

**BURKINA FASO**  
**Unité-Progrès-Justice**

**MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET SUPERIEUR**

-----  
**UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO**

-----  
**INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL**



**MEMOIRE DE FIN DE CYCLE**

*Présenté en vue de l'obtention du*

**DIPLOME DE MASTER EN PRODUCTION VEGETALE**

**THEME**

Prévention de la résistance de *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera : Noctuidae) aux toxines *Bt* par l'utilisation du refuge dans le sac (RDS) en culture du cotonnier transgénique Bollgard II au Burkina Faso

Présenté par Alain SOUNTOURA

**Directeur de mémoire :** Dr Ferdinand SANKARA

**Maître de stage :** Dr Omer S. A. HEMA

N° : ...-2014/MaPV

Mai 2014

## **DEDICACE**

Je dédie ce mémoire :

A l'Eternel, mon Dieu, créateur de toutes choses, en qui je mets toute ma foi. Que son nom soit toujours glorifié dans ma vie ;

A mon défunt père, HEMA Sountoura Modi Serge, rappelé auprès de Dieu le 6 mai 2010. Je lui dois tout ce que je suis aujourd'hui car il m'a tout appris de la vie ;

A celle qui a toujours été là pour moi depuis ma tendre enfance, ma mère Dakuo Christine. Pour tous les sacrifices qu'elle a consentis et continue à consentir à mon endroit, je prie que Dieu la bénisse à tous égards et lui accorde tout ce qui lui a manqué jusqu'à aujourd'hui ;

A mes deux frères, Emile et Fidèle SOUNTOURA pour leurs soutiens, conseils et prières qui m'ont été d'un secours inestimable. Que le Dieu de paix les en bénisse au-delà de toute espérance.

## TABLE DES MATIERES

|   |      |
|---|------|
| DEDICACE.....   | i    |
| REMERCIEMENTS .....   | vi   |
| SIGLES ET ABREVIATIONS .....  | viii |
| LISTE DES FIGURES .....   | ix   |
| LISTE DES TABLEAUX.....   | x    |
| LISTE DES PHOTOS .....  | xi   |
| RESUME  | xii  |
| ABSTRACT .....  | xiii |
| INTRODUCTION.....   | 1    |
| CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE .....  | 5    |
| I. Cotonnier et ses ravageurs .....   | 5    |
| 1.1. Cotonnier.....   | 5    |
| 1.1.1. Botanique .....  | 5    |
| 1.1.2. Morphologie.....   | 5    |
| 1.1.3. Cycle biologique du cotonnier .....  | 5    |
| 1.1.4. Importance du coton.....   | 6    |
| 1.2. Principaux ravageurs du cotonnier.....   | 7    |
| 1.2.1. Systématique et aire de répartition de <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner)..... | 8    |
| 1.2.2. Description morphologique de la noctuelle.....                                   | 8    |
| 1.2.2.1. Oeufs .....  | 8    |
| 1.2.2.2. Larves .....   | 8    |
| 1.2.2.3. Chrysalides .....  | 9    |
| 1.2.2.4. Adultes .....  | 9    |
| 1.2.3. Cycle biologique de <i>H. armigera</i> .....                                     | 9    |
| 1.2.4. Plantes hôtes et dégâts.....   | 10   |
| II. Protection phytosanitaire du cotonnier .....  | 11   |
| 2.1. Familles d'insecticides .....  | 11   |
| 2.1.1. Organochlorés (OC).....  | 11   |
| 2.1.2. Organophosphorés et les carbamates .....   | 11   |
| 2.1.3. Pyréthriinoïdes.....   | 11   |
| 2.1.4. Nouvelles familles d'insecticides.....   | 12   |
| 2.2. Mode d'action des insecticides.....  | 12   |

|   |    |
|---|----|
| III. Résistance des insectes.....   | 13 |
| 3.1. Résistance aux insecticides chimiques.....   | 13 |
| 3.1.1. Notion de résistance.....  | 13 |
| 3.1.2. Mécanismes de résistance.....  | 13 |
| 3.1.3. Types de résistance.....   | 14 |
| 3.2. Effets de l'usage des insecticides chimiques.....                                  | 14 |
| 3.2.1. Organismes non cibles.....   | 14 |
| 3.2.2. Problèmes de résidus.....  | 14 |
| 3.3. Stratégie de gestion de la résistance des insectes aux insecticides chimiques..... | 15 |
| IV. Coton génétiquement modifié.....  | 15 |
| 4.1. Biotechnologies.....   | 15 |
| 4.1.1. Contributions du Coton Génétiquement Modifié (CGM).....                          | 15 |
| 4.1.2. Risques liés à l'utilisation des biotechnologies.....                            | 16 |
| 4.2. Bactérie <i>Bacillus thuringiensis</i> .....                                       | 16 |
| 4.2.1. Historique.....  | 16 |
| 4.2.2. Description.....   | 17 |
| 4.2.3. Cycle de vie de <i>Bt</i> .....  | 17 |
| 4.3. Delta-endotoxines.....   | 18 |
| 4.3.1. Classification.....  | 18 |
| 4.3.2. Structure.....   | 20 |
| 4.3.3. Mode d'action.....   | 20 |
| 4.4. Avènement de la résistance aux toxines <i>Bt</i> .....                             | 21 |
| 4.4.1. Cas de résistance relevée aux toxines à travers le monde.....                    | 21 |
| 4.4.2. Cas du Burkina Faso.....   | 22 |
| 4.5. Stratégie de gestion de la résistance aux toxines <i>Bt</i> .....                  | 22 |
| 4.5.1. Minimisation de la pression de sélection.....                                    | 22 |
| 4.5.1.1. Réduction de l'exposition aux toxines <i>Bt</i> .....                          | 22 |
| 4.5.1.2. Maintien de zone refuge non- <i>Bt</i> .....                                   | 22 |
| 4.5.2. Accouplement et production de descendance sensibles.....                         | 22 |
| V. Zones refuges.....   | 23 |
| 5.1. Définition et objectif.....  | 23 |
| 5.2. Justification des zones refuges.....   | 24 |
| 5.3. Exigences des refuges.....   | 24 |
| 5.4. Types de plans de zone refuge.....   | 25 |

|   |    |
|---|----|
| 5.5. Stratégies de refuge en vigueur .....  | 26 |
| 5.5.1. Stratégie dose élevée/refuge .....   | 26 |
| 5.5.2. Cas des USA.....   | 26 |
| 5.5.3. Cas du Burkina Faso .....  | 27 |
| 5.6. Qu'est-ce-qui pourrait arriver en absence de zone refuge ? .....               | 27 |
| 5.7. Approche de zone refuge : le Refuge dans le Sac (RDS).....                     | 27 |
| 5.7.1. Définition et objectif .....   | 27 |
| 5.7.2. Contexte et justification du RDS.....  | 28 |
| 5.8. Bénéfices du RDS .....   | 28 |
| 5.9. RDS à-travers le monde .....   | 29 |
| 5.10. RDS au Burkina Faso .....   | 29 |
| CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....   | 30 |
| I. Présentation de la zone d'étude.....   | 30 |
| II. MATERIEL UTILISE.....   | 34 |
| 2.1. Matériel végétal.....  | 34 |
| 2.2. Fumure minérale .....  | 34 |
| III. METHODOLOGIE.....  | 34 |
| 3.1.2. Objets comparés .....  | 35 |
| 3.1.3. Conduite de l'étude .....  | 35 |
| 3.1.4. Observations.....  | 37 |
| 3.2. 5% RDS en milieu réel.....   | 38 |
| 3.2.1. Dispositif expérimental .....  | 38 |
| 3.2.2. Objets comparés .....  | 39 |
| 3.2.3. Conduite de l'étude .....  | 39 |
| 3.2.6. Observations.....  | 41 |
| 3.3. Analyse statistique des résultats .....  | 41 |
| CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION .....  | 42 |
| I. RESULTATS.....   | 42 |
| 1.1. Analyse comparative des niveaux de RDS en station de recherche.....            | 42 |
| 1.1.1. Comparaison des niveaux de colonisation par les larves de lépidoptères ..... | 42 |
| 1.1.1.2. Niveaux de colonisation des parcelles de cotonniers conventionnels .....   | 42 |
| 1.1.1.3. Niveaux de colonisation sur cotonniers transgéniques.....                  | 43 |
| 1.1.2. Comparaison des états sanitaires des capsules et des rendements.....         | 43 |
| 1.1.2.1. Etats sanitaires des capsules de plantes de cotonnier conventionnel.....   | 43 |

|  |    |
|--|----|
| 1.1.2.2. Etats sanitaires des capsules de plante de cotonnier transgénique ..... | 44 |
| 1.1.3. Effet des traitements sur le rendement .....                              | 45 |
| 1.2. Densité à la récolte sur 10 lignes de 20 m en milieu paysan .....           | 45 |
| 1.3. Analyse des rendements en coton en milieu paysan .....                      | 46 |
| 1.3.1. Niveau des rendements en coton sur les deux sites .....                   | 46 |
| 1.3.3. Rentabilité ou performance agronomique du refuge dans le sac .....        | 47 |
| II. DISCUSSION .....   | 48 |
| CONCLUSION ET PERPECTIVES .....  | 51 |
| REFERRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....   | 52 |
| ANNEXES .....  | A  |

## REMERCIEMENTS

La concrétisation de ce mémoire ne saurait être effective sans le concours de personnes ressources et d'amis à travers une conjugaison parfaite de leurs efforts. Au-delà de notre volonté manifeste de louer leur profonde gratitude, il nous incombe de leur exprimer, à travers ces brefs mots, toute notre reconnaissance pour leurs apports et soutiens sans prix. Je les invite à avoir foi en ce qui suit : « Celui qui arrose sera lui-même arrosé ». A cet effet, j'adresse mes remerciements :

A tout le corps académique, scientifique et professoral de l'IDR pour ses efforts et soucis d'apporter le nécessaire à notre formation et particulièrement à notre directeur, le Docteur Irénée SOMDA;

Au Dr Bazouma KOULIBALY, chef du Programme Coton, pour nous avoir admis au sein de sa structure comme stagiaire et également pour le soutien financier de l'INERA. Que le Dieu de bonté l'en bénisse au-delà de toute grâce ;

Au Dr Omer S. A. HEMA, notre maître de stage qui, au-delà de ses occupations et responsabilités de la section défense du cotonnier, s'est montré disponible pour l'élaboration de ce mémoire. Aussi, la possibilité nous est-elle donnée de reconnaître avec estime, ses grandes qualifications et son souci permanent d'exceller, toutes valeurs qui resteront en nous et qui font de lui un modèle à suivre. Ma prière est que Dieu le fasse prospérer à tous égards selon la grandeur de Sa gloire ;

Au Dr Ferdinand SANKARA, notre directeur de mémoire pour sa compréhension, ses conseils, ses critiques judicieuses et l'encadrement optimal qu'il a su nous apporter tout au long du stage. Il me serait ingrat de ne pas lui témoigner toute ma gratitude et en retour je prie que l'Eternel le bénisse au centuple ;

Nous pensons à tout le personnel du Programme Coton et plus particulièrement celui de la section défense du cotonnier : MM. Issa SOW, Gustave DAKUYO, Siaka SANOU, Oscar ZAN, Célestin KOIMBO, Alassane COULIBALY qui nous ont beaucoup aidé tout au long de notre stage ;

Aussi, sommes-nous reconnaissant à Mme Alidiata SANOU, secrétaire au Programme Coton pour sa courtoisie, sa gentillesse et pour la mise en forme de notre mémoire. Nos remerciements s'adressent également à Mme Irène SOME et à M. Achile BENAO ;

Toute notre reconnaissance à Michel KONATE, Brice BICABA, Lémuel HIEN, Aquillas MODIBA, Rachelle BOURKANORE, Elisabeth ELOLA, Médina LOUGUE, Josiane KIEMDE, Moïse ZAPRE, Fidèle BACYE, Marina SOME, Olatoundoun SUSANA et notre chère Sandrine SOMA, les frères et sœurs de la chorale du Temple Bethel et du groupe musical, de même qu'à notre équipe de Handball ;

A notre Pasteur Yohanna DRABO, nous disons merci pour ses nombreuses prières à notre endroit. Que le Dieu de puissance le fortifie dans sa mission ;

A nos amis Yannick OUBDA, Kalo OUATTARA, Bienvenue ZOMA, Melissa PARE, Rachidatou SOMA, notre chère Sandrine SOMA et à tous nos promotionnaires, nous souhaitons qu'ils excellent dans ce qu'ils entreprennent ;

A tous nos oncles et tantes notamment le Pasteur TRAORE Thomas et épouse, le Pasteur Japhet DAKUO, M. Aly TRAORE, M. Seydou GANOU et épouse, M. Germain THIOMBIANO, M. Yves BARRO, Mme Aïcha BADO/BARRO, Mme AKOUM/BARRO Sali, Mme Jeanne SANON, Mme OUBDA, Mme Jeanne SAWADOGO/SANON, Mme SOMA/DJELBEOGO, M. Francis MODIBA, M. Drissa ZERBO, M. DJIRY Ezéchiel et épouse, nous disons merci. Que le Dieu de grâce les bénisse au centuple ;

A tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire d'une quelconque manière et dont les noms ne figurent pas sur ce mémoire, qu'ils reçoivent toute notre gracieuse gratitude.

A tous et toutes, je vous dis ceci : ' « Tout est possible par la foi en Jésus-Christ » Luc 1v37. Que les grâces et les bontés de Dieu se renouvellent constamment dans vos vies et ce dans le nom fort de notre Seigneur et Sauveur Jésus-Christ.



## SIGLES ET ABREVIATIONS

|                    |   |
|--------------------|---|
| <b>BBA :</b>       | Burkina Bio Tech Association  |
| <b>BG II :</b>     | Bollgard II   |
| <b><i>Bt :</i></b> | <i>Baccillus thuringiensis</i>  |
| <b>Cry :</b>       | Crystal   |
| <b>Cyt :</b>       | Protéine de petite taille synthétisée par <i>B. thuringiensis</i> ayant une action cytolytique non spécifique |
| <b>EPA :</b>       | <i>Environmental Protection Agency</i>  |
| <b>FAO :</b>       | Food and Agriculture Organization of the United Nations   |
| <b>IN.E.R.A :</b>  | Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles  |
| <b>Kda :</b>       | kilodalton  |
| <b>NT :</b>        | Non Traité  |
| <b>PV :</b>        | Produit Vulgarisé dans la fenêtre et dans la zone   |
| <b>RDS :</b>       | Refuge Dans le Sac  |
| <b>RIB :</b>       | Refuge In the Bag   |

## LISTE DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : Cycle biologique de <i>H. armigera</i> .....  | 10 |
| Figure 2: Cycle biologique de <i>B. thuringiensis</i> .....  | 18 |
| Figure 3 : Stratégie de zone refuge.....   | 23 |
| Figure 4 : Les divers types de zone refuge.....  | 25 |
| Figure 5 : Variation de la pluviosité et du nombre de jours de pluies des dix dernières années<br>(2004-2013) de Samandéni ..... | 33 |
| Figure 6 : 5% RDS 7,5% RDS.....  | 36 |
| Figure 7: Densité à la récolte sur 10 lignes de 20 m à Pô et à Samandéni.....  | 46 |
| Figure 8 : Histogramme des rendements en coton à Pô et à Samandéni.....  | 47 |

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Classification des delta-endotoxines de <i>B. thuringiensis</i> .....                                      | 19 |
| Tableau 2 : Réalisation des traitements insecticides selon le programme vulgarisé .....                                | 37 |
| Tableau 3 : Blocs de prélèvement .....   | 37 |
| Tableau 4 : Evaluations et calendrier .....  | 38 |
| Tableau 5 : Schéma du dispositif expérimental .....  | 39 |
| Tableau 6 : Produits de traitements insecticides utilisés .....  | 40 |
| Tableau 7 : Nombre moyen de ravageurs par plante de cotonnier conventionnel sur les quatre sites .....                 | 42 |
| Tableau 8 : Nombre de ravageurs par plante de cotonnier transgénique sur les quatre sites ...                          | 43 |
| Tableau 9 : Analyse sanitaire par plante de cotonnier conventionnel sur l'ensemble des quatre sites .....              | 44 |
| Tableau 10 : Analyse sanitaire des capsules par plante de cotonnier transgénique sur l'ensemble des quatre sites ..... | 44 |
| Tableau 11 : Effet des traitements sur le rendement (kg/ha) .....  | 45 |
| Tableau 12 : Rendements en coton graine sur les différentes modalités sur les sites de Pô et de Samandéni. ....        | 46 |
| Tableau 13 : Rentabilité ou performance agronomique du refuge dans le sac.....   | 47 |

## LISTE DES PHOTOS

|  |    |
|--|----|
| Photo 1 : <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner) .....             | 9  |
| Photo 2 : Structure tridimensionnelle des delta-endotoxines..... | 20 |

## RESUME

L'exploitation commerciale du coton *Bt* nécessite la mise en place d'une stratégie dans le but de retarder le délai d'apparition d'une éventuelle résistance aux toxines *Bt* au sein des populations de l'insecte ; c'est la zone refuge. Malgré son importance, les producteurs ont du mal à la mettre en place de manière structurée.

Cette étude a évalué les performances d'un nouveau concept de refuge de coton conventionnel, le refuge dans le sac (RDS) en vue de remplacer le refuge classique constitué de 20% de coton conventionnel.

La première année, les essais ont été conduits en station de recherche selon un dispositif en bloc de Fisher. La deuxième année, ils ont été conduits en milieu réel selon les techniques culturales de la zone.

En station de recherche, les résultats ont montré que le refuge dans le sac constitué de 5% de coton conventionnel héberge effectivement les ravageurs lépidoptères du cotonnier tout en évitant de réaliser des pertes considérables pour le producteur. Ce qui a valu son introduction en milieu paysan.

En milieu paysan, les performances du 5% refuge dans le sac par rapport au refuge classique 20% vulgarisé au Burkina Faso ont différé d'un site à un autre. Pendant que la profitabilité du refuge dans le sac à Pô par rapport au refuge classique 20% traité suivant le programme vulgarisé s'est traduite par un gain de 140 kg par l'hectare, elle se traduisait par une perte de 204 kg par hectare à Samandéni.

Au vu de ses résultats, l'expérimentation devra être poursuivie sur des années dans de nombreuses zones productrices de coton dans le but de pouvoir établir une base de données pouvant ainsi guider le choix des producteurs par rapport à la meilleure stratégie de refuge.

**Mots clés :** *Helicoverpa armigera*, coton *Bt*, résistance, refuge dans le sac, Burkina Faso.

## ABSTRACT

Commercial use of *Bt* cotton requires the implementation of a strategy to delay the time to onset of possible resistance to *Bt* toxins in the insect populations; it is the refuge area. Despite its importance, the producers are struggling to put in place a structured way.

This study evaluated the performance of a new concept of conventional cotton refuge; refuge in the bag (RIB) to replace the traditional refuge consists of 20% conventional cotton.

The first year, the tests were conducted according to a research station device block Fisher. The second year, they were taken in a real environment by cultivation techniques in the area.

Research station, the results showed that the refuge in the bag consisting of 5% conventional cotton actually hosts the lepidopteran cotton pests while avoiding to considerable losses for the producer; which earned its introduction in rural areas.

At farm level, the performance of 5% refuge in the bag compared to the conventional 20% refuge popularized Burkina Faso differed from one site to another. While the profitability of refuge in the bag Po compared to conventional 20% refuge treated according popularized program has resulted in a gain of 140 kg per hectare, it resulted in a loss of 204 kg per hectare Samandéni.

In view of the results, testing should be continued in the years in many cotton growing areas in order to establish a database and can guide the choice of producers over the best strategy for refuge.

**Keywords:** *Helicoverpa armigera*, *Bt* cotton, resistance, refuge in the bag, Burkina Faso.

## INTRODUCTION

Le coton appelé « or blanc » constitue la principale source d'entrée de devises pour le Burkina Faso après l'or. En effet, l'or contribuerait à la formation du PIB à hauteur de 1116 milliards de francs CFA soit environ 20% contrairement au coton qui contribuerait pour 11% (Tiaho, 2013). Avec une production estimée à plus de 630 000 tonnes de coton graine en 2013, le Burkina Faso se classe au premier rang des producteurs de coton en Afrique connaissant ainsi une hausse de 51% par rapport à la précédente campagne (Burkina Bio Tech Association, 2013). En plus, la filière coton satisfait à 40% la consommation nationale en huile (Tiemtoré, 2007).

Malgré cette importance, la filière cotonnière doit faire face à de nombreuses difficultés aux nombres desquelles nous avons : la baisse de la fertilité des sols, la baisse des cours mondiaux de la fibre de coton et les difficultés de contrôle des nuisibles. Le cotonnier est l'une des plantes les plus attaquées au monde (Traore, 2008). La même source nous rapporte qu'on a recensé plus de 1300 espèces d'insectes et d'acariens auxquels s'ajoutent des nématodes et mammifères sur cette culture.

Un lépidoptère de la famille des *Noctuidae*, *Helicoverpa armigera*, insecte polyphage et vorace attaquant les organes fructifères, est responsable d'une part importante de ces dégâts (Drabo, 2005). Kranthi *et al.*, (2002) nous rapportent qu'en 1996 en Inde, les pertes dues à *H. armigera* étaient estimées à 300 millions de dollars et à 35 millions de dollars en Australie. Selon Nibouche (1994), Au Burkina Faso, les infestations de cette noctuelle en 1991 ont occasionné des pertes de récolte d'environ 50000 tonnes de coton soit 4 milliards de francs CFA.

Les pertes de récolte peuvent atteindre 90% en l'absence de traitement phytosanitaire (Tiemtoré, 2007 ; Dakuo, 2012) ; ce qui rend la culture du coton fortement tributaire des pesticides notamment des insecticides. Selon la FAO (1999), c'est la culture qui nécessite plus d'insecticides que toute autre culture à l'échelle mondiale. Près de 14,8 milliards de francs CFA ont été nécessaires pour l'achat des pesticides de synthèse en 2005 au Burkina Faso (Dakuo, 2005).

Le contrôle de la noctuelle reposait essentiellement sur l'utilisation d'insecticides de la famille des pyréthrinoïdes car ils présentaient plusieurs avantages à savoir leur faible coût, leur faible persistance dans l'environnement, leur bonne efficacité sur les cibles à dose basse et leur faible toxicité pour l'utilisateur (Héma, 2004). Seulement, leurs recours massifs pour lutter contre les chenilles de *Helicoverpa* ont très vite provoqué les premiers cas de résistance en Australie (1983), puis en Turquie et en Thaïlande (1984-1985) et plus récemment en Afrique (1996-1997) au sud et à l'ouest (Martin *et al.*, 2000 ; Jamin *et al.*, 2003). Les corollaires sont la perte d'efficacité des pyréthrinoïdes ; l'apparition de la résistance chez la noctuelle, l'élimination des ennemis naturels et la pollution de l'environnement (McCaffery et Ahrnad, 1998 ; Head *et al.*, 1998 ; Menozzi *et al.*, 2002 ; Héma, 2004).

Face à ce phénomène de résistance, de nombreuses alternatives ont été explorées en vue d'un meilleur contrôle des ravageurs du cotonnier. L'une de ces alternatives a été l'utilisation de la biotechnologie pour le contrôle des insectes nuisibles (FAO, 2004).

Somé (2007) nous rapporte qu'au cours des deux dernières décennies, des gènes modifiés de diverses sous-espèces de *Bacillus thuringiensis* (Berliner), codant pour des protéines insecticides, ont été introduits dans des plantes cultivées telles que le maïs, la pomme de terre, le tabac, la tomate et le coton, leur conférant ainsi une protection contre certains insectes.

Le cotonnier transgénique est un cotonnier dans lequel un gène de la bactérie *B. thuringiensis* a été inséré en vue de résister aux populations des larves de certains lépidoptères (Tiemtoré, 2007). Le gène *Bt* synthétise des toxines connues sous le nom de delta-endotoxine qui, une fois ingérées par l'insecte, paralysent son tube digestif entraînant de ce fait sa mort dans les quarante-huit heures.

Au Burkina Faso, l'efficacité du coton *Bt* a été confirmée après trois années d'expérimentation (Programme Coton, 2003 ; 2004). Ainsi, les traitements insecticides généralement appliqués contre les lépidoptères ne sont plus justifiés avec ce type de cotonnier, ce qui a entraîné des bénéfices non négligeables tant sur le plan économique, sanitaire qu'environnemental (Renaudin *et al.*, 2012 ; Dakuo, 2012). Toutefois, les avantages liés à la culture *Bt* pourraient être de courte durée si une stratégie de gestion de la résistance ne l'accompagnait pas. Cette inquiétude est d'autant plus justifiée car des études récentes ont



révélé certains cas de résistance des insectes à certaines toxines (Carrière *et al.*, 2010 ; Downes *et al.*, 2010 ; Monsanto ; 2010 ; Storer *et al.*, 2010).

La culture du coton *Bt* à grande échelle nécessite donc des stratégies de gestion appropriée pour prévenir et/ou retarder la manifestation de la résistance. Une des stratégies utilisées consiste à minimiser la pression de sélection sur les ravageurs en réduisant leur exposition aux toxines *Bt* ; c'est la création d'une zone refuge (Bourguet *et al.*, 2003 ; Head, 2007 ; Carrière, 2009). Une zone refuge en culture cotonnière - en général 20% de coton conventionnel de la surface du champ - est une zone qui fournit un abri pour des insectes qui restent sensibles à l'insecticide *Bt* produit par la culture *Bt*. Elle permet de ce fait aux rares insectes survivants après avoir ingéré les cultures *Bt* de pouvoir se reproduire avec des insectes sensibles et engendrer une descendance elle-même sensible au *Bt* (Monsanto, 2011). Par ailleurs, cette zone refuge est protégée chimiquement contre les ravageurs (Tiemtoré, 2007).

Au Burkina Faso, c'est la même stratégie de zone refuge qui a été recommandée aux producteurs. Quand bien même cette exigence de 20% en culture conventionnelle ait fait ses preuves (Tiemtoré, 2007 ; Brévault *et al.*, 2011), elle semble difficilement acceptée par les producteurs. Cette réticence se justifie en trois points : d'abord, c'est la difficulté du respect des exigences du refuge. Ensuite, les producteurs n'ont pas très envie de réserver jusqu'à 20% de leur superficie en coton conventionnel et de surcroît s'ils doivent déboursier de l'argent pour traiter chimiquement cette zone refuge.

C'est dans cette recherche de solutions durables et pratiques à la stratégie de la zone refuge constituée de 20% de cotonniers conventionnels que l'INERA, en collaboration avec Monsanto, a mis en expérimentation en milieu contrôlé la stratégie du refuge dans le sac (RDS). D'où le thème de notre étude qui s'intitule : « Prévention de la résistance de *Helicoverpa armigera* aux toxines *Bt* par l'utilisation du refuge dans le sac (RDS) en culture du cotonnier transgénique BOLLGARD II au Burkina Faso ».

L'objectif de cette étude était de comparer les performances agronomiques du RDS 5% par rapport à celles du refuge classique constitué de 20% de cotonniers conventionnels.

L'étude s'est basée sur les hypothèses suivantes :

- Le RDS 5% héberge les larves de Lépidoptères ;
- La présence de la plante de cotonnier conventionnel entourée par huit plantes *Bt* n'occasionne pas des dommages sur ces dernières ;
- Le RDS 5% n'entraîne pas des pertes importantes de rendement et
- Le RDS 5% n'engendre pas de résistance chez les larves de Lépidoptères issues des pieds de cottonniers conventionnels aux toxines *Bt*.

Le premier chapitre est consacré à la revue bibliographique, le second chapitre concerne la partie matériel et méthodes et le troisième chapitre, les résultats et la discussion.

# CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

## I. Cotonnier et ses ravageurs

### 1.1. Cotonnier

#### 1.1.1. Botanique

Le cotonnier est une dicotylédone appartenant à la famille des *Malvaceae*, à la tribu des *Hibisceae* et au genre *Gossypium* (Calan, 1966).

Selon Fryxell (1984), il existe quatre (4) espèces, caractérisées par la présence sur les graines de poils cellulosiques utilisées par l'industrie chimique qui constituent le groupe des cottonniers cultivés. Il s'agit de :

- deux espèces diploïdes (*Gossypium herbaceum* et *G. arboreum*) ;
- deux espèces tétraploïdes (*G. hirsutum* et *G. barbadense*).

Au Burkina-Faso, c'est l'espèce *G. hirsutum* qui est utilisée (Parry, 1982).

#### 1.1.2. Morphologie

Le cotonnier est une plante arbustive, recouverte souvent de poils et parsemée de glandes. Il possède une racine pivotante, une tige principale portant des branches végétatives et des branches fructifères (Fryxell, 1984). Les fruits sont des capsules rondes ou ovoïdes, composées de quatre (4) à cinq (5) loges, contenant chacune six (6) à douze (12) graines (Sement, 1986). Selon Mauney (1984), les graines sont recouvertes de poils dont les plus longs correspondent à la fibre tandis que les poils courts forment une sorte de duvet appelé *linter*.

#### 1.1.3. Cycle biologique du cotonnier

Sur le plan physiologique, le cotonnier est une plante pérenne qui s'est adaptée aux conditions d'une culture annuelle (Calan, 1966). Selon Parry (1982), le cycle biologique du cotonnier comprend quatre (4) phases :

- le stade de la levée allant du semis à l'étalement des cotylédons, dure six (6) à dix (10) jours en conditions normales ;
- le stade végétatif qui s'étale de la plantule à l'ouverture de la première fleur ; cette phase est caractérisée par un développement rapide du système racinaire, l'apparition des monopodes (système de ramification dans lequel l'axe principal reste dominant) et des branches fructifères. Sa durée est de 40 à 60 jours ;

- le stade reproducteur qui débute à la floraison et prend fin lorsque le développement végétatif s'arrête ; il dure environ 50 jours et est marqué surtout par la fécondation et
- le stade de maturation allant de l'arrêt du développement végétatif à la fin de l'ouverture des fleurs. Au cours de ce stade, la capsule se forme, grossit et atteint sa taille définitive. Sa durée varie entre 50 et 80 jours.

La durée totale du cycle du cotonnier varie entre 140 et 250 jours (Parry, 1982).

#### **1.1.4. Importance du coton**

Le coton est un produit de base important pour l'économie mondiale ([www.guidedecoton.org](http://www.guidedecoton.org)). Il est principalement produit pour sa fibre, laquelle est utilisée de par le monde comme matière textile. Par ailleurs, les graines de coton peuvent produire divers coproduits, en particulier de l'huile et des tourteaux de haute valeur protéique (Berti *et al.*, 2006). Cultivé dans plus de 100 pays, le coton est un produit agricole de base qui fait l'objet d'échanges commerciaux très nombreux, plus de 150 pays étant impliqués dans l'importation ou l'exportation du coton. D'après la note de synthèse d'AgriTrade (2013), la production mondiale de coton en 2012/2013 a été estimée à 26,39 millions de tonnes.

Les pays Afrique Caraïbes Pacifiques ne comptent que 5% de cette production mondiale de coton ; cependant ce produit garde une importance économique et sociale considérable dans certains pays producteurs de coton : le Bénin, le Burkina Faso, le Tchad et le Mali, connus comme le groupe C4 (AgriTrade, 2013).

En effet, le coton constitue l'une des principales cultures de rente dans la sous-région ouest africaine. Il occupe plus de 10 millions d'agriculteurs. En 2012/2013, la production de coton pour cette zone est d'environ 1,8 millions de tonnes c'est-à-dire plus 28% par rapport à 2011/2012, progresserait encore de 20% pour atteindre 2,1 millions de tonnes en 2013/2014 (AgriTrade, 2013).

Le Burkina Faso est redevenu le premier producteur de la région avec 630 000 tonnes produites en 2012/2013, soit 51% de plus qu'en 2011/2012 (Comité consultatif international du coton, 2013). En 2013, la production attendue est d'environ 700 000 t de coton graine (CCIC, 2013).

Au regard de cette production, nous comprenons donc que la culture du coton constitue une importante source de devises non seulement pour les agriculteurs, mais aussi pour le pays tout en entier. Selon la Sofitex (2013), c'est plus de 154 milliards de francs CFA qui seront directement répartis entre les cotonculteurs en 2013. Aussi, faut-il ajouter les autres acteurs qui bénéficient de la filière cotonnière. Ce sont les huiliers qui reçoivent les graines de coton pour la fabrication de l'huile, de savon. En effet, selon Dakuo (2012), le coton représente 50% des besoins en huile. Par ailleurs, le coton est la seule production agricole monétaire au Burkina Faso assurant régulièrement aux agriculteurs des revenus garantis, les prix étant fixés à l'avance et le rendement relativement stable. De ce fait, ces revenus permettent aux agriculteurs de supporter les coûts de production, les dépenses personnelles et d'accumuler du capital (Vognan *et al.*, 2002 cité par Tiemtoré, 2007). C'est donc dire que le coton est capital pour l'économie du Burkina Faso et est un facteur de lutte contre la pauvreté.

## 1.2. Principaux ravageurs du cotonnier

Tout au long de son cycle, le cotonnier est sujet à de nombreuses attaques des insectes occasionnant de ce fait des dommages tant sur le rendement que sur la qualité de la fibre produite.

Stimamiglio et Chabert (2004) ont classé les ravageurs du cotonnier en cinq (5) suivant leur régime alimentaire :

- **les carpophages**, ce sont des insectes de l'ordre des Lépidoptères dont les larves attaquent les boutons floraux, les fleurs et les capsules. Ils sont très nuisibles et susceptibles d'anéantir toute une récolte en absence de traitement. Dans ce groupe, on distingue les exocarpiques et les endocarpiques. Les exocarpiques regroupent : *Helicoverpa armigera* (Hübner), *Diparopsi watersi* (Rothschild), *Earias biplaga* (Walker) et *E. insulana* (Boisduval). Quant au groupe des endocarpiques, peu nombreux au Burkina Faso, nous avons : *Pectinophora gossypiella* (Saunders), *Thaumatotibia (Cryptophlebia) leucotreta* (Meyrick) ;
- **les phyllophages**, ce sont des Lépidoptères dont les larves attaquent le système foliaire ; ils sont représentés par *Spodoptera littoralis* (Boisduval), *Haritalodes (Syllepte) derogata* (Fabricius) et *Anomis flava* (Fabricius) ;
- **les piqueurs-suceurs**, ce sont des Homoptères. Leurs dégâts sont causés par les larves et les adultes de *Aphis gossypii* (Glover), *Bemisia tabaci* (Gennadius) et

*Jacobiella* sp. Ces insectes sont aussi des vecteurs de certaines maladies du cotonnier (Cauquil, 1986) ;

- les Hétéroptères piqueurs de capsules regroupent *Dysdercus volkeri* (Schmidt), *Nezra* sp. et

- les acariens : dans ce groupe, l'espèce la plus courante est *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) et provoque généralement une déformation des organes.

De tous ces ravageurs, *H. armigera* est le plus nuisible en Afrique, en Asie et en Océanie (Carron, 1991).

### 1.2.1. Systématique et aire de répartition de *Helicoverpa armigera* (Hübner)

*Helicoverpa armigera* est un insecte appartenant à l'embranchement des Arthropodes, à la classe des Insectes, à l'ordre des Lépidoptères, à la famille des *Noctuidae* et à la sous-famille des *Heliothinae* (King, 1994).

Fabricius, en 1794, fut le premier à en faire la description sous le nom de *Noctua barbara* (Hardwick, 1965). Puis la noctuelle fut rebaptisée successivement sous les noms de *Noctua armigera*, *Heliothis armigera* et finalement *Helicoverpa armigera* par Hübner.

L'insecte présente une large répartition géographique. On le retrouve en Afrique, en Australie, en Asie, en Europe (Cauquil, 1986 cités par Héma, 2004; Drabo, 2005).

### 1.2.2. Description morphologique de la noctuelle

#### 1.2.2.1. Oeufs

Ils sont subsphériques, avec une taille variant entre 0,4 et 0,5 mm. De couleur blanchâtre à la ponte, les œufs virent au brun avant l'éclosion (Toguebaye et Couilloud, 1982) (Photo 1-C).

#### 1.2.2.2. Larves

Nous comptons six stades larvaires. La couleur des larves de premier et de deuxième stades est grisâtre, puis jaunâtre ; la capsule céphalique varie de la couleur brun-noire au brun-foncé. A partir du troisième stade, la capsule céphalique prend une couleur orangée. La couleur générale du corps varie du gris au jaune tandis que des séries de fines bandes longitudinales alternées claires et sombres ornent la face dorsale. Sur les flancs, on observe une large bande blanchâtre (Toguebaye et Couilloud, 1982) (Photo 1-B).

### 1.2.2.3. *Chrysalides*

Sans cocon, les chrysalides se trouvent dans le sol dans une loge nymphale. Elles ont une couleur marron et mesurent environ 15 mm (Delattre, 1973) (Photo 1-D). A ce stade, on peut déterminer le sexe de l'insecte en examinant la face ventrale des derniers segments abdominaux à la loupe (Nibouche, 1999).

### 1.2.2.4. *Adultes*

Ce sont des papillons de nuit de 30 à 40 mm d'envergure. Il n'existe pas de différence de taille entre les deux sexes ; le dimorphisme sexuel étant basé essentiellement sur la couleur. En effet, le mâle est gris-vert tandis que la femelle est brun-orangée (Nibouche, 1994) (Photo 1-A).



Adultes : femelle (à gauche), mâle (à droite)



Larves sur une capsule de cotonnier



Œuf



Chrysalide

Source : <http://www.leps.it/images/Noctuidae>

Photo 1 : *Helicoverpa armigera* (Hübner)

1- Adultes : femelle (à gauche), mâle (à droite) ; 2- Larves sur une capsule de cotonnier ; 3- Œuf ; 4- Chrysalide

### 1.2.3. Cycle biologique de *H. armigera*

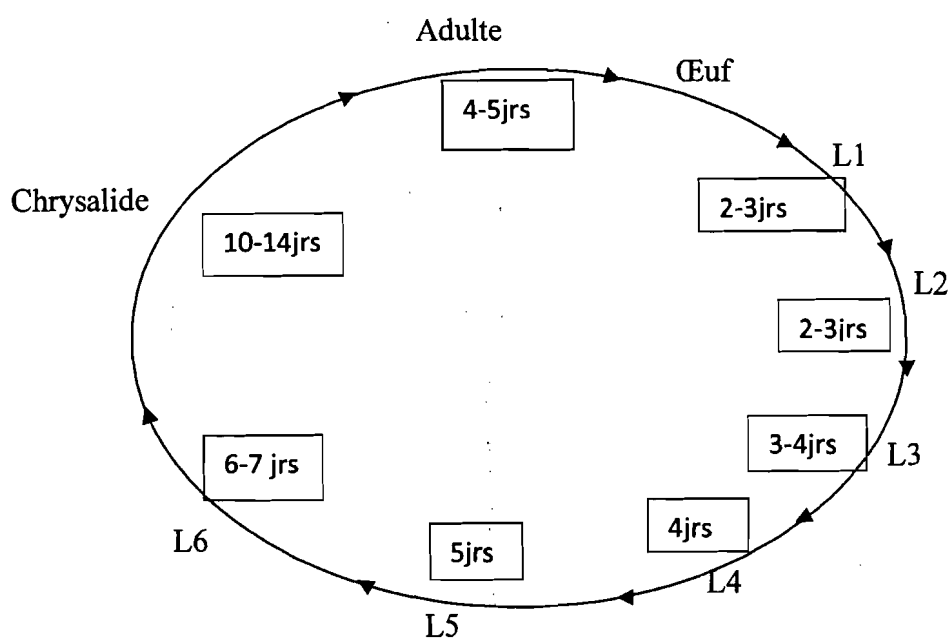
La durée du cycle de l'insecte est fonction de la température (Ulrichs, 2002). Elle est d'environ 40 jours à 25°C et à 70% d'humidité (Castella, 1996) (figure1).

Dans les régions tempérées, *H. armigera* se trouve à l'état de chrysalide, enfoui dans le sol à plusieurs centimètres (cm) de profondeur ; ce qui réduit le nombre de générations à deux (2)

ou trois (3) par an dans ces régions. En zone tropicale, lorsque le régime des pluies permet la présence permanente des plantes hôtes cultivées ou spontanées, l'activité de la noctuelle est continue (King, 1994).

Les larves passent par cinq (5) ou six (6) stades de développement puis s'enfouissent dans le sol pour nymphoser. La durée du stade larvaire est d'environ 25 jours. L'émergence des papillons intervient 10 à 14 jours plus tard (Parry, 1982).

Il est possible de bloquer le développement de l'insecte en plaçant les larves du stade pré-nymphal à une température de 15°C (Giret et Couilloud, 1982).



Source : Uraichuen (2002)

Figure 1 : Cycle biologique de *H. armigera*

#### 1.2.4. Plantes hôtes et dégâts

La noctuelle *Helicoverpa armigera* est un insecte polyphage qui attaque plus de 200 espèces appartenant à une cinquantaine de familles (Nibouche, 1999 ; Don et Crossley, 2001). Elle est l'un des principaux ennemis du cotonnier mais ses dégâts peuvent être importants sur les plantes potagères telles que la tomate, les légumineuses, les cucurbitacées (Kranthi et Russell, 2004).

Sur le cotonnier, l'insecte attaque les boutons floraux, les capitules des fleurs, les capsules, mais rarement les feuilles (Bues et al., 2004). Durant la campagne agricole 1996-1997, la noctuelle a occasionné des pertes estimées à 300 millions de dollars en Inde et 35 millions de dollars en Australie (Kranthi et al., 2002). Selon Nibouche (1994), les infestations de *H.*



*armigera* en 1991, ont causé des pertes de récolte d'environ 50 000 tonnes de coton graine correspondant à plus de 10 millions de dollars. C'est donc dire que *H. armigera* nécessite un suivi particulier.

## **II. Protection phytosanitaire du cotonnier**

Compte tenu de son importance économique et de sa grande sensibilité face aux maladies et aux ravageurs, le cotonnier est l'une des plantes les plus protégées. Cette protection est essentiellement basée sur l'utilisation des produits chimiques appartenant à plusieurs familles d'insecticides (Gunning *et al.*, 1990 ; Beyo *et al.*, 2002).

### **2.1. Familles d'insecticides**

#### **2.1.1. Organochlorés (OC)**

Contenant du Chlore dans leur composition, les OC se caractérisent par une forte rémanence et une toxicité élevée pour l'homme (Castella, 1996). L'endosulfan et le DDT appartiennent à ce groupe.

#### **2.1.2. Organophosphorés et les carbamates**

Ils sont relativement peu rémanents mais très toxiques avec un large spectre d'action. Les insectes cibles sont généralement les piqueurs-suceurs et les broyeurs (Rodriguez *et al.*, 1993). Le profenofos et le triazophos sont des organophosphorés ; le benfuracarbe et l'aldicarbe appartiennent à la famille des carbamates.

#### **2.1.3. Pyréthrinoïdes**

Ce sont des insecticides synthétisés à l'image du pyrethrum naturel (Pinchard, 1993 ; Eyanati *et al.*, 2001). Très sélectifs, ils demeurent la famille de pesticides la plus utilisée dans le contrôle des ravageurs en agriculture (Miller, 1988). Comme la plupart des insecticides, les pyréthrinoïdes sont neurotoxiques ; sur le plan moléculaire, ils peuvent interagir avec le canal sodium qui est leur cible principale (Delorme, 1985 ; Eyanati *et al.*, 2001).

Dans cette famille, la cyperméthrine et la deltaméthrine sont les plus connues actuellement et aussi les plus utilisées dans la culture cotonnière ; elle agit par contact et par ingestion.

#### 2.1.4. Nouvelles familles d'insecticides

**Les Néonicotinoïdes** : ils agissent par contact et par ingestion sur les Homoptères et les Coléoptères. Leur action est très réduite sur les ennemis naturels ; l'imidacloprid, l'acétamiprid et le thiaméthoxame appartiennent à cette famille.

**Les Naturalites** : neurotoxiques, elles agissent par ingestion et par contact. Elles sont très efficaces vis-à-vis des Lépidoptères, mais leur effet est négligeable sur les piqueurs-suceurs et les mammifères ; il s'agit du spinosad et de l'indoxacarb.

**Les I. G. R.** (Insect Growth Regulator) : ce sont les régulateurs de croissance des insectes. Ils regroupent des insecticides ayant divers sites d'action ; on peut citer le pyriproxifen, le benzoyl-phenyl-urée, le buprofezin, le fenoxycarb, l'halofenozide, ...

#### 2.2. Mode d'action des insecticides

Selon Alaux (1994), un insecticide agit sur les insectes selon le schéma suivant :

1. L'absorption par diverses voies (cutanée, orale, respiratoire), la pénétration et la distribution du produit à l'intérieur des cellules ;
2. La métabolisation qui transforme l'insecticide liposoluble en molécule hydrosoluble ;
3. L'action du produit sur la cible qui est généralement le système nerveux et la membrane axonique pour les organochlorés et les pyréthriinoïdes (Eyanati *et al.*, 2001), les synapses pour les organophosphorés et les carbamates (Denhold *et al.*, 1997).

Les programmes de protection classique développés sur le cotonnier dans la sous-région Ouest Africaine comptaient quatre (4) à cinq (5) traitements, espacés de 14 jours (à partir de 50 jours après la levée du cotonnier) (Héma, 2004). De nos jours, ces programmes ne permettent plus de maîtriser les populations des insectes, notamment celles de *H. armigera* qui sont devenues résistantes aux pyréthriinoïdes (Mc Caffery et Ahmad, 1988 ; Gunning *et al.*, 1996 ; Traoré *et al.*, 1997 ; Ahmad *et al.*, 1998 ).

### III. Résistance des insectes

#### 3.1. Résistance aux insecticides chimiques

##### 3.1.1. Notion de résistance

Pour Guillet (1997), la résistance correspond à l'apparition dans une population de gènes « nouveaux » ou de surproduits provoquant une métabolisation accrue des insecticides ou une modification de leurs cibles.

Pour parler de résistance, il faut que quatre (4) critères soient vérifiés (Stimamiglio et Chabert, 2004) :

- Le ravageur incriminé doit avoir été bien maîtrisé par l'insecticide dans le passé ;
- L'échec du produit ne doit pas être la conséquence d'un mauvais stockage ou d'une mauvaise application ;
- La perte d'efficacité du produit doit être établie ;
- Et il doit être montré que la sensibilité du ravageur envers le produit a été altérée.

##### 3.1.2. Mécanismes de résistance

Plusieurs mécanismes de résistance ont été développés par les insectes en réponse à l'action nocive des insecticides (Russell *et al.*, 2004 ; Ahmad, 2004). Il s'agit de :

- La modification du comportement : l'insecte devient résistant en évitant simplement les produits ;
- La réduction de la pénétration de l'insecticide dans l'organisme et l'excrétion accélérée des produits ; ce qui empêche l'atteinte de la cible par les insecticides ;
- La modification de la cible : à ce niveau, il y a empêchement d'intégration de la substance active dans le processus de transfert de l'information nerveuse. Selon Heckel *et al.*, (1997), la modification du canal sodium est due à une mutation du gène *kdr* (Knock down résistance).
- La métabolisation des produits dans l'organisme ou détoxification : cette métabolisation des produits altère la substance active et la rend inoffensive pour l'insecte. Les enzymes impliqués dans ces réactions sont des estérases, des mono-oxygénases et des glutathions-transférases. Si l'activité d'une de ces enzymes augmente, cela peut entraîner le développement d'une résistance (Gunning *et al.*, 1999). La résistance de *H. armigera* aux pyréthrinoïdes en Afrique de l'ouest est la conséquence de la surproduction de mono-oxygénases (Brun *et al.*, 2010).

La modification du site d'action et la détoxification sont les deux mécanismes les plus importants de la résistance des insectes aux insecticides (Traoré, 1997).

### **3.1.3. Types de résistance**

Il existe trois (3) types de résistance (Balboné, 2008). Il s'agit de :

- La résistance croisée : celle-ci s'applique à la résistance d'une souche d'insectes à l'égard de composés autres que l'agent de sélection, en raison du même mécanisme biochimique.
- La résistance multiple s'observe lorsque deux ou plusieurs mécanismes sont en présence, chacun d'eux assurant la protection contre différents insecticides.
- On parle de résistance multipliée lorsque deux ou plusieurs mécanismes coexistent à l'intérieur du même organisme et le protègent contre le même insecticide. Ce type de résistance provient généralement de l'usage simultané ou consécutif de plusieurs insecticides dans des conditions de plein champ (Kumar, 1991).

## **3.2. Effets de l'usage des insecticides chimiques**

### **3.2.1. Organismes non cibles**

Les insecticides affectent les processus biologiques de nombreux organismes vivants et peuvent ainsi s'avérer toxiques pour un grand nombre d'animaux autres que ceux appartenant aux espèces visées.

Au sud des Etats-Unis, l'usage d'importants insecticides sur le cotonnier a permis à l'araignée jaune d'acquérir le statut de ravageur économique.

Des études approfondies effectuées sur l'influence des insecticides sur les ennemis naturels ont démontré que les insecticides perturbent la relation ravageur-ennemi naturel, dont les conséquences sont la résurgence d'attaques de ravageurs secondaires et les risques pour les applicateurs.

### **3.2.2. Problèmes de résidus**

De nombreux insecticides et surtout les organochlorés laissent des résidus dans les biotopes terrestres et aquatiques provoquant de fait une concentration cumulative dans la chaîne alimentaire et l'amplification biologique. En effet, ces insecticides ne sont pas sans danger car ils peuvent avoir des effets défavorables sur les écosystèmes en créant un déséquilibre qui affecte la chaîne alimentaire, les insectes nécrophages, les relations insectes-hôtes, les relations insectes-plantes. De très faibles concentrations peuvent également avoir des conséquences biologiques significatives. Ces résidus peuvent encore développer des effets néfastes pour la fertilité du sol, en éliminant la faune arthropode, ainsi que pour les cultures avoisinantes et cultures ultérieures (Kumar, 1991 ; Ouattara *et al.*, 2010).

### **3.3. Stratégie de gestion de la résistance des insectes aux insecticides chimiques**

Suite au constat de l'accroissement du niveau de la résistance des insectes aux pyréthrinoïdes vulgarisés en Afrique de l'Ouest, un programme sous-régional visant à réduire l'utilisation de ceux pour lesquels *H. armigera* a développé une résistance a été adopté. Ce programme vise à retarder l'accoutumance des ravageurs aux nouvelles molécules. Cette situation a amené également le Burkina Faso à rechercher une alternative et à opter pour l'expérimentation du coton transgénique.

## **IV. Coton génétiquement modifié**

### **4.1. Biotechnologies**

L'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) définit les biotechnologies comme « l'application de la science et de la technologie aux organismes vivants à d'autres matériaux vivants ou non vivants, pour la production de savoir, biens et services ».

#### **4.1.1. Contributions du Coton Génétiquement Modifié (CGM)**

La biotechnologie est d'un intérêt inestimable au vu de sa contribution :

- Elle offre une meilleure protection contre l'un des principaux parasites du cotonnier *H. armigera*, permettant à cette culture de fournir un nombre plus important de capsules saines ;
- Elle contribue ainsi à relever les rendements moyens du cotonnier (Dakuo, 2012). Vitale *et al.* (2008) ont montré à partir d'essais réalisés en station pendant trois ans, que l'utilisation du coton *Bt* augmente les rendements de 20% en moyenne. Les auteurs, en extrapolant ces résultats et en utilisant un modèle économique, annonçaient alors que la culture des CGM pouvaient générer des bénéfices de 106 dollars par hectare lors d'une année « typique » en ce qui concerne la pression des ravageurs ;
- En plus, la technologie *Bt* permet une diminution des doses de pulvérisations et donc des coûts d'insecticides. Selon Vitale *et al.* (2008), les biotechnologies réduisent de deux tiers les applications d'insecticides ; ce qui permet de faire des économies de main-d'œuvre et d'argent ;
- Outre la diminution du nombre de pulvérisations des insecticides, la technologie *Bt* permet la réduction des intoxications des agriculteurs, la réduction de la pénibilité du travail et l'utilisation du temps réservé aux pulvérisations insecticides pour d'autres tâches (Dakuo, 2012).

Enumérant les avantages du coton *Bt* pour le Burkina Faso, l'AIB (Agence d'information du Burkina) a indiqué une augmentation de rendement de 19,7%, une réduction de 6 à 2 pulvérisations, une économie d'eau de 76,320 millions de litres et un bénéfice potentiel en 2012 de 30 millions de dollars US ([www.aib.bf/spip.php?article2797](http://www.aib.bf/spip.php?article2797)).

Par ailleurs, ces technologies *Bt* sont bénéfiques pour l'environnement en ce sens qu'elles contribuent à réduire les volumes des insecticides épandues, les volumes d'eau utilisée, les pollutions environnementales (eaux de surface, nappes phréatiques) et à réduire les risques vis-à-vis des insectes utiles et organismes non ciblés (Dakuo, 2012). Malgré cette importance, la technologie *Bt* ne va pas sans inconvénients.

#### **4.1.2. Risques liés à l'utilisation des biotechnologies**

Parmi les inconvénients, nous pouvons noter :

1. Le coût élevé de la technologie. En effet, au Burkina Faso, les semences *Bt* sont vendues à 27 000 francs CFA pour un hectare contre 870 francs CFA pour les semences conventionnelles (Renaudin *et al.*, 2012) ;
2. De plus, il y a un risque de dépendance vis-à-vis des multinationales ;
3. La technologie *Bt* nécessite un niveau de technicité élevée ; ce qui pose un bon nombre de problèmes aux producteurs. Parmi ces difficultés, nous notons le respect du Protocole de Cartagena ;
4. Perte d'efficacité des toxines *Bt* à des températures très élevées.

### **4.2. Bactérie *Bacillus thuringiensis***

#### **4.2.1. Historique**

Découvert pour la première fois au Japon en 1902 dans un élevage de vers à soie (*Bombyx mori*), *Bacillus thuringiensis* a été de nouveau isolé en 1911 en Thuringe (Allemagne) à partir d'une population de teigne de la farine (*Ephestia kuhniella*) par Berliner qui comprit l'utilisation possible de ce germe pour lutter contre les insectes nuisibles (Beegle et Yamamoto, 1992 ; Chauffaux, 1995). En effet, cette bactérie est utilisée depuis plus de 40 ans pour contrôler les insectes nuisibles de la famille des Lépidoptères (Bertz *et al.*, 2000). Ce produit représente plus de 90% du marché total des bio-pesticides (Franche et Duchoux, 2001 ; Ambec, 2004 cités par Tiemtoré, 2007).

#### 4.2.2. Description

*Bacillus thuringiensis* est une bactérie Gram-positif du sol, qui a la particularité de synthétiser un cristal protéique lors de la sporulation (Gill *et al.*, 1992 ; Chaufaux, 1995).

Sa classification classique se présente comme suit :

- Règne : *Bacteria*
- Embranchement : *Firmicutes*
- Classe : *Bacilli*
- Ordre : *Bacillales*
- Famille : *Bacillaceae*
- Genre : *Bacillus*
- Espèce : *thuriengiensis*

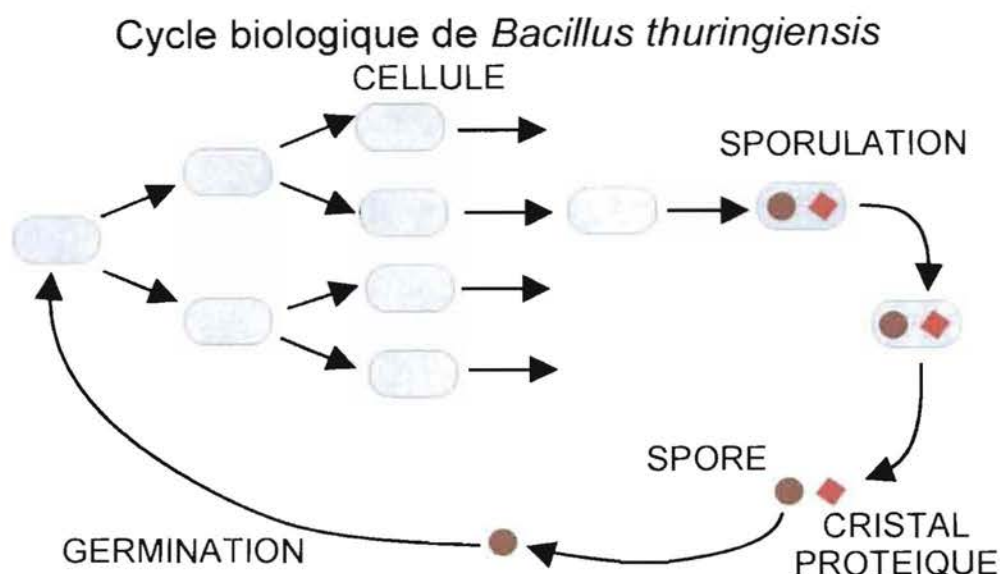
Source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Bacillus>

#### 4.2.3. Cycle de vie de *Bt*

Il comporte deux phases (figure 2) :

1. Une phase végétative pendant laquelle les cellules se multiplient de façon exponentielle par scissiparité et on assiste à la synthèse d'une exotoxine thermosensible appelée protéine insecticide végétative (Vegetative Insecticidal Protein ou V.I.P) (Vassal, 2004 cité par Balboné, 2008) ;
2. Une phase stationnaire pouvant conduire à une différenciation cellulaire : la sporulation. Les spores sont une forme de résistance qui assure la conservation et la dispersion de *Bt*, avant de germer pour donner un nouveau cycle de croissance végétative.

Simultanément à la sporulation, chaque bactérie produit des cristaux protéiques composés d'une ou de plusieurs toxines présentant des propriétés insecticides (Young *et al.*, cité par Drabo, 2005).



Source : [http://www.inapg.inra.fr/ens\\_rech/bio/biotech/textes/applicat/agricult/vegetable/protcult/entomo98/gpl/btpart1.htm](http://www.inapg.inra.fr/ens_rech/bio/biotech/textes/applicat/agricult/vegetable/protcult/entomo98/gpl/btpart1.htm)

**Figure 2:** Cycle biologique de *B. thuringiensis*

### 4.3. Delta-endotoxines

#### 4.3.1. Classification

Les delta-endotoxines de *Bacillus thuringiensis* encore appelées Cry (venant de crystal) ont été classifiées selon leur spécificité insecticide en cinq (5) groupes par Höfte et Whiteley (1989) (tableau 1) :

1. CryI, ce sont des toxines spécifiques aux Lépidoptères ; les cristaux ont une forme bipyramidale ;
2. CryII, les toxines sont spécifiques aux Lépidoptères et aux Diptères ; les cristaux ont une forme cubique ;
3. CryIII, sont spécifiques aux Coléoptères, les cristaux sont rhomboédriques ;
4. CryIV, ont pour cibles les Diptères et les cristaux ont une forme sphérique ;
5. CryV, ce sont des toxines efficaces contre les Lépidoptères et les Coléoptères ; les cristaux ont une forme bipyramidale.

Selon Uraichuen (2002), environ 225 toxines sont identifiées et classées en 37 groupes. Par ailleurs, *B. thuringiensis* synthétise une autre famille de protéines de petite taille ayant une action cytolytique non spécifique appelée Cyt (Thomas et Ellar, 1983).



Tableau 1: Classification des delta-endotoxines de *B. thuringiensis*

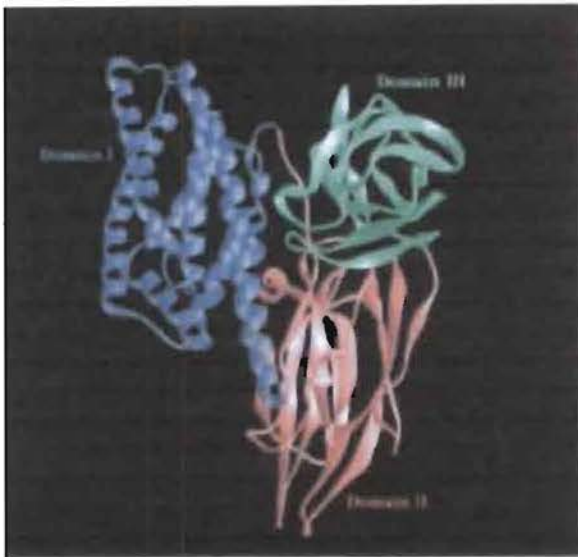
| δ-endotoxines |              | Insectes sensibles | Structure des cristaux      |               |
|---------------|--------------|--------------------|-----------------------------|---------------|
| Classe        | Taille (Kda) |                    |                             |               |
| CryI          | A            | 130-140            | Lépidoptères                | Bipyramide    |
|               | B            |                    |                             |               |
|               | C            |                    |                             |               |
|               | D            |                    |                             |               |
|               | E            |                    |                             |               |
|               | F            |                    |                             |               |
| CryII         | A            | 71                 | Diptères et Lépidoptères    | Cubique       |
|               | B            |                    | Lépidoptères                |               |
| CryIII        | A            | 68-73              | Coléoptères                 | Rhomboédrique |
|               | B            |                    |                             |               |
| CryIV         | A            | 125-145            | Diptères                    | Sphérique     |
|               | B            |                    |                             |               |
| CryV          | A            | 81                 | Lépidoptères et Coléoptères | Bipyramide    |
|               | B            |                    |                             |               |
| Cyt           | A            | 26-28              | Diptères                    | Sphérique     |
|               | B            |                    |                             |               |

Source : Höfte et Whiteley (1989).

### 4.3.2. Structure

Selon Li *et al.*, (1991), les delta-endotoxines présentent trois (3) domaines (photo 2) :

1. Le domaine I constitué de sept (7) hélices alpha, il est à l'extrémité de NH<sub>2</sub>-terminale et est responsable de la formation des pores ;
2. Le domaine II, comprenant trois (3) feuilles bêta, il permet la reconnaissance des récepteurs membranaires intestinaux ;
3. Le domaine III, du côté C-terminal, il n'a pas un effet direct sur les insectes ; cependant il joue un rôle important dans la stabilité du cristal.



Source : [http:// www.nal.usda.gov/bic/BTTOX/bttox.htm](http://www.nal.usda.gov/bic/BTTOX/bttox.htm)

Photo 2 : Structure tridimensionnelle des delta-endotoxines.

### 4.3.3. Mode d'action

Contrairement aux pyréthrinoïdes, les delta-endotoxines ne sont pas des insecticides de contact (Vassal, 2004). C'est suite à une ingestion par les insectes sensibles que la toxine agit (Heckel *et al.*, 1997 ; Kamrin, 1997 cités par Drabo, 2005).

Plusieurs étapes sont nécessaires avant que la toxine puisse acquérir son pouvoir insecticide :

#### *1. Solubilisation et activation*

Une fois ingérées, les protéines cristallines sont solubilisées dans l'intestin de l'insecte à un pH basique (10-12). Les protoxines libérées sont par la suite transformées en toxines actives après une lyse partielle par les enzymes du tube digestif (Whalon et McGaughey, 1998).

## **2. Liaison sur le site récepteur**

La toxine activée traverse la membrane péritrophique. Elle se fixe sur des récepteurs spécifiques, présents à la surface des microvillosités des cellules épithéliales de l'intestin moyen de l'insecte (Schnept *et al.*, 1998).

### *3. Formation des pores*

L'interaction toxine-récepteur aboutit à la formation d'un pore dans la cellule cible. Cela entraîne une perturbation des échanges ioniques, une modification du pH intestinal, puis la lyse de la cellule épithéliale de l'intestin. Cette lyse provoque une paralysie du tube digestif de l'insecte qui cesse de s'alimenter (Gill *et al.*, 1992) et meurt affamé un à trois jours après l'ingestion du cristal (Whalon et McGaughey, 1998 cités par Drabo, 2005).

## **4.4. Avènement de la résistance aux toxines *Bt***

### **4.4.1. Cas de résistance relevée aux toxines à travers le monde**

Avec l'arrivée de la technologie *Bt*, les producteurs voyaient le coton *Bt* comme une panacée. En effet, le coton *Bt* en produisant des toxines dites *Bt*, résiste aux diverses attaques des insectes. Mais force fut de constater que des cas de résistance aux toxines *Bt* furent relevés un peu partout dans le monde. En effet, certaines populations de la pyrale des céréales, *Busseola fusca* (Fuller), la légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith), le ver rose du cotonnier, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) et les vers de la capsule du coton, *Helicoverpa zea* (Boddie) et *H. punctigera* (Wallengren) ont développé respectivement une résistance à Cry1Ab du maïs en Afrique du Sud, Cry1F du maïs à Porto Rico, Cry1Ac du coton en Inde, Cry1Ac et Cry2Ab du coton aux Etats-Unis et Cry2Ab en Australie (Van Rensburg *et al.*, 2007 ; Tabashnik *et al.*, 2008, 2009 ; Bagla 2010 ; Carrière *et al.*, 2010 ; Downes *et al.*, 2010). Selon Matten *et al.*, (2008), Tabashnik *et al.*, (2009), Monsanto (2010) et Storer *et al.*, (2010), la résistance au champ a évolué et entraîné une augmentation de dégâts causés par *B. fusca*, *H. zea*, *S. frugiperda* et *P. gossypiella*. Par ailleurs, les données de surveillance en provenance de Chine et de l'Inde indiquent une augmentation de la fréquence de la résistance au coton Cry1Ac dans certaines populations de *H. armigera* (Hübner) (Liu *et al.*, 2009 ; Tabashnik *et al.*, 2009, cités par Brévault *et al.*, 2012).

#### **4.4.2. Cas du Burkina Faso**

A l'heure actuelle, aucune étude n'a révélé une résistance au champ des ravageurs aux toxines *Bt* au Burkina Faso. Cependant, selon Rouchouze (2002) cité par Tiemtoré (2005), tous les modèles mathématiques montrent qu'une population soumise à une forte pression de sélection et possédant au préalable un gène de résistance, aura tendance à produire des individus qui seront résistants ou tolérants à la source de la pression. C'est donc dire que la résistance est inévitable. Il importe donc de mettre en place une stratégie de gestion de la résistance des insectes afin d'assurer l'efficacité à long terme de cette technologie.

#### **4.5. Stratégie de gestion de la résistance aux toxines *Bt***

##### **4.5.1. Minimisation de la pression de sélection**

###### **4.5.1.1. Réduction de l'exposition aux toxines *Bt***

La réduction du contact des ravageurs avec les toxines peut se faire dans le temps et dans l'espace. Dans le temps, il faut procéder à des rotations de cultures avec des plantes non-*Bt*, jouer sur la date des semis afin d'éviter la coïncidence des périodes de floraison. Dans l'espace, on procède à la mise en place des refuges (Traoré, 2007).

###### **4.5.1.2. Maintien de zone refuge non-*Bt***

Un refuge est une zone (en général 20% de la surface du champ) qui fournit un abri pour des insectes qui restent sensibles à l'insecticide *Bt* produit par la culture transgénique. Cette zone refuge peut être semée à l'intérieur du champ ou à proximité. Dans le second cas, le refuge ne doit être situé à une distance de plus de 1,5 km et dans les deux cas, il ne doit être ensemencé par de la technologie *Bt* (Myre, 2010). Les insectes qui émergent du refuge demeurent sensibles aux protéines *Bt* (Traoré, 2007).

##### **4.5.2. Accouplement et production de descendance sensibles**

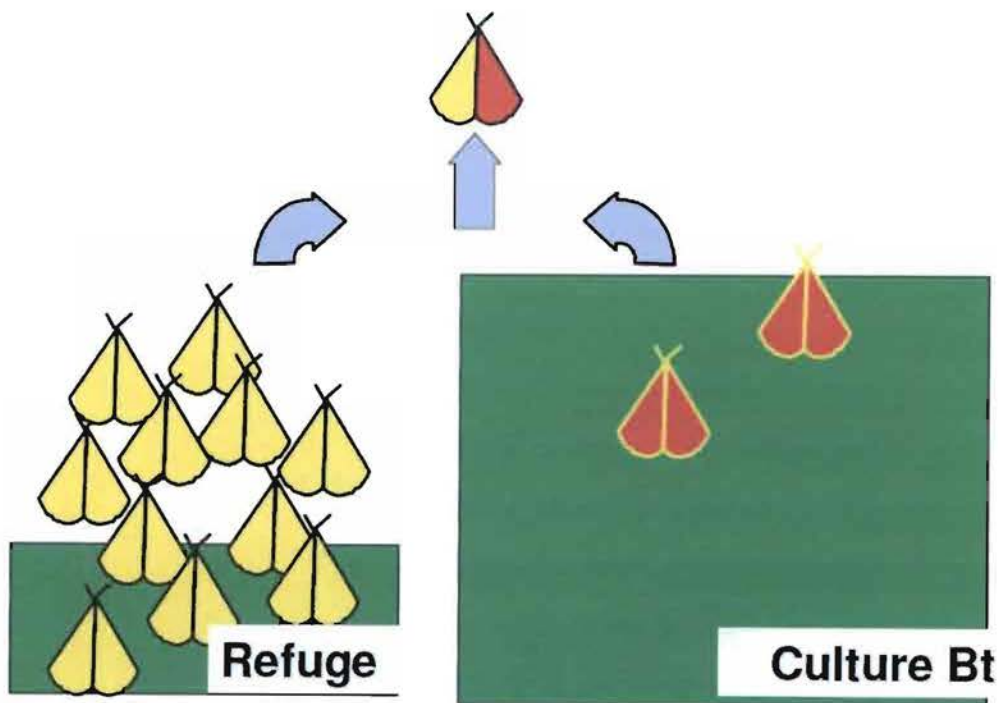
Les insectes émergents du refuge s'accouplent avec des insectes provenant du coton *Bt* et qui pourraient avoir développé une résistance (Myre, 2010). La sensibilité aux protéines *Bt* est ainsi transférée à leurs descendants, ce qui contribue à préserver l'efficacité à long terme de ces technologies *Bt*.


## V. Zones refuges


### 5.1. Définition et objectif

Selon Monsanto (2011), le refuge est une zone - en général 20% de la surface du champ – qui fournit un abri pour des insectes qui restent sensibles à l'insecticide *Bt* produit par le maïs ou le coton. Cette zone permet aux rares insectes survivants après avoir ingéré les cultures *Bt* de pouvoir se reproduire avec des insectes sensibles et engendrer une descendance elle-même sensible au *Bt* (Bourguet *et al.*, 2005 ; Head, 2007 ; Drabo, 2007 ; Traoré, 2008 ; Myre, 2010) (Figure 3). De ce fait, l'efficacité de la technologie *Bt* est préservée et cela permet aux cultures de se défendre elles-mêmes.

# Stratégie du refuge



 Insecte résistant

 Insecte sensible

 Insecte sensible

Source : [www.agpm.com/pages/iso\\_album/guide\\_des\\_bonnes\\_pratiques\\_agpm.pdf](http://www.agpm.com/pages/iso_album/guide_des_bonnes_pratiques_agpm.pdf) consulté mardi 25 février 2014 à 12h41mn

Figure 3 : Stratégie de zone refuge

## 5.2. Justification des zones refuges

La perte d'efficacité des pyréthrinoïdes contre les insectes a conduit la recherche à mettre au point des cultures transgéniques dites « *Bt* ». Elles ont été commercialisées pour la première fois aux Etats-Unis à partir de 1996. En effet, ces variétés issues de la biotechnologie ont été obtenues en incorporant dans la plante des toxines de la bactérie *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) qui les rendent résistantes à des insectes ravageurs de ces cultures. Cependant, ces cultures quand bien même ayant montré leur efficacité, étaient loin de faire l'unanimité car elles ont suscité de vives réactions d'environnementalistes et d'agriculteurs biologiques inquiets de la perte d'efficacité des toxines *Bt* (qui sont utilisées en épandage en agriculture biologique), ainsi que de scientifiques alertant sur la forte pression sélective exercée par les variétés *Bt* ([www.inra.fr](http://www.inra.fr)). C'est suite à ce débat, qu'aux Etats-Unis, l'*Environmental Protection Agency* (EPA) a mis en place la première réglementation obligatoire à grande échelle sur la gestion durable des résistances avec la politique des zones refuges (Bourguet *et al.*, 2003). Cette réglementation oblige de ce fait, les producteurs de cultures *Bt* à semer de 20% à 50% de cette culture en variété non-*Bt*.

## 5.3. Exigences des refuges

Les leçons apprises de l'utilisation des insecticides et de la capacité des insectes à développer une résistance ont incité les chercheurs mettant au point des produits biotechnologiques à définir des exigences en matière de culture refuge (MI *et al.*, 2007). Ses exigences sont les suivantes :

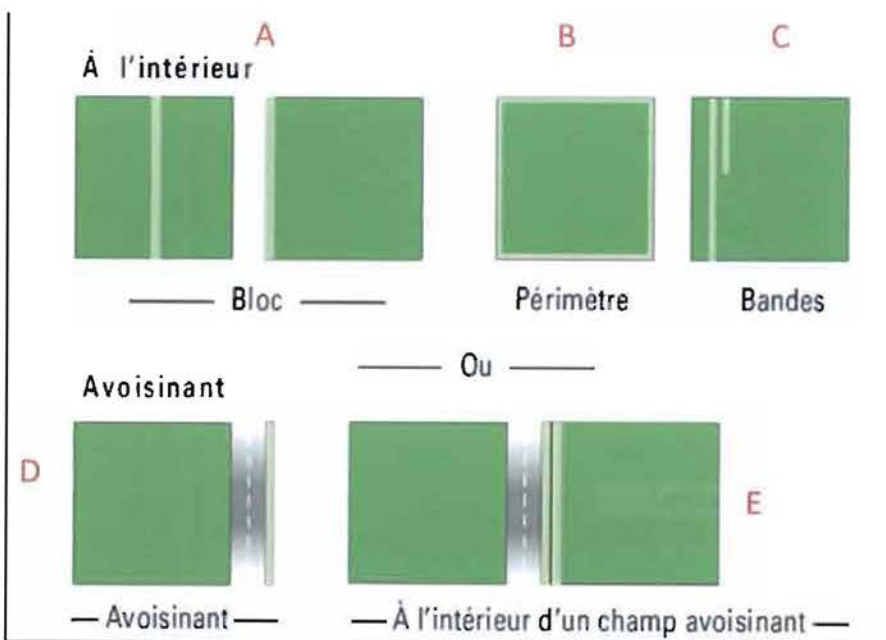
1. La taille du refuge est très importante dans la définition des zones refuges. Quand le refuge est traité chimiquement, sa taille est au minimum 20% de la surface totale du champ et doit êtreensemencé avec des cultures non-*Bt*. Par contre, si cette zone refuge n'est pas traitée avec des insecticides non-*Bt*, sa taille est divisée par 4 ; c'est-à-dire au moins 5% de la surface totale du champ et aussi, cette zone refuge ne doit contenir de technologie *Bt* (Bourguet *et al.*, 2003).
2. Quant à la disposition des zones refuges, elle peut se faire soit à l'intérieur ou à l'extérieur des parcelles. A l'intérieur, le refuge doit être semé sur au moins 4 rangs consécutifs. A l'extérieur, il doit être situé à moins de 1,5 km des parcelles transgéniques dans le cas du coton et moins de 800 m pour le maïs ([msdssearch.dow.com](http://msdssearch.dow.com) ; Bourguet *et al.*, 2003).

3. Par ailleurs, l'agriculteur doit utiliser des variétés similaires pour chaque semence. Aussi, le refuge et le *Bt*, doivent-ils être semés le même jour. (Réseau d'Avertissements Phytosanitaires-Bulletin d'information, 2011).

#### 5.4. Types de plans de zone refuge

Les divers types de plans de refuge sont fortement conditionnés par la disposition du refuge par rapport aux parcelles *Bt*. En effet, les refuges peuvent être disposés soit à l'intérieur des parcelles soit d'une manière adjacentes (avoisnants) (Figure 4). De ce fait, nous avons les différentes possibilités suivantes pour les types de refuge :

- Pour ce qui concerne le refuge se trouvant à l'intérieur de la parcelle *Bt*, nous citons le semis en bloc (figure 4 A) ; l'ensemencement du pourtour du champ avec un hybride non-*Bt* (figure 4 B) et le semis en bandes alternées (figure 4 C)
- Quant au refuge adjacent, nous avons le semis dans un champ voisin (figure 4 D) et le semis à l'intérieur d'un champ avoisinant (figure 4 E).



Source : [msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDAS/dh](https://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDAS/dh) consulté le mercredi 15 janvier 2014 à 20h49mn

**Figure 4 :** Les divers types de zone refuge

- 4 A : Semis en bloc
- 4 B : Semis suivant le périmètre
- 4 C : Semis en bandes
- 4 D : Semis dans un champ voisin
- 4 E : Semis à l'intérieur d'un champ avoisinant

## **5.5. Stratégies de refuge en vigueur**

### **5.5.1. Stratégie dose élevée/refuge**

La stratégie « haute dose/refuge » est l'une des méthodes les plus connues sinon même la plus efficace pour freiner le développement de résistance dans les populations de ravageurs (Réjasse *et al.*, 2000). Il est alors légitime de se demander comment cette stratégie peut-elle être efficace dans le contrôle de la résistance.

Chaque insecte a deux gènes de sensibilité aux cultures *Bt*, un reçu de chaque parent. Chaque gène confère soit un caractère de sensibilité à la toxine de *Bt* dit S, soit un caractère de résistance dit R. Selon les gènes reçus de ses parents, un insecte est donc de type SS, RS ou RR (Bourguet *et al.*, 2003 ; Carrière, 2009). Naturellement, la culture *Bt* tuera toutes larves de type SS et presque toutes les larves de type RS, mais sera sans effet sur les larves de type RR. Alors en absence de refuge près des champs *Bt*, les papillons de type RR et de type RS issus des larves qui ont survécu sur la culture *Bt* risquent de s'accoupler entre eux et leurs descendances comporteront inéluctablement des individus avec deux gènes de résistance (RR) (Bourguet *et al.*, 2003 ; Carrière, 2009). La dite culture *Bt* serait donc inefficace non seulement sur ces insectes mais aussi sur leurs descendances si ces insectes venaient à s'accoupler entre eux.

C'est ainsi que la zone refuge requière toute son importance et son efficacité à retarder voire même freiner le phénomène de résistance (Myre, 2010). En effet, la mise en place d'un refuge fournira un abri à un grand nombre d'insectes dont la plupart seront sensibles à la toxine *Bt*. Si quelques insectes de type RS ou de type RR survivent dans les champs transgéniques, la probabilité sera très grande pour qu'ils s'accouplent avec des insectes du refuge sensibles à la toxine *Bt*. Ainsi, leurs descendances seront soit de type RS, soit de type SS ; aucun descendant ne sera de type RR. Les individus SS seront tous tués sur les champs transgéniques ainsi que la plupart des individus RS. De ce fait, le phénomène est freiné et les cultures *Bt* gardent leur efficacité.

### **5.5.2. Cas des USA**

La stratégie « haute dose/refuge a été mise en place aux USA des 2003 (Bourguet *et al.*, 2003 ; Vaissayre, 2007). Cependant, cette stratégie est aujourd'hui en phase d'abandon. La tendance actuelle est la création de refuges qui implique de définir 20% de cultures conventionnelles traitées et 5% de cultures conventionnelles non traitées avec un bloc *Bt*.



### 5.5.3. Cas du Burkina Faso

En ce qui concerne le Burkina Faso, la stratégie de refuge en vigueur est celle qui consiste à définir 20% en culture conventionnelle traitée de la superficie totale de la culture *Bt*. Les surfaces consacrées au refuge ne doivent se situer au-delà d'une distance de 1,5 km. Aussi, des hôtes alternatifs comme refuge peuvent-ils être utilisés ; il s'agit du maïs, de *Cleome viscosa*, du gombo, du sorgho, du tournesol, du petit mil, du sésame, de l'arachide (Tiemtoré, 2007 ; Traoré, 2008 ; Dakuo, 2012).

### 5.6. Qu'est-ce-qui pourrait arriver en absence de zone refuge ?

La zone refuge est une stratégie de gestion de la résistance des insectes aux toxines *Bt*. Si ce refuge n'a pas été mis en place ou si cette zone refuge a été mise en place mais ses exigences n'ont pas été respectées, la conséquence est l'apparition d'une résistance aux toxines *Bt*. Selon Bourguet *et al.* (2003) et Myre (2010) les conséquences de l'apparition d'une résistance aux toxines sont les suivantes :

- Tout d'abord, cette résistance affecterait les agriculteurs biologiques qui utilisent des « biopesticides » dont les formulations contiennent ces mêmes toxines *Bt* ;
- Ensuite, elle conduirait certainement à revenir à un usage plus important d'insecticides, considérés plus dangereux pour l'environnement et la santé que les toxines *Bt* ;
- Par ailleurs, cette résistance entrainerait la perte du droit d'accès aux technologies pour les agriculteurs concernés ;
- Enfin, de nouvelles technologies pourraient se voir refuser l'approbation réglementaire.

### 5.7. Approche de zone refuge : le Refuge dans le Sac (RDS)

#### 5.7.1. Définition et objectif

Le Refuge dans le sac en abrégé « RDS » en français et « RIB » en anglais, est un système de simple et pratique de gestion des refuges évalué par certaines compagnies depuis plusieurs années notamment Monsanto.

Selon Myre (2010), c'est un concept qui permet de semer un seul sac qui renferme toute la semence exigée pour établir un refuge sans avoir à ensemer un refuge distinct. En effet Dekalb (2013) nous rapporte que le RDS offre la solution du refuge à 5% en un seul sac qui permet aux producteurs de respecter automatiquement les règles de refuge pendant leur

semis. Le refuge dans le sac est un mélange composé de 95% de semence *Bt* protégée contre les insectes ciblés et de 5% de semence conventionnelle pour le refuge que les producteurs peuvent semer sur toute la superficie de leur champ.

### **5.7.2. Contexte et justification du RDS**

L'utilisation de refuges est nécessaire pour les agriculteurs afin de limiter la pression de sélection sur les insectes sensibles et permettre de ce fait la viabilité de la technologie dans le long terme. Cependant, pour de nombreux producteurs, la mise en place des zones refuges et le respect de ses exigences demeurent une tâche hargneuse et fastidieuse. En effet, les exigences du refuge veulent que pour la plupart des produits *Bt*, que le refuge séparé « structuré » soit planté dans ou près d'une zone contenant la culture *Bt*. Ce qui entraîne, inexorablement, non seulement l'achat mais aussi la plantation de deux types de semences : les semences *Bt* et les semences conventionnelles. De plus, les exigences quant à la structuration du refuge sont complexes et gourmandes en temps pour les producteurs. Morgan (2010) nous rapporte que ce sont autant de complexité qui ont amené la firme Monsanto à mettre en place le concept de refuge dans le sac et ce dans le but de maximiser leur potentiel de rendement tout en respectant les exigences de refuge de façon simple et pratique ; d'où la naissance du refuge dans le sac ou « refuge in the bag » en anglais.

### **5.8. Bénéfices du RDS**

Plusieurs bénéfices découlent de l'utilisation du refuge dans le sac ([www.ogm.gouv.qc.ca/](http://www.ogm.gouv.qc.ca/)) :

- La solution « dans un seul sac » permet la simplicité et la commodité lors de l'ensemencement en évitant de devoir séparer et structurer une zone refuge précise ; ce qui permet aux producteurs de gagner en temps de travail ;
- Les exigences de réalisation des refuges seront mieux respectées par les producteurs agricoles ; ceci permettra de retarder la résistance aux toxines *Bt* et donc contribuera à la durabilité de la technologie *Bt* ;
- La réalisation de 5% de refuge permet aux producteurs d'avoir une plus grande superficie de cultures transgéniques à rendement plus élevé. A cet effet, des études ont démontré que les rendements peuvent être carrément supérieurs quand on utilise des semences Optimum AcreMax, surtout lorsque comparés avec un champ dans lequel on a réservé 20% de refuge dans le cas du maïs (Hébert, 2012).

## 5.9. RDS à-travers le monde

Au Canada, l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) approuvait en 2011, le *Genuity® SmartStax® RIB Complete™8*, le premier maïs transgénique *Bt* à contenir un refuge non-OGM intégré dans le sac de semences (Refuge dans le Sac) ([www.ogm.gouv.ca/](http://www.ogm.gouv.ca/)). Cette autorisation représente une nouvelle option pour les producteurs agricoles qui veulent réaliser un refuge de maïs *Bt* car la quantité de semences non-*Bt* requise pour réaliser 5% de refuges est déjà intégrée au sac.

Aux Etats-Unis d'Amérique, le concept de refuge dans le sac a été étudié depuis plus de 10 ans par Monsanto nous rapporte Morgan (2010). La même source nous rapporte que l'*Environment Protection Agency* (EPA) approuvait récemment un produit de la filiale Pioneer Salut -Bred de DuPont - *Optimum® AcreMax™ 1*. C'est un refuge dans le sac pour les organismes du sous-sol, mais nécessite un refuge structuré de 20% distinct pour les organismes aériens qui doit être géré et acheté comme un élément distinct. La firme Monsanto, quant à elle, vient de présenter les options de Refuge dans le sac pour deux produits de maïs *Bt* - *SmartStax™* et *Genuity® VT Double PRO maïs®* - pour l'approbation réglementaire de l'EPA ([www.monsanto.com](http://www.monsanto.com)).

## 5.10. RDS au Burkina Faso

Sur les trois années d'expérimentation en parcelle, le Refuge dans le sac s'est révélé efficace. En effet, les rapports d'activité du Programme coton (2011, 2012) nous montrent que 5% de refuge dans le sac permet de garantir un refuge intrinsèque pour *Helicoverpa armigera* et également pour ceux plus sensibles ou peut être des insectes moins mobiles (*Earias* et *Pectinophora*). Aussi, la même source nous renseigne-t-elle qu'avec 5% de refuge dans le sac, nous avons un gain de rendement. Afin de pouvoir vulgariser ce concept de 5% de refuge dans le sac, des champs pilotes ont été mis en place au niveau de huit (08) producteurs durant la campagne agricole 2012-2013.

## CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

L'expérimentation a été conduite d'une part en station de recherche et d'autre part en milieu paysan.

### I. Présentation de la zone d'étude

Quatre sites ont été retenus pour la mise en place du RDS en station de recherche :

Farako-Bâ qui est située à 10 km de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo-Banfora. Elle couvre une superficie de 375 hectares dont 200 hectares aménagés et ayant les coordonnées géographiques suivantes : longitude 04°20 Ouest, latitude 11°06 nord, altitude 405 m. L'étude a été conduite sur la parcelle 412 Sud.

Le climat de la région des Hauts-Bassins est de type Sub-soudanien (Guinko, 1984) caractérisé par une période fraîche de Novembre à Février et une période chaude en Mars et en Avril. La longueur de la saison des pluies ou période de végétation active est de 130 à 150 jours avec une pluviométrie annuelle variant entre 950 et 1100 mm. L'essentiel des précipitations s'étale de Juin à Septembre. Les températures varient entre 18 et 40°C en saison sèche et entre 20 et 35°C en saison humide.

La station de Farako-Bâ possède des sols appartenant à la classe des sols à sesquioxydes de fer plus ou moins de manganèse et au sous-groupe des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profonds (lixisols ferriques, phase petro-ferrique). La texture est sablo-limoneuse en surface et argilo-sableuse en profondeur avec des teneurs en limon, argile et sable respectivement de 71,2%, 15,9% et 12,9% sur 0-20 cm de profondeur. Le pH des sols varie entre 5 et 5,5. Les sols sont perméables et surtout sensibles à l'érosion. On estime que 44% de ces sols sont propices à la culture cotonnière.

La station de Farako-Bâ présente une végétation qui est une savane arborée et herbeuse (Guinko, 1984). Les principales espèces rencontrées sont *Parkia biglobosa*, *Andansonia digitata*, *Mangifera indica*, *Vittelaria paradoxa*, *Kaya senegalensis* (Traoré, 1997). Au niveau des herbacées, les principales espèces recensées dans la zone sont *Andropogon gayanus*, *Bracharia sp*, *Chloris dactylotenium*.

La station de recherche de Boni est localisée dans la province de Tuy (Houndé). Cette zone se situe dans la zone soudanienne avec une pluviométrie moyenne variant de 800 mm à 1100 mm. L'année comprend une saison pluvieuse qui s'étend de mai à octobre, avec comme vent

dominant la mousson et une saison sèche qui va de novembre à avril avec comme vent dominant l'harmattan. Durant la saison sèche la température moyenne peut atteindre 34°C.

Les sols de la province du Tuy sont essentiellement de types ferrugineux tropicaux. Un diagnostic a permis de révéler trois types de textures (Blanchard, 2005) qui sont :

- les sols sablonneux, les plus répandus dans les plaines ;
- les sols gravillonnaires, très répandus, notamment sur les pentes mais peu fertiles ;
- les sols argileux (terre noire), plus riches, mais plus rares et plus difficiles à travailler pour les productions agricoles.

Les sols les plus fertiles se rencontrent dans les bas-fonds et les zones rupicoles.

La végétation se compose de savanes arbustives et arborées à la périphérie des terroirs ou le long des cours d'eau. Les centres des territoires villageois sont occupés par les champs mis en culture ou en jachère. La forêt classée de la Mou, située du côté Est du terroir de Koumbia, présente par endroits des forêts denses à *Cola cordifolia* (Cav) R.Br. et *Terminalia laxiflora* Engl. et des forêts claires à *Gardenia erubescens* Stapf & Hutch. et *Daniella oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalz (Blanchard, 2005).

La station de recherches agricoles de Kouaré est à une latitude de 11 0 59' Nord et une longitude de 0° 19' Est avec une altitude de 850 m. La pluviométrie moyenne annuelle est d'environ 800 mm. La saison des pluies commence généralement en mi-juin et se termine en septembre. A l'instar de la station Farako-bâ, la saison des pluies se caractérise par une irrégularité et une baisse des pluies couvrant trois mois dans l'année. La pluviométrie enregistrée en 2012 était d'environ de 1000 mm.

Le site de Kouaré présente des caractéristiques pédologiques similaires à celles de Farako-bâ avec toutefois quelques variantes. Le sol acide présente une texture sabla-limoneuse. Il est pauvre en matière organique et en argile. Le complexe absorbant est pauvre en éléments minéraux. La teneur en potassium est faible mais plus élevée qu'à Farako-bâ. La capacité d'échange cationique et la somme des bases échangeables sont également faibles. Il apparaît que le sol de Kouaré est ferrugineux tropical et présente une déficience en potassium.

Kombissiri est localisé dans la région du Centre sud, dans la province du Bazèga du Burkina Faso.

De par sa situation en latitude, Kombissiri connaît un climat de type Nord-Soudanien, avec alternance d'une saison sèche (octobre à mai), et d'une saison de pluie (juin à septembre). La pluviosité annuelle varie entre 600 et 900 mm, les variations annuelles sont très importantes. Les principales unités pédologiques de la région distinguées par (OUEDRAOGO, 1992) sont : les sols ferrugineux tropicaux lessivés, les lithosols et sols peu évolués d'origine gravillonnaire, les vertisols et parvertisols et les sols hydromorphes. Dans l'ensemble, les sols de la Province du Bazèga sont d'une fertilité assez faible mais facile à enrichir et à travailler, parce qu'ils sont meubles et arables. Par conséquent, ils sont favorables à la céréaliculture.

La Province du Bazèga se situe dans le domaine phytogéographique Soudanien Septentrional selon GUINKO (1984). Les formations végétales qui caractérisent cette province ont été fortement dégradées par l'homme par le biais de la coupe du bois, de feux de brousse et surtout des activités culturales. Dans les zones de village ou de culture, les éléments ligneux les plus frappants qui s'imposent par leur répartition et leur physionomie sont: *Vitellaria paradoxa* et *Parkia biglobosa*. Ils résultent de la sélection des sociétés rurales, à cause de leur intérêt économique. On y trouve aussi un apport considérable d'essences exotiques d'intérêt alimentaire ou autres comme *Mangifera indica*, *Cassia siamea*, *Eucalyptus camaldulensis*...

Pour ce qui concerne la mise en place du RDS en milieu paysan, notre étude portait sur 8 localités du Burkina Faso réparties dans les trois zones productrices de coton. Dans la zone SOFITEX, nous avons travaillé dans quatre localités que sont Dissin, Samandéni, Bladi et Dakoro. Quant à la zone FASO COTON, l'étude a été conduite sur deux localités à savoir Manga et Pô. Enfin dans la zone SOCOMA, l'étude a été réalisée sur deux sites que sont Diapaga et Fada N'Gourma. Nous avons suivi deux sites que sont Samandéni et Pô.

Samandéni est situé à 40 km à l'Ouest de Bobo-Dioulasso sur l'axe routier international RN 9 Bobo-Dioulasso – frontière du Mali, dans le Département de Bama, province du Houet . Il est situé sur la longitude de 4°27' Ouest et la latitude de 11°27' Nord (Microsoft Encarta Junior, 2009).

D'après le découpage climatique et phytogéographique proposé par Guinko (1984), Samandéni se trouve dans le district Ouest volta noire du domaine soudano-soudanien. Le climat est du type soudano-guinéen avec une pluviométrie variant entre 950 et 1100 mm. Les

précipitations sont concentrées sur la période de Juin à Septembre. On y distingue deux saisons bien distinctes que sont une saison pluvieuse de 5 à 6 mois allant de Mai à Octobre et une saison sèche qui va de Novembre à Avril. La figure 5 présente la pluviométrie et le nombre de jours de pluies enregistrés à Bama sur dix ans. En 2013, il est tombé environ 1000 mm d’eaux en 70 jours. La moyenne annuelle de température est de 27,8°C. Ce sont des situations propices pour la culture de coton qui est exclusivement pluviale au Burkina Faso et qui nécessite une pluviométrie annuelle minimum de 700 mm (Sément, 1986) et des températures optimales comprises entre 25 et 35°C (Parry, 1982).

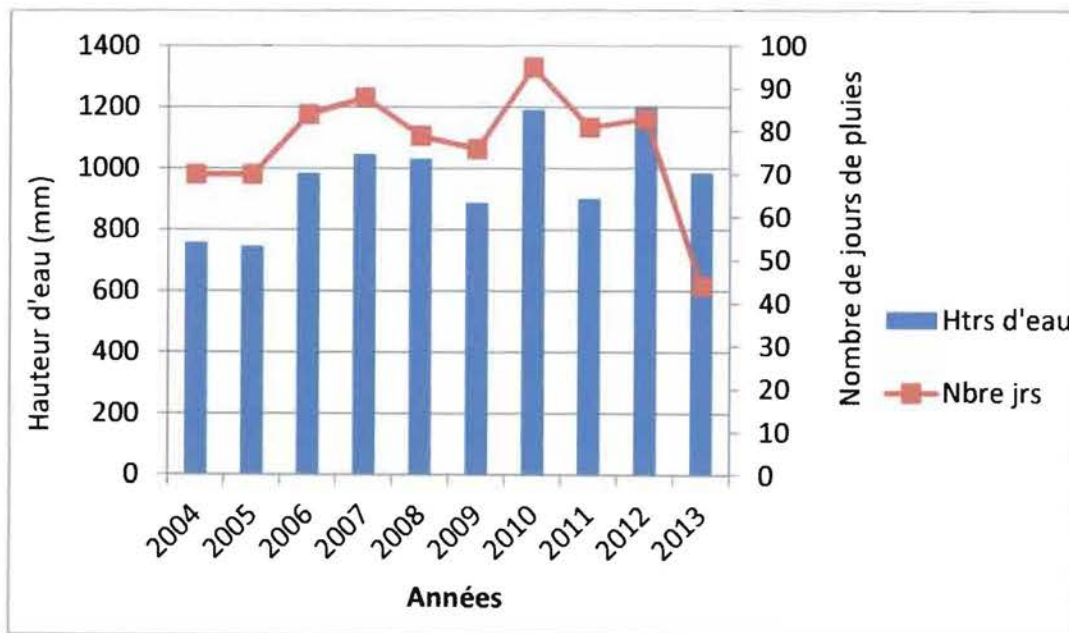


Figure 5 : Variation de la pluviométrie et du nombre de jours de pluies des dix dernières années (2004-2013) de Samandéni

Source : Antenne de la Vallée du Kou

Le sol de Samandéni, de type ferrugineux tropical se caractérise par une pauvreté en matière organique et présente une texture limoneuse à prédominance argilo-sableuse avec une faible capacité d’échange cationique (CEC). Les réserves minérales sont très faibles. Le pH est acide. Ces sols sont riches en bases échangeables par contre sont pauvres en phosphore.

Pô, chef-lieu de la province du Nahouri, est situé à 176 km au Sud de Ouagadougou dans la région du Centre-Sud au Burkina Faso. Il fait frontière avec le Ghana. Il est situé à 320 mètres d’altitude sur la longitude de 11°9’ Nord et sur la latitude de 2°51’ Ouest ([meteonews.ch/fr/Climat/M6551800/Pô](http://meteonews.ch/fr/Climat/M6551800/Pô)).

Selon Guinko (1984), le climat qui prévaut à Pô est de type nord-soudanien caractérisé par deux saisons : une saison des pluies qui s'étend de juin à septembre-octobre et une saison sèche qui s'étend en moyenne d'octobre à mi-mai. La moyenne annuelle des précipitations est comprise entre 600 et 900 mm. La moyenne des températures est de 28,1°C.

## **II. MATERIEL UTILISE**

### **2.1. Matériel végétal**

- FK 37 Conventionnel : variété à port élané. Elle a une hauteur de 1,50 m et ses feuilles présentent une pilosité moyenne. Son rendement potentiel est de 3,5 tonnes à l'hectare. Elle a été inventée par la station de recherche de Farako-Bâ/INERA (Cf. annexe 1).

- FK 95 BOLLGARD II (BGII), est une variété transgénique. Elle a été obtenue à partir de la variété FK37 dans laquelle a été inséré le gène BOLLGARD II (Cf. annexe 2).

### **2.2. Fumure minérale**

La fumure minérale était composée de l'engrais complexe NPKSB de formule 14-18-18-6-1, de l'Urée ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) à 46% d'azote et le chlorure de potassium (KCl) contenant 60% de  $\text{K}_2\text{O}$  aux doses suivantes :

- 150 kg de NPKSB + 75 kg de KCl pour la superficie totale du champ qui est de 1,5 ha ;
- 75 kg d'Urée pour la même superficie totale du champ de 1,5 ha.

## **III. METHODOLOGIE**

### **3.1. RDS 5% en station de recherche**

#### **3.1.1. Dispositif expérimental**

L'étude a été conduite à travers un dispositif en blocs aléatoires complets avec quatre (04) répétitions. La taille de chaque parcelle élémentaire était de huit (08) lignes de 16 m. La densité était typique des bonnes pratiques locales (0,80 m entre les lignes et 0,40 m entre les poquets sur les sites de Farako-Bâ, Kombissiri et Kouaré et 0,75 m x 0,40 m sur le site de Boni). Il y avait un (01) mètre d'écart entre les blocs.



### 3.1.2. Objets comparés

Cinq (05) modalités ont été comparées à travers un dispositif en blocs de Fisher avec quatre répétitions :

1. **100% BGII** avec 02 traitements contre les insectes piqueurs-suceurs (100% BG II) ;
2. **100% coton conventionnel** avec 02 traitements contre les insectes piqueurs-suceurs (NT) ;
3. **100% coton conventionnel** avec 06 traitements contre tous les ravageurs du cotonnier (PV)
4. **5% RDS : 95% de BGII et 5% de coton conventionnel** avec 02 traitements contre les insectes piqueurs-suceurs (5% RDS) ;
5. **7,5 % RDS : 92,5 % de BGII et 7,5 % de coton conventionnel** avec 02 traitements contre les insectes piqueurs-suceurs (7,5% RDS).

### 3.1.3. Conduite de l'étude

Le travail du sol a consisté à un labour au tracteur sur tous les sites sauf à Kombissiri où le labour a été fait à l'aide d'une charrue. Un traitement herbicide a été utilisé sur tous les sites. Sur l'ensemble des quatre sites, le semis a été réalisé à la main. Pour la mise en œuvre du refuge dans le sac (RDS) (figure 6), la procédure a été comme suite ; d'abord, nous avons semé du BGII sur toute la parcelle, après, nous avons placé systématiquement des drapeaux à tous les endroits du champ où les cotonniers conventionnels devraient être plantés. Ensuite, nous avons déterré les graines où les drapeaux avaient été placés et semés les cotonniers conventionnels. Une fois les plantules émergées, nous avons vérifié à l'aide du kit de détection que les plants porteurs de drapeau ne comportaient pas de gènes *Bt*. Les drapeaux ont été laissés tout au long de l'expérimentation. Enfin, le démariage avait été fait à un plant par poquet à la station de Farako-Bâ. Tous les trois autres sites avaient été démariés à deux plants.

Les applications insecticides (tableau 2) avaient été réalisées tous les 14 jours à partir du 30<sup>ème</sup> jour après levée sur les parcelles réservées à cet effet.

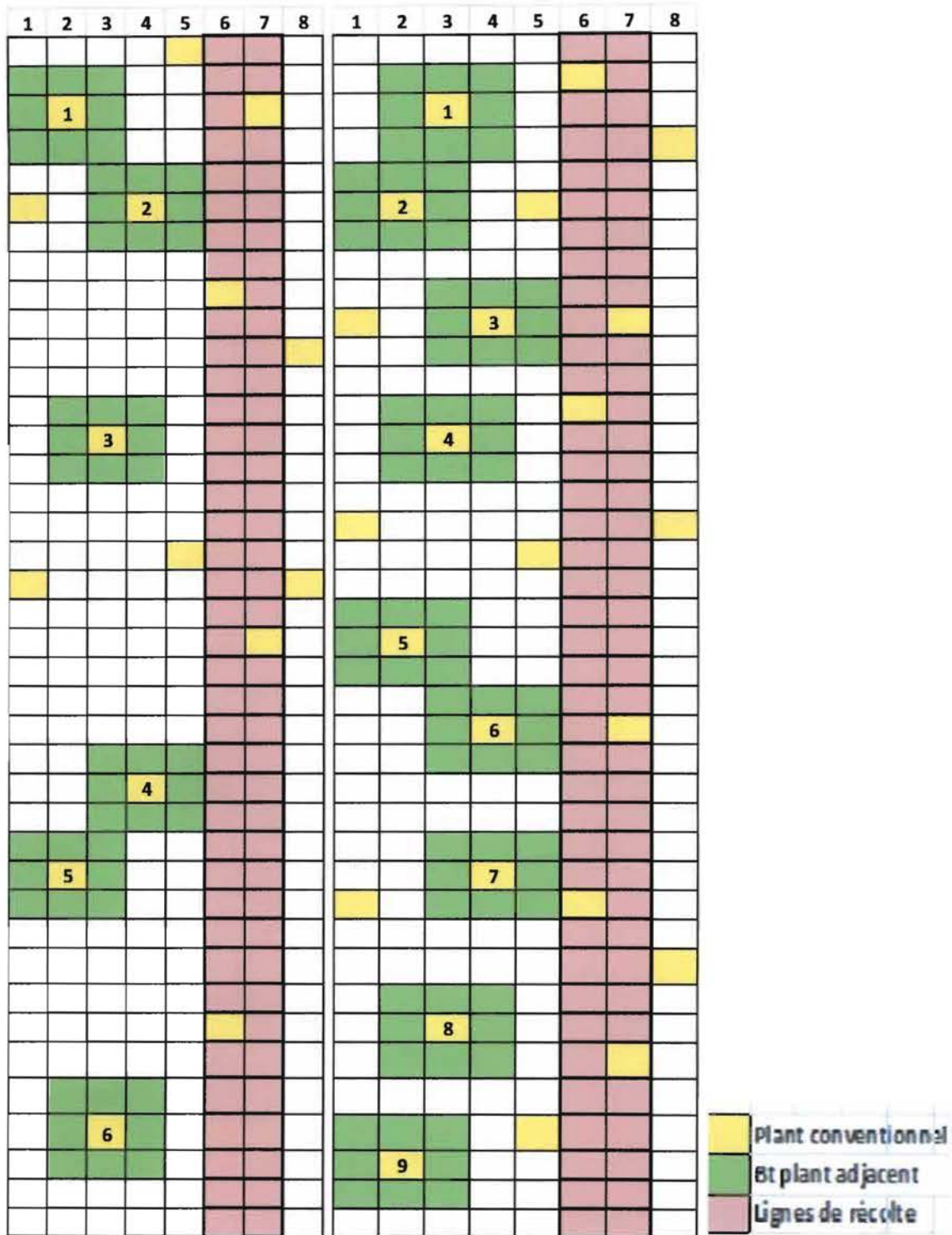


Figure 6 : 5% RDS

7,5% RDS

Tableau 2 : Réalisation des traitements insecticides selon le programme vulgarisé

| Parcelles        | T1    | T2    | T3    | T4    | T5 | T6 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|----|----|
| 100%BGI          | Néant | Néant | Néant | Néant | PV | PV |
| 100% C Conv (NT) | Néant | Néant | Néant | Néant | PV | PV |
| 100% C Conv (PV) | PV    | PV    | PV    | PV    | PV | PV |
| 5% RDS           | Néant | Néant | Néant | Néant | PV | PV |
| 7,5% RDS         | Néant | Néant | Néant | Néant | PV | PV |

T<sub>1</sub> à T<sub>6</sub> : Numéro de traitements

PV : Produit Vulgarisé dans la fenêtre et dans la zone

### 3.1.4. Observations

1. Pour les parcelles à RDS, nous avons évalué les plantes non-*Bt* et les 8 plantes qui l'entouraient (tableau 3) ;
2. Pour les parcelles sans RDS (traitements 1 ; 2 et 3), évaluer 30 plantes choisies de façon aléatoire ;
3. Le tableau 4 nous donne le calendrier des évaluations pour chaque type d'observation. Nous avons rencontré des difficultés pour ce qui concerne l'évaluation sanitaire par plante de cotonnier conventionnel sur l'ensemble des quatre sites ; ce qui explique l'absence des taux sur l'état des capsules dans les résultats.
4. Rendement : Le coton-graine a été récolté sur 2 lignes centrales consécutives. Pour les RDS, les lignes 7 et 8 ont été récoltées (figure 6). Pour les parcelles sans RDS, deux lignes centrales ont été récoltées.

Tableau 3 : Blocs de prélèvement

| Ligne 1     | Ligne 2        | Ligne 3     |
|-------------|----------------|-------------|
| <i>Bt</i> 1 | <i>Bt</i> 4    | <i>Bt</i> 6 |
| <i>Bt</i> 2 | Non- <i>Bt</i> | <i>Bt</i> 7 |
| <i>Bt</i> 3 | <i>Bt</i> 5    | <i>Bt</i> 8 |

Les plants (*Bt*1 à *Bt*8) ont été notés.

Tableau 4 : Evaluations et calendrier

| INSECTES À ÉVALUER           | DESCRIPTION DE L'ÉVALUATION  | PLANTS NON- <i>Bt</i> DE RDS                    | PLANTS BG2 DE RDS                                   | PARCELLES SANS RDS                   | CALENDRIER D'ÉVALUATION DE LA CIBLE                                       |
|------------------------------|--|---|---|--------------------------------------|---|
| <i>Helicoverpa armigera</i>  |  |   |   |                                      |   |
| <i>Diparopsis watersi</i>    | - Nombre de larves par plant   | Plants non- <i>Bt</i> (jaune dans le tableau 3) | 8 plants <i>Bt</i> voisins (vert dans le tableau 3) | 30 plants choisis de façon aléatoire | Une fois par semaine à partir du 30 <sup>ème</sup> jour après levée (JAL) |
| <i>Earias sp.</i>            |  |   |   |                                      |   |
| <i>Anomis flava</i>          |  |   |   |                                      |   |
| <i>Spodoptera littoralis</i> |  |   |   |                                      |   |
| <i>Haritalodes derogata</i>  | - Nombre de plants infestés  | Plants non- <i>Bt</i> (jaune dans le tableau 3) | 8 plants <i>Bt</i> voisins (vert dans le tableau 3) | 30 plants choisis de façon aléatoire | Une fois par semaine à partir du 30 <sup>ème</sup> JAL                    |
| Dommages sur la capsule      | - Nombre de capsules endommagées<br>- Nombre de capsules saines<br>- Nombre de capsules pourries | Plants non- <i>Bt</i> (jaune dans le tableau 3) | 8 plants <i>Bt</i> voisins (vert dans le tableau 3) | 30 plants choisis de façon aléatoire | À maturité, avant la récolte.   |

### 3.2. 5% RDS en milieu réel

#### 3.2.1. Dispositif expérimental

L'étude a été conduite sur des champs pilotes au niveau des producteurs avec trois objets. Les objets correspondent aux types de parcelles. La parcelle 100% coton conventionnel est adjacente aux parcelles 100% BGII et 5% RDS. Chaque parcelle élémentaire a une superficie de 5 000 m<sup>2</sup>. La superficie totale du champ est 15 000 m<sup>2</sup> soit 1,5 ha. (Tableau 5)

### 3.2.2. Objets comparés

Trois modalités ont été comparées à-travers des champs pilotes en milieu paysan. Il s'agit de :

- Parcelle a : **5% RDS = 95% BG II** et **5% de coton conventionnel** avec deux (02) traitements contre les insectes piqueurs suceurs ;
- Parcelle b : **100% BG II** avec deux (02) traitements contre les insectes piqueurs suceurs et
- Parcelle c : **100% coton conventionnel** avec six (06) traitements contre tous les ravageurs du cotonnier (Tableau 5).

Tableau 5 : Schéma du dispositif expérimental

|  |
|--|
| <p><b>Parcelle a : 5% RDS : 95% BGII et 5% Coton conventionnel + 2</b><br/>traitements contre les piqueurs suceurs</p>                 |
| <p><b>Parcelle b : 100% BGII + 2</b><br/>traitements contre les piqueurs suceurs</p>   |
| <p><b>Parcelle c : Bloc Protection vulgarisée : Coton conventionnel + 6</b><br/>traitements contre tous les ravageurs du cotonnier</p> |

### 3.2.3. Conduite de l'étude

Avant d'être remises aux producteurs, les semences ont été testées au préalable. En effet, les semences BGII ont été testées pour la présence de BGII. Leur pureté était proche de 100%. Le test pour la présence des gènes BGII dans les semences conventionnelles a donné 0%. Les lots de semences BGII et conventionnelle avaient le même niveau de germination. Pour ce qui concerne les semences RDS, un mélange approprié a été fait selon la proportion 95% BGII et 5% conventionnel pour un sac. Ce mélange a été fait par l'INERA avant la remise des semences aux producteurs.

La préparation du sol a consisté à un labour à plat à la charrue suivi d'un nivellement du champ. Le semis du cotonnier est effectué à raison de 5 graines par poquet. Il y a eu resemis

sur les deux sites. L'apport de la fumure minérale a été faite de la façon suivante : On a apporté du NPK et du KCl aux doses suivantes : 150 kg de NPK + 75 kg de KCl. Quant à l'apport de l'urée, il a été précédé du buttage à la dose de 75 kg pour tout le champ. Le démariage a eu lieu au même moment que le 1<sup>er</sup> sarclage. L'entretien du champ contre les mauvaises herbes a nécessité une application herbicide et deux sarclages manuels. En ce qui concerne la protection des cotonniers contre les ravageurs, nous avons utilisé des insecticides. Le tableau 6 nous fait l'économie de ces produits.

Tableau 6 : Produits de traitements insecticides utilisés

|                            | 1 <sup>ER</sup> TRAIT    | 2 <sup>E</sup> TRAIT     | 3 <sup>E</sup> TRAIT            | 4 <sup>E</sup> TRAIT            | 5 <sup>E</sup> TRAIT            | 6 <sup>E</sup> TRAIT           |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 100% BGII                  | NEANT                    | NEANT                    | NEANT                           | NEANT                           | LAMBDACAL<br>P212EC<br>A 98 JAS | CONQUEST<br>C88EC<br>A 98 JAS  |
| 100%<br>Convention-<br>nel | AVAUNT 150EC<br>A 34 JAS | AVAUNT 150EC<br>A 55 JAS | LAMBDACAL<br>P212EC<br>A 68 JAS | LAMBDACAL<br>P212EC<br>A 83 JAS | CONQUEST<br>C88EC<br>A 66 JAS   | CONQUEST<br>C88EC<br>A 107 JAS |
| RDS 5%                     | NEANT                    | NEANT                    | NEANT                           | NEANT                           | LAMBDACAL<br>P212EC<br>A 66 JAS | CONQUEST<br>C88EC<br>A 98 JAS  |

AVAUNT 150 EC = indoxacarb 150 g/l utilisé à 25 g/ha

LAMBDACAL P212EC = lambdacyhalothrine-profenofos 12-200 g/l utilisé à 1 l/ha

CONQUEST C88EC = cyperméthrine-acétamipride 72-16 g/l utilisé à 36-8 g/ha soit 500 ml/ha

Trait = traitement, JAS = jour après semis.

### 3.2.6. Observations

Les observations en milieu paysan ont porté sur :

- Le comptage du nombre de plantes sur 10 lignes de 20 m par parcelle élémentaire ;
- L'estimation du rendement dans chaque type de parcelle par le biais de 3 carrés de rendement de 100 m<sup>2</sup> chacun (10 m x 10 m). Cette récolte des carrés de rendement s'est réalisée avant la récolte totale du champ à environ 100 jours après levée.

Nous avons aussi comparé les rendements des différents traitements :

- Pour les producteurs qui ont mis en place des zones refuges dont la taille était de 20% du champ, nous avons comparé le **rendement refuge dans le sac (kg/ha) au rendement 100% BGII en kg/ha (80%) plus rendement PV kg/ha (20%)**.
- Pour les producteurs qui n'ont pas mis en place de refuge, nous avons comparé le **rendement refuge dans le sac (kg/ha) au rendement 100% BGII en kg/ha**.

Cette comparaison avait pour but de déterminer la rentabilité du 5% refuge dans le sac par rapport au refuge classique constitué de 20% de cotonnier conventionnel. Parlant du refuge classique constitué de 20% de cotonnier conventionnel, sa formule de calcul est la suivante : rendement 100% BG x 80% + rendement 100% conventionnel x 20% Cette rentabilité qui est la performance agronomique des deux types de refuge.

### 3.3. Analyse statistique des résultats

Les données ont été saisies à l'aide du Tableur Excel de Microsoft version 2010 et a également servi dans la réalisation des différents histogrammes. Les analyses ont été faites avec le logiciel XLSTAT version 2007. Les données ne présentant pas de différences statistiquement significatives entre elles ont été affectées de la même lettre à l'aide du test de Fisher au seuil de signification de 5%.

## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

### I. RESULTATS

#### 1.1. Analyse comparative des niveaux de RDS en station de recherche

Pour plus de logique, les comparaisons ont été faites à deux niveaux : les plantes de cotonnier conventionnel des différentes modalités de RDS ont été comparées à celles des parcelles de cotonnier conventionnel (non traitées et traitées suivant le programme vulgarisé). Les plantes de cotonnier transgénique situées tout autour des plantes de cotonnier conventionnel des RDS ont été comparées à celle de la parcelle 100% BG II.

#### 1.1.1. Comparaison des niveaux de colonisation par les larves de lépidoptères

##### 1.1.1.2. Niveaux de colonisation des parcelles de cottonniers conventionnels

Sur l'ensemble des quatre sites (Tableau 7), les plantes de cotonnier conventionnel des modalités RDS ont abrité significativement moins de larves de *Helicoverpa armigera* que le NT et le PV. Par contre, on a observé le même niveau de colonisation de *Diparopsis wartsesi* sur RDS que sur PV mais plus important sur NT. Au niveau de *Earias sp.* et de *Anomis flava*, les RDS se sont montrés équivalents au NT et inférieurs au PV. Pour ce qui est des populations de *Spodoptera littoralis* et de *Haritalodes derogata*, les modalités RDS se sont montrées supérieures au NT mais inférieures au PV.

**Tableau 7** : Nombre moyen de ravageurs par plante de cotonnier conventionnel sur les quatre sites

|               | <i>Helicoverpa armigera</i> | <i>Diparopsis wartsesi</i> | <i>Earias sp.</i> | <i>Anomis flava</i> | <i>Spodoptera littoralis</i> | <i>Haritalodes derogata</i> |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 5 % RDS       | 0,06 a                      | 0,01 a                     | 0,01 b            | 0,04 b              | 0,02 b                       | 0,05 b                      |
| 7,5 % RDS     | 0,06 a                      | 0,01 a                     | 0,01 b            | 0,03 b              | 0,02 b                       | 0,04 b                      |
| NT            | 0,09 b                      | 0,02 b                     | 0,01 b            | 0,04 b              | 0,03 c                       | 0,11c                       |
| PV            | 0,09 b                      | 0,01 a                     | 0,00 a            | 0,01 a              | 0,01 a                       | 0,00 a                      |
| F             | 4,245                       | 8,172                      | 8,442             | 47,794              | 6,336                        | 200,347                     |
| Pr > F        | 0,005                       | < 0,0001                   | < 0,0001          | < 0,0001            | 0,000                        | < 0,0001                    |
| Signification | HS                          | HS                         | HS                | HS                  | HS                           | HS                          |

HS : Hautement significatif, RDS : Refuge dans le sac, NT : Non traité, PV : Programme vulgarisé



### 1.1.1.3. Niveaux de colonisation sur cotonniers transgéniques

La synthèse des quatre sites en ce qui concerne le niveau de colonisation des ravageurs sur les modalités RDS (Tableau 8) montre que le BG II 100% hébergeait significativement plus de larves de *Diparopsis sp.* de *Earias sp.*, de *Anomis flava*, de *Spodoptera littoralis* et de *Haritalodes derogata* que ces modalités RDS.

**Tableau 8** : Nombre de ravageurs par plante de cotonnier transgénique sur les quatre sites

|               | <i>Helicoverpa armigera</i> | <i>Diparopsis watersi</i> | <i>Earias sp</i> | <i>Anomis flava</i> | <i>Spodoptera littoralis</i> | <i>Haritalodes derogata</i> |
|---------------|-----------------------------|---------------------------|------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| BGII          | 0,009                       | 0,008 b                   | 0,003 c          | 0,010 b             | 0,017 b                      | 0,026 b                     |
| 95% BG II     | 0,011                       | 0,001 a                   | 0,002 b          | 0,007 a             | 0,011 a                      | 0,015 a                     |
| 92,5 % BG II  | 0,008                       | 0,002 a                   | 0,001 a          | 0,007 a             | 0,010 a                      | 0,014 a                     |
| F             | 2,193                       | 26,327                    | 6,388            | 5,849               | 5,389                        | 18,650                      |
| Pr > F        | 0,112                       | < 0,0001                  | 0,002            | 0,004               | 0,005                        | < 0,0001                    |
| Signification | NS                          | HS                        | HS               | S                   | S                            | HS                          |

NS : Non Significatif ; S : Significatif ; HS : Hautement significatif, RDS : refuge dans le sac, NT : Non Traité, PV : programme vulgarisé

## 1.1.2. Comparaison des états sanitaires des capsules et des rendements

### 1.1.2.1. Etats sanitaires des capsules de plantes de cotonnier conventionnel

Pour l'ensemble des quatre sites (Tableau 9), on note que RDS 7,5% a donné significativement plus de capsules saines sur plantes conventionnels que le PV. Au niveau des capsules percées, les deux modalités RDS ont été équivalentes au PV. Le PV s'est montré plus performant que les autres traitements au niveau du nombre de capsules momifiées.

**Tableau 9 :** Analyse sanitaire par plante de cotonnier conventionnel sur l'ensemble des quatre sites

| Modalités     | Capsules saines | Capsules trouées | Capsules momifiées |
|---------------|-----------------|------------------|--------------------|
| RDS 5 %       | 5,9 ab          | 0,7 a            | 1,0 c              |
| RDS 7,5 %     | 7,1 a           | 0,8 a            | 1,0 c              |
| NT            | 5,2 b           | 1,2 b            | 0,7 b              |
| PV            | 5,8 b           | 0,9 a            | 0,5 a              |
| F             | 3,048           | 6,959            | 8,780              |
| Pr > F        | 0,028           | 0,000            | < 0,0001           |
| Signification | S               | HS               | HS                 |

S : Significatif, HS : Hautement significatif, RDS : refuge dans le sac, NT : non traité, PV : programme vulgarisé

### 1.1.2.2. Etats sanitaires des capsules de plante de cotonnier transgénique

Pour l'ensemble des sites (Tableau 10), 92,5 % BG II au seuil de 5% a donné significativement moins de capsules saines par rapport au 100% BG II. Au niveau des capsules trouées, on n'a noté aucune différence entre les trois modalités. Pour ce qui est des capsules momifiées, 95% BG II s'est montré le moins performant.

**Tableau 10 :** Analyse sanitaire des capsules par plante de cotonnier transgénique sur l'ensemble des quatre sites

| Modalités     | Capsules saines | Capsules trouées | Capsules momifiées |
|---------------|-----------------|------------------|--------------------|
| 100% BG II    | 7,33 a          | 0,37             | 0,69 a             |
| 95 % BG II    | 6,65 ab         | 0,43             | 0,91 b             |
| 92,5 % BG II  | 6,28 b          | 0,46             | 0,76 a             |
| F             | 3,403           | 0,984            | 3,669              |
| Pr > F        | 0,033           | 0,374            | 0,026              |
| Signification | S               | NS               | S                  |

S : Significatif, NS : Non significatif, S : Significatif, BG II : Bollgard II

### 1.1.3. Effet des traitements sur le rendement

Les rendements des trois sites ainsi que la moyenne sont inscrits dans le tableau 11. A Houndé et à Farako-Bâ, on n'a noté aucune différence significative entre les modalités mises en comparaison. En revanche à Kombissiri, bien que les rendements soient très bas à cause du retard observé dans le semis et des caprices pluviométriques, les deux modalités de RDS se sont montrées plus performantes que BG II 100% et le NT. RDS 5% s'est montré performant par rapport PV. De même RDS 7,5% s'est montré supérieur au PV.

Tableau 11 : Effet des traitements sur le rendement (kg/ha)

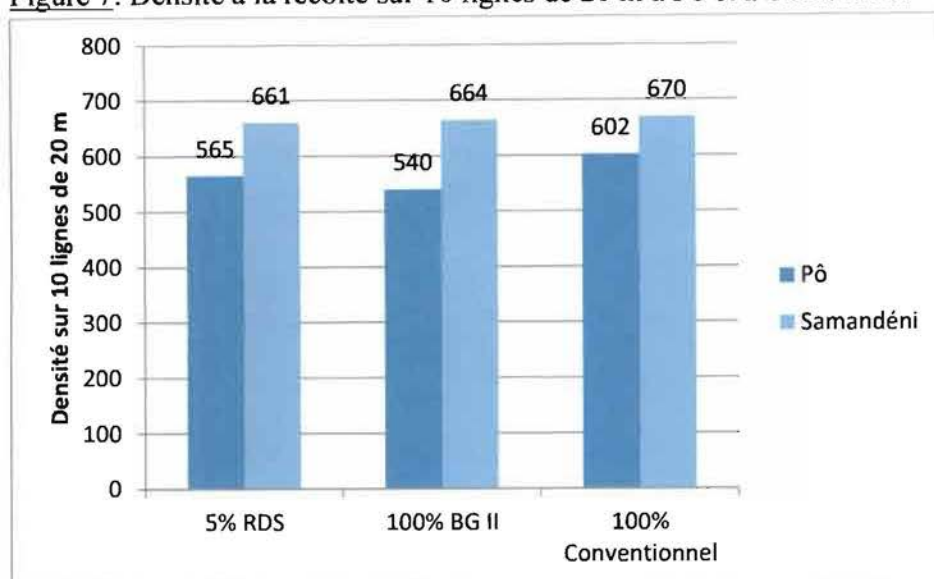
| Traitements   | Houndé | Farako-Bâ | Kombissiri | Moyenne |
|---------------|--------|-----------|------------|---------|
| 5 % RDS       | 582    | 1434      | 684 ab     | 900     |
| 7,5 % RDS     | 700    | 1536      | 732 a      | 989     |
| 100% BGII     | 656    | 1433      | 391 c      | 827     |
| NT            | 627    | 1146      | 293 c      | 688     |
| PV            | 850    | 1587      | 439 bc     | 959     |
| F             | 0,859  | 1,181     | 4,989      | 0,751   |
| Pr > F        | 0,510  | 0,359     | 0,009      | 0,562   |
| Signification | NS     | NS        | HS         | NS      |

NS : Non significatif, HS : Hautement significatif, RDS : Refuge dans le sac, BG II : Bollgard II, NT : Non traité, PV : Programme vulgarisé

### 1.2. Densité à la récolte sur 10 lignes de 20 m en milieu paysan

La figure 7 nous présente l'histogramme de la densité à la récolte sur 10 lignes de 20 mètres sur les sites de Pô et Samandéni. Cet histogramme nous permet de voir de façon spécifique que les densités sont plus faibles à Pô qu'à Samandéni. A Samandéni, les densités semblent être équivalentes entre les différentes modalités. Par contre à Pô, les densités sur le 100% Conventionnel sont respectivement supérieures à celles du 5% RDS et 100% BG II.

Figure 7: Densité à la récolte sur 10 lignes de 20 m à Pô et à Samandéni.



### 1.3. Analyse des rendements en coton en milieu paysan

#### 1.3.1. Niveau des rendements en coton sur les deux sites

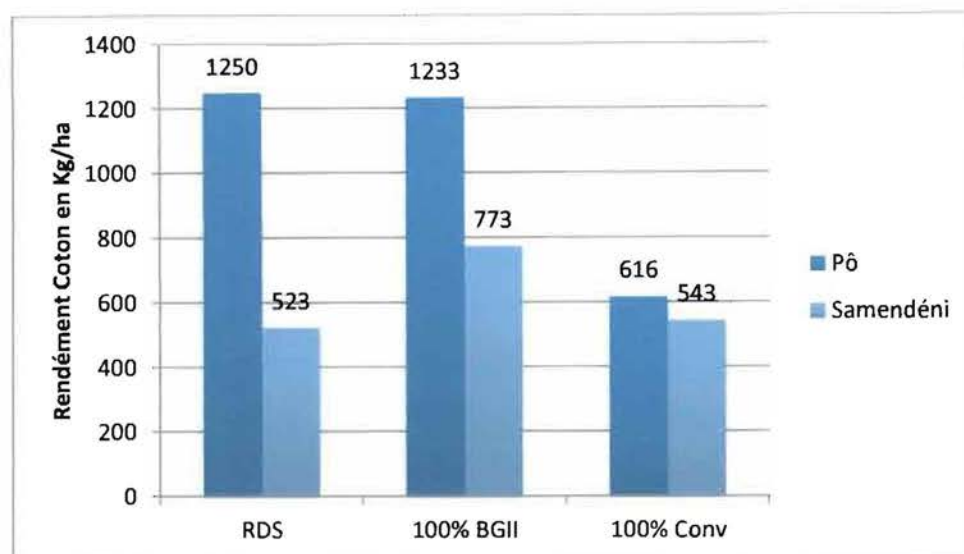
Le tableau 12 nous fait l'économie des rendements en coton graine sur chaque type de traitement au niveau des deux sites. De façon générale, la moyenne des rendements sur les deux sites nous révèle que les rendements sont faibles.

Tableau 12 : Rendements en coton graine sur les différentes modalités sur les sites de Pô et de Samandéni.

| Localité  | Rendement 100% Conventionnel (kg/ha) | Rendement 100% BG II (kg/ha) | Rendement 5% RDS (kg/ha) |
|-----------|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Pô        | 616,67                               | 1233,33                      | 1250                     |
| Samandéni | 543,33                               | 773,33                       | 523,33                   |
| Moyenne   | 580                                  | 1003,33                      | 886,67                   |

L'histogramme des rendements des différentes modalités sur les deux sites (figure 8) nous permet de constater que les rendements sont nettement plus faibles à Samandéni qu'à Pô. En outre, à Pô, le 5% RDS a été le plus performant en terme de rendement avec 1250 kg/ha. Par contre, sur le site de Samandéni, c'est le RDS 5% qui s'est montré moins performant avec seulement 523,33 kg de coton graine à l'hectare.

Figure 8 : Histogramme des rendements en coton à Pô et à Samandéni



### 1.3.3. Rentabilité ou performance agronomique du refuge dans le sac

Le tableau 13 nous montre la rentabilité du refuge dans le sac par rapport au refuge classique de 20% vulgarisé au Burkina Faso au niveau des producteurs. Sur le site de Pô, les rendements du RDS ont été supérieurs à ceux du refuge classique 20% ; ce qui a induit un gain de 140 kg/ha pour le RDS. A Samandéni, nous avons noté que les rendements sont faibles, nettement bien en deçà de la tonne à l'hectare. Aussi, la profitabilité du RDS par rapport à celle du refuge classique s'est-elle marquée par une perte de 204 kg/ha.

Tableau 13 : Rentabilité ou performance agronomique du refuge dans le sac

| Localité  | RDS (kg/ha) | *Refuge classique (kg/ha) | Gain sur RDS (kg/ha) |
|-----------|-------------|---------------------------|----------------------|
| Pô        | 1250        | 1110                      | 140                  |
| Samandéni | 523,3       | 727,3                     | -204                 |
| Moyenne   | 886,65      | 918,65                    | -32                  |

\* : la formule de calcul du refuge classique est : rendement 100% BG x 80% + rendement 100% conventionnel x 20%

## II. DISCUSSION

Les plantes de cotonnier conventionnel associées aux plantes de cotonnier transgénique dans les RDS ont hébergé des larves de lépidoptères à des niveaux différents. La présence de ces larves de lépidoptères sur ces plantes de cotonnier conventionnel et malgré qu'elles soient entourées par des cotonniers transgéniques signifie que ces plantes ont servi de refuge pour ces larves de lépidoptères. Ce résultat similaire a été trouvé par Monsanto (2011) qui considère comme refuge toute zone pouvant servir d'abri pour des insectes qui restent sensibles à l'insecticide *Bt* produit par ladite culture. Dans notre cas, ces plants conventionnels ont joué ce rôle de refuge.

Le 100% BG II a hébergé significativement de larves de *Diparopsis sp.*, de *Earias sp.*, de *Anomis flava*, de *Spodoptera littoralis* et de *Haritalodes derogata* que ces modalités RDS. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que la présence de ces plantes refuges ne réduise pas la capacité des plantes *Bt* des RDS à contrôler efficacement les ravageurs. Bien au contraire, l'analyse nous montre que ces plants *Bt* des RDS sont plus efficaces que les 100% BG II.

L'analyse sanitaire par plante de cotonnier conventionnel sur l'ensemble des quatre sites nous révèle que la qualité des capsules récoltées sur ces plantes de cotonnier conventionnel des parcelles RDS est au moins équivalente à celle des capsules récoltées sur les plantes de cotonnier conventionnel traités suivant le programme vulgarisé. Ce résultat signifie que le fait que les plantes de cotonnier conventionnel soient des refuges n'entraîne pas des dégâts sur ces dernières. Ce résultat abonde dans le même sens que ceux de Monsanto (2011).

Quant à l'analyse des capsules saines sur les plants transgéniques, le 5% RDS s'est montré similaire au 100% BG II, par contre le 7,5% RDS s'est montré moins performant. La baisse de la performance de 7,5% RDS pourrait s'expliquer par la forte présence de plants conventionnels non traités selon le programme vulgarisé qui limite les effets néfastes des insectes ravageurs. Par contre, le 5% RDS a tenu son rang en restant similaire au 100% BG II. Le contrôle des larves par le 100% BG II et le RDS 5% s'explique par la présence des toxines *Bt*. En effet, une fois les toxines ingérées par l'insecte, celles-ci paralysent son tube digestif entraînant de ce fait la mort de l'insecte dans les quarante-huit à soixante-douze heures qui suivent (Tiemtoré, 2007).

Bien que les rendements soient faibles à Kombissiri à cause du retard accusé dans le semis, des caprices pluviométriques et de la nature du sol, les deux modalités RDS se sont montrées

plus performantes que le 100% BG II et le NT. Selon Helvetas (2008), les conditions défavorables tels que la sécheresse, l'excès d'eau, la baisse des températures ou le semis tardif peuvent entraîner des pertes de capsules des cotonniers qui peuvent diminuer jusqu'à 10%. Nonobstant, cette situation les deux modalités de RDS sont restées performantes. Ces résultats sont similaires à ceux que nous rapporte Hébert (2012) dans le cas du refuge dans le sac avec le maïs. Cependant, la moyenne des rendements sur les sites nous a révélé une perte de 6% sur 5% RDS par rapport au refuge coton conventionnel traité alors qu'il y a un gain de 3% sur le 7,5% RDS par rapport au refuge classique. Selon le Programme coton (2011), durant la campagne 2010/2012 le 5% RDS permettait de réaliser un gain de 9% par rapport au refuge constitué de 20% de coton conventionnel traité suivant le programme vulgarisé. Cette perte du 5% RDS cette année pourrait s'expliquer par les conditions pédoclimatiques sur les différents sites.

En milieu paysan, la faiblesse des densités sur les deux sites pourrait s'expliquer d'une part, par le retard dans les semis et d'autre part par les conditions climatiques défavorables. A ce titre, Vilain (1989) nous rapporte que les semis tardifs altèrent la durée de végétation. Aussi Helvetas (2008) souligne-t-il que des conditions défavorables peuvent causer la chute des fleurs. La qualité des semences et la qualité du travail pourraient expliquer cette faiblesse des rendements.

A Pô, le 5% RDS a été le plus performant tandis qu'à Samandéni, il a été le moins performant. Ce résultat pourrait être lié à la zone de production. En effet, les conditions pédoclimatiques diffèrent d'un site à un autre et cela peut certainement jouer sur les rendements des différentes modalités. Ce résultat est similaire à ceux de Carrière *et al.* (2004) ; Tabasnik *et al.* (2009), Frances *et al.* (2013) et Jamin *et al.* (2013). En effet, ces auteurs nous expliquent que la performance du refuge varie selon les années et les sites. C'est pourquoi nous avons constaté une telle différence de performance entre les différents sites des mêmes modalités 5% refuge dans le sac. Ces conclusions sont similaires à celles des travaux de Ricci *et al.* (2009), Lavandero *et al.* (2009) et Tyutyunov *et al.* (2009).

En effet, en nous référant à la performance agronomique du RDS par rapport au refuge classique 20%, nous avons remarqué que le résultat différait d'un site à l'autre. En effet, sur le site de Pô, cette performance du 5% RDS par rapport au refuge classique se matérialisait par un gain de 140 kg de coton graine à l'hectare. Un résultat a été trouvé par Hébert (2012) dans le cas du maïs. Ces conclusions sont similaires à celles que nous rapportent Tiemtoré

(2007) et Brévault et *al.* (2011) dans le cas des plantes hôtes utilisées comme refuge dans la gestion de la résistance de *Helicoverpa armigera*. Cependant à Samandéni, la performance agronomique du RDS s'est traduite par une perte de l'ordre de 204 kg/ha. Cela signifie que dans cette localité, il est plus profitable aux producteurs de mettre en place la zone refuge constituée de 20% de cotonnier conventionnel traité suivant le programme vulgarisé. Cette perte pourrait s'expliquer par une pression des ravageurs plus forte dans cette zone par rapport au site de Pô en plus du retard accusé dans les semis. A cet effet, Helvetas (2008), Traoré (2008) et Dakuo (2012) nous rapportent que la forte pression des ravageurs occasionner des pertes de rendements de l'ordre de 60 à 75% de la production totale.



## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'expérimentation conduite pendant les campagnes agricoles 2012 et 2013 sur le refuge dans le sac a permis de voir que la modalité 5% héberge effectivement les ravageurs lépidoptères du cotonnier tout en évitant de réaliser des pertes considérables pour le producteur. Ces résultats nous ont permis de passer en milieu paysan pour y tester et confirmer les performances obtenues en station de recherche.

En milieu paysan, les performances du 5% refuge dans le sac par rapport au refuge classique 20% vulgarisé au Burkina Faso ont différé d'un site à un autre. Pendant que la performance agronomique du 5% refuge dans le sac à Pô par rapport au refuge classique 20% traité suivant le programme vulgarisé s'est traduite par un gain de 140 kg par hectare, elle se traduisait par une perte de 204 kg par hectare à Samandéni.

Vu que le retard accusé dans la mise en place des essais a engendré de nombreuses difficultés et que le système d'estimation des rendements par les carrés de rendement pourrait engendrer des erreurs, il serait souhaitable de reprendre cette expérimentation sur des parcelles élémentaires plus petites et la mettre en place à temps dans plusieurs zones en vue de mieux apprécier la portée de ce RDS. Si après des années d'étude, le RDS ne se montrait pas plus performant, il serait alors judicieux de le préconiser dans les zones où il est profitable et garder le refuge classique de 20% de cotonniers conventionnels traités suivant le programme vulgarisé dans les zones où le RDS ne sera pas profitable.

Ainsi, à terme, l'objectif sera de créer une base de données pour guider les producteurs quant au choix de la meilleure stratégie de refuge en fonction de la localité car nos résultats ont montré que le rendement du 5% refuge dans le sac dépendait de la zone de production.

Malgré l'engouement que suscite le concept de refuge dans le sac, ne serait-il pas légitime et judicieux de poursuivre des études sur le suivi de la sensibilité des larves de *Helicoverpa armigera* issues du refuge dans le sac dans le but de prévenir toute éventuelle résistance de cette noctuelle à la technologie *Bt* ?

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AHMAD M., 2004.** Current IPM ! IRM programmes for *Helicoverpa armigera* (Hübner) in Pakistan. Atelier Projet GERICO du 06 au 10 Décembre 2004. (CD-R)
- ALAUX T., 1994.** Prévention de la résistance aux pyréthriinoïdes chez *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera : Noctuidae) en Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 133 p.
- AMBEC S., 2004.** Régulation des risques relatifs au développement de résistance chez les insectes (Résumé). INRA. Journée du Département Sciences sociales, agriculture et alimentation, espace et environnement (SAE2). Paris-15 décembre 2004. Pdf., 2p.
- BAGLA P., 2010.** Hardy cotton-munching pests are latest blow to GM crops. *Science* 327:1439.
- BEEGLE C. C., & YAMAMOTO T., 1992.** Invitation paper (C. P. Alexander Fund): History of *Bacillus thuringiensis* Berliner research and development. *Canadian Entomologist* 124, 584-616.
- BETZ F. S., HAMMOND B. G., & FUCHS R. L., 2000.** Safety and advantages of *Bacillus thuringiensis* protected plants to control insect pests. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 32, 156-173.
- BEYO J., BREVAULT T., NIBOUCHE S. & ASFOM P., 2002.** Sensibilité aux insecticides pyréthriinoïdes chez *Helicoverpa armigera* (Hübner) au Nord Cameroun. Acte de l'atelier sur la résistance des insectes aux insecticides en Afrique de l'Ouest et du Centre, Mars 2002, Maroua, Cameroun Prasac, N'Djamena, Tchad, 2, 31-43.
- BOURGUET D., DESQUILBET M., & LEMARIE S., 2003.** Le dispositif des zones refuges pour le maïs *Bt* aux Etats-Unis. *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°48, février 2003, 11p.
- BLANCHARD M., 2005.** Relations agriculture élevage en zone cotonnière : territoire de Koumbia et waly, Burkina Faso. Mémoire de DESS, Université Paris XII, Val de Marne, France, 97 p.
- BREVAULT T., NIBOUCHE S., ACHALEKE J., & CARRIERE Y., 2011.** Assessing the role of non-cotton refuge in delaying *Helicoverpa armigera* resistance to *Bt* cotton in West Africa. *Blackwell Publishing Ltd* 5 (2012) 53-65.
- BUES R., KOUASSI A. S. & TOUBON J. F., 2004.** La noctuelle *Helicoverpa armigera* (Hübner) : cycle évolutif, dégâts en France 2003 et résistance aux insecticides. *Phytoma-La Défense des Végétaux*, 568, 29-33.

- BURKINA BIOTECH ASSOCIATION, 2013.** Biotechnologie dans le monde : le Burkina Faso, une référence concernant le coton génétiquement modifié. Rapport d'activité.
- CALAN P., 1966.** Le cotonnier et l'industrie cotonnière. Presse Universitaire de France, 126 p.
- CARON H., 1991.** Un exemple de résistance aux insecticides: *Helicoverpa* spp dans les agrosystèmes cotonniers. Mémoire de stage, IRCTI CIRAD Montpellier, 32 p.
- CARRIERE Y., 2009.** Résistance et approche systémique : nouveaux défis. L'évolution de la résistance chez les ravageurs ciblés par les cultures Bt. Colloque en phytoprotection, 22 octobre 2009. Agrireseau.qc.ca
- CARRIÈRE Y., DUTILLEUL P., ELLERS-KIRK C., PEDERSEN B., HALLER S., ANTILLA L.; DENNEHY T. J., & TABASHNIK B. E., 2004.** Sources, sinks, and the zone of influence of refuges for managing insect resistance to bt crops. *Ecological Applications* 14:1615–1623.
- CASTELLA J. C., 1996.** Stratégies de luttés contre les insectes ravageurs dans les systèmes de culture cotonnière en Thaïlande: logique actuelle et proposition pour une gestion durable. IRCT, éd. Paris, France 282 p.
- CAUQUIL J., 1986.** Maladies et ravageurs du cotonnier en Afrique au Sud du Sahara. *Coton et Fibres Tropicales*. IRCT-CIRAD, 92 p.
- DAKUO D., 2005.** Contribution de la SOFITEX à l'Atelier sur les Biotechnologies Modernes. Niamey -7 au 8 novembre 2001. Communication personnelle.
- DAKUO D., 2012.** Un exemple de développement : la culture du coton Bt au Burkina Faso. 2<sup>ème</sup> Colloque de l'Association Française des Biologies Végétales (AFBV). Paris, France, 15p.
- DELORME R., 1985.** La résistance des insectes aux insecticides 1. *Phytoma - Défense des cultures*. 01185, 39-41.
- DON H. E., & CROSSLEY S., 2001.** *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) : Corn Earworm, Tomato Grub, Tobacco Budworm, Cotton Bollworm. <http://linus.socs.uts.edu.au/don/larvae/noct/armi.html>
- DOWNES S., PARKER T., & MAHON R., 2010.** Incipient Resistance of *Helicoverpa punctigera* to the Cry2Ab Bt toxin in Bollgard II Cotton. *PLoS ONE* 5:1–5.
- DRABO A., 2005.** Evaluation de l'efficacité de deux delta-endotoxines de *Bacillus thuringiensis* (CryIAc et Cry2Ab) synthétisées par le cotonnier transgénique (coton Bt) dans la gestion de la résistance de *Helicoverpa armigera* (Hübner) à la deltaméthrine, Institut du Développement Rural! Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, 59 p.

- EYANATI A. A., VONTAS J. S., SMALL G. J., McCAROLL L., & HEMINGWAY J., 2001.** Quantification of pyrethroid insecticides from treated bednet using a mosquito recombinant glutathione S-transferase. *Medical and Veterinary Entomology*, 15 (1),58-63.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2004.** Situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Collection FAO : Agriculture N 35.
- FRANCES S. S., ROSENHEIM J. A., DUTILLEUL P., CARRIERE Y., 2013.** Influence of the surrounding landscape on crop colonization by a polyphagous insect pest. *Entomologia Experimentalis et Applicatan/a-n/a*.
- FRANCHE C., & DUHOUX E., 2001.** La transgénèse végétale. Editions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Collection *BioCampus*. 191 p.
- FRYXELL P. A., 1984.** Taxonomy and germplasm resources. Cotton, Eds., American Society of Agronomy, Madison, USA, 27-57.
- GILL S. S., COWLES E. A. & PIETRATONIO P. V., 1992.** The mode of action of *Bacillus thuringiensis* endotoxins. *Ann. Bev. Ent*, 37,615-636.
- GIRET M., & COUILLOUD R, 1982.** Effet de la température sur le stade nymphal d '*Heliothis armigera* (Hübner) (Lepidoptera : Noctuidae) : technique de conservation par arrêt de développement à 15°C. *Coton et Fibres Tropicales*, 37, 271-276.
- GUILLET T., 1997.** La détection de la résistance aux insecticides chez les moustiques. Actes des journées coton du CIRAD-CA, 132-137.
- GUINKO S., 1984.** Végétation de la Haute- Volta. Thèse de Doctorat d'état, Université de Bordeaux III, France, Tome I, 318 p.
- GUINNING R. V., MOORES G. D. & DEVONSHIRE A. L., 1996.** Esterase and fenvalerate resistance in Australian *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Pesticide biochemistry and physiology*, 54 (1), 12-23.
- GUINNING RV., MOORES G.D. & DEVONSHIRE A.L., 1999.** Esterase's inhibitors synergise the toxicity of pyrethroids in Australian *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera, Noctuidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 63, 50-62.
- HARDWICK D. F., 1965.** The corn earworm complex. Memoirs Entomological Society of Canada, 40, 247 p.
- HEAD D. J., McCAFFERY A. R & CALLAGHAN A., 1998.** Novel mutations in the parahomologous sodium channel gene associated with phenotypic expression of nerve insensitivity resistance to pyrethroids in Heliothine Lepidoptera. *Insect Molecular Biology*, 7 (2),191-196.

- HEAD G., 2007.** Strategies de gestion de la resistance chez les insectes pour les cultures *Bt* dans les systèmes de petites exploitations agricoles. [http://www.icac.org/meetings/biotech\\_2007/documents/french/additional\\_contributions/f\\_head.pdf](http://www.icac.org/meetings/biotech_2007/documents/french/additional_contributions/f_head.pdf)
- HEBERT S., 2012.** Le refuge est dans le sac ! S'assurer d'un bon refuge conforme et d'une bonne protection contre la pyrale n'aura jamais été aussi simple. Communication personnelle. <http://www.lebuletin.com/wp-content/uploads/2012/06/Refuge-dans-le-sac.pdf> consulté le samedi 01 mars 2014 à 10h33mn.
- HECKEL D. J., GAHAN L. J., GOULD F., DALY J. C. & TROWELL S., 1997.** Genetics of *Heliothis* and *Helicoverpa* resistance to chemical insecticides and to *Bacillus thuringiensis*. *Pest. Sci.*, 51, 251-258.
- HELVETAS (2008).** Guide de production du coton biologique et équitable ; un manuel de préférence pour l'Afrique de l'Ouest. <http://www.organicotton.org> consulté le dimanche 02 mars 2014 à 16h35mn.
- HEMA S. A. O., 2004.** Contribution à la caractérisation biochimique de la résistance de *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera, Noctuidae) au Burkina Faso. Mémoire de DEA. Ecole Doctorale Régionale de Biotechnologie, Université de Ouagadougou, 37p.
- HÖFTE H., AND WHITELEY, H.R., 1989.** Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Rev.*, 53: 242-255.
- ICAC « World cotton trade to decline significantly in 2012/13 », 2 juillet 2012** <http://icac.org/wp-content/uploads/2012/07/PR-JULY-2012-World-Cotton-Trade-to-decline-significantly.pdf> consulté le jeudi 31 janvier 2014 à 13h.
- JAMIN D., GRATTON C., 2013.** Habitat linkages in conservation biological control: lessons from the land-water interface. *Biological Control*, 48 p.
- JAMIN J.Y., SEINY B. L., FLORET C., 2003.** Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, Garoua, Cameroun. Prasac, N'Djamena, Tchad-Cirad, Montpellier, France.
- KAMRIN M. A., 1997.** Pesticide profiles: toxicity, environmental impact and fate. CRC, Boca Raton, FL, 535-539.
- KING A. R S., 1994.** *Heliothis/ Helicoverpa* (Lepidoptera: Noctuidae). Insect pests of cotton. CAB International, Wallingford, UK, 39-106.
- KRANTHI K. R., & RUSSELL D., 2004.** Resistance to Bt in India *Helicoverpa armigera* (Hübner). Atelier Projet GERICO du 06 au 10 Décembre 2004 (CDROM).

- KRANTHI K. R., RUSSELL D., WANJARI R., KHERDE M., & MUNJE S., 2002.** In season changes in resistance to insecticide in *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) in India. *Journal of Economic Entomology*, 143 (2), 1-24.
- KUMAR R., 1991.** La lutte contre les insectes ravageurs. CTA - Karthala. 31Op.
- LAVANDERO B., MIRANDA M., RAMIREZ C. C., FUENTES-CONTRERAS E., 2009.** Landscape composition modulates population genetic structure of *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) on *Malus domestica* Borkh in central Chile. *Bulletin of Entomological Research* 99:01, 97
- MARTIN T., YOBO-TITIAHY P. A., OCHOU G. O., & NIERE K., 2000.** Suivi de la résistance aux pyréthrinoïdes de *Helicoverpa armigera* (Hübner) dans la zone cotonnière de Cote d'Ivoire. Rapport de synthèse PR-PRAO, 1999-2000, 169-170.
- MATTEN S. R., HEAD G. P., & QUEMADA H. D., 2008.** How governmental regulation can help or hinder the integration of *Bt* crops into IPM programs. In J. Romeis, A. M. Shelton, and G. G. Kennedy, eds. *Integration of Insect-Resistant Genetically Modified Crops within IPM Programs*, pp. 27–39. Springer, New York.
- MAUNEY J. R., 1984.** Anatomy and morphology of cultivated cotton. Cotton, Eds., American Society of Agronomy, Madison, USA, 59-81.
- McCAFFERY A. R., & AHMAD M., 1988.** Resistance to insecticides in Thailand strains of *Heliothis armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 81 (1), 45-48.
- MENOZZI P., VAISSAYRE M., & VASSAL J. M., 2002.** La résistance des insectes aux insecticides neurotoxiques. Acte de l'atelier sur la résistance des insectes aux insecticides en Afrique de l'Ouest et du Centre, Mars 2002, Maroua, Cameroun. Prasac, N'Djamena, Tchad, 2,5-17.
- MI A., ZA B., AHMED M. S., 2007.** Exigences en matière de culture refuge et leurs implications pour le coton biotech. [http://www.icac.org/cotton\\_info/tis/biotech/documents/recorderdocs/f\\_september\\_2007.pdf](http://www.icac.org/cotton_info/tis/biotech/documents/recorderdocs/f_september_2007.pdf)
- MICROSOFT ENCARTA JUNIOR, 2009.** Coordonnées géographiques. <http://www.microsoftencartajunior.org> consulté le vendredi 01er fevrier 2014 à 16h00mn.
- MILLER T. A., 1988.** Mechanisms of resistance to pyrethroid insecticides. *Parasitology Today*, 4, 8-12.

- MONSANTO, 2010.** Cotton in India. [http://www.monsantoindia.com/monsanto/layout/pressreleases/mmb\\_pressrelease.asp](http://www.monsantoindia.com/monsanto/layout/pressreleases/mmb_pressrelease.asp) [accessed on February 2010].
- MONSANTO, 2011.** La définition des zones refuges. <http://www.monsanto.com> consulté le samedi 02 février 2014 à 17h30mn.
- MYRE S., 2010.** Les zones refuges dans le maïs *Bt* : un devoir collectif, une responsabilité individuelle. DEKALB Canada, 12 p.
- NIBOUCHE S., 1994.** Cycle évolutif de *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera, Noctuidae) dans l'Ouest du Burkina Faso: biologie, écologie et variabilité géographique des populations. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 130 p.
- NIBOUCHE S., 1999.** *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera, Noctuidae, Heliiothinae). Les déprédateurs du cotonnier en Afrique Tropicale et dans le reste du monde n°12, CIRAD-CA, Paris, France, 49 p.
- OUEDRAOGO H 1992.** Population et développement dans la province du Bazèga, 76 p.
- ONSTAD D. W., CARRIERE Y., 2014.** The Role of Landscapes in Insect Resistance Management. , 327-371. CrossRef
- PARRY G., 1982.** Le cotonnier et ses produits. Technique agricole et productions tropicales. Maisonneuve et Larose, Paris, France, 502 p.
- PINCHARD V., 1993.** Etude des mécanismes de résistance chez un ravageur du cotonnier: *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidoptera, Noctuidae). 187 p.
- PROGRAMME COTON, 2003.** Résultats des Activités de Recherche. Campagne agricole 2003-2004. Rapport d'Activité. Programme coton/INERA/Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 34 p.
- PROGRAMME COTON, 2004.** Résultats des Activités de Recherche. Campagne agricole 2004-2005. Rapport d'Activité. Programme coton/INERA/Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 27 p.
- PROGRAMME COTON, 2011.** Résultats des Activités de Recherche. Campagne agricole 2011-2012. Rapport d'Activité. Programme coton/INERA/Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 46 p.
- RÉJASSE A., BETHENOD M.T., BOURGUET D., 2000.** A propos de zones refuges dans le maïs transgénique : que l'on décide ou non de cultiver du maïs « *Bt* », il est bon de savoir si on peut gérer les risques de résistance et comment ! *Phytoma*, 531, 52-54.

- RENAUDIN C., PELC H., OPOIS J., 2012.** Cotonnier génétiquement modifié : l'expérience d'une campagne agricole au Burkina Faso. *Cah Agric* 21 : 387-94. doi : 10.1684/ agr.2012.0579.
- RICCI B., FRANCK P., TOUBON J. F., BOUVIER J. C., SAUPHANOR B., LAVIGNE C., 2009.** The influence of landscape on insect pest dynamics: a case study in southeastern France. *Landscape Ecology* 24:3, 337-349
- RODRIGUEZ M., ORTIZ E., BISSET J.A., HEMINGWAY J. & SALEDO E., 1993.** Changes in malathion and pyrethroid resistance after cypermethrin selection of *Culex quinquefasciatus* field population of Cuba. *Medical and Veterinary Entomology*, 7, 117-121.
- RUSSELL D., KRANTHI K.R., REGUPATHY A. & AHMAD M., 2004.** CUITEN insecticide resistance management programme for *Helicoverpa armigera* (Hübner) in India. Atelier Projet GERICO du 06 au 10 Décembre 2004. (CD-R).
- SCHNEPF E., CRICKMORE N., VAN J., LERECLUS D., BAUM J., FEITELSON J. S., ZEIGLER D. R. & DEAN D. H., 1998.** *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins. *Microbiol. Molecular Biol.*, 62, 775-806.
- SEMENT G., 1986.** Le cotonnier en Afrique Tropicale. Maisonneuve et Larose, 133 p.
- SOME N. H., 2007.** Impact du coton Bollgard II sur la faune auxiliaire des insectes du cotonnier. Cas de *Encarsia sp.* parasitoïde de *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera : Aleyrodidae) à l'ouest du Burkina Faso. Mémoire de DEA, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo, 56p.
- STIMAMIGLIO F. & CHABERT F., 2004.** Utilisation efficace et sans risque des produits phytosanitaires. Programme de formation des agents d'encadrement de la Compagnie
- STORER N. P., BABCOCK J. M., Schlenz M., MEADE T., THOMPSON G. D., BING J. W., & HUCKABA R. M., 2010.** Discovery and Characterization of Field Resistance to *Bt* Maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. *Journal of Economic Entomology* 103:1031–1038.
- TABASHNIK B. E., VAN RENSBURG B. J., AND CARRIÈRE Y., 2009.** Field-evolved insect resistance to *Bacillus thuringiensis* crops: definition, theory, and data. *Journal of Economic Entomology* 102:2011–2025.
- TABASHNIK B. E., GASSMANN A. J., CROWDER D. W., & CARRIÈRE Y., 2008.** Insect resistance to *Bt* crops: evidence versus theory. *Nature Biotechnology* 26:199–202.



- TABASHNIK B. E., & CARRIERE Y., 2012.** Field-Evolved Resistance to Bt Cotton: Bollworm in the U.S. and Pink Bollworm in India. *Southwestern Entomologist* **35**:3, 417-424.
- TIAO L. A., 2013.** Luc Adolphe TIAO devant les députés : l'intégralité de sa déclaration de politique générale. Extrait du DEMOCR@TIC-TIC et Démocratie (<http://www.democratics.info/s-informer/la-democratie-au-burkina/article/luc-adolphe-tiao-devant-les> consulté le jeudi 31 janvier 2013 à 13h00).
- TIEMTORE C. B., 2007.** Role des plantes hôtes dans le maintien de la sensibilité de *Helicoverpa armigera* (Hübner,) (Lepidoptera : Noctuidae) aux toxines du coton *Bt* au Burkina Faso. Mémoire de DEA, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo, 43p.
- TOGUEBAYE B. S., & COUILLOUD R., 1982.** Etude descriptive de l'oeuf et des stades larvaires d'*Heliothis armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera: Noctuidae) en microscopie électronique à balayage. *Coton et Fibres Tropicales*, **37**, 197-209.
- TRAORE D., 1997.** La résistance des insectes aux pesticides: une réalité à prendre en compte dans la mise en place d'une lutte intégrée en culture cotonnière. *Publications scientifiques des chercheurs*, 241-251.
- TRAORE D., HEMA O. & ILBOUDO O., 1998.** Entomologie et expérimentation phytosanitaire. *Rapport annuel de campagne agricole 1998-1999*, 120-179.
- TRAORE O., 2008.** Les succès de la lutte intégrée contre les ravageurs du cotonnier en Afrique de l'Ouest. 67<sup>ème</sup> réunion plénière de l'ICAC. Communication personnelle. Ouagadougou (Burkina Faso), 16-21 novembre 2008, 18 p.
- TYUTYUNOV Y., ZHADANOVSKAYA E., BOURGUET D., ARDITI R., 2008.** Landscape refuges delay resistance of the European corn borer to *Bt*-maize: A demographic dynamic model. *Theoretical Population Biology* **74**:1, 138-146.
- ULRICHS C., 2002.** Tomato fruitworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) Lepidoptera :Noctuidae. Rapport de stage, 10 p.
- URAICHUEN S., 2002.** Etude comparative de la toxicité et des sites récepteurs des endotoxines de *Bacillus thuringiensis* Berliner sur deux ravageurs du cotonnier: *Helicoverpa armigera* (Hübner) et *Heliothis virescens* (Fabricius): relation avec la résistance. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 149 p.
- VAISSAYRE M., 2000.** Protection phytosanitaire du cotonnier dans les systèmes de culture d'Afrique de l'Ouest. Formation phytosanitaire de la SOFITEX, mai 2000, 88 p.

- VAN RENSBURG B. J., 2007.** First report of field resistance by stem borer, *Busseola fusca* (Fuller) to Bt-transgenic maize. *South African Journal of Plant and Soil* 24:147–151.
- VASSAL J. M., 2004.** *Bacillus thuringiensis*: mode d'action et résistance. Atelier Projet GERICO du 06 au 10 Décembre 2004 (CDROM).
- VILAIN M., 1989.** La production végétale. La maîtrise technique de la production. Vol.2, Technique et Documentation. Lavoisier, 361 p.
- VOGNAN G., OUEDRAOGO M., & OUEDRAOGO S., 2002.** Description de la filière cotonnière au Burkina Faso. Rapport intermédiaire, IN.E.R.A., 34 p.
- YOUNG J. M., CHILCOTT C. N., BROADWELL A., WIGLEY P. J., & LECADET M. M., 1998.** Identification of serovars of *Bacillus thuringiensis* Berliner 1915 in New Zeland. *New Zeland Journal ofCrop and Horticultural Science*, 26,63-68.

## ANNEXES

Annexe 1 : Caractéristique de la variété de cotonnier conventionnel KF 37 cultivée au Burkina Faso

---

Variété : **FK 37**

Généalogie : H<sup>2</sup>784\*IRMA BLT/PF

Origine : INERA/Farako-bâ

Aire de culture : Zones Sud-Ouest et Est (pluviométrie supérieure à 800 mm)

### **CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES**

Port de la plante : Elancé

Ouverture 1<sup>ère</sup> fleur (JAS) : 65

Ouverture 2<sup>ème</sup> fleur (JAS) : 115

Branches végétatives : 1 à 2

Forme capsule : Ovoïde

Pilosité : Moyenne

Ouverture Stormproof : Bonne

Hauteur moyenne (cm) : 140

Entre-nœuds : Longs

Poids moyen capsulaire (g) : 5,5

Précocité (% 1<sup>ère</sup> récolte) : 78

Potentiel rendement coton graine (kg/ha) : 2600

Rendement égrenage (20 scies) % : 43,4

Poids de 100 graines (g) : 9,0

### **CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES FIBRE**

Longueur UHLM (mm) : 29,45

Ténacité (g/tex) : 32,80

Allongement (%) : 5,60

Reflectance (RD %) : 73,20

Indice de jaune : 9,0

Micronaire : 3,8

---

Annexe 2 : Caractéristiques de la variété de cotonnier transgénique FK 95 BG II cultivée au Burkina Faso

---

Variété : **FK 95 BG 2**

Généalogie : FK 37 x DP 50 BG II

Origine : INERA/Farako-bâ

Aire de culture : Zones Sud-Ouest et Est (pluviométrie supérieur à 800 mm)

**CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES**

Port de la plante : Elancé

Ouverture 1<sup>ère</sup> fleur (JAS) : 60

Ouverture 2<sup>ème</sup> fleur (JAS) : 100

Branches végétatives : 1 à 2

Forme capsule : Ovoïde

Pilosité : Moyenne

Ouverture Stormproof : Bonne

Hauteur moyenne (cm) : 140

Entre-nœuds : Moyens

Poids moyen capsulaire (g) : 4,0

Précocité (% 1<sup>ère</sup> récolte) :

Potentiel rendement coton graine (kg/ha) : 3500

Rendement égrenage (20 scies) % : 43,0

Poids de 100 graines (g) : 8,0

**CARACTERISTIQUES TECHNOLOGIQUES FIBRE**

Longueur UHLM (mm) : 28,57

Ténacité (g/tex) : 29,72

Allongement (%) : 5,60

Reflectance (RD %) : 74,4

Indice de jaune : 8,0

Micronaire : 3,8

---