2	992,6	496,32	7,73	0,001
Error	300	19267,6	64,23		
Lack-of-Fit	45	4597,6	102,17	1,78	0,003
Pure Error	255	14670,0	57,53		
Total	305	27283,8			

**AV2 sur le nombre total de pucerons ailés selon les facteurs « traitement » et « bloc »**

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitement	1	10,89	10,89	0,16	0,731
Bloc	2	1222,33	611,17	11,31	0,002
Traitement*Bloc	2	140,11	70,06	1,30	0,309
Error	12	648,67	54,06		
Total	17	2022,00			

**AV1 sur le nombre total de pucerons ailés selon le facteur « traitement »**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Traitement	1	10,89	10,89	0,09	0,772
Error	16	2011,11	125,69		
Total	17	2022,00			

**ANCOVA sur le nombre de pucerons ailés entre le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours »**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
nb jour	1	173,55	173,552	50,19	0,000
Bloc	2	45,20	22,599	6,54	0,002
nb jour*Bloc	2	45,24	22,622	6,54	0,002
Error	300	1037,42	3,458		
Lack-of-Fit	45	283,42	6,298	2,13	0,000
Pure Error	255	754,00	2,957		
Total	305	1328,12			

**AV2 du le nombre de momies de pucerons selon les facteurs « traitement » et « bloc »**

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitement	1	16,942	16,942	10,52	0,083
Bloc	2	20,523	10,261	4,49	0,035
Traitement*Bloc	2	3,220	1,610	0,70	0,514
Error	12	27,415	2,285		
Total	17	68,100			

**AV1 du le nombre de momies de pucerons selon les facteurs « traitement »**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Traitement	1	16,94	16,942	5,30	0,035
Error	16	51,16	3,197		
Total	17	68,10			

**AV2 du taux de parasitisme des pucerons**

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitement	1	0,02499	0,02499	3,00	0,226
Bloc	2	0,15165	0,07583	4,26	0,040
Traitement*Bloc	2	0,01668	0,00834	0,47	0,637
Error	12	0,21380	0,01782		
Total	17	0,40712			

**AV1 du taux de parasitisme des pucerons**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Traitement	1	11552	11552	3,79	0,069
Error	16	48780	3049		
Total	17	60332			

**ANCOVA du nombre de momies de pucerons entre le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours »**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Nb jour	1	389,2	389,217	53,84	0,000
Bloc	2	107,5	53,750	7,43	0,001
Nb jour*Bloc	2	107,6	53,782	7,44	0,001
Error	300	2168,9	7,230		
Lack-of-Fit	45	742,0	16,490	2,95	0,000
Pure Error	255	1426,8	5,595		
Total	305	2725,6			

**AV2 du nombre total d'insectes présents sur les Bug-Scans selon les facteurs « traitement » et « bloc »**

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitement	1	40423	40423	0,32	0,630
Bloc	2	231977	115989	11,63	0,002
Traitement*Bloc	2	255222	127611	12,79	0,001
Error	12	119693	9974		
Total	17	647314			

**AV1 du nombre total d'insectes présents sur les Bug-Scans selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concat	5	527622	105524	10,58	0,000
Error	12	119693	9974		
Total	17	647315			

**AV1 du nombre total de diptères présents sur les Bug-Scans selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concat	5	2076,3	415,26	5,13	0,010
Error	12	972,0	81,00		
Total	17	3048,3			

**AV1 du nombre total d'hémiptères présents sur les Bug-Scans selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concat	5	372794	74559	19,34	0,000
Error	12	46264	3855		
Total	17	419058			

**AV1 du nombre total d'hyménoptères présents sur les Bug-Scans selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concat	5	12102	2420,3	12,34	0,000
Error	12	2354	196,2		
Total	17	14456			

**AV1 du nombre total de teignes présents sur les Bug-Scans selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concat	5	120,0	24,00	0,61	0,698
Error	12	476,0	39,67		
Total	17	596,0			

**AV1 du nombre total de coléoptères présents sur les Bug-Scans selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concat	5	140,4	28,09	1,84	0,180
Error	12	183,3	15,28		
Total	17	323,8			

**AV2 de la diversité des insectes classés par Ordre selon les facteurs « traitement » et « bloc »**

Source	DF	SS	MS	F	P
Traitement	1	0,24760	0,24760	0,50	0,552
Bloc	2	0,39746	0,19873	7,68	0,007
Traitement*Bloc	2	0,98388	0,49194	19,00	0,000
Error	12	0,31070	0,02589		
Total	17	1,93964			

**AV1 de la diversité des insectes classés par Ordre selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concat	5	1,6289	0,32579	12,58	0,000
Error	12	0,3107	0,02589		
Total	17	1,9396			

**ANCOVA du nombre de feuilles de chou entre le facteur « bloc » et la covariable « nombre de jours »**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Nb jour	1	10210,0	10210,0	828,71	0,000
bloc	2	6,9	3,4	0,28	0,756
nb jour*bloc	2	6,9	3,5	0,28	0,756
Error	300	3696,1	12,3		
Lack-of-Fit	45	1413,6	31,4	3,51	0,000
Pure Error	255	2282,5	9,0		
Total	305	13994,1			

**AV1 du nombre de choux borgnes selon le facteur « traitement »**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Traitement	2	966,2	483,1	3,95	0,081
Error	6	734,6	122,4		
Total	8	1700,8			

**GLM sur le poids des pommes de chou selon les facteurs « traitement » et « bloc »**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloc	1	6,030	6,0303	44,76	0,000

Traitement	2	29,439	14,7195	109,25	0,000
Bloc*Traitement	2	17,988	8,9940	66,75	0,000
Error	1423	191,733	0,1347		
Lack-of-Fit	3	7,265	2,4217	18,64	0,000
Pure Error	1420	184,468	0,1299		
Total	1428	234,173			

**AV1 des moyennes relatives au poids de la pomme selon le facteur « traitement-bloc », obtenu par concaténation**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concat	8	49,71	6,2132	47,83	0,000
Error	1420	184,47	0,1299		
Total	1428	234,17			

**AV1 du rendement total (kg/m<sup>2</sup>) selon le facteur « traitement »**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Trait	2	0,4115	0,2058	0,21	0,819
Error	6	5,9854	0,9976		
Total	8	6,3969			

**AV1 du diamètre de la pomme selon la classe de dégât**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Dégâts sur pomme	4	254,2	63,557	9,88	0,000
Error	1809	11635,1	6,432		
Total	1813	11889,3			

Pearson correlation of Diamètre de la pomme and Poids de la pomme = 0,897  
P-Value = 0,000

**GLM de la classe de dégât selon les facteurs « traitement » et « bloc »**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloc	1	20,43	20,4347	31,10	0,000
Traitement	2	35,99	17,9951	27,38	0,000
Bloc*Traitement	2	8,10	4,0506	6,16	0,002
Error	1808	1188,13	0,6571		
Lack-of-Fit	3	45,09	15,0295	23,73	0,000
Pure Error	1805	1143,04	0,6333		
Total	1813	1358,97			

**AV1 de la classe de dégât selon le facteur « traitement-bloc » obtenu par concaténation**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Concat	8	215,9	26,9920	42,62	0,000
Error	1805	1143,0	0,6333		
Total	1813	1359,0			

**AV1 de la hauteur des plantes d'armoise africaine en début de suivi**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloc	2	11294	5646,9	16,21	0,000
Error	117	40746	348,3		
Total	119	52040			

**AV1 de la hauteur des plantes d'armoise africaine juste avant 1ère coupe**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloc	2	18169	9084,7	22,82	0,000
Error	117	46574	398,1		
Total	119	64744			

#### AV1 de la hauteur des plantes d'armoise africaine juste avant 2ème coupe

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloc	2	527,7	263,8	0,94	0,394
Error	116	32631,6	281,3		
Total	118	33159,3			

#### AV1 de la hauteur des plantes d'armoise africaine en fin de suivi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloc	2	2764	1381,9	11,32	0,000
Error	116	14157	122,0		
Total	118	16921			

#### AV1 du diamètre projeté au sol des plantes d'armoise africaine en début de suivi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloc	2	10028	5013,9	12,73	0,000
Error	117	46085	393,9		
Total	119	56113			

#### AV1 du diamètre projeté au sol des plantes d'armoise africaine juste avant la 1ère coupe

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloc	2	17729	8864,3	18,54	0,000
Error	117	55950	478,2		
Total	119	73679			

#### AV1 du diamètre projeté au sol des plantes d'armoise africaine juste avant la 2ème coupe

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloc	2	4366	2183,1	10,18	0,000
Error	117	25099	214,5		
Total	119	29466			

#### AV1 du diamètre projeté au sol des plantes d'armoise africaine en fin de suivi

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloc	2	2551	1275,4	9,17	0,000
Error	117	16265	139,0		
Total	119	18816			

#### ANCOVA pour le nombre de plantes présentant des boutons floraux selon le facteur « bloc » et la co-variable « nombre de jours »

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Nb jour	1	6,857	6,8571	1,72	0,209
Bloc	2	15,162	7,5810	1,91	0,183
Nb jour*Bloc	2	0,643	0,3214	0,08	0,923
Error	15	59,643	3,9762		
Total	20	123,238			

#### ANCOVA pour le nombre de plantes présentant des fleurs selon le facteur « bloc » et la co-variable « nombre de jours »

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Nb jour	1	1,190	1,1905	0,51	0,488
Bloc	2	2,533	1,2667	0,54	0,595
Nb jour*Bloc	2	1,738	0,8690	0,37	0,698
Error	15	35,357	2,3571		
Total	20	48,952			

#### AV1 de la quantité totale de biomasse séchée obtenue avec les deux coupes selon le facteur « bloc »

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Bloc	2	17,347	8,674	2,61	0,221
Error	3	9,981	3,327		
Total	5	27,328			



## 2. Calcul du prix de revient

Par facilité, tous les calculs sont effectués pour une surface de correspondant à 1 are.

### 1. Dépenses brutes

Location des terres = 1.125 FCFA/are/an

### 2. Le labour

Coût du labour au tracteur : 200 FCFA/are

### 3. Les intrants

#### 3.1. Le chou pommé

Le chou pommé a été planté dans des gobelets en plastique remplis de terreau et mis à germer sous pépinière avant de transplanter les choux dans les parcelles au stade 3-4 feuilles.

- *Les semences et matériel associé*

- Prix d'achat des semences :

Prix d'achat d'une boîte de semences = 3000 FCFA

En monoculture, environ 6 % de la boîte est utilisée pour 100 m<sup>2</sup>.

Coût lié à l'achat des semences en culture pure =  $3.000 \cdot 0,006 = 180$  FCFA

En culture associée, neuf treizièmes de la quantité de semences utilisées en monoculture sont utilisées car les parcelles de cultures associées contiennent 9 rangées de chou au lieu de 13 pour la monoculture.

Coût lié à l'achat des semences en culture associée =  $180 \cdot 9/13 = 124,62$  FCFA

- Prix d'achat des gobelets en plastique :

Prix d'un gobelet en plastique = 10 FCFA

Dans chaque gobelet en plastique, 2 graines de chou ont été semé. Une parcelle de 63 m<sup>2</sup> en culture pure nécessite 273 plantes de chou (13 rangées \* 21 plantes). Une parcelle de 63m<sup>2</sup> en culture associée nécessite 189 plantes de chou (9 rangées \* 21 plantes).

10% de remplacements de plantes de choux sont prévues.

Coût des gobelets (culture pure) =  $((273 \text{ plantes}/2 + 0,01 \cdot 273/2) \cdot 100/63) \cdot 10 = 2383,33$  FCFA

Coût des gobelets (culture associée) =  $(189 \text{ plantes}/2 + 0,01 \cdot 189/2) \cdot 100/63) \cdot 10 = 1.650$  FCFA

- Prix d'achat du terreau :

Prix d'un sac de terreau de terreau de 27 kg (Jiffy substrates) = 13.000 FCFA → 481,48 FCFA/kg

Quantité de terreau par gobelet = 0,063 kg

Coût du terreau (culture pure) =  $0,063 \cdot 238 \text{ gobelets} \cdot 481,48 = 7229,32$  FCFA

Coût du terreau (culture associée) =  $0,063 \cdot 165 \text{ gobelets} \cdot 481,48 = 5004,98$  FCFA

- *Les engrais*

- Prix d'achat du NPK (15-15-15) :

Prix d'un sac de NPK (150 kg) = 13.000 FCFA → 86,67 FCFA/kg

Quantité appliquée par chou = 1 capsule = 0,004 kg

Coût de lié à l'application de NPK (culture pure) = 407 plantes \* 0,004 \* 86,67 = 104,00 FCFA

Coût de lié à l'application de NPK (culture associée) = 300 plantes \* 0,004 \* 86,67 = 141,10 FCFA

- Prix d'achat de l'Urée :

Prix d'un sac d'Urée (150 kg) = 11.500 FCFA → 76,67 FCFA/kg

Quantité appliquée par chou = 1 capsule = 0,003 kg

Coût de lié à l'application de NPK (culture pure) = 407 plantes \* 0,003 \* 86,67 = 105,82 FCFA

Coût de lié à l'application de NPK (culture associée) = 300 plantes \* 0,003 \* 86,67 = 78,00 FCFA

- *Traitement phytopharmaceutique*

Sur l'ensemble de la période de culture du chou, 3 applications d'insecticide ont été effectuées. L'insecticide utilisé était le K-Optimal.

Prix d'une bouteille de K-Optimal (1L) = 7.000 FCFA

Dose recommandée = 1 L/ha → 0,01 L/are

Coût lié à l'application du K-Optimal = 70 FCFA

- *Irrigation*

Volume d'eau irrigué par parcelle de 63 m<sup>2</sup> sur les 14 semaines de culture = 60 m<sup>3</sup>

Prix d'achat subventionné de l'eau = 200 FCFA/m<sup>3</sup>

Coût lié à l'arrosage = 60\*100/63\*200 = 19.047,52 FCFA

### **3.2. L'armoise africaine**

- *Plant*

Prix d'un plant = 600 FCFA

Une fois plantée, la plante peut subsister pendant 10 ans donc le coût amortit sur 10 ans est de 60 FCFA/plant.

Une parcelle de 63 m<sup>2</sup> compte au total 120 plantes d'armoise africaine et 10 plantes par parcelle sont prévues pour d'éventuels remplacements. Cela revient à environ 206 plants par are.

Coût lié aux plants = 206\*60 = 12.360 FCFA

- *Engrais*

Deux applications de fiente ont été effectuées à raison de 2 poignées de fiente par plante par application.

Une poignée de fiente = 0,175 kg

Prix de la fiente de volaille compostée = 40 FCFA/kg

Coût de la fiente de volaille appliquée = 0,175\*2 poignées\*2 applications\*190 plantes = 133 FCFA

## **4. Main d'œuvre**

Le salaire horaire d'un travailleur est de 300 FCFA.

### **4.1. Le chou pommé**

- *Semis* : 1,2h (culture pure) et 0,9h (culture associée)
- *Préparation du terrain* : 1,6h

- *Transplantation* : 9,5h (culture pure) et 6,5h (culture associée)
- *Désherbage* : 2,1h (culture pure) et 1,4h (culture associée)
- *Application d'insecticide* : 2,1h (monoculture traitée)
- *Application NPK et Urée* : 6,35h (culture pure) et 4,75h (culture associée)
- *Récolte* : 6,35h (culture pure) et 4,4h (culture associée)

Nombre d'heures total (culture pure) = environ 27h → Coût de la main d'œuvre = 8.100 FCFA

Nombre d'heures total (culture pure traitée) = environ 29h → Coût de la main d'œuvre = 8.700 FCFA

Nombre d'heures total (culture associée) = environ 20h → Coût de la main d'œuvre = 6.000 FCFA

#### **4.2. L'armoise africaine**

- *Préparation des boutures* : 1h (coût de la main d'œuvre à amortir sur 10 ans)
- *Transplantation* : 4,7h (coût de la main d'œuvre à amortir sur 10 ans)
- *Application de la fiente* : 3,2h
- *Taille des plantes* : 9,5h
- *Découpage des plantes à la machette* : 0,5h
- *Séparation tiges-feuilles* : 0,5h

Nombre d'heures total (culture associée) = 19 h → Coût de la main d'œuvre = 5.700 FCFA

#### **5. Frais généraux**

Frais téléphoniques : 15.000 FCFA

Frais de transport : 120.000 FCFA

Coût total des frais généraux = 135.000 FCFA

	Culture associée	Culture pure	Culture pure traitée
<b>Dépenses brutes</b>			
Prix de la location des terres	1125	1125	1125
<b>Le labour au tracteur</b>			
Coût du labour	200	200	200
<b>Les intrants pour le chou pommé</b>			
Prix d'achat des semences	124,61	180	180
Prix des gobelets en plastique	1650	2383,33	2383,33
Prix d'achat du terreau	5004,98	7229,32	7229,32
Coût du NPK	104,00	141,10	141,10
Coût de l'Urée	78,00	105,82	105,82
Coût du traitement insecticide			70
Coût de l'irrigation	19047,62	19047,62	19047,62
<b>Les intrants pour l'armoise africaine</b>			
Coût des plants	12360		
Coût de la fiente	133		
<b>Main d'œuvre</b>			
Chou pommé	6000	8100	8700
Armoise africaine	5700		
<b>Frais généraux</b>			
Coût des frais généraux	135000	135000	135000
<b>Dépenses totales pour la production de chou FCFA/are</b>	<b>186527</b>	<b>173512</b>	<b>174182</b>
<b>Rendement du chou kg/are</b>	<b>162</b>	<b>270</b>	<b>260</b>
<b>Prix de revient du chou (FCFA/kg)</b>	<b>1223</b>	<b>707</b>	<b>739</b>
<b>Prix de revient du chou (€/kg) *</b>	<b>1,76</b>	<b>0,98</b>	<b>1,02</b>
<b>Produit brut du chou (FCFA/are) **</b>	<b>16185</b>	<b>27046</b>	<b>25990</b>
<b>Rendement de l'armoise africaine (kg/are)</b>	<b>8,10</b>		
<b>Produit brut de l'armoise africaine (FCFA/are) ***</b>	<b>161905</b>		
<b>Marge (FCFA/are) = Produits bruts – Coûts de production</b>	<b>-8437</b>	<b>-146467</b>	<b>-148192</b>
<b>Marge (€/are)</b>	<b>-12,88</b>	<b>-223,61</b>	<b>-226,25</b>

\*Taux de change → 1 € = 655 FCFA

\*\*Prix de vente d'un kg de chou = 100 FCFA (saison sèche)

\*\*\*Prix de vente de 50 g de feuilles et tiges séchées = 1000 FCFA (prix grossiste du Relais Sénégal)

### 3. Calcul du rendement annuel de l'armoise africaine

N° de coupe	Parcelle	Poids frais (kg/parcelle)	Poids sec (kg/parcelle)	Poids frais (kg/are)	Poids sec (kg/are)
1	A1	15,4	5,2	24,4	8,3
1	A2	9,0	2,1	14,3	3,3
1	A3	13,0	4,3	20,6	6,9
2	A1	25,2	8,5	40,0	13,5
2	A2	15,0	3,5	23,8	5,6
2	A3	21,0	7	33,3	11,1
3	A1	47,0	14,1	74,6	22,4
3	A2	34,0	10,2	54,0	16,2
3	A3	21,0	6,3	33,3	10,0
4	A1	55,0	16,5	87,3	26,2
4	A2	35,0	10,5	55,6	16,7
4	A3	50,0	15,0	79,4	23,8
5	A1	55,0	16,5	87,3	26,2
5	A2	35,0	10,5	55,6	16,7
5	A3	50,0	15,0	79,4	23,8
6	A1	55,0	16,5	87,3	26,2
6	A2	35,0	10,5	55,6	16,7
6	A3	50,0	15,0	79,4	23,8
7	A1	55,0	16,5	87,3	26,2
7	A2	35,0	10,5	55,6	16,7
7	A3	50,0	15,0	79,4	23,8
8	A1	55,0	16,5	87,3	26,2
8	A2	35,0	10,5	55,6	16,7
8	A3	50,0	15,0	79,4	23,8
Totaux		900,6	271,2	1429,5	430,5

Facteur de conversion pour passer de la culture associée à la monoculture : 2

Nombre de coupes par an : 8 (toutes les 6 semaines)

Rendement de l'armoise africaine =  $430,5 * 2 * 100 = 86\ 105,8$  kg/ha/an

#### 4. Illustration des parcelles



*Image 1: Bug-scan placé à hauteur du chou (photo prise le 15 février 2017 par Machiels. L)*



*Image 2: Culture de chou associée sans traitement insecticide (parcelle A1) (photo prise le 3 mars 2017 par Machiels. L)*



*Image 3: Culture de chou pure sans traitement insecticide (parcelle B1) (photo prise le 3 mars 2017 par Machiels. L)*



*Image 4: Culture de chou pure avec traitement insecticide (parcelle C1) (photo prise le 3 mars 2017 par Machiels. L)*





*Image 5: Plants d'armoise africaine de la parcelle A1 avant coupe (haut) et après coupe (bas) (photo prise le 9 mars 2017 par Machiels L.)*



*Image 6: Culture de chou pure sans traitement insecticide (parcelle B3) (photo prise le 31 mars 2017 par Machiels L.)*



*Image 7: Pomme de chou éclatée (photo prise le 26 avril 2017 par Machiels L.)*